**T.C.**

**GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK FREKANS DENİZ RADARININ**

**ZAMAN UZAYI SONLU FARKLAR**

**YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ**

**HALİL ALPTUĞ DALGIÇ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GEBZE**

**2014**

**T.C.**

**GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK FREKANS DENİZ RADARININ ZAMAN UZAYI SONLU FARKLAR YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ**

**HALİL ALPTUĞ DALGIÇ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

DANIŞMANI

PROF. DR. SERKAN AKSOY

**GEBZE**

**2014**

**T.R.**

**GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY**

**GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**MODELING OF HIGH FREQUENCY SEA RADAR BY FINITE DIFFERENCE TIME DOMAIN METHOD**

**HALİL ALPTUĞ DALGIÇ**

**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE**

**DEPARTMENT OF ELECTRONIC ENGINEERING**

THESIS SUPERVISOR

PROF. DR. SERKAN AKSOY

**GEBZE**

**2014**

|  |  |
| --- | --- |
| logo |  **YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU** |

GTÜ ………………Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun …..…/…..…/..….… tarih ve ..………/……..… sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından …..…/…..…/..….… tarihinde tez savunma sınavı yapılan ……………………………………………’ın tez çalışması ……………………………………Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

**JÜRİ**

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) :

ÜYE :

ÜYE :

**ONAY**

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun

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

İMZA/MÜHÜR

Doç. Dr. Arif Çağdaş AYDINOĞLU

Gebze Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

|  |  |
| --- | --- |
|  | **DOKTORA JÜRİ ONAY FORMU** |

GTÜ ……………… Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun ….…/….…/..….… tarih ve ..……/…..… sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından ….…/…..…/..….… tarihinde tez savunma sınavı yapılan ……………………………………………’ın tez çalışması …………………………………Anabilim Dalında DOKTORA tezi olarak kabul edilmiştir.

**JÜRİ**

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) :

ÜYE :

ÜYE :

ÜYE :

ÜYE :

**ONAY**

Gebze Teknik Üniversitesi ………………. Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun

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

İMZA/MÜHÜR

Doç. Dr. Arif Çağdaş AYDINOĞLU

Gebze Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**ÖZET**

Bu çalışmada Hareketli Pencere Zaman Uzayında Sonlu Farklar, yöntemi ile Yüksek Frekans bandında ($5$, $10$, $15$ $MHz$) deniz radar sinyalindeki yol kaybı iki boyutlu Kartezyen koordinatlarda incelenmiştir. Kaynak olarak ince anten tarafından Gauss darbesi basılmıştır. Problem uzayını sonlandırmak için Mur türü Soğurucu Sınır Koşulu kullanılmıştır. Bu tezde, birinci aşamada verici anten karada konumlandırılırken alıcı anten deniz üzerinde konumlandırılmıştır (bistatik). İkinci aşamada ise verici ve alıcı antenler aynı konumda (monostatik) konumlandırıldığı durum incelenmiştir. Birinci aşamada üç parametre için (hareketli pencere boyutu, yayılım frekansı ve ızgaralama adımı) analizler yapılmış ve ikinci aşamada kullanılacak pencere boyutuna karar verilmiştir. İkinci aşamada antenden adaya kadar pencere boyutu sabit tutulmuş, ada üzerinde pencere boyutu genişletilmiş ve etkileşim tamamlandıktan sonra pencere boyutu sabit olarak geri hareket ettirilmiştir. Yapılan yol kaybı hesaplarında elde edilen veriler Standart Zaman Uzayında Sonlu Farklar yöntemi ile karşılaştırılmış ve tutarlı olduğu gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** **Hareketli Pencere Zaman Uzayında Sonlu Farklar (HP-ZUSF), Deniz Yüksek Frekans Radarı, Zaman Uzayı Sonlu Farklar (ZUSF).**

**SUMMARY**

In this work, the path loss of High Frequency, HF (5, 10, 15 MHz) radar signal is examined with Moving Window Finite Difference Time Domain method in two-dimensional Cartesian coordinates. The type of source is Gaussian pulse which is generated from antenna. The problem space is terminated with Mur type Absorbing Boundary Condition. This thesis is examined in two different steps. In the first step transmitter antenna is located in the land and the receiver antenna is located on the sea (bistatic). Second step transmitter and receiver antennas are located at the same position (monostatic). In the first step, analysis is made for three parameters (HP-ZUSF window size, frequency of pulse, grid step) and making decision about window size which is planning to use in the second step. In the second step, the window size is fixed between antenna and island, and then is expanded on the island, finally when the interaction finished window turn back with fixed size. The data that produce from path loss calculation is compared with the standard Finite Difference Time Domain method and good agreement is observed.

**Key Words: Moving Window Finite Difference Time Domain (MW-FDTD), High Frequency (HF) Naval Radar, Finite Difference Time Domain (FDTD).**

**TEŞEKKÜR**

Başta, yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan danışmanım Prof. Dr. Serkan AKSOY’a,

Bütün çalışmam boyunca yanımda olan, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli arkadaşım Mehmet Burak ÖZAKIN’a,

ve göstermiş olduğu desteklerinden dolayı sevgili eşim H. Hilal DALGIÇ’a en içten teşekkürlerimi sunarım.

**İÇİNDEKİLER**

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Sayfa** |
| ÖZET | iv |
| SUMMARY | v |
| TEŞEKKÜR | vi |
| İÇİNDEKİLER | vii |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | ix |
| TABLOLAR DİZİNİ | x |
|  |  |
| 1. GİRİŞ1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği | 11 |
| 2. YÜKSEK FREKANS RADARLAR | 3 |
| 2.1. Yer Yüksek Frekans Radarları ve Kullanım Alanlarının Durumu Kapsamında Değerlendirilmesi | 3 |
| 2.1.1. Modelleme ve Benzetim2.2. Radyo Dalga Yayılımı | 34 |
| 3. ZAMAN UZAYI SONLU FARKLAR YÖNTEMİ | 5 |
| 3.1. Sonlu Farklar Yöntemi | 5 |
| 3.1.1. Yöntemin Uygulanması | 6 |
| 3.1.1.1. Deneysel Sonuçlar |  |
| 4. SAYISAL ÖRNEK ve SONUÇLAR | 8 |
| 4.1. Anten Modelleme | 8 |
| 5. SONUÇLAR ve YORUMLAR | 9 |
|  |  |
| KAYNAKLAR | 20 |
| ÖZGEÇMİŞ | 21 |
| EKLER | 22 |

**SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ**

|  |  |
| --- | --- |
| **Simgeler ve****Kısaltmalar** | **Açıklamalar** |
| $$∇$$ | : | Nabla operatörü |
| $$γ$$ | : | Yayılım sabiti |
| $$E$$ | : | Elektrik alan vektörü |
| $$ε$$ | : | Dielektrik sabiti |
| Hz | : | Hertz |
| F | : | Kuvvet |
| km | : | Kilometre |
| $$H$$ | : | Manyetik alan vektörü |
| sn | : | Saniye |
| ANAM | : | Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi |
| GTÜ  | : | Gebze Teknik Üniversitesi |
| TCMB  | : | Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası |
| ZUSF | : | Zaman Uzayı Sonlu Farklar |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

**ŞEKİLLER DİZİNİ**

|  |
| --- |
| **Şekil No: Sayfa** |
| 3.1: | a) Zaman Uzayı Sonlu Farklar yöntemi zaman diyagramı, b) İki boyutlu Kartezyen koordinatlarda Yee hücresi. | 5 |
| 3.2: | Benzetim uzayı ve hareketli pencere. | 7 |
| … | ……….. |  |
| … | ……….. |  |
| … | ……….. |  |
| 5.9: | Gözleme dayalı sonuçlar. | 25 |
| 5.10: | Ekranlama etkinliği olarak hesaplanan saçılan değerlerinin deneysel ve teorik karşılaştırılması.  | 32 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

**TABLOLAR DİZİNİ**

|  |
| --- |
| **Tablo No: Sayfa** |
| 4.1: | Benzetim parametreleri.  | 5 |
| 4.2: | Ölçüm sonuçları kapsamında alan bileşenlerinin uzaysal yerleşimlerinin toplam alan dağılımına etkisi. | 7 |
| 4.3: | Hesap uzayının durumu. | 8 |
| … | ……….. |  |
| … | ……….. |  |
| … | ……….. |  |
| 4.9: | Deneysel sonuçlar. | 20 |
| 4.10: | Elektrik ve manyetik alan karşılaştırmaları sonucunda elde edilen değerlerin değerIendirilmesi.  | 25 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

**1. GİRİŞ**

Uluslararası Telekomünikasyon Birliği tarafından yayınlanan standart radar bandları arasında $3-30$ MHz band aralığı Yüksek Frekans (High Frequency, HF) bandı olarak sınıflandırılmaktadır. Radar frekansları günümüzde mikrodalga frekansları ile eşanlamlı olarak da kullanılıyor olmasına karşın, daha düşük frekans bandında olan Yüksek Frekans (YF) radarları geçmişten günümüze kadar birçok önemli alanda kullanılmıştır [Skolnik and Headrick, 1974], [Fidel et al., 1994].

Düşük frekanslarda kullanılan radarlar yoğun frekans uzayı, sınırlı band genişliği, yüksek gürültülü ortam vb. birçok problemle karşı karşıya kalmaktadır. yılların ortalarında iyonosfer yüksekliği ölçümü yapmak için Appleton Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalga, FMSD (Frequency Modulated Continuous Wave, FM-CW) radarlar kullanmıştır [Aksoy ve Başaran, 2014], [Öztürk vd., 2011].

Bunların yanında tarihte ilk askeri radar sistemi de 1938 yılında İngiltere’de uçakların tespiti amacı ile YF bandında yapılmıştır. O yıllarda yapılan bu gözetleme radarları İngiltere’ye, Alman uçaklarına karşı, ülke savunması açısından çok önemli katkılar sağlamıştır. Bu radarların YF bandında yapılması 1938’li yıllarda alternatif başka teknoloji olmamasındandır. II. Dünya Savaşının başlarında radar frekansları $200$ MHz ve üstü frekanslara ulaşarak, mikrodalga frekansları başarılı bir şekilde kullanılmıştır

**1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği**

YF bandı radarlar günümüzde birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Dalga boyu büyük olan bu radarların konumlandırılacağı alan performans etkisi bakımından büyük önem taşımaktadır.

Modelleme uygulamaları YF radarların oluşacak yol kayıpları hakkında kullanıcıları bilgiler vermektedir. Bu sayede az maliyetli etkin bir çözüm oluşturulabilmektedir1.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1 Bu durum çoğu kez sağlanmakla beraber, özel tasarımlar gerektirebilmektedir. Bu özel tasarımların maliyet analizi de hesaba katılmalıdır.

YF bandında dalga boyunun büyük olması bu tür benzetimleri bilgisayarlardaki bellek ihtiyacının fazla olması nedeniyle zorlaştırmaktadır. Bu zorluğun üstesinden gelebilmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu tez çalışmasında da kullanılacak olan Hareketli Pencere Zaman Uzayında Sonlu Farklar (HP-ZUSF) yöntemi bu yöntemler arasında zaman uzayında çalışan bir yöntemdir.

Bu tez kapsamında, öncelikle ikinci bölümde HF radar türleri ve bu türlerin çeşitli problemler için yapılmış benzetim çalışmaları anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, ZUSF hakkında temel bilgiler verilmiş ve Maxwell denklemlerinden yararlanarak Kartezyen koordinatlarda iki boyutlu kayıplı güncelleme denklemleri, sayısal dispersiyon, sayısal kararlılık, soğurucu sınır koşulları hakkında bilgiler verilmiştir. Dördüncü HP-ZUSF yöntemi hakkında ve yöntemin uygulanması hakkında ve karar algoritması oluşturulması hakkında geniş bilgiler verilmiştir. Beşinci ve son bölümde ise iki faklı anten konumu için HP-ZUSF yöntemi çözümü ile standart ZUSF yöntemi çözümü karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar ile ilgili yorumlar ve gelecek önerileri konu başlıkları altında anlatılmıştır.

**2. YÜKSEK FREKANS RADARLAR**

YF radarları günümüzde mikrodalga radarlar kadar yaygın kullanılmamasına karşın kullanım alanları bakımından hala önemli konumdadırlar. Bu radarların düşük frekansta olması yayılım kayıplarını azaltmakta ve bu sayede ufuk ötesi bölgeler hakkında bilgiler edinilebilmektedir. Son zamanlarda sınır güvenliği sorunları ve okyanuslarda meydana gelen doğal afetler, YF radarlarının önemini arttırmaktadır.

**2.1. Yer Yüksek Frekans Radarlar ve Kullanım Alanlarının**

**Durumu Kapsamında Değerlendirilmesi**

Yer YF (Y-YF) radarları düşük frekansta yayılım yapmaları nedeniyle uzun menzilde kullanılabilmektedir. Bu sayede ufuk ötesinde yüzlerce kilometrelik uzaklıklardan hedef algılaması yapabilecek yetenektedirler. Ufuk ötesinin gerçek zamanlı olarak kontrol edilebilmesi ülke güvenliği açısından hayati önem taşımaktadır. Savunma sistemlerinin yanında Y-YF radarları mayın, sığınak vb. derinlerde gömülü nesnelerin algılanmasında da kullanılmaktadır [Şafak vd., 2001].

Y-YF radarlarında antenlerin döndürülmesi için çeşitli elektrik motorları kullanılmaktadır. Bu motorlar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

* Direkt Akım Elektrik Motorları

Bu motorlarda motorun stator ve rotor sargılarında direkt akımlar akmaktadır. Matematiksel analizleri nispeten daha kolay olmakla beraber, üretimleri daha karmaşıktır. Net tork üretimi için akım yönünü değiştirmek amacı ile komütatöre ihtiyaç duyarlar.

* Değişken Akım Elektrik Motorları

Değişken akım elektrik motorlarının, direkt akım elektrik motorlarından temel farkı, en azından sarımlardan birinde oluşturulan manyetik alanın değişken olmasıdır. Söz konusu manyetik alan döner türde bir alandır. Bu tür motorlar genelde senkron ve endüksiyon motorları olarak iki ana başlık altında incelenir. Tek ve çok fazlı türleri mevcuttur.

**2.1.1. Modelleme ve Benzetim**

Y-YF radarlarının gerçek zamanlı modellenmesi son yıllara kadar bilgisayar sistemlerinin yeterli kapasitede olmaması nedeniyle pek mümkün olmamıştır. Modelleme ve benzetim olmaksızın geliştirilen radar sistemlerinden ise yeterli performansın alınamayacağı bir gerçektir. Bu durum

|  |  |
| --- | --- |
| $$Yol kaybı+Atmosferik kayıp$$$$=Sistem kaybı+Isıl kayıp+Diğer kayıplar $$ | (2.1) |

formundaki ilişkiye bağlıdır. Son yıllarda bilgisayar sistemlerinde meydana gelen önemli gelişmeler sayesinde Y-YF radarları modellenebilmektedir. Fakat bu radarların düşük frekansta çalışması ve modellenmesi gereken uzayın büyüklüğü nedeniyle çok uzun hesap zamanına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu zamanın azaltılması için çalışmalar devam etmektedir.

Sonuçların birbiriyle örtüştüğü gözlenmiştir [Akleman and Sevgi, 2000a]. HP-ZUSF yöntemi zaman uzayında olduğundan bir kez çalıştırma ile (single-run) probleme uygulandığı takdirde geniş bir frekans spektrum çözümü elde edilebilmektedir [Akleman et al., 2000b]. Bu çalışmada

 “*Özellikle son yıllarda, birbirinden farklı ve karmaşık, analitik çözümü zor bulunan ya da hiç bulunamayan elektromanyetik problemlerin çözümünde etkin olarak kullanılan FDTD yöntemi, Akleman ve diğerleri tarafından ilk kez atmosferde yer dalgası yayılımının modellenmesi için uygun hale getirilmiş ve Time Domain Wave Propagator (TDWP) olarak adlandırılmıştır.*”

ifadesi geçmektedir. Burada kullanılan algoritma

* Adım 1: $x$ değişkeninin $y$’ye atanması,
* Adım 2: $y$ değişkeninin integralinin alınması,

- Adım 2.1: Ekrandaki sonuçların yazdırılması

şeklinde programlanabilir. Burada Adım 2 aşamasında kullanılan değerler çift duyarlıklı olmalıdır.

**2.2. Radyo Dalga Yayılımı**

Dalga yayılımı kapsamında İzomorfizma Teoremi ve ispatı da aşağıdaki gibi verilir [Wu et al., 2004].

*Teorem 2.1: Verilen* $f:G\rightarrow H$ *bir grup* homomorfizması *olsun. Şu halde* $G/Çekf≅f(G)$*’dir. Özel olarak* $f$ *örten ise* $G/Çekf≅H$*’dır.*

*İspat 2.1:* $K=Çekf$ *olmak üzere* $φ:G/K\rightarrow f(G)$ *dönüşümü* $φ\left(xK\right)=f(x)$ *ile* *tanımlansın. Herhangi* $x,y\in G$ *için*

*i)* $xK=yK ⟺ y^{-1}x=\in G ⟺ f\left(y^{-1}x\right)=e\_{H} ⟺ f\left(x\right)=f(y)$

*ii)* $xK\ne yK ⟺ f\left(x\right)\ne f(y)$

*olduğundan iyi tanımlı ve bire-birdir. Ayrıca*

|  |  |
| --- | --- |
| $$φ\left(xK,yK\right)=φ\left(xyK\right)=f\left(xy\right)=f\left(x\right)f\left(y\right)=φ\left(xK\right)φ\left(yK\right)$$ | (2.2) |

*ise* $φ$homomorfizma*dır.* $φ$ *örten olduğundan* $G/Çekf≅f(G)$ *elde edilir.* $■$

Bu kapsamda çıkarma işleminin varlığı teoremi aşağıda verilmiştir.

*Teorem 2.2: Verilen* $a$ *ve* $b$ *değerleri için kesin olarak sadece bir* $x$ *değeri vardır: Öyleki* $a+x=b$ *şartını sağlar.* $0-a$ *basitçe* $-a$ *olarak gösterilir ve* $a$*’nın negatifi olarak adlandırılır (Çıkartma İşlemenin Varlığı Teoremi).*

Konu ile ilgili ana tanım ise aşağıdaki gibi verilir.

*Tanım 2.1:* $A$*'dan* $B$*'ye tanımlı bir gönderme* $(f)$*,* $(A,B,F)$ *şeklinde gösterilebilen bir üçlüdür. Burada* $F$*, aşağıdaki belli özelliklere sahip* [*sıralı ikili*](http://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=S%C4%B1ral%C4%B1_ikili&action=edit&redlink=1) *bir kümedir.*

*i)* $Fϵ⊄A/B ⇒ A\ne B$*.*

**3. ZAMAN UZAYI SONLU FARKLAR YÖNTEMİ**

**TEMELLERİ**

Günümüzde bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile birlikte elektromanyetik problemlerin çözümünde kullanılan sayısal (nümerik) yöntemlerin çözüm sınıfı arasında

* kayıplı,
* dispersif,
* lineer olmayan

ortam problemleri mevcuttur. Literatüre bakıldığında Zaman Uzayı Sonlu Farklar, ZUSF (Finite Difference Time Domain, FDTD) yöntemi, sayısal yöntemler arasında en yaygın olarak kullanılan yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu yöntem ilk 1966 yılında Kane S. Yee tarafından Maxwell denklemlerine uygulanmıştır [Yee, 1966].

Bu yöntemde diferansiyel denklemlerdeki zaman ve konuma ait türevler yerine geri, merkezi veya ileri farklar vb. sayısal eş değerleri kullanılmaktadır.

Standart ZUSF yönteminin avantajları arasında:

- Lineer cebir kullanmaması,

- Dürtü cevabını direkt vermesi,

- Lineer olmayan çözümlerin yapılabilmesi,

- Hataları çok iyi anlaşılmış ve analiz edilmiş olduğundan doğruluğu kontrol

edilebilir çözüm sunması

sayılabilir [Web 1, 2012], [Web 2, 2013].

Bu yöntemi kullanan belli başlı yazılımlar arasında

1. CST
2. XFDTD
3. CHORONOS

programları sayılabilir.

**3.1. Sonlu Farklar Yöntemi**

Diferansiyel denklemlerin çözümünde sonlu farklar yönteminin uygulanması için ilk adım bilinmeyen büyüklüğü temsil eden fonksiyonun ayrıklaştırılmasıdır. Buna göre bir boyutlu $f\left(x\right)$ fonksiyonun eşit $∆x$ aralıklarla $i$ ayrık parçalara bölünmesi sonucunda, diferansiyel denklem ayrık hale getirilebilir. $f(x)$ fonksiyonu $x=x\_{i}$ civarında Taylor serisine açılırsa

|  |  |
| --- | --- |
| $$f\left(x\right)=\sum\_{n=0}^{\infty }\frac{f^{n}\left(x\_{i}\right)}{n!}\left(x-x\_{i}\right)^{n}=\left.f\left(x\right)\right|\_{x=x\_{i}}+\left.f^{'}\left(x\right)\right|\_{x=x\_{i}}\left(x-x\_{i}\right)+…$$ | (3.1) |

iken  $x-x\_{i}=a$ seçilmek üzere $x=x\_{i}+a$ olarak

|  |  |
| --- | --- |
| $$f\left(x\_{i}+a\right)=f\left(x\right)+f^{'}\left(x\_{i}\right)a+\frac{a^{2}}{2!}f^{''}\left(x\_{i}\right)+ …$$ | (3.2) |

biçiminde ifade edilebilir. Eşitlik (3.2) temelde eşitlik (3.1)’in bir diğer gösterilimidir [5]-[13].

ZUSF yöntemi ile zamanda iteratif olarak çözümünü gösteren akış diyagramı ve İki boyutlu Kartezyen koordinatlarda birim Yee hücresi sırası ile Şekil 3.1.a) ve Şekil 3.1.b)’de gösterilmiştir.

|  |  |
| --- | --- |
| $$E\left(r\right)|^{n}$$$$D(r)|^{n+1}$$$B\left(r\right)|^{n+\frac{1}{2}}$  | 2 boyutlu yee_2.jpg |
| a) | b) |
|  Şekil 3.1: a) Zaman Uzayı Sonlu Faklar yöntemi zaman diyagramı, b) İki boyutlu Kartezyen koordinatlarda birim Yee hücresi. |

**3.1.1. Yöntemin Uygulanması**

Hareketli pencere yöntemi problemin konumsal olarak tek bir döngü yerine hareketli daha küçük döngülerle çözülmesine olanak sağlamaktadır. Standart uygulamada yöntemin temel mantığı her bir adımda pencere boyutunu değiştirmeksizin pencerenin hesap uzayında iteratif olarak ilerletilmesidir. Kayarak ilerleyen bu alt bölge içinde elektromanyetik alan dağılımları hesaplanmaktadır. Bu sayede hesaplama zamanı, dispersiyon hataları azalmakta ve gerçek değerler ile tutarlı sayısal sonuçlar elde edilmektedir [3], [9], [11].

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Benzetim uzayı. | Hareketli pencere. |
|  |

Şekil 3.2: Benzetim uzayı ve hareketli pencere.

Şekil 3.2’de görüldüğü üzere elektromanyetik dalga yayılımı hareketli pencere içerisinde pencerenin kaydırılması sonucunda gerçekleştirilmektedir. Standart uygulamada pencere içerisinde elektromanyetik alanların güncellenmesinde standart ZUSF algoritması kullanılmaktadır [ResGaz, 1], [ResGaz, 2]. Burada kullanılan direkt akım motorlarının avantaj ve dezavantajları kendi aralarında aşağıdaki gibi detaylandırılabilir [YOZVAL, 2013].

* Seri bağlamalı doğru akım motorlarında alan sarımları tüm armatür akımını destekler. Böylece alan bobini düşük direnç gösterecektir. Bu konfigürasyon jeneratörler için sık kullanılmaz [YALBEL, 2011].
* Paralel bağlamalı direk akım motorlarının eş değer devre modelinde bulunan ayarlı bir direnç alan akımlarının armatür geriliminden bağımsız olması prensibini göstermek için gereklidir.

**3.1.1.1. Deneysel Sonuçlar**

Yüksek frekans radarlar hakkında teorik modelleme çalışmaları ile birlikte, pratik araştırmalar için birçok deneysel çalışmalar da yapılmıştır. Bu çalışmalarda en önemli göz çarpan sorun, deney ortamlarında karşılaşılan kararsızlık sorunlarıdır.

Bu deneysel sonuçların tutarlılığı

|  |  |
| --- | --- |
| $$∇×\vec{E}\left(\vec{r} ,t\right)+μ\frac{∂}{∂t}\vec{H}\left(\vec{r} ,t\right)=0$$ | (3.3.a) |

|  |  |
| --- | --- |
| $$∇×\vec{H}\left(\vec{r} ,t\right)-ε\frac{∂}{∂t}\vec{E}\left(\vec{r} ,t\right)=\vec{J}\left(\vec{r} ,t\right)$$ | (3.3.b) |

denklemleri ile sağlanır. Burada konum-zaman $\left(\vec{r} ,t\right)$ bağımlı olarak $\vec{E}\left(\vec{r} ,t\right)$, $\vec{H}\left(\vec{r} ,t\right)$ ve $\vec{J}\left(\vec{r} ,t\right)$ sırası ile elektrik alan, manyetik alan ve akım yoğunluğu vektörünü gösterir. $∇$ Nabla operatörünü $ε \left(F/m\right)$ ve $μ \left(H/m\right)$ ise sırası ile ortamın dielektrik geçirgenliğini ve manyetik geçirgenliğini gösterir [TUIK, 2011].

**4. SAYISAL ÖRNEK ve SONUÇLAR**

**4.1. Anten Modelleme**

Anten (elektromanyetik dalga kaynağı) olarak ince anten kullanılmıştır. HP-ZUSF çözümünde merdivenleme (staircase) yöntemi ile oluşturulan bu antenin, ışıma yönü ve boyu parametrik olarak ayarlanabilmektedir. Antenin kaynak zaman bağımlılığı normal Gauss modülasyonlu darbe işareti [ISO, 2012]

|  |  |
| --- | --- |
| $$f(t)=sin⁡(2πf\_{0}t) e^{\frac{-(t-t\_{c}+t\_{f})^{2}}{2t\_{σ}^{2}}}$$ | (4.1) |

olarak seçilmiştir. Burada $t\_{c}$ darbenin modülasyonlu işaret içinde oluşturulacağı zamanı belirlerken, $t\_{σ}$ ve $t\_{f}$ değeri [TSE, 2012]

|  |  |
| --- | --- |
| $$t\_{σ}=\frac{t\_{c}}{2\sqrt{2ln2}}$$ | (4.2) |
|  |
| $$t\_{f}=\frac{512}{t\_{c}2\sqrt{2ln2}}$$ |

olarak verilir [Loui, 2004]. $50 kHz$ ve bant genişliği $\% 60$ olan $1 MHz$ deki darbe seçilmesi durumunda örnek bir Gauss modülasyonlu darbe aşağıda gösterilmiştir.

|  |
| --- |
|  |

Şekil 4.1: Örnek Gauss modülasyonlu darbe işareti.

Yatay oklar bulunan hücrelerde kaynak tarafından elektrik alanın $E\_{x}$ bileşeni basılırken, dikey yönlü okların bulunduğu hücrelerde elektrik alan değerinin $E\_{y}$ bileşeni basılmaktadır. Buradan $x,y$ ve $z$ yönündeki bilinmeyen $E\_{x}$, $E\_{y}$ ve $E\_{z}$ alanları

|  |  |
| --- | --- |
| $$\left[\begin{matrix}5&7&4\\2&6&3\\1&0&2\end{matrix}\right]\left[\begin{matrix}E\_{x}\\E\_{y}\\E\_{z}\end{matrix}\right]=0$$ | (4.3) |

|  |  |
| --- | --- |
| $$E\_{x}\left(x,y,z,t\right)E\_{y}\left(x,y,z,t\right)+$$$$E\_{z}\left(x,y,z,t\right)H\_{x}\left(x,y,z,t\right)H\_{z}\left(x,y,z,t\right)+H\_{y}\left(x,y,z,t\right)J\_{x}(x,y,z,t)=5$$ | (4.4) |

bağıntılarını sağlar. Burada $H\_{x}$, $H\_{y}$ ve $H\_{z}$ sırası ile $x,y$ ve $z$ yönündeki manyetik alanları, $J\_{x}$ ise $x$ yönündeki akım yoğunluğunu gösterir. İlk bölümde hareketli pencere ada boyuna ($∆L$) göre oranlanmış dört farklı pencere boyutu ($∆L$, $0.75×∆L$, $0.5×∆L$ ve $0.25×∆L$) iki farklı ($λ/10$ ve $λ/15$) adım aralığında üç farklı frekans için $E\_{x}$ bileşeni için yol kaybı hesaplanmıştır. BU kapsamda yol kaybı formülü

Tablo 4.1: Benzetim Parametreleri.

|  |  |
| --- | --- |
| $x$ ekseni boyunca uzunluk | 40 mm |
| $y$ ekseni boyunca uzunluk | 40 mm |
| $z$ ekseni boyunca uzunluk | 480 mm |
| Birim hücre uzunluğu | 1 mm |
| Hücre sayısı | 40 x 40 |
| Ölçekleme faktörü | 5.1011 |
| Toplam hesap adımı | 3000 |

Tablo 4.1 kapsamında yapılan benzetimler sonucu elde edilen sonuçlar standart ZUSF ile karşılaştırılmıştır.

**KAYNAKLAR**

Aksoy S., (2003), “Dalga Kılavuzlarında Elektromanyetik Zaman Domeni Analizlerinin Yeni Bir Analitik Metotla İncelenmesi”, Doktora Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.

Bourgeade A., (2002), “Dynamic load balancing computation of pulses propagating in a nonlinear medium”, 2nd International Conference on Parallel Processing Workshops, 246-253, Orlando, FL, USA, 18-21 August.

Fidel B., Heyman E., Kastner R., Ziolkowaski R. W., (1997), “Hybrid Ray-FDTD moving window approach to pulse propagation”, Journal of Computational Physics, 138 (5), 480-500.

Haskell R. E., Case C. T., (1994), “Transient Signal Propagation in Lossless Isotropic Plasmas”, Technical Report No: ARCRL-66-234, Department of Electrical Engineering, Columbia University, USA.

ISO, (2012), Kalite yönetim sistemleri, ISO 9001, International Organization for Standardization.

Öztürk E., Başaran E., Aksoy S., (2011), “Modeling of Ground Penetrating Radar”. In: A. S. Turk, A. K. Hocaoglu, A. A. Vertiy, Editors, “Subsurface Sensing Book”, Wiley & Sons Inc.

Praokis J., Salehi M., (2007), “Digital Communications”, 5th Edition, McGraw-Hill.

ResGaz 1, (2001), Elektrik Piyasası Kanunu, 3 Mart 2001 tarih ve 24335 sayılı Resmi Gazete.

ResGaz 2, (2009), Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği, 14 Nisan 2009 tarih ve 27200 sayılı Resmi Gazete.

TUIK, (2011), İllere ve yıllara göre konut satışları, Türkiye İstatistik Kurumu.

TSE, (2012), Baz istasyolarının yakınında insanın maruz kaldığı elektromanyetik alanın yerinde ölçülmesi için temel standard, TS EN 61000-4-12,  Türk Standartları Enstitüsü.

YALBEL, (2011), Afet ve acil durum planı, Yalova Belediyesi.

YOZVAL, (2013), Beşinci (2009-2013) dönem strateji planı, Yozgat Valiliği.

Web 1, (2012), <http://www.gtu.edu.tr/kategori/65/0/ogrenci-el-kitabi.asp>, (Erişim Tarihi: 14/06/2012).

Web 2, (2013), <http://www.remcom.com/xgtd>, (Erişim Tarihi: 24/11/2013).

Williams D., (2005), “Screw Less Clip Mounted Computer Drive”, U.S. Patent 6,885,550.

Zang X. D., (2005), Wireless power transfer in concrete via coupled magnetic resonance, IEEE Transactions on Antennas And Propagation, 61 (3), 1378-1384.

**KAYNAKLAR**

[1] Fidel B., Heyman E., Kastner R., Ziolkowaski R. W., (1997), “Hybrid Ray-FDTD moving window approach to pulse propagation”, Journal of Computational Physics, 138 (5), 480-500.

[2] Bourgeade A., (2002), “Dynamic load balancing computation of pulses propagating in a nonlinear medium”, 2nd International Conference on Parallel Processing Workshops, 246-253, Orlando, FL, USA, 18-21 August.

[3] Praokis J., Salehi M., (2007), “Digital Communications”, 5th Edition, McGraw-

Hill.

[4] Öztürk E., Başaran E., Aksoy S., (2011), “Modeling of Ground Penetrating Radar”. In: A. S. Turk, A. K. Hocaoglu, A. A. Vertiy, Editors, “Subsurface Sensing Book”, Wiley & Sons Inc.

[5] Aksoy S., (2003), “Dalga Kılavuzlarında Elektromanyetik Zaman Domeni Analizlerinin Yeni Bir Analitik Metotla İncelenmesi”, Doktora Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.

[6] Web 1, (2012), ), [http://www.gtu.edu.tr/kategori/65/0/ogrenci-el-kitabi.asp](http://www.GTÜ.edu.tr/kategori/65/0/ogrenci-el-kitabi.asp),

(Erişim Tarihi: 14/06/2012).

[7] Web 2, (2013), <http://www.remcom.com/xgtd>, (Erişim Tarihi: 24/11/2013).

[8] Haskell R. E., Case C. T., (1994), “Transient Signal Propagation in Lossless Isotropic Plasmas”, Technical Report No: ARCRL-66-234, Department of Electrical Engineering, Columbia University, USA.

[9] Williams D., (2005), “Screw Less Clip Mounted Computer Drive”, U.S. Patent

6,885,550.

[10] ResGaz 1, (2001), Elektrik Piyasası Kanunu, 3 Mart 2001 tarih ve 24335 sayılı

Resmi Gazete.

[11] ResGaz 2, (2009), Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği, 14 Nisan 2009 tarih

ve 27200 sayılı Resmi Gazete.

**ÖZGEÇMİŞ**

Halil Alptuğ DALGIÇ 1986 yılında Ankara’da doğdu. 2004 yılında başladığı Gebze Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümünü 2009 yılında başarıyla tamamlayarak aynı yıl yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında başladı. 2009 yılından bu yana TÜBİTAK BİLGEM’de RF/Mikrodalga kaynak konularında araştırmacı ve TEMPEST Test Laboratuvarında proje yürütücüsü olarak çalışmaktadır.

**EKLER**

**Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar**

Fidel B., Heyman E., Kastner R., Ziolkowaski R. W., (1997), “Hybrid Ray–FDTD moving window approach to pulse propagation”, Journal of Computational Physics, 138 (5), 480-500.

Fidel B., (2002), “Dynamic load balancing computation of pulses propagating in a nonlinear medium”, 2nd International Conference on Parallel Processing Workshops, 246-253, Vancouver, Canada, 18-21 August.

Fidel B., Başaran E., Aksoy S., (2011), “Modeling of Ground Penetrating Radar”. In: A. S. Turk, A. K. Hocaoglu, A. A. Vertiy, Editors, “Subsurface Sensing Book”, Wiley & Sons Inc.

**Ek B: Açıklamalar**

…………………………………………………………………………………………………………………………………….

|  |  |
| --- | --- |
| $$ρ\_{m}C\_{m}\frac{∂T\left(x,y,z,t\right)}{∂t}=k\_{t}∇^{2}T\left(x,y,z,t\right)+P\_{d}\left(x,y,z,t\right)$$ | (B1.1) |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|

|  |  |
| --- | --- |
| $$F(x,y,z,t)=ma(x,y,z,t)$$ | (B1.1) |

 | (B1.2) |



Şekil B1.1: Bobinli elektromanyetik fırlatıcı (*x*-*z*) düzlemi kesiti.



Şekil B1.2: Manyetik alan dağılımı.

**Ek C: Diğer Ekler**

……………………………………………………………………………………………………