



AKUSTİK DALGALARIN FARKLI ORTAM YÜZEYLERİNDEKİ BASINÇ VE HIZ ETKİLERİNİN FDTD METODU İLE ÇÖZÜMLENMESİ

Turan ÇAKIL, H. Feza CARLAK*, Şükrü ÖZEN

Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*FDTD,
Akustik Dalga Analizi,
Tek Boyutlu Gauss Modeli,
Akustik Dalga Maruziyeti,
Akustik Dalgalarda Basınç
Değişimi.*

Öz

Bu çalışmada ses dalgalarının farklı ortam yüzeylerinde meydana getirdiği basınç ve hız değişimleri ele alınmıştır. Ultrason dalgalarına benzerliği nedeniyle çalışmada ses dalgaları kullanılmıştır. Dalga modeli olarak, gauss nabız dalga modeli kullanılmıştır. Ortam yüzeyleri olarak hava, su, metal, s-oil, polietilen gibi cansız yüzeyler, doku türleri da olarak bağ doku ve kas dokusu yüzeyleri analizlerde kullanılmıştır. Seçilen bu ortam yüzeylerinde, akustik dalgalarının oluşturduğu basınç etkileri, zamanda sonlu farklar (FDTD) metodu kullanılarak incelenmiştir. Örneklenen gauss ses dalgasının analizinde, iterasyon sayısı arttıkça yayılım değeri de artmaktadır. Polietilen yapılı katmanlarda ise sesin oluşturduğu basıncın etkisinin düşük olduğu ($P_{\text{plastik}}=39,5 \mu\text{Pa}$ ve $V_{\text{plastik}}=13,17 \mu\text{m/sn}$) tespit edilmiştir. Canlı dokulardan bağ dokusu ve kas dokusu üzerinde yapılan incelemede ise bir ses dalgasının bu iki doku üzerinde benzer basınç ($P_{\text{bağ}}=1,295 \text{ Pa}$, $P_{\text{kas}}=1,282 \text{ Pa}$) ve hız ($V_{\text{bağ}}=0,63 \mu\text{m/sn}$, $V_{\text{kas}}=0,58 \mu\text{m/sn}$) değerleri oluşturduğu gözlenmektedir.

ANALYSIS OF PRESSURE AND VELOCITY EFFECTS OF ACOUSTIC WAVES ON DIFFERENT AMBIENT SURFACES USING FDTD METHOD

Keywords

*FDTD,
Acoustic Wave Analysis,
One-Dimensional Gaussian
Model,
Acoustic Wave Propagation,
Pressure Changes In The
Acoustic Wave.*

Abstract

In this article, the changes of pressure and speed on the various media surfaces, created by the sound waves are studied. Sound waves are used in the study due to their similarity to ultrasound waves. As the wave model, the Gaussian pulse wave pattern has been preferred. While inanimate surfaces such as air, water, metal, s-oil, polyethylene are used as ambient surfaces, muscle and connective tissue surfaces are used as the living tissue in analyses. The pressure effects of acoustic waves on the selected media surfaces are investigated using the finite difference time domain (FDTD) method. In the study of the Gaussian sound wave, the propagation value increases as the number of iterations rises. In polyethylene layers, the effect of the pressure created by the sound is low ($P_{\text{plastic}} = 39,5 \mu\text{Pa}$ and $V_{\text{plastic}} = 13,17 \mu\text{m / sec}$). The study implemented on living tissues as a connective and muscle tissue depicts that a sound wave creates similar pressure ($P_{\text{connective}} = 1,295 \text{ Pa}$, $P_{\text{muscle}} = 1,282 \text{ Pa}$) and velocity ($V_{\text{connective}} = 0,63 \mu\text{m/sec}$, $V_{\text{muscle}} = 0,58 \mu\text{m/sec}$) values in both tissues.

Alıntı / Cite

Çakıl, T., Carlak, H.F., Özen, Ş., (2020). Akustik Dalgaların Farklı Ortam Yüzeylerindeki Basınç ve Hız Etkilerinin FDTD Metodu ile Çözülmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 844-855.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

T. Çakıl, 0000-0002-3475-6389
H. F. Carlak, 0000-0002-8561-4591
Ş. Özen, 0000-0002-5538-6786

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	08.05.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	03.07.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	10.09.2020
Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

1. Giriş (Introduction)

Akustik dalgalar boyuna dalgalar olup parçacık hızı ve titreşim yönü sayesinde ses basıncı oluşturur (L. Beranek, 2009). Akustik dalga, aynı titreşim yönüne sahip parçacık hızı ve ses basıncından oluşan boyuna veya enine dal-

* İlgili yazar / Corresponding author: fezacarlak@akdeniz.edu.tr, +90-242-3106389

gadır. Havada, toprakta ve metallerde yayılma ortamından etkilenen dalgalarıdır (örnek olarak yansıma ve kırılma). Ayrıca biyolojik dokular da akustik ve elektromanyetik dalgaların yayılmasını etkileyen çeşitli zayıflama ve yayılma özellikleri gösterir. Bu koşullar, akustik dalga yayılım karakteristiklerini yani faz hızı ve zayıflama sabiti açısından tanımlanır, böylece optimum şekilde emilen doku ve malzemelerin elektriksel özellikleri ile gerekli tüm veriler sağlanır. Akustik dalgalar, hem endüstri hem de akademik alandan büyük ilgi görmektedir. Bunun nedeni olarak da, akustik dalga işleminin, diğer bazı uygulamalardaki geleneksel yeraltındaki algılama süreçlerinde ve tıp alanında yüksek analiz verimliliği, basit çalışma, düşük maliyet ve enerji verimliliği sağlayabileceğine dair faktörlerin etkili oldukları öne sürülebilir. Akustik alanında çalışan araştırmacıların çoğu, son yirmi yıldır hem kararlılık hem de doğruluk yöntemlerine iyi bir yaklaşım sunabilen standart sonlu farklar yöntemini araştırmışlardır (J. G. Maloney ve K. E. Cummings, 1995). Bu nedenle, doğrusal olmayan akustik yayılımının etkilerini tahmin etme yeteneği önem kazanmaktadır (Z. Zhan ve P. Wei 2010). Sayısal benzetim çalışmaları şu anda doğrusal olmayan akustik yayılımı tahmin etmenin en iyi yolu olarak görülmektedir. Zamanda sonlu farklar (FDTD) metodu yayılma problemlerine tam dalga çözümleri sağlamak için uygun sayısal tekniklerden birisidir (D.M. Sullivan, 2000). Kane Yee, tarafından ortaya atılan FDTD yöntemi, güçlü bir sayısal teknik olup, pek çok elektromanyetik problemin çözümünde başarıyla uygulanmakta, akustik dalga simülasyonlarında diğer yöntemlere nazaran giderek yaygın şekilde kullanılmaktadır (K. Yee, 1966). FDTD hesaplamada iyi bir doğruluk sağlarken, nispeten kısa bir sürede hesaplamalar yapılmasına da olanak sağlamaktadır (A. Chaigne ve A. Askenfelt vd.1994). Tek boyutlu çok katmanlı sistemler ile tabakalı sistemlerde özellikle geniş bir elektromanyetik spektrum için iletim kabiliyeti açısından FDTD yöntemi kullanmak avantaj olarak değerlendirilebilir (Carcione vd. 2002). Yöntemin iletken, dielektrik ve doğrusal olmayan kayıplı malzemelerde ki elektromanyetik dalga yayılımının analizinde, dalga kılavuzu modellenmesinde, düzlemsel mikrodalga devre tasarımında, mikroşerit filtre analizinde, aktif ve pasif anten modellenmesi gibi yaygın uygulama alanları vardır (V. Ostashev vd. 2005). Akustik dalgaların sayısal modellenmesi, çeşitli seslerin dinamik durumunu ve yoğunluk parametrelerini içerdiğinden dolayı çok karmaşıktır. Dolayısıyla, son yıllarda FDTD, akustik dalga yayılımının incelenmesi için kullanılacak popüler sayısal tekniklerden birisi haline gelmiştir (L. Beranek, 2009).

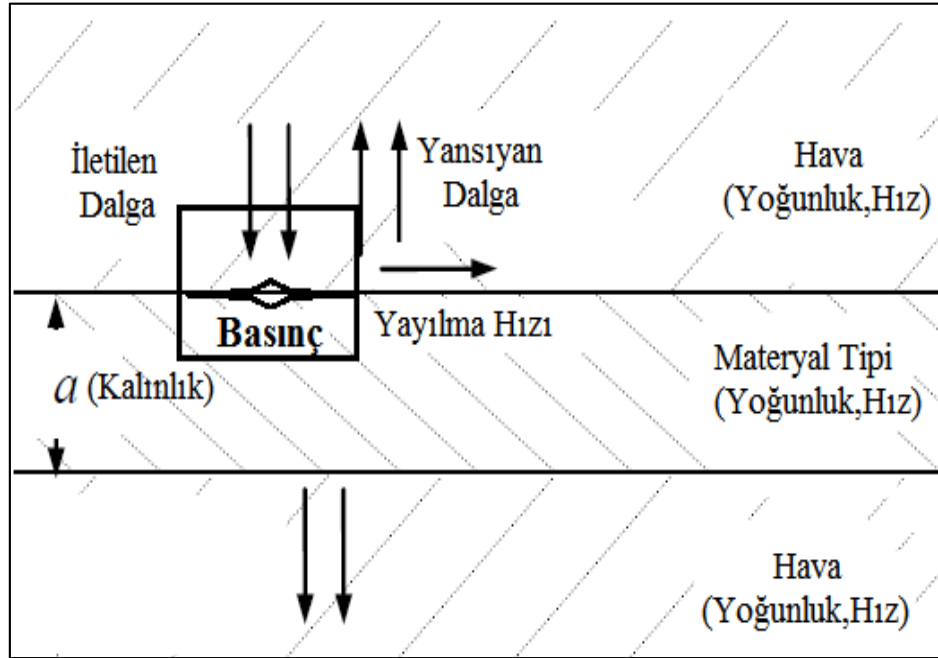
Bu çalışmada gauss dalga modeliyle oluşturulan dalgaların, belirli ortam yüzeylerinde oluşturduğu basınç ve hız değişimleri incelenmiştir. Seçilen bu ortamlar su, metal, bağ dokusu, kas dokusu ve (polietilenin bir türevi olan) plastiktir. Akustik dalgalar (ultrason) ile yapılan bu çalışmada bildirilen verilere bağlı olarak g_a ve g_b (elektriksel dirençleri) değerleri belirlenmiştir. Çalışmanın ana fikri, bu ortamdaki basıncın yayılımını incelemek ve her ortam için geriye doğru hesaplamak, farklı dokulara ve kontrollü kalınlıklara sahip çok katmanlı bir modelin elektriksel özelliklerini oluşturmaktır. Malzemelerin, yoğunluk ve hız katsayılarına göre basınç ve hız denklemleri kullanılarak FDTD metodu ile sonuçlar elde edilmiştir. Ses dalgaları doğa da bulunan malzemeler ile karşılaştığı zaman nasıl davranış göstereceğini tespit etmek ve yeni çözümler aramak için bu analizlere ihtiyaç duyulmaktadır (J. J. Bowman vd. 1987; Bording ve Lines, 1997).

Akustik dalgalar sayısal modellemelerde çok karmaşık dinamik durum ve yoğunluk parametreleri içerdiğinden, bu karmaşık yapının çözümlenmesinde FDTD metodu ile birlikte gauss akustik dalgasının yayılımı kullanılmaktadır (M. N. H. Zahari vd. 2015). Bu çalışmada özellikle örnek bir gauss dalgasının, bağ dokusu ve kas dokusu ile birlikte belirlenmiş cansız ortamlardan su, plastik ve metal yüzeylerinde oluşturduğu, basınç ve hız değişimleri ile ilgili sonuçlar sunulmaktadır. Plastiğin çeşidi olarak ise hidrokarbon yapıda olan polietilen seçilmiştir. Polietilenin seçilmesinin nedeni ise dünyada en yaygın kullanılan termoplastik çeşidi olmasıdır. Günlük hayatımızda ve endüstride oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Basınç ve hız değişimlerine göre elektriksel özellikleri için g_a ve g_b denklemleri oluşturulmuş olup, belirtilen iki denklemde yoğunluk ve hız değerleri yerine konularak akustik dalgaların, incelenen ortamlarda oluşturduğu maruziyet farklılıkları ortaya çıkarılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Prototip Model Gösterimi (Prototype Model)

Modelde iletilen bir akustik dalganın ortam tipine göre yüzeyde oluşturduğu basınç ve yüzeye çarpan dalganın bir kısmının yansıması, bir kısmının iletilmesi ve yüzeye çarpması sonucu yüzeyde oluşturduğu hızın değişimini gösteren model yapısı Şekil. 1 ile gösterilmektedir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan fiziksel model (Physical model configuration of the study)

2.2. Basınç ve Hız Denklemlerinin Çözümü (Solution of Pressure and Velocity Equation)

FDTD yöntemi, herhangi bir ortamda akustik dalga yayılımının elde edilmesini sağlar (Hong Wei Yang vd. 2013). Akustik dalga simülasyonlarıyla ilgili birçok çalışmada bu yöntem kullanılmıştır (Y. Pennec vd. 2013; J. Lovetri vd. 2010; Şükrü Özen vd. 2007). Belirli bir ortamda akustik dalgaların davranışlarını tanımlamak için, birinci mertebeden diferansiyel denklemlerin çıkarılması gereklidir (D.M. Sullivan, 2000).

$$\kappa \frac{\partial}{\partial t} p(\hat{x}, t) = \nabla \cdot \hat{u} \quad (1)$$

$$\rho_0 \rho_r \frac{d}{dt} \hat{u}(\hat{x}, t) = \nabla \cdot p(\hat{x}, t) \quad (2)$$

Burada;

$p(\hat{x}, t)$: Basınç alanı ifadesi [F/m^2] = [$kg/(m \cdot sec^2)$]

$\hat{u}(\hat{x}, t)$: Hız vektörü ifadesi [m/s]

ρ_0 : Dalga kaynağının referans alınan yoğunluk ifadesi

ρ_r : Dalganın göreceli(materyal) yoğunluğu

κ : Dalganın ortalama sıkıştırma oranı ($\kappa=1/\rho_0 \cdot \rho_r \cdot c^2$)

c: Dalganın ortalama hızı [m/s^2]

Denklem (1) için aşağıdaki genel denklem ifadesi yazılır:

$$\frac{\partial p(x,y,z,t)}{\partial t} = \frac{1}{\kappa(x,y,z)} \left[\frac{\partial u_x(x,y,z,t)}{\partial x} + \frac{\partial u_y(x,y,z,t)}{\partial y} + \frac{\partial u_z(x,y,z,t)}{\partial z} \right] \quad (3)$$

Elektromanyetik dalgalar, FDTD algoritması ile Kane Yee'nin ortaya çıkardığı Yee hücrelerinin yapısı ile analiz edilmektedir (K. Yee, 1966). Akustik dalgalar için de benzer analiz yöntemi Sullivan tarafından tanımlanmıştır (D.M. Sullivan, 2000). Bu hücrelerin yapısı birbirinden farklıdır. Her bir fark geçiş pozisyonları için hız vektörü bileşenleri oluşturulur. Skaler basınç alan değerleri hücrelerin düğümlerinde oluşmaktadır. Sullivan tarafından

tanımlanan Yee hücreleri akustik dalgaların yayılımını açıklamak için denklemler (1) ve (2) zaman ve konum üzerinde ayırt edilmelidir. Konum ve zaman ayırımı yapılan bu denklemlerden sonra, basınç ve hız denklemleri elde edilir:

$$p^{(n+1/2)}(i, j, k) = p^{(n-1/2)}(i, j, k) + \frac{\Delta t \cdot \rho_0 \cdot \rho_r \cdot c^2}{\Delta x} \cdot [u_x^n(i + 1/2, j, k) - u_x^n(i - 1/2, j, k)] + \frac{\Delta t \cdot \rho_0 \cdot \rho_r \cdot c^2}{\Delta y} \cdot [u_x^n(i, j + 1/2, k) - u_x^n(i, j - 1/2, k)] + \frac{\Delta t \cdot \rho_0 \cdot \rho_r \cdot c^2}{\Delta z} \cdot [u_x^n(i, j, k + 1/2) - u_x^n(i, j, k - 1/2)] \quad (4)$$

Hız vektör denklemi:

$$u^{(n+1/2)}(i, j, k) = u^{(n-1/2)}(i, j, k) + \frac{\Delta t}{\rho_r(i+1/2, j, k) \cdot \rho_0 \cdot \Delta x} \cdot [p^n(i + 1, j, k) - p^n(i, j, k)] + \frac{\Delta t}{\rho_r(i, j+1/2, k) \cdot \rho_0 \cdot \Delta y} \cdot [p^n(i, j + 1, k) - p^n(i, j, k)] + \frac{\Delta t}{\rho_r(i, j, k+1/2) \cdot \rho_0 \cdot \Delta z} \cdot [p^n(i, j, k + 1) - p^n(i, j, k)] \quad (5)$$

Denklemlerde (3) ve (4) 'ün üç boyutlu uzay, {p, u} basınç alanı tarafından yapılan p(x, t) ve hız alanı u(x, t) olarak tanımlanır. Belirli bir alanda oluşturduğu hücreler için bu denklemler sayesinde çözümler yapılır. Bu hücreler, üç boyutlu uzayda lokalize sorunu göz önüne alındığında kullanılan genel çözümlerdir. Bu çalışmada incelenen bir boyutta olan akustik dalga için kullanılan basınç ve hız denklemleri:

$$p^{(n+1/2)}(k) = p^{(n-1/2)}(k) + ga(k) \cdot [u_z^n(k + 1/2) - u_z^n(k - 1/2)] \quad (6)$$

$$u_z^n(k + 1/2) = u_z^n(k + 1/2) + gb(k + 1/2) \cdot [p^{(n+1/2)}(k + 1) - p^{(n+1/2)}(k)] \quad (7)$$

Buradan basınç ve hız denklemleri için 'ga' ve 'gb' katsayıları her bir materyal için verilen yoğunluk ve hız değerlerine göre hesaplanır. Burada z değeri sistemin tercih edilen eksenlerinden biridir.

$$ga(k) = \frac{\Delta t \cdot \rho_0 \cdot \rho_r \cdot c^2}{\Delta z} \quad (8)$$

$$gb(k + 1/2) = \frac{\Delta t}{\rho_0 \cdot \rho(k+1/2) \cdot \Delta z} \quad (9)$$

Yukarıdaki diferansiyel denklemlerdeki görülen zaman adımı t 'nstep' olarak ifade edilir. Aynı kural konuma bağlı adım için yani hücre sayıları için de geçerlidir.

$$\Delta z \leq \frac{\Delta t}{c_{max}} \quad (10)$$

$$\Delta z = \frac{\Delta t}{10^4} \quad (11)$$

Kararlılık koşulu sebebiyle C_{max} değeri bu çalışmada 10^4 alınarak işlemler yapılmış ve her bir ortam için farklı g_a ve g_b değerleri bulunmuştur. Bulunan g_a ve g_b değerleri basınç ve hız denklemlerinde yerine konularak toplam basınç ve hız değişimleri elde edilmiştir.

Tablo 1. Belirli ortamların akustik dalga özellikleri (Acoustic wave properties of specific environments)

Materyaller	Yoğunluk (kg/m ³)	Hız (m/s)
Su (20°C)	1000	1481
Hava (20°C)	1,19	343
Metal	7800	5900
S-Oil	2500	1000
Polietilen(Plastik)	950	0.33
Bağ Dokusu	1027	1545
Kas Dokusu	1090	1588,4

Tablo 2. Farklı Ortamlar için bulunan basınç ve hız denklemleri için hesaplanan katsayılar (Calculated coefficients for pressure and velocity equations obtained for different environments) (D.M. Sullivan, 2000)

Materyaller	Basınç Denklemi (ga)	Hız Denklemi (gb)
Su (20°C)	2,25x10 ⁵	6,67x10 ⁻⁸
Hava (20°C)	14,235	8,264x10 ⁻⁵
Metal	27,15x10 ⁶	1,282x10 ⁻⁸
S-Oil	2,5x10 ⁵	4x10 ⁻⁸
Polietilen(Plastik)	0,01	1,052x10 ⁻⁷
Bağ Dokusu	2,45x10 ⁵	9,737x10 ⁻⁸
Kas Dokusu	2,75x10 ⁵	9,174x10 ⁻⁸

3. Simülasyon Çalışmaları (Simulation Studies)

3.1. Gauss Dalga Modeli (Gauss Wave Model)

FDTD yönteminde zaman ve konum ayrıştırması yapılır. Courent sayısı, herhangi bir frekansta kaynak için dalga boyu başına simülasyon davranışlarını inceleyecektir. Burada kullanılan Gauss nabız dalgasıdır (Nesvijski vd. 2007). FDTD simülasyonu içinde doğru mekânsal türevleri hesaplamak için kaynak, küçük bir alanda tek nokta kaynağı olarak modellenmesi gerekir. Bu nedenle Şekil. 2' de gösterilen gauss (nabız) darbe kaynağı kullanılmıştır (M. N. H. Zahari vd. 2015).

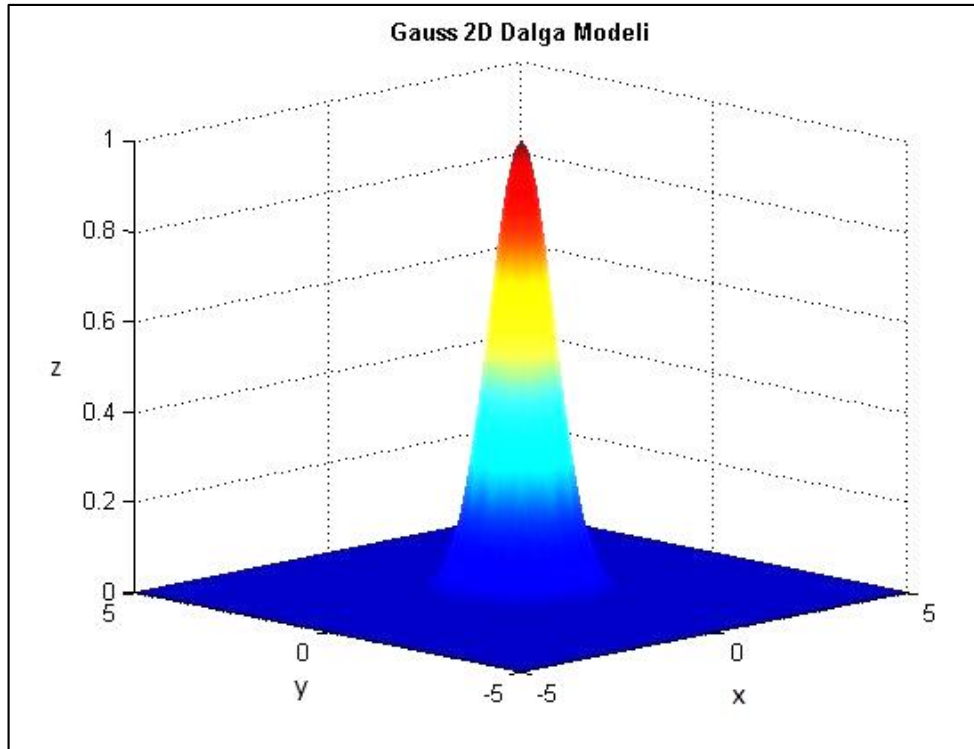
Gauss Dalga Denklemi (Weisstein, Eric W, 2013; Hongwei Guo, 2011; N. Hagen vd. 2007):

$$A(x) = \alpha \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-b}{c}\right)^2} \quad (12)$$

$$\alpha = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \quad (13)$$

Burada;

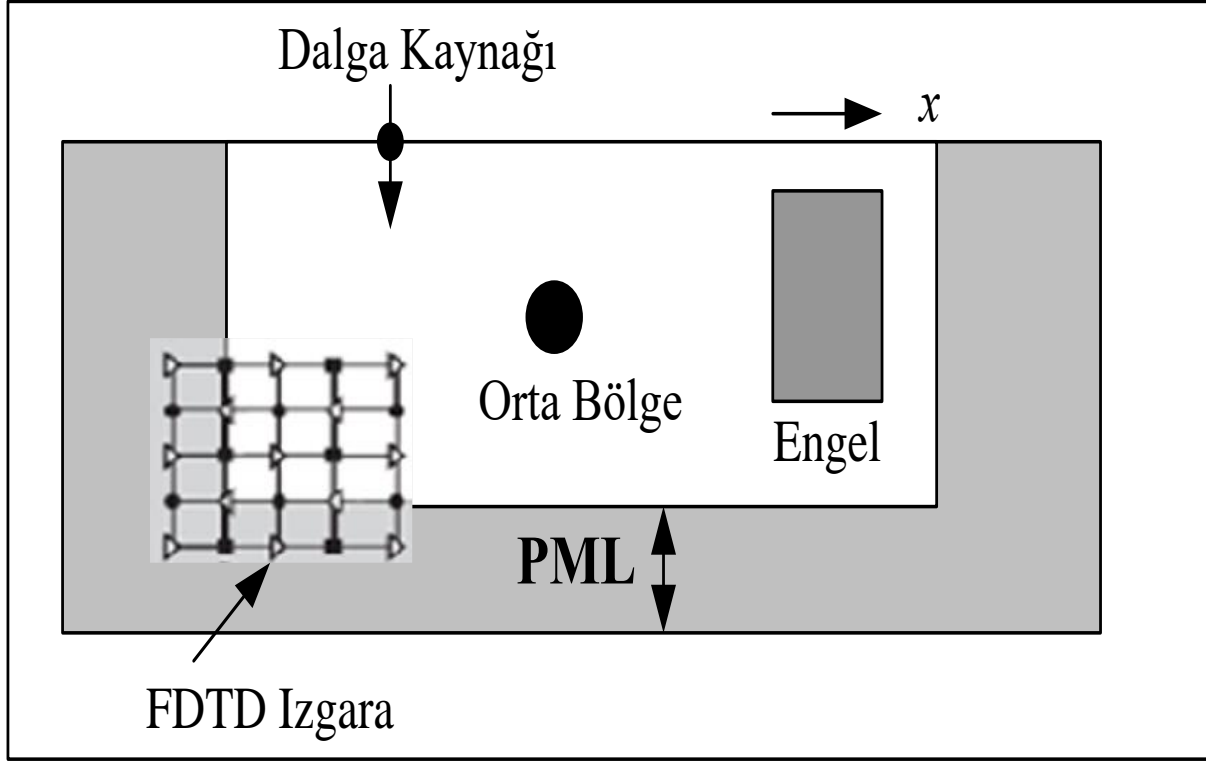
- α : Dalganın zirve yüksekliği,
- b (μ): Dalganın tepe (max) değeri,
- c (σ): Dalganın standart sapması.



Şekil 2. Gauss dalga modelinin 2D boyutlu gösterimi (2D representation of the Gaussian wave model)

3.2. Mükemmel Uyumluluk Katmanı (Perfectly Matched Layer, PML)

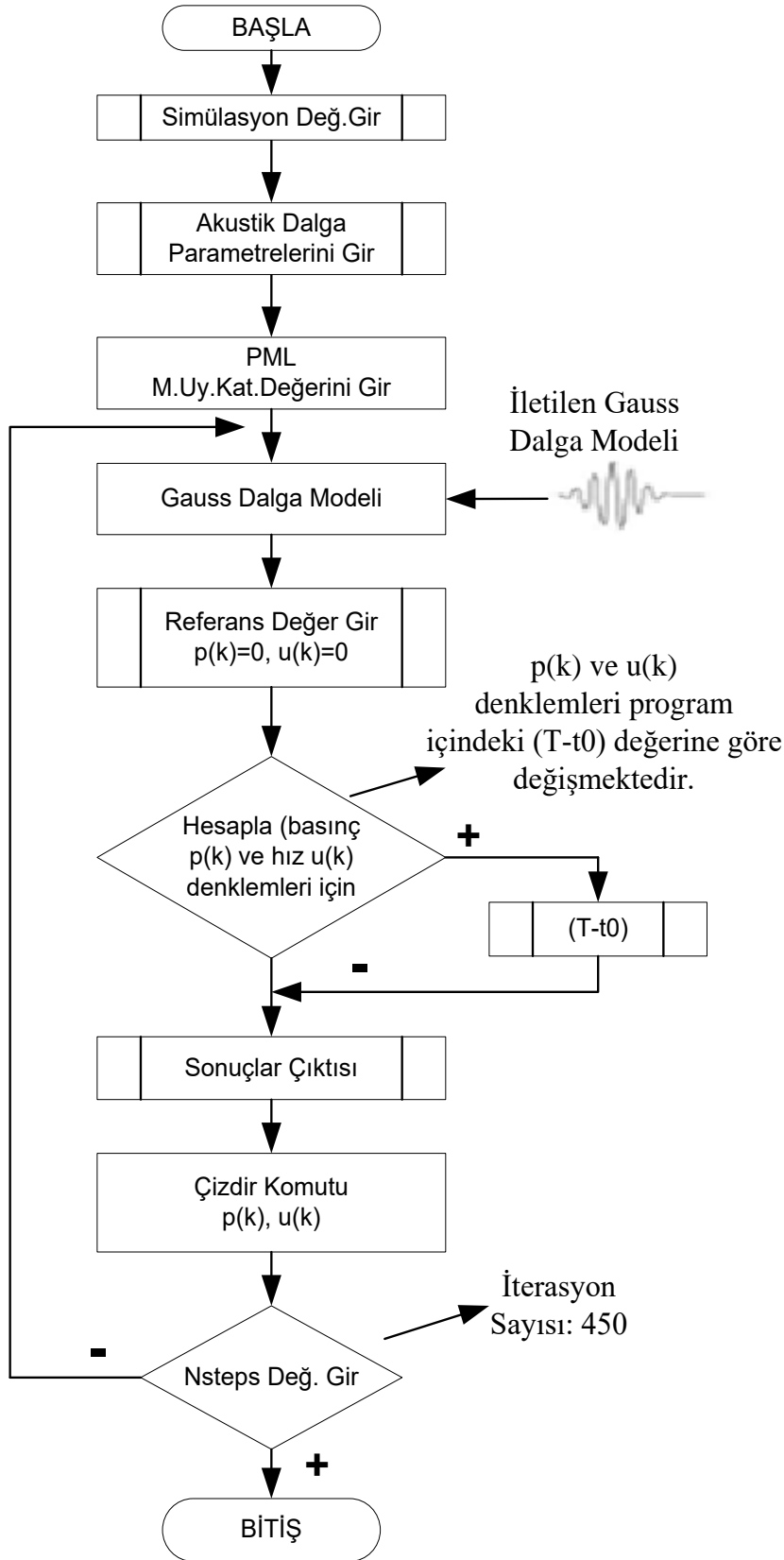
Mükemmel uyumluluk katmanı, her zaman sonsuz büyüklükte bir alan veya uygulanan dalga yayılımı simülasyonları için sınır koşulunu sağlayan önemli bir parametredir (J.-E Berenger, 1994). PML ile bölünmüş alanlar, tek boyutta olan elektromanyetik dalgaların analizinde kullanılır (Turkel E ve Yefet A, 1998; W. C. Chew ve W. H. Weedon, 1994; S.D. Gedney, 1996). Çalışmada incelenen akustik dalga problemlerinin analizi için de Şekil. 3' de gösterilen PML' nin fiziksel yapısı kullanılmıştır (Turkel E ve Yefet A, 1998; Liu Q H ve Tao J, 1997; Abarbanel S vd. 1999). FDTD metodu için kullanılmasının nedeni ise belirli bir sınır koşulu ile hesaplamaların daha az işlemle yapılmasını sağlamaktadır (M. N. H. Zahari vd. 2015).



Şekil 3. Tek boyutta FDTD hücrelerine göre pml' nin fiziksel yapısı (Pml physical structure based on one-dimensional FDTD cells)

3.3. Algoritma Uygulaması (Algorithm Implementation)

FDTD metodu ile akustik dalgaların analizi için yapılan bu çalışma, MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. Uygulamada kullanılan algoritma yapısı ve algoritma akışına göre denklemlerin çözümünde kullanılan iterasyon yapısı Şekil. 4' de görülmektedir.

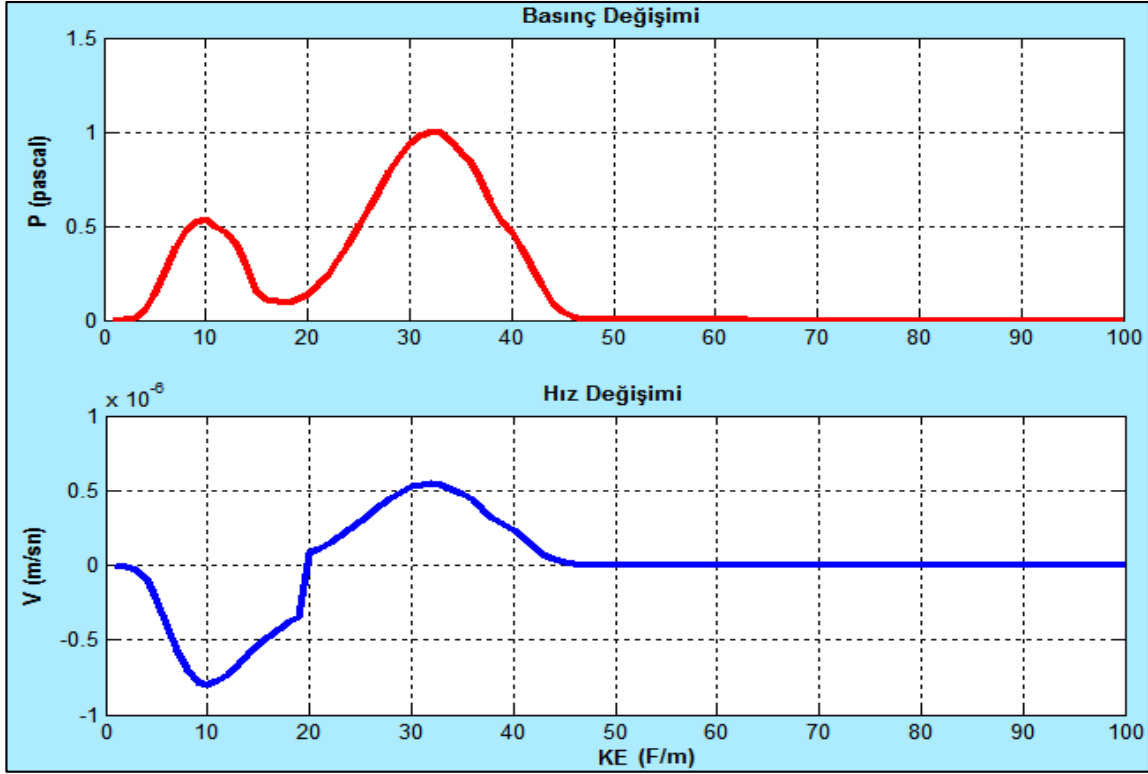


Şekil 4. Akustik dalgaların FDTD ile hesaplanmasını sağlayan programa ait akış şeması (The flowchart of the program calculates the acoustic waves using FDTD method)

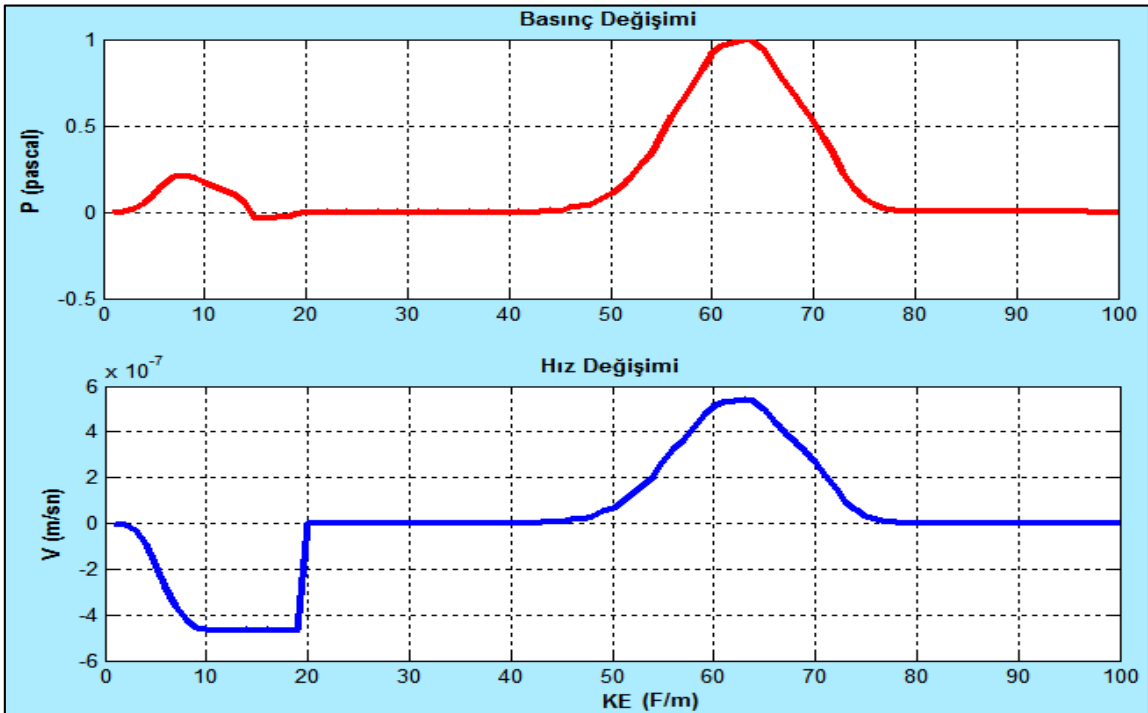
4. Deneysel Sonuçlar(Experimental Results)

Bu çalışmada akustik (ses) dalga iletimini sağlayan kaynaktan çıkan dalgaların ilk önce hava ortamından geçerek farklı ortamlardan oluşan aynı kalınlıktaki her bir katmana çarparak yüzeyde oluşturduğu basınç ve hız değerleri incelenmiştir. Aynı ortam frekansında, malzemeler için belirlenmiş, dielektrik sabiti olan KE (F/m) değeri 100, t

değeri 150, iterasyon (*nstep*) sayısı 450 ve PML değeri 15 olarak belirlenmiştir. Bütün katmanlar için aynı değerler alınarak ses dalgalarının basınç ve hız değerleri incelenmiştir. Ancak su ve kas doku katmanları için iki iterasyon uygulanmıştır (*nstep*:200, 450). FDTD benzetim sonuçları Şekil 5,6,10 ve 11' de verilmiştir.

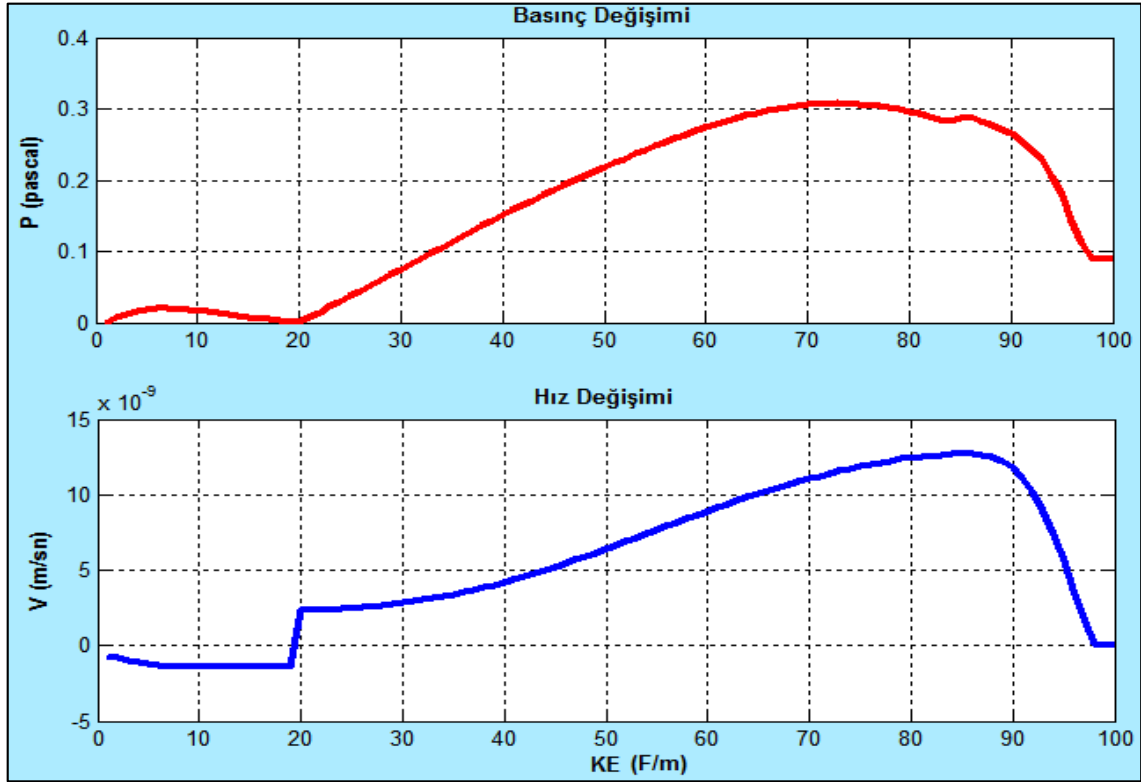


Şekil 5. Akustik (ses) dalgaların su katmanına çarpması sonucu oluşan basınç ve hız değişimi (The pressure and velocity alterations caused by acoustic (sound) waves hitting the water layer) (*nstep* = 200)



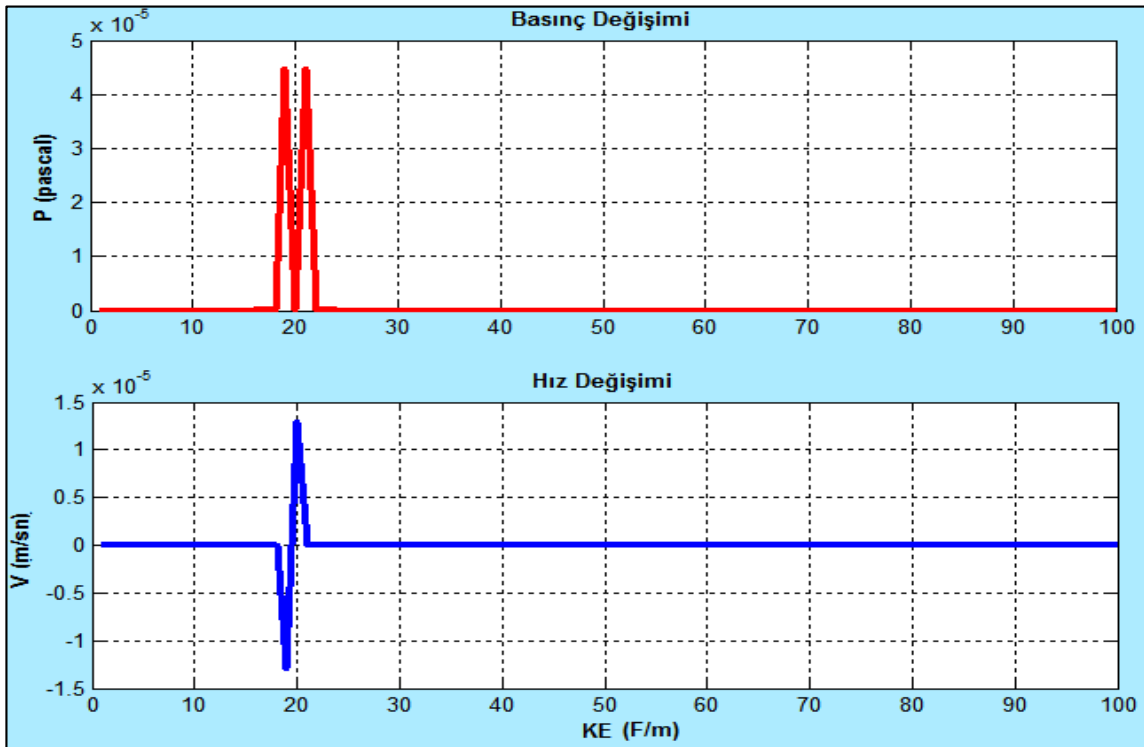
Şekil 6. Akustik dalgaların su katmanına çarpması sonucu oluşan basınç ve hız değişimi (The pressure and velocity alterations caused by acoustic waves hitting the water layer) (*nstep* = 450)

Cansız ortamlardan metal ve polietilen(plastik) yapıdaki katmanlar için yapılan FDTD benzetim sonuçları Şekil. 7 ve Şekil. 8' de görülmektedir.



Şekil 7. Akustik dalgaların metal katmanına çarpması sonucu oluşan basınç ve hız değişimi (The pressure and velocity changes caused by acoustic (sound) waves hitting the metal layer) (nstep = 450)

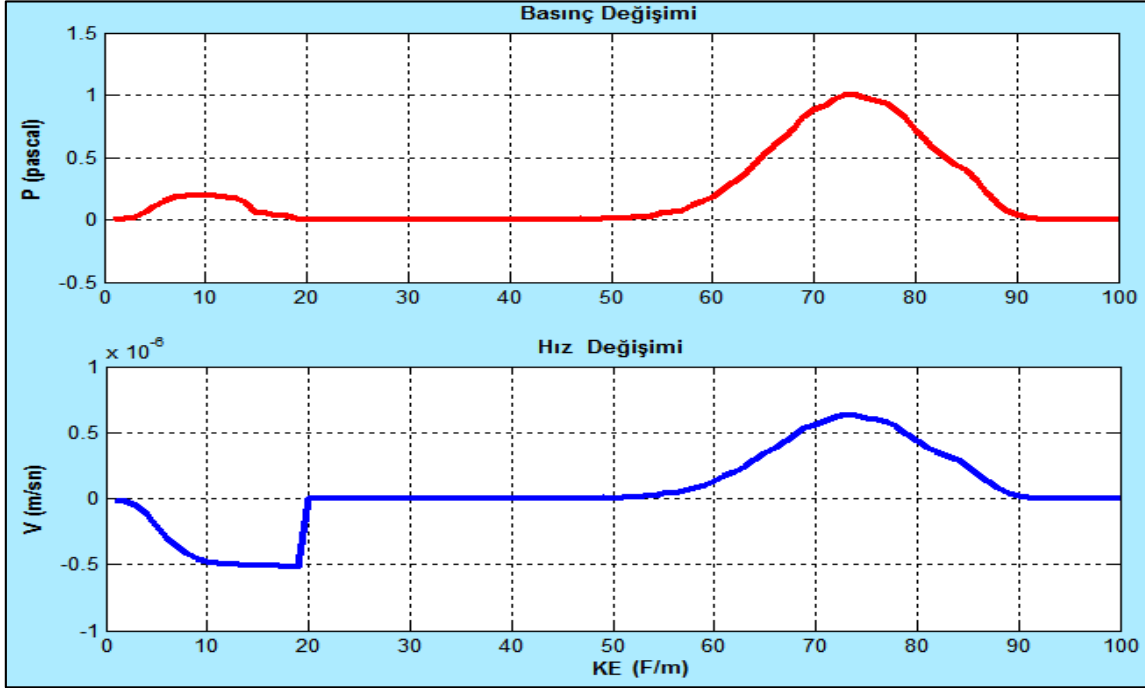
Şekil. 7' de anlaşılıyor ki akışkanlık ve materyallerin atomik yapısı hız-basınç değişimini etkileyen özelliklerden birisidir. Çünkü metalin basınç denklemindeki (Denklem 6' da gösterilmiştir.) 'ga' direnç katsayısı yüksektir. Bu nedenle hız değişimi en düşük çıkmıştır.



Şekil 8. Ses dalgalarının polietilen (plastik) katmanına çarpması sonucu oluşan basınç ve hız değişimi (The pressure and velocity changes caused by acoustic (sound) waves hitting the polyethylene (plastic) layer) (nstep = 450)

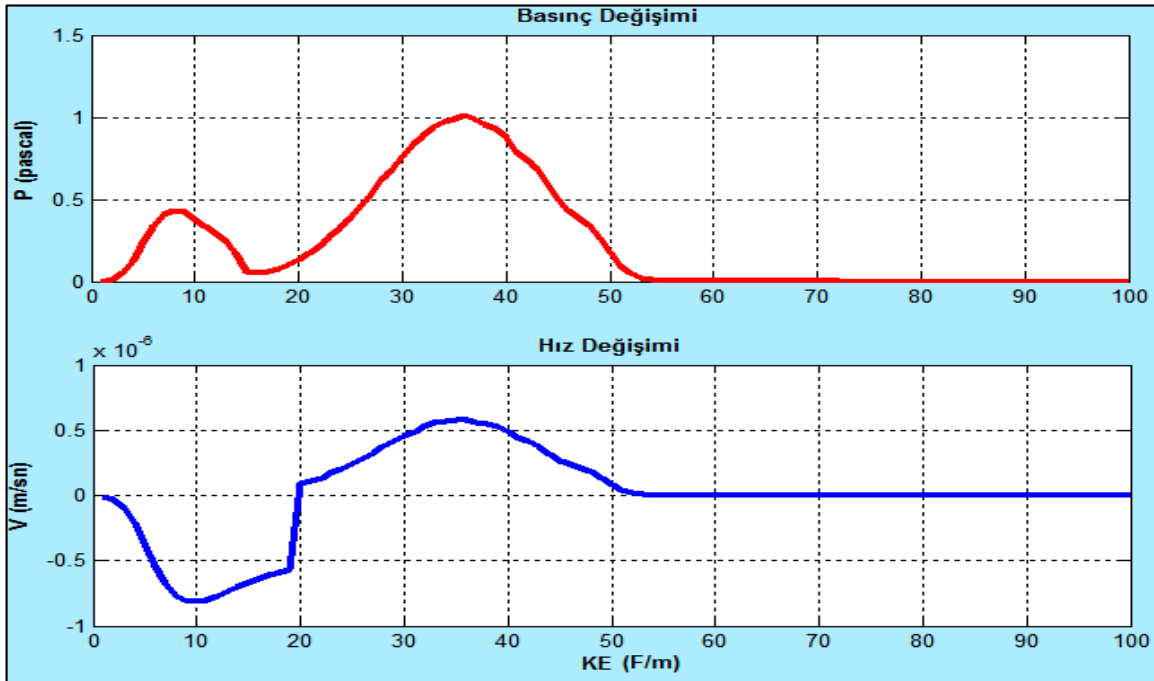
Çok karbonlu yapıda olan polietilen, yapısındaki karbonun çok kuvvetli bağlar oluşturması nedeniyle kimyasal olarak basınç değişimi en düşük çıkmıştır. Elektriksel olarak 'ga' direnç katsayısı en düşük olan polietilen yapıdaki

plastik katmanında ise basınç değişimi en düşük çıkmıştır. Şekil. 8' de gösterilen akustik (ses) dalgalarının en az yayıldığı ortam, polietilen yapıdaki plastik katmanlardır. Canlı ortamlar olarak genellikle ultrason dalgalarına maruz kalan doku türlerinden olan bağ dokusu ile kas dokusunun ses dalgalarına karşı davranışı incelenmiştir. Canlı ortamların genellikle 'ga' ve 'gb' katsayıları birbirine yakın olduğu hesaplamalarla tespit edilmiştir. Bunun sonucunda elde edilen FDTD benzetim sonuçlarının birbirleri ile tutarlı oldukları görülmektedir.

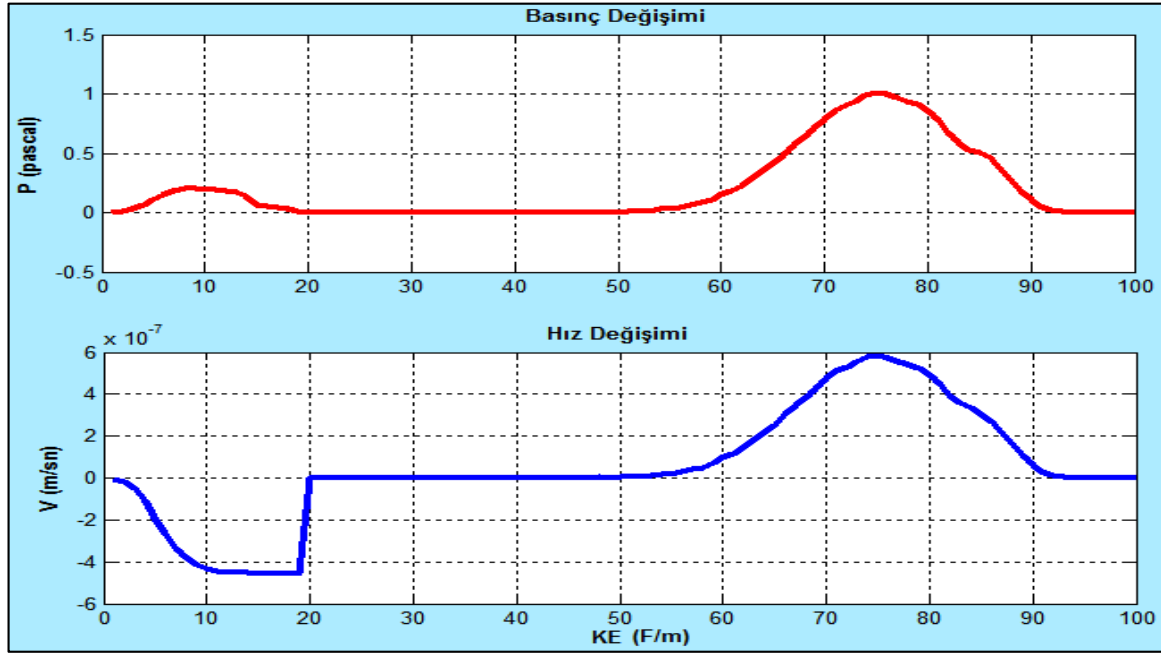


Şekil 9. Akustik dalgaların bağ dokusu katmanına çarpması sonucu oluşan basınç ve hız değişimi (The pressure and velocity changes caused by acoustic waves hitting the connective tissue layer) (nstep = 450)

Şekil. 9 ve Şekil. 11' de elde edilen sonuçların birbirleri ile oldukça yakın oldukları görülmektedir. Bunun nedeni kas ve bağ dokusu için hesaplanan elektriksel özelliklerden 'ga' ve 'gb' değerlerinin birbirine yakın çıkmış olmalarıdır (Tablo. 2). Ayrıca Şekil 5, 6, 10 ve 11' de görüldüğü üzere iterasyon sayısı arttıkça dalgaların yayılım hızları artmaktadır.



Şekil 10. Akustik dalgaların kas dokusu katmanına çarpması sonucu oluşan basınç ve hız değişimi (The pressure and velocity changes caused by acoustic waves hitting the muscle tissue layer) (nstep = 200)



Şekil 11. Akustik dalgaların kas dokusu katmanına çarpması sonucu oluşan basınç ve hız değişimi (The pressure and velocity changes caused by acoustic waves hitting the muscle tissue layer) (nstep = 450)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada aynı frekanslarda olan ses dalgalarının eşit kalınlıktaki farklı katmanlara çarpması sonucu yüzeylerinde oluşturduğu dalga yayılımı (propagation) incelenmiştir. İncelenen yapı için yüzey üzerinde oluşan toplam akustik basınç seviyesi, yayılım ve hız seviyesine ilişkin değişim karakteristikleri elde edilmiştir. Hangi katmanlarda basınç ve hız değerlerinin yüksek olduğu, hangi katmanlarda bu değerlerin düşük olduğu ve sesin incelenen katmanlardan hangisinde daha iyi yayıldığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca örneklenen gauss ses dalgasının analizinde iterasyon sayısı arttıkça yayılım değerinin de arttığı tespit edilmiştir. Metal yapı katmanlarda ise sesin yayılımının kolay olduğu ancak sesin oluşturduğu hız değerinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Çünkü metalin basınç denklemindeki 'ga' direnç katsayısı yüksek çıkmıştır. Basınç değeri, 0.33 Pa olarak tespit edilmiştir. Polietilen yapı katmanlarda ise sesin oluşturduğu basıncın etkisinin düşük olduğu görülmektedir. Bundan dolayı sesin polietilende oluşturduğu hız aniden sönümlenmiştir. Basınç değeri 39,5 μ Pa olarak tespit edilmiştir. Bu durum sesin diğer katmanlarda oluşturduğu akustik basınç değerleri arasında en düşük basınç değeridir. Canlı dokulardan bağ dokusu ve kas dokusu üzerinde yapılan incelemede ise bir ses dalgasının bu iki doku üzerinde benzer sonuçlar gösteren basınç ve hız değerleri oluşturduğu gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlarda kas dokusu ve bağ dokusu üzerinde ses dalgasının oluşturduğu maksimum basınç değeri (1~1.3) Pa olarak tespit edilmiştir. Ayrıca ses dalgasının aynı şartlar altında bağ dokusunda oluşturduğu yayılma hızının ($V_{bağ}=0,63 \mu\text{m/sn}$) kas dokusunda oluşturduğu yayılma hızından ($V_{kas}=0,58 \mu\text{m/sn}$) büyük olduğu da görülmektedir. Yapılan çalışma ile canlı ve cansız ortamlar için akustik dalgaların hız ve basınç parametreleri ve etkilerinin analizinde FDTD metodunun etkili bir araç olarak kullanılabileceği, bu alandaki çalışmalar için efektif benzetim sonuçlarının elde edilebileceği gösterilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma, biyolojik dokularda akustik maruziyet analizlerinde, gürültülü mekân tasarımlarında, ekranlama problemlerinde ve vibro-akustik analizleri vb. yapılacak ileri çalışmalara ışık tutacaktır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- A. Chaigne, A. Askenfelt, Numerical simulations of piano strings-Part I: a physical model for a struck string using finite difference methods, *Journal of the Acoustical Society of America* 95/2 (1994) 1112-1118.
- Abarbanel S, Gottlieb D, Hesthaven J S, Well-posed perfectly matched layers for advective acoustics, *Journal of Computational Physics*, 1999, 154(2) 266-283.
- Bording, R. P. and Lines, L. R. 1997. Seismic modeling and imaging with the complete wave equation. SEG Course Notes N8.
- Carcione, J. M., Herman, G. C., and ten Kroode, A. P. E. 2002. Y2K review article: Seismic modeling. *Geophysics*67, pp. 1304-1325.

- D. Razansky, P. D. Einziger, and D. R. Adam, Increased Acoustic and Electromagnetic Energy Deposition in a Layered Tissue Model, Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS, San Francisco, CA, USA, September 1-5, 2004.
- D.M. Sullivan, Electromagnetic simulation using the FDTD method, IEEE Press, 2000.
- Hong Wei Yang, Ze Kun Yang, Jian Xiao Liu, Ai Ping Li, Xiong You, A novel DGS microstrip antenna simulated by FDTD, Optik 124/16 (2013) 2277-2260.
- Hongwei Guo, A simple algorithm for fitting a Gaussian function, IEEE Sign. Proc. Mag. 28(9): 134-137 (2011).
<https://itis.swiss/virtual-population/tissue-properties/database/acoustic-properties/> Date of Access: 20 March 2020.
<https://itis.swiss/virtual-population/tissue-properties/database/acoustic-properties/> Date of Access: 20 March 2020
- J. G. Maloney and K. E. Cummings, Adaptation of FDTD techniques to Acoustic modeling, 11th Annual Review of Progress in Applied Computational Electromagnetic, Monterey, CA, vol. 2, March 1995, pp. 724-731.
- J. J. Bowman, T. B. A. Senior, and P. L. E. Uslenghi, Electromagnetic and Acoustical Scattering by Simple Shapes. New York, Hemisphere, 1987.
- J. Lovetri, D. Mardare, G. Soulodre, Modeling of the seat dip effect using the finite-difference time-domain method, Journal of the Acoustical Society of America 100 (1996) 2204-2212.
- J.-E Berenger, A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves, J. Comput. Phys. 1994, 114. 185-200.
- K. Yee, Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media, IEEE Transactions on Antennas and Propagation 14/3 (1966) 302-307.
- L. Beranek, Acoustics, New York, McGraw-Hill, 1954
- Liu Q H, Tao J, The perfectly matched layer for acoustic waves in absorptive media, The Journal of the Acoustical Society of America, 1997, 102(4): 2072-2082.
- M. N. H. Zahari, S. H. Dahlan and A. Madun, A review of acoustic FDTD Simulation technique and its application to underground cavity detection, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, vol. 10, no.19, October 2015, Malaysia.
- N. Hagen, M. Kupinski, and E. L. Dereniak, Gaussian profile estimation in one dimension, Appl. Opt. 46:5374-5383 (2007).
- S.D. Gedney, An anisotropic perfectly matched layer absorbing media for the truncation of FDTD lattices, Antennas and Propagation, IEEE Transactions, 1996, 44 (12): 1630-1639.
- Sukru Ozen, Selcuk Helhel, and O. Halil Colak, Electromagnetic Field Measurements of Radio Transmitters in Urban Area and Exposure Analysis, Microwave and Optical Technology Letters / Vol. 49, No. 7, July 2007.
- Tauseef Qamar Dmrd, Mtidu, Musp, Member American Institute of Ultrasound in Medicine, Punjab Ultrasound Society, 2014, ICEAF (USA).
- Turkel E, Yefet A, Absorbing PML boundary layers for wave-like equations, Applied Numerical Mathematics, 1998, 27(4): 533-557.
- V. Ostashev, D. Wilson, L. Liu, D. Aldridge, N. Symons, D. Marlin, Equations for finite-difference time-domain simulation of sound propagation in moving inhomogeneous media and numerical implementation, Journal of the Acoustical Society of America 117 (2005) 503-517.
- W. C. Chew and W. H. Weedon, A 3d perfectly matched medium from modified Maxwell's equations with stretched coordinates, Microwave Optical Tech. Letters, 1994, 7 (13): 599-604.
- Weisstein, Eric W. "Fourier Transform-Gaussian". MathWorld. Retrieved 19 December 2013.
- Y. Pennec, J.O. Vasseur, B. Djafari-Rouhani, L. Dobrzynski, P.A. Deymier, Two-dimensional phononic crystals, Examples and application, Surface Science Reports, 65/8, 2010, 229-291.
- Z. Zhan, P. Wei, Influences of anisotropy on band gaps of 2D photonic crystal, Acta Mechanica Solida Sinica 23/2, 2010, 181-18.
- Zhang, H., Liu, B., A New Genetic Algorithm for Order-Picking of Irregular Warehouse. International Conference on Environmental Science and Information Application Technology, 1, 2009, 121-124.