

BAZALT/Ni, W/Ni, VE B/Ni FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ KOMPOZİT PLÂKALARIN DİNAMİK BASINÇ YÜKÜ ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ ANALİZİ

Süleyman BAŞTÜRK¹ (ORCID: 0000-0002-9016-8397) *

¹Altınbaş Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Mahmutbey Dilmenler Caddesi, No:26, 34217 Bağcılar - İSTANBUL

*Geliş / Received: 13.08.2018
Kabul / Accepted: 02.11.2018*

ÖZ

Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemeler (FDM) diğer ileri kompozit malzemelere göre günümüzde daha önemli bir yer tutmaktadır. Bu çalışmada, yüksek sıcaklık ve basınç uygulamalarında kullanılan bazalt, tungsten (W) ve bor (B) malzemeleri ile nikel (Ni) kullanılarak oluşturulan fonksiyonel derecelendirilmiş plâkaların ani basınç yükleri altındaki lineer olmayan dinamik davranışları modellenmiş ve detaylı analizleri yapılmıştır. Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerin modellenmesi için Homojen Katmanlı Model (HKM) ve Sürekli Model (SM) yaklaşımları kullanılmıştır. Ani basınç yükü olarak ise Üstel Basınç Yükü Modeli uygulanmıştır. Yapılan detaylı analizler sonucunda W/Ni kompozit plâkaların daha düşük değerlerde genlik ve titreşim frekansı davranışı gösterdiği, bunun yanında farklı modelleme yöntemleri ve n parametresinin farklı değerlerinin de fonksiyonel derecelendirilmiş kompozit plâkaların dinamik davranışında etkili olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler, bazalt/Ni, W/Ni, bor/Ni, dinamik basınç yükü

ANALYSIS OF BEHAVIOR OF BASALT/Ni, W/Ni AND B/Ni FUNCTIONALLY GRADED COMPOSITE PLATES UNDER DYNAMIC PRESSURE LOADING

ABSTRACT

Functionally Graded Materials (FDM) have an important place among other advanced composite materials today. In this study, nonlinear dynamic behaviors under the blast pressure loads of functionally graded plates formed by using different materials such as basalt, tungsten (W), boron (B) and Nickel (Ni), used in high temperature and pressure applications, are modeled and analyzed in detail. Homogeneous Layered Model and Continuous Model approaches are used for modeling functionally graded materials. The Exponential Pressure Loading Model is applied as the blast pressure load. Detailed analysis showed that W/Ni composite plates exhibited lower amplitude and vibration frequency behaviors as well as different modeling methods and different values of n parameter have an effect on the dynamic behavior of functionally graded composite plates.

Keywords: functionally graded materials, basalt/Ni, W/Ni, B/Ni, dynamic pressure load

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 212 604 0100/4153; e-mail / e-posta: suleyman.basturk@altinbas.edu.tr

BAZALT/Ni, W/Ni, VE B/Ni FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ KOMPOZİT PLÂKALARIN DİNAMİK BASINÇ YÜKÜ ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ ANALİZİ**1. GİRİŞ**

Son yıllarda ileri kompozit malzeme teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak Fonksiyonel Derecelendirilmiş (FD) malzemelerde de büyük gelişmeler kaydedilmiş ve hava-uzay araçları, gemiler, elektronik sanayi, otomotiv endistrisi ve savunma sanayindeki uygulamaları giderek artmıştır. FD malzemeler, birden fazla malzemenin farklı oranlarda biraraya getirilmesiyle oluşturulmakta ve malzeme kesiti boyunca farklı özelliklere sahip bir yapı elde edilmektedir. Bu malzemeler özellikle, malzemenin her iki tarafında farklı ortam ve yük etkisine maruz kalan uygulamalarda farklı malzeme özelliklerine ihtiyaç duyulduğunda kullanılmaktadır. Böylece, malzemenin bir tarafında yüksek sıcaklık dayanımı gereken özellik, örneğin seramik malzeme özelliği, diğer tarafında ise yüksek dayanım gereken özellik, örneğin metal malzeme özelliği elde edilebilmektedir. Malzeme kesiti boyunca seramik malzeme özelliğinden metal malzeme özelliğine geçiş sürekli bir şekilde olmaktadır. FD malzemeler ilk olarak 1984 yılında Japon bilim adamları tarafından hipersonik hızlarda görev yapacak, yaklaşık 2000°C sıcaklıklara maruz kalacak ve yaklaşık 1000°C bir iç ve dış sıcaklık farkına sahip olacak 10 mm'den daha düşük kalınlığa sahip ısı bariyer görevi üstlenecek bir FD malzeme üretilmiştir [1]. FD malzemelerde birden fazla malzeme kombinasyonu söz konusu olduğu için bu malzemeler aynı zamanda ileri kompozit malzeme çeşitlerinden kabul edilmektedir.

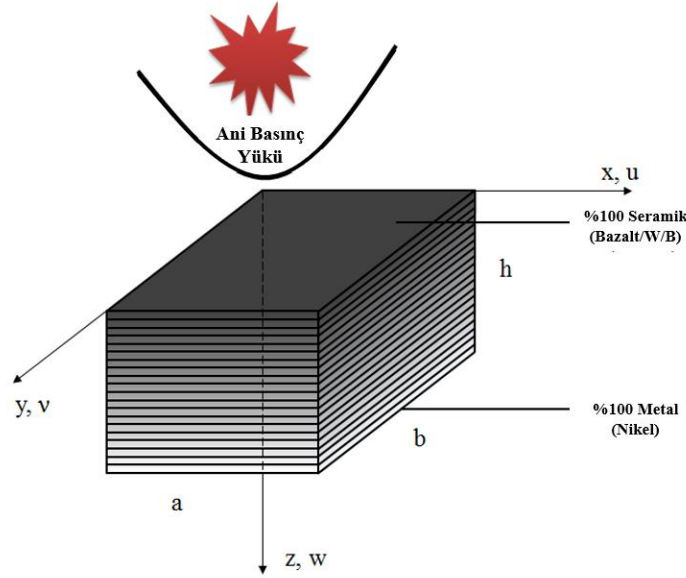
FD malzemeler kullanılarak üretilen kompozit plâkaların mekanik davranışlarıyla ilgili literatürde bazı çalışmalar bulunmaktadır. Woo ve Meguid [2] FD plâkaların enine yükleme ve sıcaklık değişimleri etkisi altında gösterdikleri büyük şekil değişimini analiz etmişlerdir. Tilbrook vd. [3] sonlu eleman yöntemini kullanarak dört nokta eğilme testi ile FD malzemelerde gerilme dağılımı ve kırılma parametrelerini tahmin etmişlerdir. Chang ve Tarn [4] izotropik olmayan kompozit plâkaların ve FD malzemelerin çekme, burulma ve eğilme zorlanması altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Rubio vd. [5] nikel ve bakır elementlerinden üretilmiş FD malzemelerin sayısal ve deneysel analizlerini yapmışlar, sayısal ve deneysel analizler arasında %1'den daha az fark elde etmişlerdir. Öktem [6] fonksiyonel olarak derecelendirilmiş kompozit plakaların statik analizini süresiz Fourier serileri yöntemiyle analitik bir çözüm tekniği kullanarak yapmış ve sonuç olarak sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan çözüme yakın sonuçlar elde etmiştir. Uluköy [7] eksenel olarak basmaya zorlanan fonksiyonel derecelendirilmiş malzemenin lineer burkulma analizini incelemiş ve derecelendirme- yükleme yönü ve kuvvet kuralı üstelinin etkisini analiz etmiştir. Yıldırım [8] fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeden yapılmış, kenar çatlağı içeren bir tabakanın ısı şok kırılması olayını sonlu elemanlar metodu ile incelemiş ve bütün FD malzeme tipleri için gerilim şiddet çarpanlarının büyüklüğünün çatlak boyu arttıkça azaldığını belirlemiştir. Praveen ve Reddy [9], sonlu elemanlar metodu uygulayarak seramik-metal FD kompozit plâkaların davranışını araştırmışlardır. Basit mesnetli FD kompozit plâkaların ani basınç yükü altındaki davranışını gösteren temel teori Hause [10] [10] tarafından sunulmuştur. Baştürk vd. [11], bazalt malzemeden üretilmiş kompozit plâkaların ani basınç yükü altındaki davranışını sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Aksoylar vd. [12], FD fiber-metal ince FD kompozit plâkaların doğrusal olmayan dinamik davranışlarını geliştirdikleri karma sonlu elemanlar yöntemiyle sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Arslan vd. [13], çekirdek bölgede alüminyum bal peteği ve yüzey kaplama malzemesi olarak Al/SiC malzemeden üretilmiş FD sac malzemeden üretilmiş sandviç plâkaların balistik darbe davranışını sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Arefi [14] piezo-elektrik FD tabakalardan oluşmuş dikdörtgen kompozit plâkaların mekanik kararlılığını incelemiştir. Baştürk vd. [15] bazalt/nikel malzemeden yapılmış FD kompozit plâkaların ani basınç yükü altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Baştürk [16] bazalt/nikel malzemeden yapılmış FD kompozit plâkaları dört farklı yöntemle modellemiş, farklı basınç yükleri altındaki davranışlarını incelemiş ve modelleme yöntemlerine göre farklılıklarını araştırmıştır. Chi ve Chung [17] üniform normal gerilmeler sebebiyle çok katmanlı ve FDM tipi kaplamaların yüzeylerinde oluşan çatlakların gerilme yoğunluğu faktörlerini sonlu elemanlar yöntemi ile incelemişlerdir. Prakash vd. [17] çalışmalarında sonlu elemanlar yöntemi yaklaşımı kullanarak FD malzemelerin büyük genliğe sahip eğilmeli titreşim (flexural vibration) karakteristiğini sonlu elemanlar yöntemi kullanarak incelemişlerdir.

Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerin seramik tarafında zirkonyum, alüminyum, alüminyum nitrid, boron karbür, silikon, silikon karbür, silikon nitrid ve tungsten karbür gibi birçok malzeme kullanılmaktadır [19]. Baştürk [16] çalışmasında, yüksek sıcaklık dayanımı ve yüksek mekanik özelliklerinden dolayı seramik malzeme olarak bazalt, metal malzeme olarak da nikel kullanmıştır. Bu çalışmanın devamı niteliğindeki mevcut çalışmada da, seramik/metal malzeme çifti olarak bazalt/nikel çiftinin yanında, tungsten (W) ve bor kullanılarak oluşturulan W/Nikel ve Bor/Nikel malzeme çiftleri kullanılmış ve bunların ani basınç yükü altındaki davranışları detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Basınç yükü olarak üstel basınç yükü (exponential blast load) uygulanmıştır. Fonksiyonel derecelendirilmiş kompozit plâkaların modellenmesi için Homojen Katmanlı Model (HKM) ile Sürekli Model (SM) yaklaşımları kullanılmış ve Baştürk [16] tarafından kullanılan analitik yöntem uygulanmıştır. Analitik yöntemde, Von Kármán tarafından önerilen ince plâkaların büyük çökme teorisi, geometrik doğrusal olmayan etkileri dikkate almak için kullanılmıştır. FDM kompozit plâkaların tüm

kenarlardan basit mesnetli olduğu kabul edilmiştir. Hareket denklemleri, uzay domeninde yaklaşık çözümler varsayılarak elde edilmiştir. Ardından lineer olmayan diferansiyel denklemlerin elde edilmesi için Galerkin yöntemi uygulanmıştır. Sonlu fark metodu uygulanarak doğrusal olmayan denklemler kümesi çözülmüştür. Yapılan detaylı analizler aşağıda sunulmuştur.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada kullanılan FD kompozit tabaka için Şekil 1’de gösterilen model kullanılmıştır. Bu modelde, ani basınç yükünün olduğu üst yüzeyde %100 seramik malzeme yani bazalt, W veya B, alt yüzeyde ise %100 metal yani nikel olacak şekilde FD kompozit plâka modellenmiştir. Bu iki yüzey arası 20 eşit tabakaya bölünerek %100 seramik malzemeden %100 metal malzemeye geçiş sağlanmıştır. FD dikdörtgen kompozit plâka boyu a, eni b ve kalınlığı h olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Plâkanın boyutları $a = 0.22$ m, $b = 0.22$ m ve $h = 5$ mm olarak alınmıştır. FD kompozit malzemeyi oluşturan ve bu çalışmada kullanılan bazalt, W, B ve nikel malzemelere ait elastisite modülü, kayma modülü, Poisson oranı ve yoğunluk gibi mekanik özellikler Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Fonksiyonel derecelenmiş kompozit plâka modeli (20 tabakalı)

Tablo 1. FD kompozit plâka bileşenlerinin mekanik özellikleri

Malzeme	Yoğunluk ρ (kg/m ³)	Elastisite Modülü (GPa) ($E_1=E_2$)	Kayma Modülü G_{12} (GPa)	Poisson Oranı ν
Bazalt	2800	25	4	0.086
Tungsten (W)	19300	400	156	0.28
Bor	2450	420	170	0.21
Nikel	8900	200	80	0.322

Homojen Katmanlı Model (HKM) ve Sürekli Model (SM) yaklaşımlarında tüm plâka Şekil 1’de gösterildiği şekilde 20 eşit katmana bölünerek hesaplamalar yapılmıştır.

2.1. Homojen Katmanlı Model (HKM)

Bu yaklaşımda plâka 20 eşit tabakaya ayrılmaktadır. Şekil 1’de gösterilen en üst yüzeydeki tabakanın seramik hacim oranı $V_c=1$ olarak alınmakta, bu da bu tabakada %100 seramik malzeme olduğunu ifade etmektedir. Bu çalışmada seramik malzeme olarak bazalt, W ve B kullanılmıştır. Seramik hacim oranı her bir alt tabakaya geçtikçe azalmakta ve nihayetinde en alt tabakada 0 olmaktadır. Bu ise, bu tabakada seramik malzeme olmadığını, sadece %100 metal malzeme olduğunu, diğer bir ifade ile de metal hacim oranı V_m ’nin 1’e eşit

BAZALT/Ni, W/Ni, VE B/Ni FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ KOMPOZİT PLÂKALARIN DİNAMİK BASINÇ YÜKÜ ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ ANALİZİ

olduğunu ifade etmektedir. Metal malzeme olarak bu çalışmada Nikel kullanılmıştır. Arada kalan diğer tabakalarda seramik hacim oranı 1 ile 0 arasında doğrusal olarak değişmektedir. Tüm tabakalar için $V_c+V_m=1$ eşitliğinin sağlanması gerekmektedir. Her bir tabakanın mekanik özellikleri ise aşağıda (1) eşitliğinde verilen denklemle hesaplanabilmektedir. Bu denklemdeki P değişkeni yerine Tablo 1’de verilen malzemelerin elastisite modülü, kayma modülü, yoğunluk ve poisson oranı değerleri konularak her bir tabakanın mekanik özellikleri hesaplanmaktadır.

$$P(z) = (P_c - P_m) \cdot V_c + P_m \tag{1}$$

Bu şekilde hesaplanan 20 tabakaya ait bazalt/Ni FD kompozit plâkanın mekanik özellikleri Tablo 2’de, W/Ni FD kompozit plâkanın mekanik özellikleri Tablo 3’te, Bor/Ni FD kompozit plâkanın mekanik özellikleri ise Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 2. Bazalt/Ni FDM için HKM yaklaşımı ile elde edilen mekanik özellikler

Tabaka Numarası	Seramik (Bazalt) Hacim Oranı % V_c	Elastisite Modülü (GPa) ($E_1=E_2$)	Kayma Modülü G_{12} (GPa)	Poisson Oranı ν	Yoğunluk ρ (kg/m ³)
1	100.00	25	4	0.09	2800.00
2	94.74	34	8	0.10	3121.05
3	89.47	43	12	0.11	3442.11
4	84.21	53	16	0.12	3763.16
5	78.95	62	20	0.14	4084.21
6	73.68	71	24	0.15	4405.26
7	68.42	80	28	0.16	4726.32
8	63.16	89	32	0.17	5047.37
9	57.89	99	36	0.19	5368.42
10	52.63	108	40	0.20	5689.47
11	47.37	117	44	0.21	6010.53
12	42.11	126	48	0.22	6331.58
13	36.84	136	52	0.24	6652.63
14	31.58	145	56	0.25	6973.68
15	26.32	154	60	0.26	7294.74
16	21.05	163	64	0.27	7615.79
17	15.79	172	68	0.28	7936.84
18	10.53	182	72	0.30	8257.90
19	5.26	191	76	0.31	8578.95
20	0.00	200	80	0.32	8900.00

2.2. Sürekli Model (SM)

Sürekli Model yaklaşımında seramik hacim oranı Sills vd. [20] tarafından aşağıdaki denklemle tanımlanmıştır:

$$V_c(z) = \begin{cases} 1 & z_c \leq z \leq h \\ \left(\frac{z-z_m}{z_c-z_m}\right)^n & z_m \leq z \leq z_c \\ 0 & 0 \leq z \leq z_m \end{cases} \tag{2}$$

Üstel katsayı olan n, farklı davranış karakteristiklerini temsil etmektedir. Farklı n değerleri için V_c Seramik Hacim Oranı değişimi Şekil 2’de verilmiştir.

Elastisite modülü, Kayma modülü, yoğunluk ve poisson oranı değerleri aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmaktadır [20]:

$$P(z) = \frac{(P_c P_m - P_m^2)(1 - V_c^{1/3} + V_c) + P_m^2}{P_c + (P_m - P_c)V_c^{1/3}} \tag{3}$$

Tablo 3. W/Ni FDM için HKM yaklaşımı ile elde edilen mekanik özellikler

Tabaka Numarası	Seramik (W) Hacim Oranı %VC	Elastisite Modülü (GPa) (E1=E2)	Kayma Modülü G12 (GPa)	Poisson Oranı ν	Yoğunluk ρ (kg/m ³)
1	100,00	400	156	0,28	19300,00
2	94,74	389	152	0,28	18752,63
3	89,47	379	148	0,28	18205,26
4	84,21	368	144	0,29	17657,89
5	78,95	358	140	0,29	17110,53
6	73,68	347	136	0,29	16563,16
7	68,42	337	132	0,29	16015,79
8	63,16	326	128	0,30	15468,42
9	57,89	316	124	0,30	14921,05
10	52,63	305	120	0,30	14373,68
11	47,37	295	116	0,30	13826,32
12	42,11	284	112	0,30	13278,95
13	36,84	274	108	0,31	12731,58
14	31,58	263	104	0,31	12184,21
15	26,32	253	100	0,31	11636,84
16	21,05	242	96	0,31	11089,47
17	15,79	232	92	0,32	10542,11
18	10,53	221	88	0,32	9994,74
19	5,26	211	84	0,32	9447,37
20	0,00	200	80	0,32	8900,00

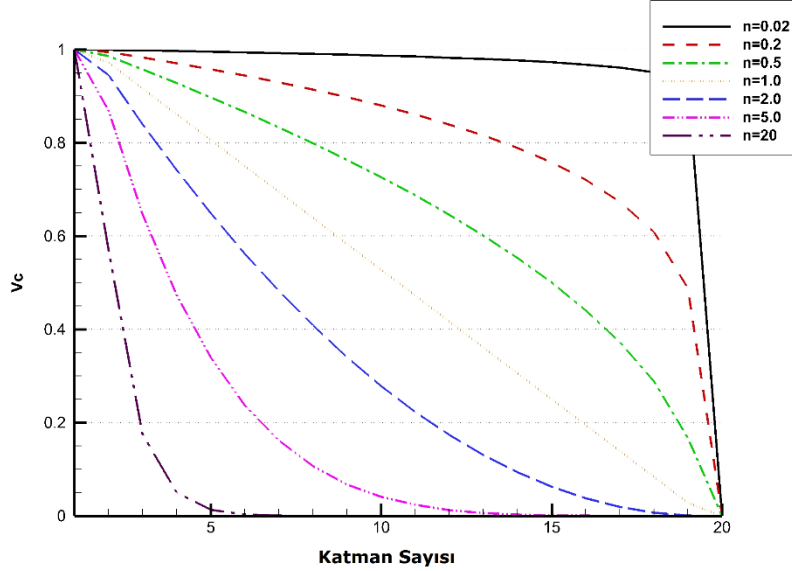
Tablo 4. Bor/Ni FDM için HKM yaklaşımı ile elde edilen mekanik özellikler

Tabaka Numarası	Seramik (Bor) Hacim Oranı %VC	Elastisite Modülü (GPa) (E1=E2)	Kayma Modülü G12 (GPa)	Poisson Oranı ν	Yoğunluk ρ (kg/m ³)
1	100,00	420	170	0,21	2450,00
2	94,74	408	165	0,22	2789,47
3	89,47	397	161	0,22	3128,95
4	84,21	385	156	0,23	3468,42
5	78,95	374	151	0,23	3807,90
6	73,68	362	146	0,24	4147,37
7	68,42	351	142	0,25	4486,84
8	63,16	339	137	0,25	4826,32
9	57,89	327	132	0,26	5165,79
10	52,63	316	127	0,26	5505,26
11	47,37	304	123	0,27	5844,74
12	42,11	293	118	0,27	6184,21
13	36,84	281	113	0,28	6523,68
14	31,58	269	108	0,29	6863,16
15	26,32	258	104	0,29	7202,63
16	21,05	246	99	0,30	7542,11
17	15,79	235	94	0,30	7881,58
18	10,53	223	89	0,31	8221,05
19	5,26	212	85	0,32	8560,53
20	0,00	200	80	0,32	8900,00

BAZALT/Ni, W/Ni, VE B/Ni FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ KOMPOZİT PLÂKALARIN DİNAMİK BASINÇ YÜKÜ ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ ANALİZİ

2.3.Hareket Denklemleri

Şekil 1’de verilen dikdörtgen FD kompozit plâka için doğrusal olmayan dinamik hareket denklemleri orta düzlemin şekil değişimi cinsinden aşağıdaki denklemle tanımlanmaktadır [16]:



Şekil 2. Sürekli modelde farklı n değerleri için V_c seramik hacim oranı değişimi [16]

$$\begin{aligned}
 L_{11}u^0 + L_{12}v^0 + L_{13}w^0 + N_1(w^0) + \bar{m}\ddot{u}^0 - q_x &= 0 \\
 L_{21}u^0 + L_{22}v^0 + L_{23}w^0 + N_2(w^0) + \bar{m}\ddot{v}^0 - q_y &= 0 \\
 L_{31}u^0 + L_{32}v^0 + L_{33}w^0 + N_3(u^0, v^0, w^0) + \bar{m}\ddot{w}^0 - q_z &= 0
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Bu denklemdeki L_{ij} ve N_i doğrusal ve doğrusal olmayan operatörleri, q_x , q_y ve q_z yük vektörlerini, ve \bar{m} birim alana düşen kütle miktarını temsil etmektedir. Basit mesnetli plâka için sınır şartları aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$\begin{aligned}
 u^0(0, y, t) = u^0(a, y, t) = u^0(x, 0, t) = u^0(x, b, t) &= 0 \\
 v^0(0, y, t) = v^0(a, y, t) = v^0(x, 0, t) = v^0(x, b, t) &= 0 \\
 w^0(0, y, t) = w^0(a, y, t) = w^0(x, 0, t) = w^0(x, b, t) &= 0
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

$$\begin{aligned}
 M_x &= 0 \text{ at } x = 0, a \\
 M_y &= 0 \text{ at } y = 0, b
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Kompozit plâka durağan halden harekete geçtiği için başlangıç şartları ise aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$\begin{aligned}
 u^0(x, y, 0) = 0, \quad v^0(x, y, 0) = 0, \quad w^0(x, y, 0) = 0 \\
 \dot{u}^0(x, y, 0) = 0, \quad \dot{v}^0(x, y, 0) = 0, \quad \dot{w}^0(x, y, 0) = 0
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Bu çalışmada, Baştürk [16] tarafından uygulanan matematiksel model ve çözüm yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem sonlu elemanlar yöntemiyle karşılaştırılmış ve doğrulanmıştır [16]. Sayısal çözüm yöntemi olarak virtüel iş prensibi uygulanarak, plâkanın hareket denklemleri teorik modele göre türetilmiştir ve yaklaşık çözüm dikkate alınarak uzay domeni için hareket denklemleri ile değiştirilmiştir. Doğrusal olmayan diferansiyel denklemleri elde etmek için Galerkin Yöntemi uygulanmıştır. Zamana bağlı doğrusal olmayan denklemler kümesini çözmek için sonlu farklar yöntemi uygulanmıştır. Bu sayısal çözüme ait detaylı açıklamalar Baştürk [16] tarafından

yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda, bir bilgisayar programı oluşturulmuş ve bu program yardımıyla sonuçlar elde edilmiştir.

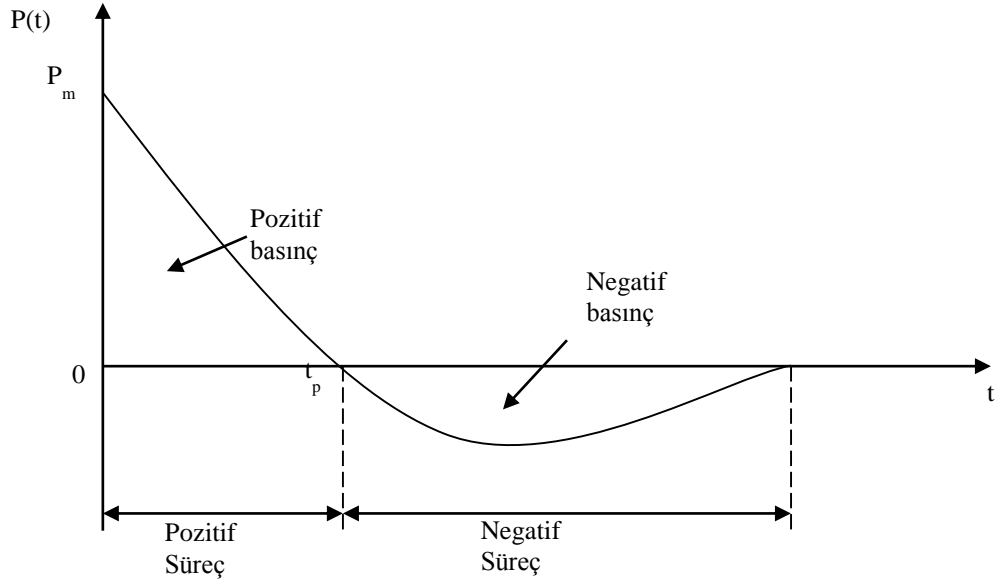
2.4. Zamana Bağlı Ani Üstel Basınç Yükü

Hava-uzay, gemi ve kara araçlarındaki yapısal parçalara gelen yükler, bir saldırı sonucu bir patlayıcının patlaması veya ses üstü hızlarda sonik patlama şeklinde olduğundan, bu yüklerin zamana bağlı harici ani basınç yükü olarak tanımlanmaları gerekmektedir. Ani basınç yükünün modellenmesinde ani üstel basınç yükü, sinüsoidal basınç yükü, dikdörtgen basınç yükü gibi farklı yaklaşımlar bulunmaktadır [16]. Bu çalışmada, ani üstel basınç yükü (exponential blast load) yaklaşımı kullanılmıştır.

Patlama kaynağı, kompozit plâkadan yeterince uzaktaysa Gupta vd. [21] ani üstel basınç yükünü aşağıdaki şekilde tanımlamışlardır:

$$P(t) = P_m (1 - t/t_p) e^{-\alpha t/t_p} \quad (8)$$

Bu denklemde, P_m maksimum basınç değeri, t_p pozitif faz süresi ve α dalga şekil parametresi olarak tanımlanmıştır. Şekil 3'te ani basınç yükü ve değişkenleri görülmektedir. Bu çalışmada maksimum basınç yükü $P_m=3000$ kPa, $t_p=0.0018$ s and $\alpha=0.35$ olarak alınmıştır.



Şekil 3. Ani üstel basınç yükü

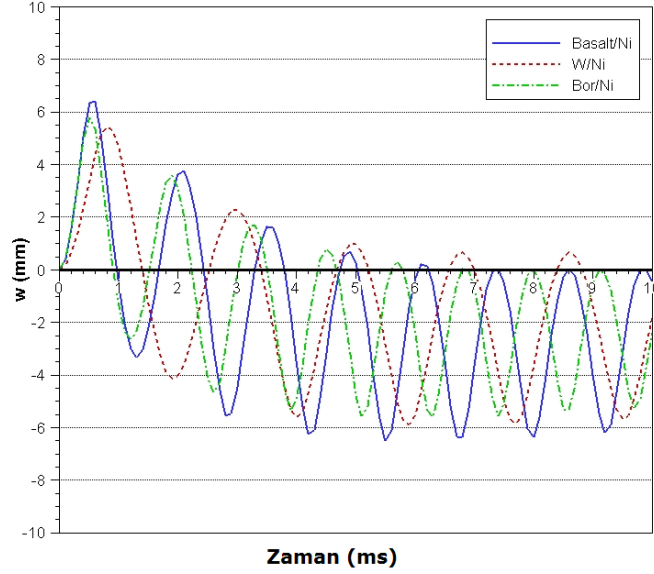
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Şekil 1'de gösterilen FD kompozit plâka kullanılmıştır. bazalt, tungsten ve bor olarak seçilen üç farklı seramik malzeme ve metal olarak seçilen nikel ile oluşturulan FD kompozit plâka ani üstel basınç yüküne maruz bırakılmış ve bu plâkanın dinamik davranışı analiz edilmiştir. FD plâkanın modellenmesinde Homojen Katmanlı Model (HKM) ile Sürekli Model (SM) yaklaşımları kullanılmıştır.

3.1 Homojen Katmanlı Model (HKM) Yaklaşımı Analizleri

Şekil 4'te Homojen Katmanlı Model (HKM) yaklaşımı ile modellenen FD kompozit plâkanın orta noktasının z ekeni boyunca zamana bağlı olarak yer değiştirme (w) değerleri görülmektedir.

BAZALT/Ni, W/Ni, VE B/Ni FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ KOMPOZİT PLÂKALARIN DİNAMİK BASINÇ YÜKÜ ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ ANALİZİ



Şekil 4. HKM yaklaşımı ile farklı FD kompozit plâkaların zamana bağlı davranışı

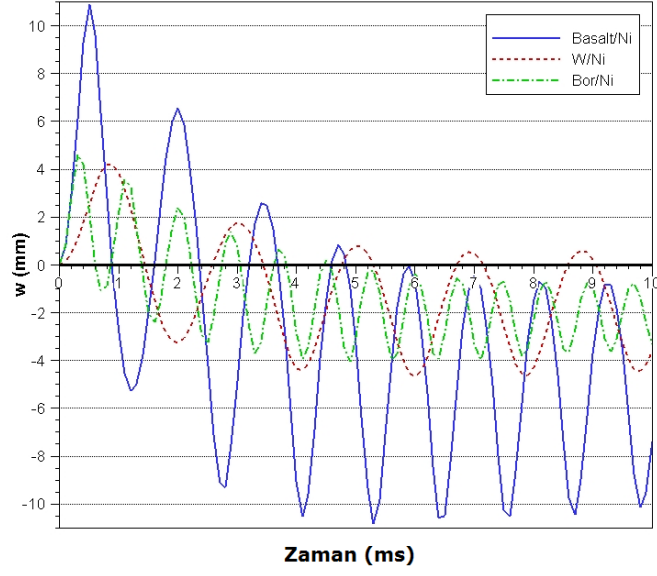
Bu analize göre; FD kompozit plâkanın yer değiştirme miktarı en yüksek değeri Bazalt/Ni çiftinde almakta, en az yer değiştirme ise W/Ni malzeme çiftinde elde edilmektedir. Yer değiştirme miktarının az olmasının yanında W/Ni malzeme çiftinin titreşim frekansı da bazalt/Ni ve Bor/Ni malzeme çiftlerine göre daha düşüktür. Toplam 10 ms'lik bir zaman diliminde W/Ni plâka yaklaşık 5 periyotluk bir titreşim yaparken diğer iki malzeme çifti ise yaklaşık 7 periyotluk bir titreşim yapmaktadır. Buradan W/Ni malzeme çiftinin daha rijit ve stabil olduğu sonucu çıkarılabilir.

3.2 Sürekli Model (SM) Yaklaşımı Analizleri

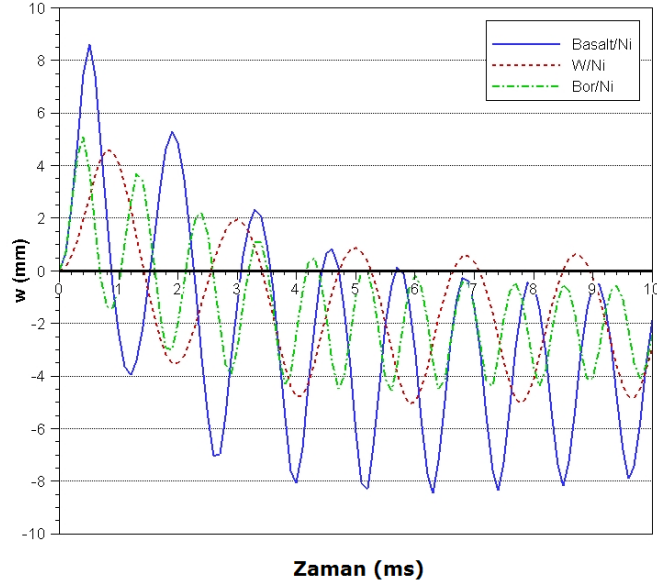
Sürekli Model (SM) yaklaşımında (2) numaralı denklemde yer alan n parametresinin farklı değerleri ($n=0.02, 0.2, 0.5, 1, 2, 5$ ve 20) için analizler yapılmıştır. Bu farklı n değerleri için seramik hacim oranı değişimi Şekil 2'de görülmektedir.

Şekil 5'te $n=0.02$ için üç farklı FD kompozit plâkanın zamana bağlı dinamik davranışı görülmektedir. Buna göre Bazalt/Ni çiftinden oluşturulmuş FD kompozit plâkanın yer değiştirme miktarının başlangıçta W/Ni ve Bor/Ni çiftlerine göre yaklaşık 2 kat daha fazla olduğu, zaman ilerledikçe ise negatif yer değiştirme bölgesinde yine yüksek genlikle titreşime devam ettiği görülmektedir. Bu davranışın sebebi, n değerinin çok küçük olmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü n değeri 0.02 değerini aldığı anda, Şekil 2'deki seramik hacim oranı değişim grafiğinden de görüleceği üzere, seramik (yani bazalt) malzeme miktarı kompozit plâkanın tabakalarının çoğunda büyük oranda baskın olmaktadır. Bu da W ve Bor'a göre daha düşük mekanik özelliklere sahip olan bazaltın tüm plâkanın mekanik özelliklerine baskın olmasını, dolayısıyla diğer iki malzeme çiftine göre daha düşük mekanik özelliklere sahip olmasını, sonuç olarak da daha fazla yer değiştirme yapmasını ortaya çıkarmaktadır. W/Ni ile Bor/Ni malzeme çiftlerinden üretilmiş FD kompozit plâkaların genlik değerleri birbirine yakın olmasına rağmen W/Ni plâkanın titreşim frekansının Bor/Ni plâkaya göre yaklaşık 3 kat daha düşük olduğu görülmüştür.

Şekil 6'da, n değerinin 0.2 olması durumundaki FD kompozit plâkanın davranışı görülmektedir. Buna göre n değerinin artmasıyla Bazalt/Ni kompozit plâkanın ilk tepe oktası genliğinde önceki duruma göre 11 mm'den 8.5 mm'ye azalma elde edilmiştir. Diğer iki malzeme çiftinin davranışında bir önceki duruma göre belirgin bir değişim elde edilmemiştir.



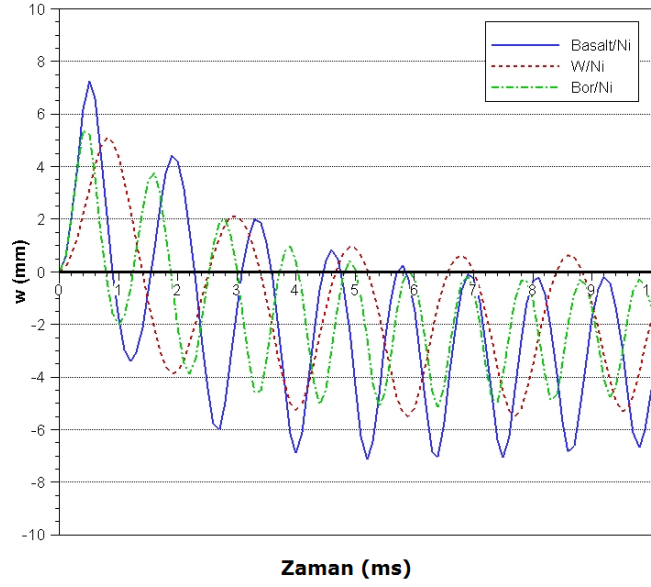
Şekil 5. SM yaklaşımı ile farklı FD kompozit plâkaların zamana bağlı davranışı ($n=0.02$)



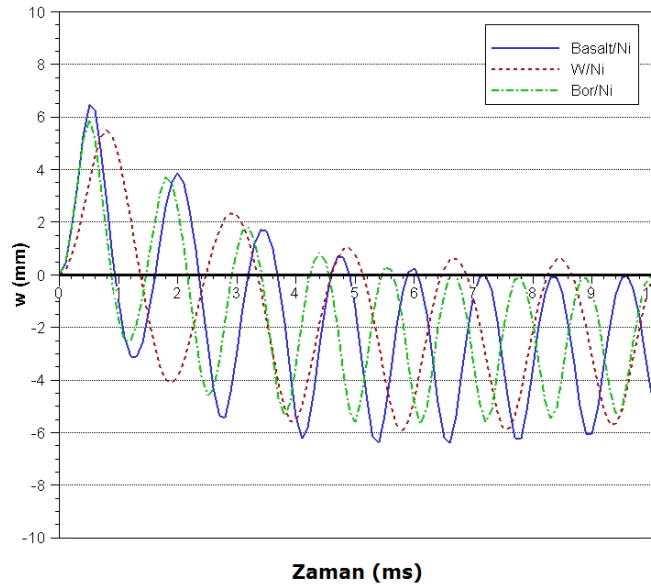
Şekil 6. SM yaklaşımı ile farklı FD kompozit plâkaların zamana bağlı davranışı ($n=0.2$)

Şekil 7'de ise n değerinin 0.5 olması durumundaki kompozit plâkaların dinamik davranışı görülmektedir. Bazalt/Ni çiftinin genliğinin 7 mm seviyesine düştüğü görülmektedir. Şekil 8'de n değerinin 1 olması durumu görülmektedir. Bu durum aslında Homojen Katmanlı Model ile yaklaşık aynı sonucu, yani Şekil 4'te elde edilen sonucu vermektedir. Çünkü, Şekil 2'den de görüleceği üzere $n=1$ olması durumu, seramik hacim oranı (V_c) değerinin doğrusal bir şekilde 1'den 0'a değişmesini temsil etmekte, bu da HKM ile yaklaşık aynı sonucu ortaya çıkarmaktadır.

BAZALT/Ni, W/Ni, VE B/Ni FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ KOMPOZİT PLÂKALARIN DİNAMİK BASINÇ YÜKÜ ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ ANALİZİ



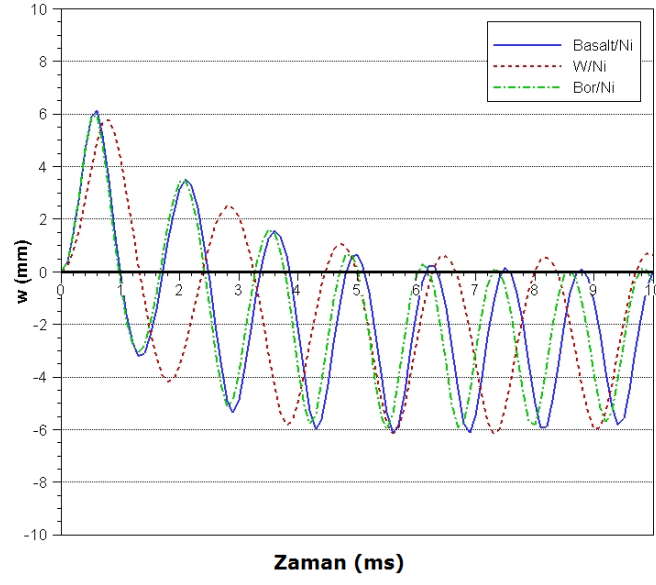
Şekil 7. SM yaklaşımı ile farklı FD kompozit plâkaların zamana bağlı davranışı (n=0.5)



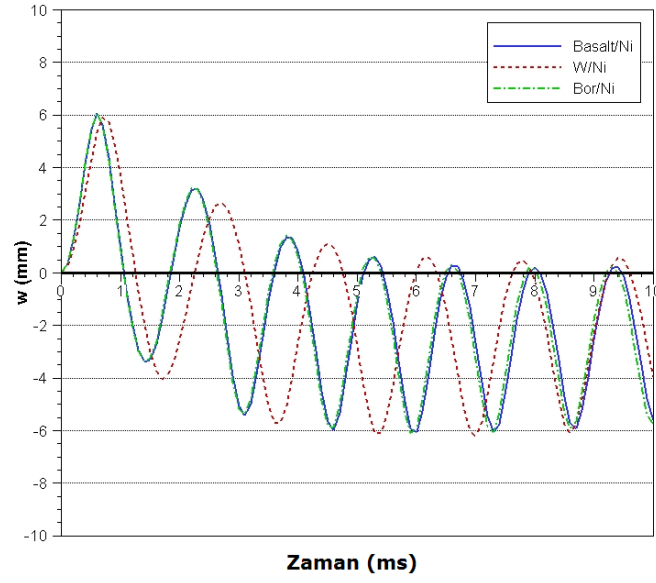
Şekil 8. SM yaklaşımı ile farklı FD kompozit plâkaların zamana bağlı davranışı (n=1)

Şekil 9, 10 ve 11’de ise n değerinin sırasıyla 2, 5 ve 20 olması durumlarındaki FD kompozit plâkaların davranışı görülmektedir. Bu şekiller incelendiğinde, tüm n değerleri için Bazalt/Ni ile Bor/Ni malzeme çiftlerinden üretilen FD kompozit malzemelerin hemen hemen aynı davranışı gösterdiği, W/Ni çiftinden üretilen FD kompozit plâkanın ise genliğinin diğerleriyle yaklaşık aynı olmasına rağmen titreşim frekansının daha düşük olduğu görülmektedir.

Bazalt/Ni FD kompozit plâkaların Sürekli Model yaklaşımıyla modellenmesi durumunda farklı n değerleri ve HKM yaklaşımı ile modellenmesinde gösterdiği dinamik davranış değişimi toplu halde Şekil 12’de görülmektedir. Buna göre, maksimum genlikli davranış n değerinin en küçük olduğu n=0.02 değerinde elde ediliyorken, en küçük genlikli davranış ise n değerinin en büyük olduğu n=20 değerinde görülmektedir. HKM yaklaşımdaki davranış ise n değerinin 1 olduğu değerle büyük oranda benzerlik göstermektedir.

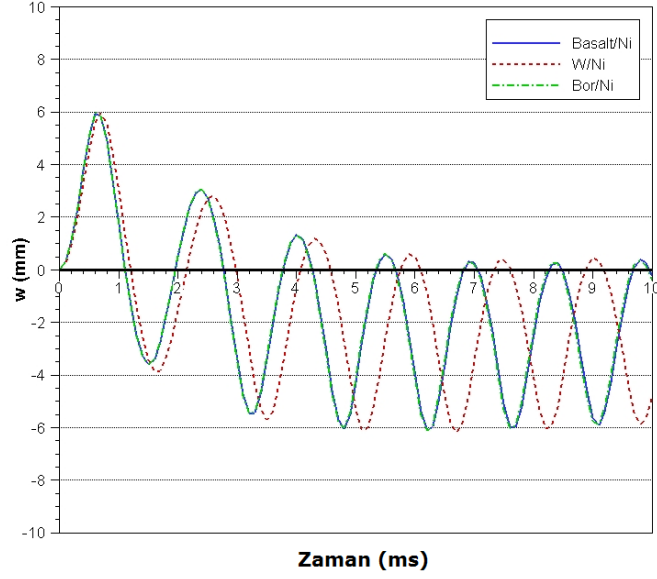


Şekil 9. SM yaklaşımı ile farklı FD kompozit plâkaların zamana bağlı davranışı ($n=2$)

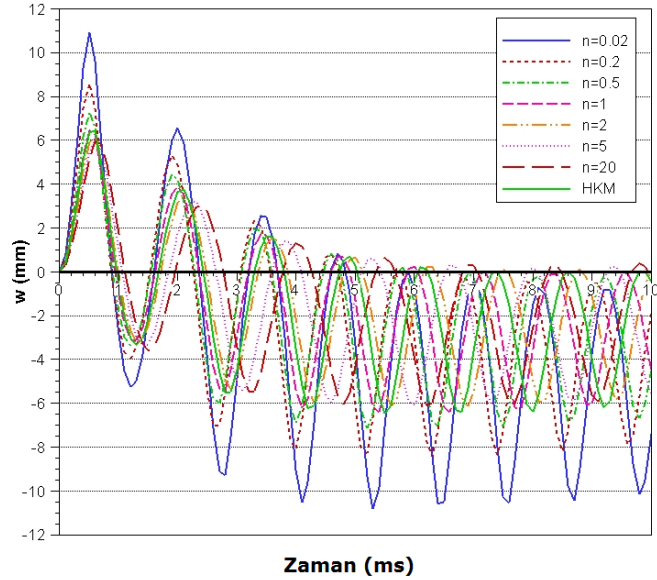


Şekil 10. SM yaklaşımı ile farklı FD kompozit plâkaların zamana bağlı davranışı ($n=5$)

BAZALT/Ni, W/Ni, VE B/Ni FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ KOMPOZİT PLÂKALARIN DİNAMİK BASINÇ YÜKÜ ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ ANALİZİ

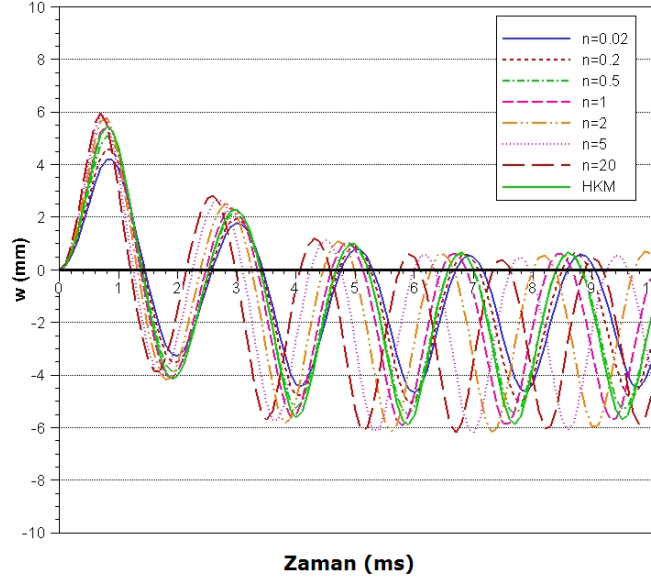


Şekil 11. SM yaklaşımı ile farklı FD kompozit plâkaların zamana bağlı davranışı (n=20)



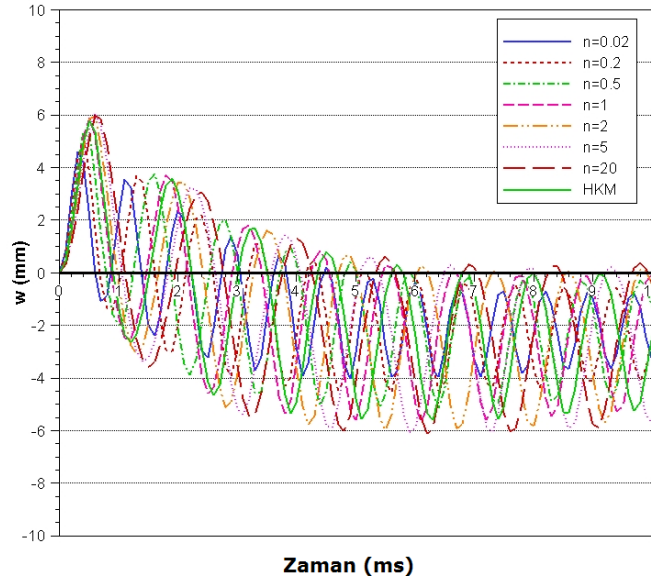
Şekil 12. Bazalt/Ni FD kompozit plâkaların dinamik davranışı

Şekil 13'te ise W/Ni FD kompozit plâkaların davranışına n değeri ile HKM yaklaşımının etkisi toplu halde görülmektedir. W/Ni malzeme çiftiyle üretilen kompozit plâkanın davranışında n değeri ve HKM yaklaşımının farklılığının diğer malzeme çiftlerine göre oldukça az olduğu görülmektedir. W/Ni FD kompozit plâkalarda en büyük genlik değeri n=20 değerinde elde edilirken, en düşük genlik değeri ise n=0.02 değerinde elde edilmektedir. Bunun sebebi ise Şekil 2'de görüldüğü üzere, n değerinin 0.02 olması durumunda W oranının diğer n değerlerine göre daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 13. W/Ni FD kompozit plâkaların dinamik davranışı

Benzer şekilde B/Ni FD kompozit plâkaların farklı n değerlerindeki ve HKM yaklaşımındaki davranışı Şekil 14'te görülmektedir. Buna göre en yüksek genlik değeri $n=20$ değerinde elde ediliyorken en düşük genlik değeri $n=0.02$ olması durumunda elde edilmektedir. HKM ile $n=1$ değerindeki davranışın birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 14. Bor/Ni FD kompozit plâkaların dinamik davranışı

4. SONUÇLAR

Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemeler diğer ileri kompozit malzemeler arasında günümüzde önemli bir yer tutmaktadır. Bu çalışmada, yüksek sıcaklık ve basınç uygulamalarında kullanılan Bazalt, Tungsten ve Bor malzemeleri ile Nikel kullanılarak oluşturulan Fonksiyonel Derecelendirilmiş plâkaların ani basınç yükü altındaki lineer olmayan dinamik davranışları modellenmiş ve detaylı analizleri yapılmıştır. Fonksiyonel Derecelendirilmiş malzemelerin modellenmesi için Homojen Katmanlı Model ve Sürekli Model yaklaşımları

BAZALT/Ni, W/Ni, VE B/Ni FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ KOMPOZİT PLÂKALARIN DİNAMİK BASINÇ YÜKÜ ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ ANALİZİ

kullanılmıştır. Ani basınç yükü olarak ise üstel basınç yükü modeli uygulanmıştır. Yukarıda sunulan detaylı analizler sonucunda aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır:

- HKM yaklaşımına göre en düşük yer değiştirme (genlik) değeri W/Ni malzeme çiftinde görülmekte, en yüksek yer değiştirme ise Bazalt/Ni çiftinde elde edilmektedir.
- Sürekli Model yaklaşımı ile n değerinin 0.02'den 20 değerine kadar farklı değerleri için analizler yapılmıştır. “n” değeri 0.02 olduğunda Bazalt/Ni FD kompozit plâkanın daha fazla yer değiştirdiği görülmektedir.
- “n” değerinin 0.2, 0.5 ve 1 değerlerine yükselmesiyle Bazalt/Ni çiftinden elde edilen genlik değeri azalması belirgin iken, diğer malzeme çiftlerinin genliklerinde daha düşük bir azalma elde edilmektedir.
- “n” değerinin 2, 5 ve 20 olması durumlarında Bazalt/Ni ile Bor/Ni malzeme çiftlerinden üretilen FD kompozit malzemelerin hemen hemen aynı davranışı gösterdiği, W/Ni çiftinden üretilen FD kompozit plâkanın ise genliğinin diğerleriyle yaklaşık aynı olmasına rağmen titreşim frekansının daha düşük olduğu görülmektedir.
- Bazalt/Ni FD kompozit plâkaların farklı n değerleri ve HKM yaklaşımındaki davranışı incelendiğinde, maksimum genlik n değerinin en küçük olduğu n=0.02 değerinde, minimum genlik değerinin n parametresinin en büyük olduğu n=20 değerinde görülmektedir.
- W/Ni malzeme çiftiyle üretilen kompozit plâkanın davranışında n değeri ve HKM yaklaşımının farklılığının diğer malzeme çiftlerine göre oldukça az olduğu görülmektedir.
- B/Ni FD kompozit plâkaların farklı n değerlerindeki ve HKM yaklaşımındaki davranışı incelendiğinde, en yüksek genlik değeri n=20 değerinde elde ediliyorken en düşük genlik değeri n=0.02 değerinde elde edilmektedir. HKM ile n=1 değerindeki davranışın birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak Bazalt/Ni, W/Ni ve B/Ni malzeme çiftlerinden yapılmış FD kompozit plâkalar karşılaştırıldığında; W/Ni kompozit plâkaların daha düşük değerlerde genlik ve titreşim frekansı davranışı gösterdiği görülmektedir. Bunun yanında farklı modelleme yöntemlerinin ve n parametresinin farklı değerlerinin de FD kompozit plâkaların dinamik davranışında etken olduğu görülmektedir.

Farklı sınır şartları, farklı malzeme çiftleri ve farklı basınç yükleri uygulanarak etkilerinin incelenmesi ileride yapılması planlanan çalışmalardır.

KAYNAKLAR

- [1] MAHAMOOD, R. M., MEMBER, E. T. A., SHUKLA, M., and PITYANA, S., “Functionally Graded Material : An Overview”, Proceedings of the World Congress on Engineering 2012, vol. III, 2–6, 2012.
- [2] WOO, J., & MEGUID, S. A., “Nonlinear analysis of functionally graded plates and shallow shells”, International Journal of Solids and Structures, 38 (42-43), 7409–7421, 2001.
- [3] TILBROOK, M. T., MOON, R. J., & HOFFMAN, M., “Finite element simulations of crack propagation in functionally graded materials under flexural loading. Engineering”, Fracture Mechanics, vol. 72(16), 2444–2467, 2005.
- [4] CHANG, H.-H., & TARN, J.-Q., “A state space approach for exact analysis of composite laminates and functionally graded materials”. International Journal of Solids and Structures, vol. 44(5), 1409–1422, 2007.
- [5] RUBIO, W. M., PAULINO, G. H., & SILVA, E. C. N., “Analysis, manufacture and characterization of Ni/Cu functionally graded structures”, Materials & Design, vol. 41, 255–265, 2012.
- [6] ÖKTEM, A. S., “Fonksiyonel Derecelendirilmiş İleri Kompozit Plakların Statik Analizi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 29, No 1, 111-119, 2014.
- [7] ULUKÖY A., “Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemenin Lineer Burkulma Analizi”, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Özel Sayı 16, 122- 127, 2016.
- [8] YILDIRIM B., “Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemedeki Yapılmış Kenar Çatlaklı Bir Tabakada Isıl Şok Kırılmasının Sonlu Elemanlar Metodu İle İncelenmesi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 19, No 3, 235-245, 2004.
- [9] PRAVEEN, G.N. and REDDY, J.N., “Nonlinear transient thermoelastic analysis of functionally graded ceramic-metal plates”, International Journal of Solids and Structures, 35(33), 4457–4476, 1998.
- [10] HAUSE, T., “Advanced functionally graded plate-type structures impacted by blast loading”, International Journal of Impact Engineering, vol. 38(5), 314–321, 2011.
- [11] BAŞTÜRK S., SÜSLER S., UYANIK H., TÜRKMEN H., S, LOPRESTO V., GENNA S., KAZANCI Z., “Experimental and numerical analysis of laminated basalt composite plate subjected to blast load”, Proceedings of the 20th International Conference on Composite Materials (ICCM/20), 19-24, 2015.

- [12] AKSOYLAR, C., ÖMERCİKOĞLU, A., MECİTOĞLU, Z., & OMURTAG, M. H., “Nonlinear transient analysis of FGM and FML plates under blast loads by experimental and mixed FE methods”, *Composite Structures*, vol. 94, 731–744, 2012.
- [13] ARSLAN, K., GUNES, R., APALAK, M. K., REDDY, JN, “Experimental tests and numerical modeling of ballistic impact on honeycomb sandwich structures reinforced by functionally graded plates”, *Journal of Composite Materials*, vol. 51, Issue 29, 4009-4028, 2017.
- [14] AREFI, M., “Buckling analysis of the functionally graded sandwich rectangular plates integrated with piezoelectric layers under bi-axial loads”, *Journal of Sandwich Structures & Materials*, vol. 19, Issue 6, 712-735, 2016.
- [15] BAŞTÜRK, S., UYANIK, H., KAZANCI, Z., “Nonlinear Transient Response of Basalt/Nickel FGM Composite Plates Under Blast Load”, *Procedia Engineering*, vol. 167, 30-38, 2016.
- [16] BAŞTÜRK, S., “The nonlinear dynamic response of functionally graded basalt/nickel composite plates”, *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, DOI: 10.1080/15376494.2018.1446109, 2018.
- [17] CHI, S. and CHUNG, Y., “Cracking in coating – substrate composites with multi-layered and FGM coatings”, *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 70, 1227–1243, 2003.
- [18] PRAKASH, T., SINGHA, M. K., and GANAPATHI, M., “A finite element study on the large amplitude flexural vibration characteristics of FGM plates under aerodynamic load”, *International Journal of Non-Linear Mechanics*, Vol. 47, no. 5, 439–447, 2012.
- [19] SWAMINATHAN, SANGEETHA, K., D.M., “Thermal analysis of FGM plates – A critical review of various modeling techniques and solution methods”, *Composite Structures*, vol. 160 (15), 43-60, 2017.
- [20] BANKS-SILLS, L., ELIASI, R., & BERLIN, Y., “Modeling of functionally graded materials in dynamic analyses”, *Composites Part B: Engineering*, vol. 33(1), 7–15, 2002.
- [21] GUPTA, A.D., GREGORY, F.H., BITTING, R.L., BHATTACHARYA, S., “Dynamic analysis of an explosively loaded hinged rectangular plate”, *Computers and Structures*, vol. 26, 339-344, 1987.