

YILDIRIMIN VE YILDIRIM YER TESPİT SİSTEMİNİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ, SİMÜLASYONU VE TAKİP İSTASYONU PROTOTİPİ

Ozan KOÇ¹, Emrehan BAYRAK², Ozan ERTUĞRUL³, Hacer ŞEKERCİ⁴

ozankoc05@gmail.com¹, emrehanbayrak@gmail.com², ozanert94@gmail.com³,
hacer.sekerici@yasar.edu.tr⁴

Yaşar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Üniversite Caddesi, No:37-39, Ağacli Yol, Bornova, İzmir PK: 35100

ÖZET

Yıldırımlar kontrolsüz gerçekleşen ve oldukça tehlikeli hava olaylarıdır. Günümüzün teknolojisi yıldırımın zamanını ve yerini düşmeden önce tespit edememektedir. Bilimsel olarak yıldırımlar, genellikle kümülünimbus bulutlarında oluşan, bulutlar arası veya bulut ile yer arasında gerçekleşen elektrostatik boşalmalardır. Bu olay esnasında yıldırım tarafından elektromanyetik radyasyon patlamaları oluşur ve yıldırımın elektrik alanına dik olarak dalgalar halinde yayılırlar. Bu elektromanyetik dalgalar sonucu oluşan sinyaller çok düşük frekanslarda (5 ile 10 kHz) tespit edilebilir. Günümüz yıldırım tespit sistemleri, yıldırımın bu özelliğinden faydalanarak öncülerin yerlerini uzak mesafelerden tespit edebilirler. Bu projede yer tespiti yapılabilmesi amacıyla varış zamanları farkı metodu kullanılmıştır. Bu metod elektromanyetik radyasyonun bir ağ sayesinde birbirleriyle haberleşen yıldırım tespit istasyonlarının algıladığı mikro saniye hassasiyetindeki zamanı işleyerek yer tespiti sağlar. Kesin bir yer tespiti yapılabilmesi için yıldırım tespit ağı içerisinde en az dört istasyon bulunmalıdır. Sonuç olarak, proje kapsamında yıldırımların matematiksel incelenmesi ve MATLAB kullanılarak bilgisayarlı simülasyonu yapılmaktadır. Ayrıca yıldırımın yer tespiti ağının da MATLAB programı kullanılarak bilgisayar simülasyonu ve tespit istasyonunun prototipi geliştirilmektedir.

Anahtar kelimeler: Yıldırım, elektromanyetik radyasyon, yıldırımın yer tespiti, varış zamanları farkı metodu, bilgisayar simülasyonu, yıldırım yer tespit istasyonu, prototip, MATLAB

1. GİRİŞ

Projenin asıl amacı yıldırımın ve yıldırımın yer tespiti sisteminin matematiksel simülasyonun yapılması ve yer tespit istasyonunun prototipinin geliştirilmesidir. Bilgisayar destekli matematiksel simülasyonlar MATLAB programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yıldırım takip sistemlerinin genel kullanım amacı yıldırım ve yıldırım fırtınaları gibi yeri ve zamanı tahmin edilemeyen doğa olaylarını (orajlar) tespit ederek can ve mal kaybını önlemektir. İstatistiklere göre enerji hatlarındaki arızaların %30'u yıldırımlardan kaynaklı olmakta, her yıl en az bir ticari uçağa yıldırım düşmekte ve sadece ABD'de yıldırım kaynaklı orman yangınlarında ortalama yılda 51 kişi hayatını kaybetmektedir. Buna ek olarak yıldırımlar, elektriksel koruması bulunmayan obje ve sistemler için büyük bir risk faktörü oluşturur. Günümüzde Türkiye de dahil olmak üzere birçok ülke LINET (Lightning Detection Network) Yıldırım Yer Tespit Ağı'nı kullanmaktadır. LINET Yıldırım Yer Tespit Ağı içerisinde Türkiye de 34 ve KKTC'de 1 adet olmak üzere 35 adet tespit istasyonu bulunmaktadır. Sistemin çıktı olarak verdiği raporlar, enerji hatlarının hata analizinde, havacılık ve denizcilik alanlarında,

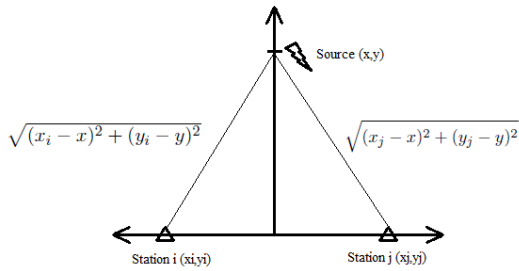
ormanyangınlarına önlem alınmasında kullanılmaktadır.

Yıldırımın boşalmaları farklı şekillerde gerçekleşebilir. Bunlar negatif yüklü aşağı doğru, pozitif yüklü aşağıya doğru, negatif yüklü yukarı doğru, negatif yüklü yukarı doğrudur. Yıldırımın elektriksel doğasının anlaşılması 1752 yılında Benjamin Franklin'in uçurtma deneyi sayesinde anlaşılmıştır. Ancak yıldırım oluşurken bulutların yüklenmesi konusunda farklı görüşler olmasına rağmen kesin bir kanıya varılamamış, teori olarak kalmıştır. Bulutlardaki su taneciklerinin sürtünmesi sonucu oluşan elektriklenme sadece pozitif yüklü yıldırım boşalmalarını açıklarlar. Daha doğru bir kanı ise, atmosfer de bütün elektrik yüklerinin bulunduğu ve bu yüklerin su ve buz tanecikleri ile etkileşime geçerek bulutları yüklemesidir. Bu teori aynı zamanda yıldırım boşalmalarıyla atmosferin yük dengesinin korunmasını da açıklasa da su ve buz taneciklerinin hangi yüklerle yüklendiği varsayımlar sonucu bulunmuştur [3]. Her gün dünya üzerinde 4 milyon yıldırım gerçekleşir fakat bunların sadece %25'i bulut ile toprak arasındadır ve %90'ı negatif yüklüdür [1]. Yıldırım gerçekleşirken havanın iyonize gazından, tepe sıcaklığı 30.000°K'e ulaşabilen bir plazma yolu oluşur. Bir yıldırımın gerilimi 10 ile 100 megavolt arasında değişir ve taşıdığı akım 30 kiloampere ulaşabilir [2]. Projenin çıktıları, yıldırımların matematiksel olarak modellenmesi ve bilgisayar destekli simülasyonu, yıldırım yer tespit ağının bilgisayar destekli simülasyonu ve yıldırım yer tespit istasyonunun prototipidir.

2. YILDIRIM YER TESPİT SİSTEMİNİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ VE SİMÜLASYONU

Bu projede tasarlanan yıldırım tespit sistemi Varış Zamanları Farkı Metodu'nu kullanır. (TDoA: Time Differences of Arrival) Ayrıca bu metodun benzerleri olan Varış Zamanı (Time of Arrival), Varış Açısı (Angle of Arrival) veya Varış Yönü (Direction of Arrival) yöntemleri kombine edilerek te daha kesin bir yer belirleme yapılabilir. Küresel konum belirleme sistemlerinde kullanıcılar konumlarını belirlemek için uydular aracılığı ile ana merkeze bir istek mesajı gönderir ve yer yüzündeki antenler yardımıyla konum belirlemesi yapılır [5]. Yıldırımlarda ise oluşturduğu elektrik alana dik ve yeryüzüne paralel olan elektromanyetik radyasyon bir anlamda antenlere yayılma yoluyla iletilen bir istek mesajı görevi görür. 100 kilometre çapında yayılan elektromanyetik radyasyon çok düşük frekanslı (VLF) döngüsel antenlerce algılanır ve algılanma zamanı, zaman etiketi formatında antenin içinde bulunduğu ağın merkezine gönderilir [6]. En az 4 anten istasyonu tarafından merkeze iletilen mikrosaniye hassasiyetindeki zaman etiketleri, varış zamanları farkı yöntemine göre işlenerek yıldırımın konumu belirlenir. Yıldırım tarafından yayılan elektromanyetik radyasyonu ilk algılayan istasyon referans istasyonu kabul edilir ve zaman etiketi 0 olarak atanır. Bu yöntemde, yıldırımın x, y koordinatları ve düştüğü t anı bilinmeyen kabul edilir ve her istasyon ile arasındaki uzaklık matematiksel fonksiyon olarak çıkartılır. Uzaklığın fonksiyonu, düştüğü zaman olan t anı ile istasyon tarafından algılanma zamanının farkı ile ışık hızının km/saniye cinsinden çarpımına eşitlenir

ve bu işlem her 4 istasyon için de yapılarak 4 ayrı üç bilinmeyenli denklem elde edilir. Referans istasyonuna göre yapılan denklem referans denklemi kabul edilir. Daha sonra referans denklemi ile diğer denklemlerin farkı alınır ve 3 bilinmeyenli 3 bağıl denklem elde edilir. Bu denklemlerin lineer çözümü sonucunda yıldırımın x, y koordinatları ile t anı bulunur [11].



Şekil 1: İki boyutlu kartezyen koordinat sisteminde anten istasyonları ile yıldırım kaynağının geometrik ilişkisi

Varış zamanları farkı metodunun denklem anlatımı aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} c(t_i - t) &= \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \\ c^2(t_i - t)^2 &= (x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 \end{aligned} \quad (1)$$

- Aynı işlem bir başka istasyon için uygulanırsa:

$$\begin{aligned} c^2(t_j - t)^2 &= (x_j - x)^2 \\ &+ (y_j - y)^2 \end{aligned} \quad (3)$$

- Bulunan referans denklemi ile istasyon denklemi birbirlerinden çıkartılarak bir bağıl denklem elde edilir.

$$(x_i - x_j)x + (y_i - y_j)y + c(t_i - t_j)ct = k_{ij} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} k_{ij} &= \frac{1}{2} [(x_i^2 + y_i^2) - (x_j^2 + y_j^2) \\ &- c^2(t_i^2 - t_j^2)] \end{aligned} \quad (5)$$

- Aynı işlem diğer istasyonlara da uygulandıktan sonra ortaya çıkan denklem sistemi:

$$(x_i - x_j)x + (y_i - y_j)y + c(t_i - t_j)ct = k_{ij} \quad (6)$$

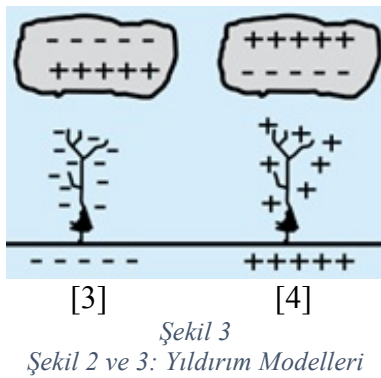
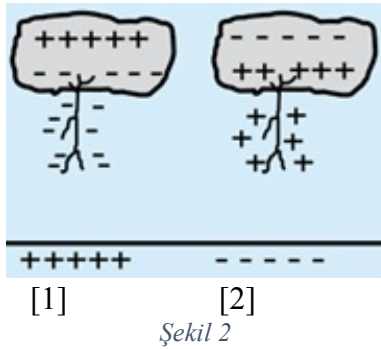
$$\begin{aligned} (x_i - x_k)x + (y_i - y_k)y + c(t_i - t_k)ct &= k_{ik} \\ (x_i - x_m)x + (y_i - y_m)y + c(t_i - t_m)ct &= k_{im} \end{aligned} \quad (7)$$

3. YILDIRIMIN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ VE SİMÜLASYONU

Elektriksel delinmenin fiziksel özellikleri hala net olarak bilinmemektedir fakat delinmenin geometrik yapısı üzerine yapılan çalışmalar ile yıldırımın matematiksel modellemesini ortaya koymak mümkündür. Daha önce bu konuda yapılan çalışmalar yıldırımın fraktal boyutunun 1.7 olduğunu göstermektedir [4]. Bu fraktal boyuta sahip birçok doğa olayı bulunmaktadır ve bu doğa olayları Laplacian Büyüme teorisi ile açıklanmaktadır.

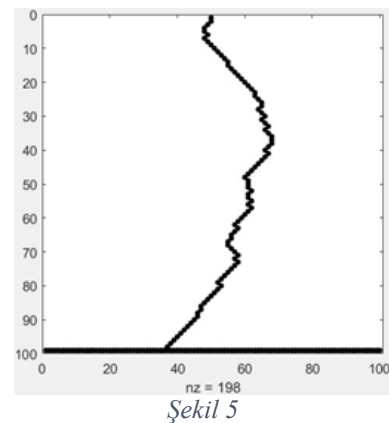
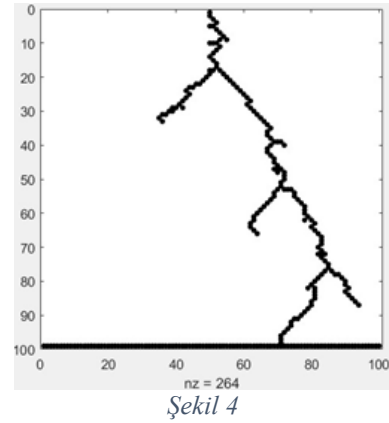
Bu projede yıldırımı modellemek için Dielektrik Delinme Model (Dielectric Breakdown Model-DBM) kullanılmıştır. DBM genel olarak gazlarda delinmeyi modellemek için kullanılır ve yıldırımın havadaki en zayıf yolu nasıl izlediğini açıklar [7]. Bilindiği üzere yıldırımın birçok çeşidi bulunmaktadır, bu projede aşağıya doğru negatif yıldırım (Downward negative lightning) modellenip simülasyonu yapılmıştır [10]. Bulut ve toprak arasında oluşan yıldırımların %90'ını aşağıya doğru

algoritma yıldırımın geçtiği her noktanın komşu noktasını potansiyel atlama noktası olarak görmektedir. Buda yıldırımın yere ulaştığı süre içerisinde dallanmasına sebep olur.



- 1) Aşağıya doğru negatif yıldırım
- 2) Aşağıya doğru pozitif yıldırım
- 3) Yukarıya doğru negatif yıldırım
- 4) Yukarıya doğru pozitif yıldırım

Projede yıldırım simüle etmek için MATLAB adlı programda 2 farklı algoritma yazılmıştır. İlk algoritma yıldırımın sadece yere ulaşan ana kolunu (main branch), İkinci algoritma ise yıldırımın yan dalları ile birlikte simüle etmektedir. Karelaj (grid) üzerindeki tüm noktaların elektrik potansiyellerini hesaplarken, iki algoritma da aynı esaslara dayanmaktadır fakat atlama noktalarının (breakdown points) seçim süreci farklıdır. Ana kolu gösteren algoritma sadece son kırılma noktasının komşu noktalarını (adjoint points) potansiyel atlama noktası olarak görürken diğer



Şekil 4 ve 5: Yıldırım simülasyonunun aynı şartlardaki sonuçları

Sistem yıldırımının başlangıç noktası olarak karelajın üst kısmının elektrik potansiyelini 0 olarak atar ve yıldırım için bir başlangıç noktası oluşturarak bulut bölgesini simüle eder, daha sonra karelajın alt kısmını 1 olarak atar ve toprak bölgesini simüle eder [8]. Son olarak ta havayı simüle etmek için kalan noktaların elektrik potansiyelini 0,5 olarak atar ve karelaj üzerindeki her noktanın elektrik potansiyelini Laplace Denklemini kullanarak çözmeye başlar.

$$\nabla^2 \phi = 0$$

İstenilen sapma değeri elde edildiği zaman sistem elektrik potansiyeli 0 olan noktaların komşu noktalarını aday kırılma noktası olarak atar. Bu aday noktalar arasından seçim yapmak için aşağıdaki olasılık denklemi kullanılmaktadır.

$$P_i = \frac{\phi_i^n}{\sum_{k=1}^N \phi_k^n} \quad (i = 1, \dots, n)$$

Aday noktaların seçilme olasılıkları hesaplandıktan sonra havadaki toz ve diğer engelleri simüle etmek için aday noktaların olasılıklarını 0 ile 1 arasında rastgele bir sayı ile çarpılır ve olasılığı en yüksek olan aday nokta atlama noktası olarak seçilir.

4. YILDIRIM TAKİP İSTASYONU PROTOTİPİ

Bu projede tasarlanan yıldırım takip istasyonu prototipi 2 kısımdan oluşur; çok düşük frekans (very low frequency VLF) anten ve devre. Prototipin düzgün çalışması için sağlaması gereken 5 koşul vardır. Bunlar;

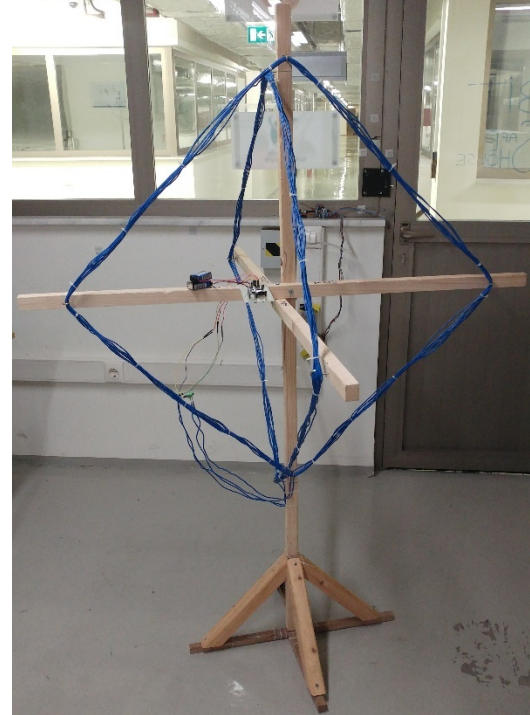
1. Yıldırımı yakalaması ve gürültüleri yıldırım olarak algılamaması
2. Yıldırımın ne zaman düştüğünü göstermesi
3. Birden çok yıldırım saptaması
4. Sıcaklık, su geçirgenliği ve yıldırım düşmesi gibi kötü hava koşullarına karşı dayanıklı olması
5. Pili şarj etmeden ya da değiştirmeden belirli bir süre boyunca düzgün bir şekilde çalışmalı

Yıldırım yere düştüğünde yıldırıma dik yere paralel bir manyetik dalgalar yayar. Bu dalgalar anten tarafından algılanır ve amfi tarafından yükseltilir. Kare

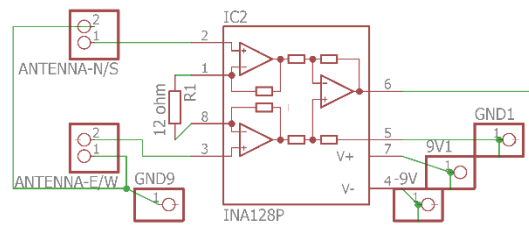
çerçeveli anteni üretmek için gerekli olan malzemeler aşağıdadır;

- 2x1m, 1x1.60m, 4x0.25m, 1x0.60m 2x0.30m 4 0.2mx0.3m tahta
- 2x25m tek iletkenli kablo alanı 1. mm2
- 8 tane kancalı vida
- 14 vida
- Kablo Klips

Kare çerçeveli antenin köşegen uzunluğu 1 m ve tek iletkenli kablo 8 tur sardığı antenin frekansını 10 kHz bandına çekilir.

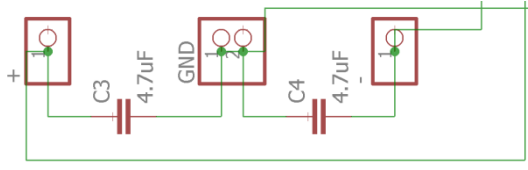


Şekil 6: Anten



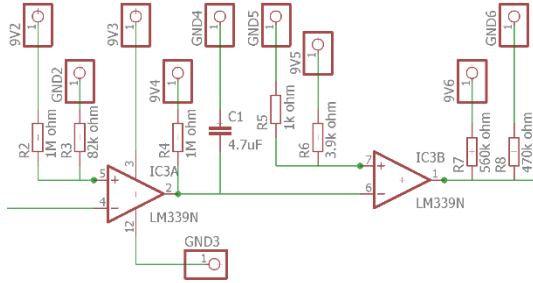
Şekil 7: Amfi devresi

Güç kaynağı olarak devrede 2 tane 9 Volt pil kullanılır.



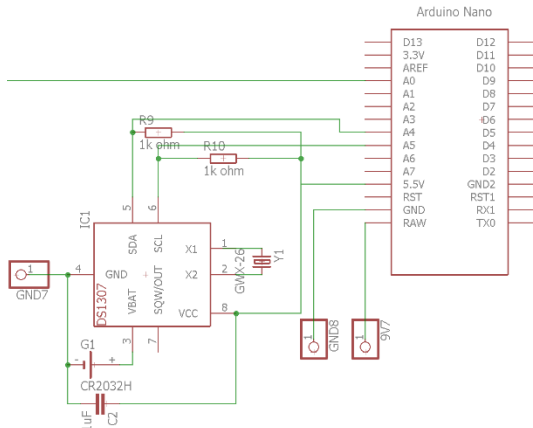
Şekil 8: Pil devresi

Yıldırım düşmesi olayı çok kısa sürede gerçekleştiğinden dolayı mikro denetleyici yerine tek kararlı mulivibrator (one shot multivibrator-monostable multivibrator) kullanılır. Tek kararlı mulivibrator tarafından gelen sinyalin frekans artırılır ve voltaja limit konur.



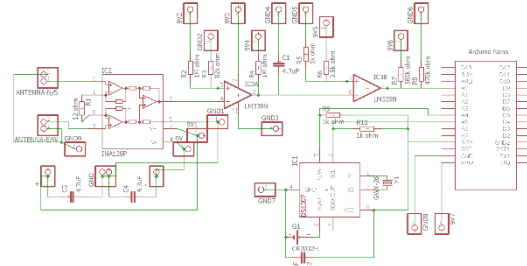
Şekil 9: Tek kararlı multivibratör devresi

Ayrıca gerçek zaman saati (Real Time Clock) gerçek zamanı arduino ya iletir ve arduino tarafından yazdırılır.

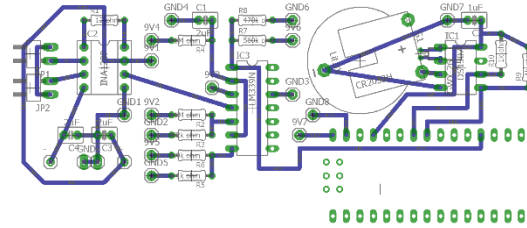


Şekil 10: Arduino ve gerçek zaman saati devresi

Devrenin şematik ve baskı devresi çizimi EagleCAD programı kullanılarak yapılmıştır.



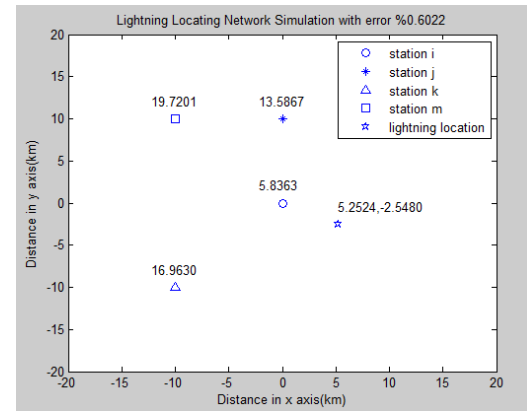
Şekil 11: Şematik dizayn



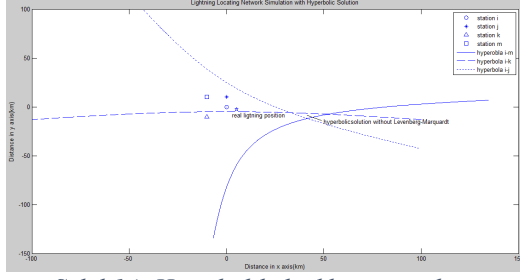
Şekil 12: Baskı devresi dizaynı

SONUÇLAR

Yıldırımın yer tespiti sisteminin simülasyonu önceden belirlenmiş istasyon koordinatlarına ve zaman etiketlerine göre yapılmıştır. Yıldırımın yer tespiti denklemlerin lineer çözümü kullanılarak ya da denklemlerin hiperbolik grafiklerinin kesişim noktası alınarak da sağlanabilir. Bu proje kapsamında iki yöntem de denenmiş fakat lineer çözüm uygulama kolaylığı ve daha net çıktılar sağlaması sebebiyle tercih edilmiştir. Lineer ve hiperbolik çözümlerin grafikleri sırasıyla figürlerde gösterilmiştir.



Şekil 13 : Yıldırım yer tespit sisteminin simülasyon sonuçları



Şekil 14: Hiperbolik denklem sonuçları

KAYNAKLAR

- [1] V. A. Rakov, “*The Physics OF Lightning*”, Springer Science+Business Media Dordrecht Received: 19 October 2012 / Accepted: 26 March 2013 / Published online: 16 April 2013.
- [2] J. Dwyer, “*The Phenomena Of Lightning*”, PBS / NOVA, October 2005.
- [3] E. P. Krider, “*Benjamin Franklin and the First Lightning Conductors*”, Proceedings of the International Commission on History of Meteorology, 1 January 2004.
- [4] J. Safiudo, J. B. Gomez, F. Castano and A. F. Pacheco, “*Fractal dimension of lightning discharge*”, Nonlinear Processes in Geophysics, 1995.
- [5] E. Calais, “*The Global Positioning System*” Sciencetech Club, Indianapolis, April 19 2004.
- [6] E. Wanke, “*A low cost Time of Arrival Lightning Detection and Lightning Location Network*”, Blitzortung.org, September 12 2011.
- [7] T. Kim, M. C. Lin, “*Fast Animation of Lightning Using An Adaptive*”, Published in: IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (Volume: 13, Issue: 2, March-April 2007)
- [8] L. Xiaojing, D. Chang and L. Caihong, “*Mathematical model analysis and improvement of Lightning simulation*”, Proceedings of the 2009 International Symposium on Information Processing, 21-23 August 2009.
- [9] T. Kim and M. C. Lin, “*Physically Based Animation and Rendering of Lightning*”, Computer Graphics and Applications, 2004. PG 2004. 12th Pacific Conference on 6-8 Oct. 2004 Date Added to IEEE Xplore: 1 November 2004.
- [10] B. F. J. Schonland, “*Progressive lightning. IV. The discharge mechanism*”, Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences Vol. 164, No. 916, pp. 132-150, 7 January 1938.
- [11] W. Rison, “*Time Of Arrival Location Technique*”, Lecture: EE 389 Mathematical Engineering, New Mexico Tech, Department of Electrical Engineering, Spring 2008.