

Cantor Dizilimli Çok Katmanlı Akustik Panel Tasarımı

İrem Kaya¹, Çiğdem Seçkin Gürel²

¹Havelsan A.Ş., Çankaya, Ankara, ²Hacettepe Üniversitesi
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Beytepe, Ankara

ikaya@havelsan.com.tr, cigdem@hacettepe.edu.tr

Özet: Bu çalışmanın amacı, elektromanyetik dalga ve ses dalgasının bazı ortak özelliklerinden yola çıkılarak, Cantor serisinin farklı kademelerine göre dizilmiş çok-katmanlı, ses yutucu ve yansıtıcı yeni akustik paneller oluşturulması ve davranışlarının incelenmesidir. Analizde, katman malzemesi olarak gözenekli ve elastik olmak üzere iki farklı malzeme kullanılmıştır. Sonuçlar çok-katmanlı ortamlarda elektromanyetik dalga yayılımını modellemekte kullanılan Transfer Matrisi Metodu (TMM) ile elde edilmiştir. Yüzeye dik olarak gelen akustik dalga durumu için yüzeylerin yansıma ve emilim özellikleri incelenerek, akustik performansları tartışılmış ve elde edilen yeni sonuçlar literatüre sunulmuştur.

Abstract: In this study, depending on common properties of electromagnetic wave and sound wave, design and analysis of sound absorbing and reflecting new multilayer acoustic panels arranged according to different stages of Cantor series are aimed. In the analysis, two different materials, porous and elastic, are used as layer materials. Results are obtained by using Transfer Matrix Method (TMM), which has been used to model electromagnetic wave propagation in multilayer media. For normal incidence case, reflection and absorption properties of the surfaces are discussed and obtained new results are presented to the literature.

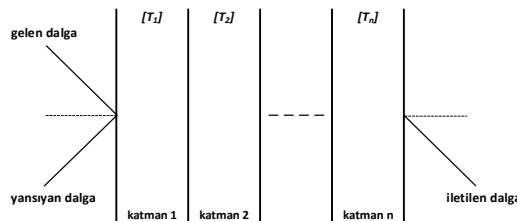
1. Giriş

Savunma sanayinde ve günlük birçok uygulamalarda ses yalıtımı önemlidir. Son yıllarda çok-katmanlı düzlemsel yutucu yüzeyler farklı malzemeler kullanılarak tasarlanmakta ve çeşitli ses yalıtım uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu uygulamaların gereksinimlerine uygun tasarımın bulunmasında katmanların dizilimi ve malzeme özelliklerinin doğru belirlenmesi önemlidir. Literatürde yer alan çalışmaların bazılarında Fibonacci serilerine göre katman dizilimi yapılarak yüzeylerin kademe sayısı arttıkça daha iyi ses yalıtımı sağladığı gösterilmiştir [1-3].

Bu çalışmada ise gözenekli ve elastik malzemeler kullanılarak, katmanları Cantor fraktal serilerine göre dizilmiş çok-katmanlı yeni akustik yüzey yapıları tasarlanmış ve bu yüzeylerin ses yutma ve yansıma davranışları incelenmiştir. Literatürde birçok farklı katman dizilimine sahip akustik yüzey tasarlanmış olmakla birlikte Cantor dizilimi ilk defa bu çalışmada denenmiş, incelemede çok-katmanlı ortamlarda elektromanyetik dalga yayılımının modellenmesinde sıkça kullanılan Transfer Matris Metodu'ndan (TMM) yararlanılmıştır. Tasarlanan yeni akustik yüzeyin, yüzeye dik olarak gelen ses dalgasına gösterdiği yansıma ve emilim davranışı incelenmiş ve önerilen yeni yapının güncel uygulamalar için sağlayacağı ses yalıtım özellikleri tartışılmıştır.

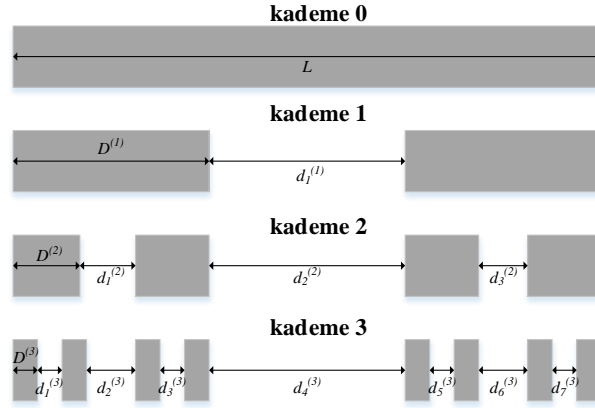
2. Formülasyon

Çok-katmanlı akustik panel yapısı Şekil 1'de gösterilmiş, katman malzemesi olarak elastik ve gözenekli malzemeler seçilmiş, malzemelerin sırası Cantor fraktal serisine göre belirlenmiştir.



Şekil 1. Çok-katmanlı akustik panel yapısı.

Bu çalışmada katmanların diziliminde kullanılan Cantor serisi fraktal yapıda olup benzer yapıların daha küçük bir ölçekleme işlemiyle tekrarlanmasıyla elde edilmektedir. Cantor serisinde farklı kademelerin üretilmesi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Cantor serisinde farklı kademelerin üretilmesi

(kademe 0, $L=40.5mm$; kademe 1, $D^{(1)}=d_1^{(1)}=13.5mm$; kademe 2, $D^{(2)}=d_1^{(2)}=d_3^{(2)}=4.5mm$, $d_2^{(2)}=13.5mm$; kademe 3, $D^{(3)}=d_1^{(3)}=d_3^{(3)}=d_5^{(3)}=d_7^{(3)}=1.5mm$, $d_2^{(3)}=d_6^{(3)}=4.5mm$, $d_4^{(3)}=13.5mm$).

Bu çalışmada yer alan N katmanlı akustik yüzey yapısında Cantor serilerinin birinci, ikinci ve üçüncü kademelerine göre katmanlar dizilerek farklı yüzeyler tasarlanmıştır. Yapıların yansımaya ve emilim katsayıları TMM kullanılarak elde edilmiştir [4]. TMM metoduna göre her katman bir matrisle ifade edilmekte $[T_i]$ ve yapının toplam matrisi $T = T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \dots T_N$ ile hesaplanmaktadır. Yapıdan oluşan yansımaya ifade eden yansımaya katsayısı R olarak ifade edilmiştir.

$$R = \frac{Z_a - Z_b}{Z_a + Z_b} \quad (1)$$

Burada Z_a çok-katmanlı panelin karakteristik yüzey empedansı Z_b ise ses dalgasının ilerlediği ortamın karakteristik empedansı göstermektedir. Z_a değeri, yapının $[T]$ matrisinin köşe elemanları kullanılarak hesaplanmaktadır [4].

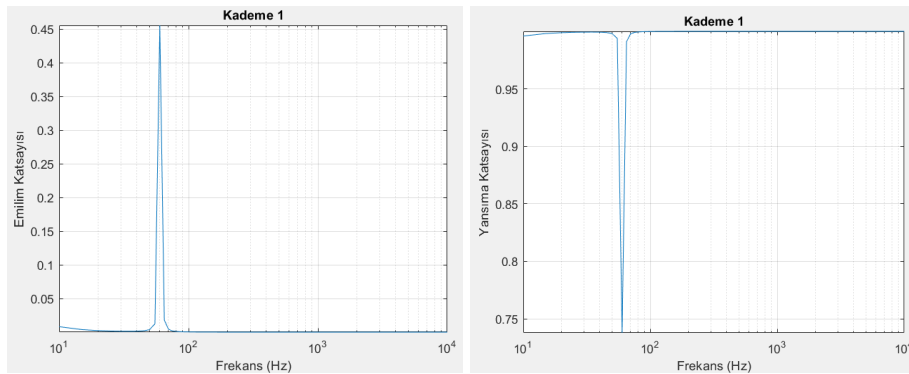
3. Sonuçlar

Şekil-1’de verilen çok-katmanlı akustik yüzey yapısını oluşturan malzemeler, gözenekli malzeme "A" ve elastik malzeme "B" olarak seçilmiş ve temel akustik özelliklerine Tablo 1’de yer verilmiştir.

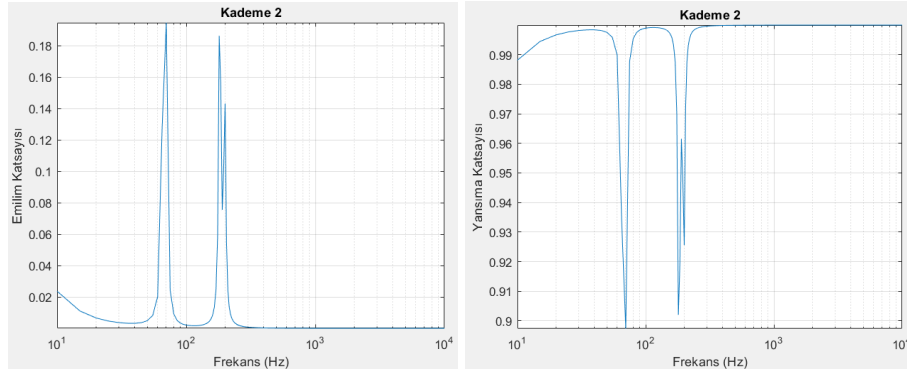
Tablo 1. Test edilen elastik ve gözenekli malzemenin temel özellikleri.

A: Elastik Malzeme		B: Gözenekli Malzeme	
Yoğunluk	7700 kg/m ³	Yoğunluk	100 kg/m ³
Young Modülü	2.16e11 N/m ²	Hava Akış Direnci	30000 rayls/m
Poisson Oranı	0.27	Gözeneklilik	0.95
		Bükümlülük	1.1

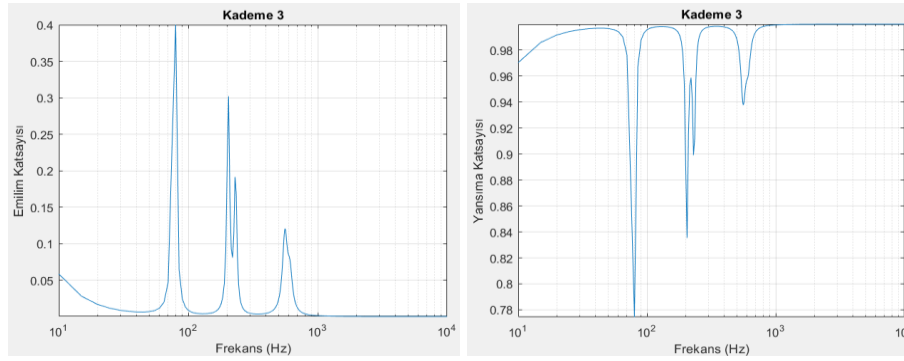
Bu bölümde ilk olarak Cantor serisinin birinci kademesi olan üç katmanlı “ABA” panelinin akustik tepkisi Şekil 3’te gösterilmektedir. Daha sonra kademe 2 ve kademe 3 yapısına sahip 7 ve 15 katmanlı paneller oluşturulmuş ve akustik yansımaya ve emilim katsayılarının frekansla değişimi Şekil 4-5’te gösterilmiştir. Toplam kalınlık her durumda 40.5 mm olarak alınmıştır.



Şekil 3. Cantor serisi 1. kademe, “ABA” dizimli panelin davranışı.



Şekil 4. Cantor serisi 2. kademe, "ABABABA" dizilimli panelin davranışı.



Şekil 5. Cantor serisi 3. kademe, "ABABABABABABABA" dizilimli panelin davranışı.

Şekil 3-5'ten görüldüğü gibi kademe sayısı arttıkça yüzeyin emilim sağladığı frekans bantlarının sayısı da artmaktadır. Buna göre farklı frekans bantlarında ses yalıtımı sağlanmak istendiğinde Cantor serisine dayalı bir tasarımda kademe sayısının artırılmasının uygun olduğu değerlendirilmiştir. Katman sayısı arttıkça yapı daha iyi bir ses yutucu yüzey olarak davranmaktadır. Şekil 3'te görüldüğü gibi emilim katsayısı 60 Hz civarında artmakta dolayısıyla yansımaya azalmaktadır. Şekil 4'de 70 Hz ve 190 Hz civarında emilimin arttığı yansımının azaldığı gözlenmektedir. Şekil 5'te kademe sayısı 3 alındığında ise 80 Hz, 220 Hz ve 565 Hz civarında emilim bantları oluşmakta, yansımaya azalmaktadır. Sonuç olarak, toplam kalınlık sabit tutularak aynı kalınlığa sahip paneller karşılaştırıldığında katman ve kademe sayısı arttıkça insan kulağının duyarlı olduğu ses bandında daha iyi akustik yalıtım sağlayan yapıların tasarlanabileceği sonucuna varılmıştır.

4. Yorumlar

Bu çalışmada, Cantor fraktal serilerine göre dizilmiş çok-katmanlı akustik yüzeylerin analizi gerçekleştirilmiştir. Literatürde yeni yer almaya başlayan katmanlı yapı dizilimlerine alternatif olarak ilk defa Cantor serilerinin de farklı frekans aralıklarında iyi bir yutucu yüzey olarak tasarlanabileceği gösterilmiştir. Tasarlanan akustik panel yapılarının güncel ses yutucu ve yansıtıcı yüzey uygulamalarında yeni alternatifler olarak yer bulacağı değerlendirilmektedir.

Kaynaklar

- [1]. Zhilin H., Fugen W. ve Youyan L. "Acoustic wave propagating in one-dimensional Fibonacci binary composite systems", Physica B: Condensed Matter, cilt.344 no.1, s.391-397, 2004.
- [2]. Hladky-Hennion, A. C., Vasseur, J. O., Degraeve, S., Granger, C. ve De Billy, M. "Acoustic wave localization in one-dimensional Fibonacci phononic structures with mirror symmetry", Journal of Applied Physics, cilt.113 no.15, 2013.
- [3]. Min Z., Hai-Feng Q., Jia-Hui X., Ya-Zhuo X., Xing-Gan Z., ve Jian G. "Modelling of Acoustic Waves Propagating in Nesting Fibonacci Super-Lattice Phononic Crystal", Metals and Materials International, cilt.20 no.4, s.733-739, 2014.
- [4]. M. Abid, M. S. Abbes, J. D. Chazot, L. Hammemi, M. A. Hamdi ve M. Haddar "Acoustic response of a multilayer panel with viscoelastic material", International Journal of Acoustics and Vibrations, cilt.17 no.2, s.82-89, 2012.