



ÖNGERİLMELİ VISKOELASTİK ÖRTÜ TABAKASI VE LEVHADAN OLUŞAN SİSTEMİN HAREKETLİ YÜK ETKİSİNDEKİ DİNAMİK DAVRANIŞI

N. Sevgi ŞAHİN¹ ve Surkay D. AKBAROV¹

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

ABSTRACT

This paper investigates the dynamic response to a time-harmonic moving load of a system comprising prestressed viscoelastic covering layer and a viscoelastic layer on a rigid foundation. The effects of the viscoelasticity of the materials, plate thickness and initial stress on the dynamic response of system are investigated. Mathematical formulation of the sought problem is performed within the framework of the equation of wave-propagation on viscoelastic spaces and the solution of the obtained boundary value problem is found by applying Fourier transformation. The research is performed within the scope of the piecewise-homogeneous body model. The effects of material parameters, plate thicknesses and initial stress on numerical results related to critical velocity and stress distribution are presented and discussed.

ÖZET

Bu makalede rijit bir ortam üzerindeki öngerilmeli viskoelastik örtü tabakası ve levhadan oluşan sistemin harmonik değişen hareketli yük etkisindeki dinamik davranışı ele alınmıştır. Sistemin bileşenlerindeki viskoelastisitenin, tabaka kalınlıklarının ve öngerilmenin bu davranışa etkisi incelenmiştir. Viskoelastik ortamlarda dalga yayılımının kesin denklemleri çerçevesinde uygun problemin matematiksel formülasyonu yapılmış ve elde edilen sınır değer probleminin çözümü integral Fourier dönüşümü uygulanarak bulunmuştur. Araştırma parçalı homojen cisim modeli çerçevesinde yapılmıştır. Makalede incelenen sisteme ait malzeme parametrelerinin, levha kalınlıklarının ve ön gerilmenin kritik hıza ve gerilme yayılımına etkilerine yönelik sayısal sonuçlar elde edilmiş ve yorumlanmıştır.

GİRİŞ

Hareketli yük etkisindeki ortamlarda dinamik davranışın belirlenmesine yönelik çalışmalar geçmişten günümüze kadar önemli bir problem olarak ele alınmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalar birçok mühendislik dallarını kapsamakta olup, önemli bir araştırma konusu olarak güncelliğini korumaktadır.

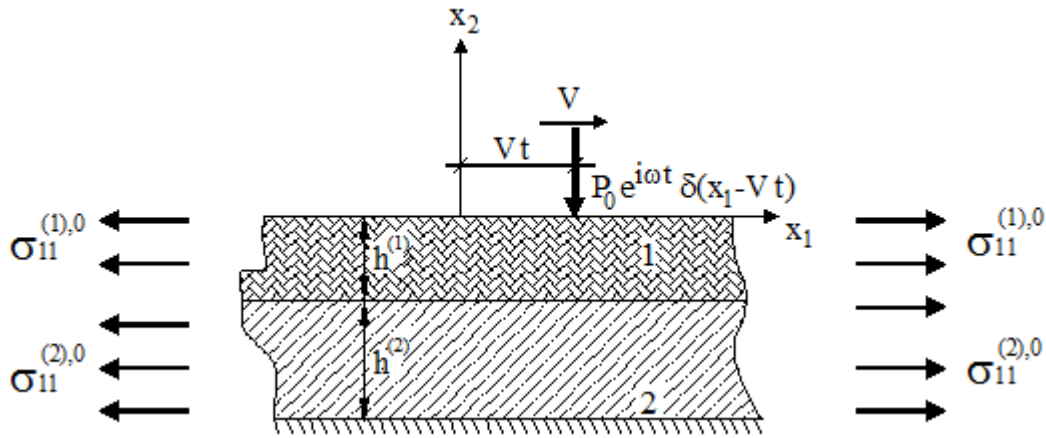
Hareketli yük etkisindeki tabakalı sistemlerin dinamik davranışı ile ilgili ilk çalışma [1] de ortaya atılan araştırma ile başlamıştır. Zamanla bu çalışma araştırmacılarca sürekli olarak geliştirilmiştir; bu konunun geliştirilmesine yönelik çalışmalar [2 - 7] de ele alınmıştır. Ayrıca [8] deki çalışmalarda titreşimli hareketli yükün tabakalı sistemlere etkisi incelenmiştir. Bu çalışmalarda titreşimli hareketli yük olması durumunda, titreşim olmadığı durumda elde edilen kritik hız değerinden daha büyük ve daha küçük olmak üzere iki farklı kritik hız değerinin oluştuğu saptanmıştır.

Viskoelastik örtü tabakası ve viskoelastik yarı-düzlem durumuna ait uygun problemin incelenmesi [9] da ele alınmıştır. [10] da titreşimli hareketli yük etkisi altındaki viskoelastik örtü tabakası ve viskoelastik yarı-düzlemden oluşan sistemde viskoelastisiteye yönelik reolojik malzeme parametrelerinin kritik hız ve gerilme yayılımına etkisi incelenmiştir. [11] de ise rijit ortam üzerindeki viskoelastik tabakalı sistem için benzer problem ele alınmıştır.

Mevcut çalışmada rijit bir ortam üzerindeki öngerilmeli viskoelastik levha ve bunun üzerindeki öngerilmeli viskoelastik örtü tabakasından oluşan sistemin harmonik değişen hareketli yük etkisindeki dinamik davranışı ele alınmıştır. Sistemin bileşenlerindeki viskoelastisite özelliklerini etkileyen parametrelerin, tabaka kalınlıklarının ve öngerilmenin kritik hıza ve gerilme yayılımına etkisine ait sayısal sonuçlar elde edilmiş ve yorumlanmıştır.

ALAN DENKLEMLERİ VE FORMÜLASYON

Kalınlıkları sırasıyla h_1 ve h_2 olan öngerilmeli viskoelastik örtü tabakası ve viskoelastik levha rijit ortam üzerinde bulunmaktadır (Şekil 1). Örtü tabakası ve viskoelastik levhanın sınırları sırasıyla $\{-\infty < x_1 < \infty, -h_1 \leq x_2 \leq 0, -\infty < x_3 < +\infty\}$, $\{-\infty < x_1 < +\infty, -(h_1 + h_2) \leq x_2 \leq -h_1, -\infty < x_3 < \infty\}$ şeklinde tanımlanmaktadır. Tabakalar homojen ve izotrop olarak kabul edilmiş olup, Ox_1x_2 düzleminde düzlem şekil değiştirme durumu dikkate alınmıştır. Formülasyonlar yazılırken tabakalar için sırasıyla (1) ve (2) üst indisleri kullanılmıştır. Ön gerilme ise $\sigma_{11}^{(1),0}$ ve $\sigma_{11}^{(2),0}$ şeklinde tanımlanmıştır. Viskoelastik örtü tabakası ve viskoelastik yarı-düzlem durumuna ait uygun problemin incelenmesi [9] da ele alınmıştır.



Şekil 1. Sistemin geometrisi

Probleme ilişkin hareket denklemi (1) de verilmiştir.

$$\frac{\partial \sigma_{ij}^{(m)}}{\partial x_i} + \sigma_{11}^{(m),0} \frac{\partial^2 u_j^{(m)}}{\partial x_1^2} = \rho^{(m)} \frac{\partial^2 u_j^{(m)}}{\partial t^2} \quad i, j, m = 1, 2 \quad (1)$$

Viskoelastik levhada şekil değiştirme-yer değiştirme bağıntıları izleyen şekilde olmaktadır.

$$\varepsilon_{ij}^{(m)} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i^{(m)}}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j^{(m)}}{\partial x_i} \right) \quad i, j, m = 1, 2 \quad (2)$$

Düzlem şekil değiştirme durumu için aşağıda verilen eşitlikler yazılabilir:

$$\begin{aligned}\frac{d\sigma_{11}^{(m)}}{dt} + q^{(m)}\sigma_{11}^{(m)} &= \lambda_0^{(m)} \left(\frac{d\theta^{(m)}}{dt} + r_\lambda^{(m)}\theta^{(m)} \right) + 2\mu_0^{(m)} \left(\frac{d\varepsilon_{11}^{(m)}}{dt} + r_\mu^{(m)}\varepsilon_{11}^{(m)} \right) \\ \frac{d\sigma_{22}^{(m)}}{dt} + q^{(m)}\sigma_{22}^{(m)} &= \lambda_0^{(m)} \left(\frac{d\theta^{(m)}}{dt} + r_\lambda^{(m)}\theta^{(m)} \right) + 2\mu_0^{(m)} \left(\frac{d\varepsilon_{22}^{(m)}}{dt} + r_\mu^{(m)}\varepsilon_{22}^{(m)} \right) \\ \frac{d\sigma_{12}^{(m)}}{dt} + q^{(m)}\sigma_{12}^{(m)} &= 2\mu_0^{(m)} \left(\frac{d\varepsilon_{12}^{(m)}}{dt} + r_\mu^{(m)}\varepsilon_{12}^{(m)} \right)\end{aligned}\quad (3)$$

(3) eşitliğinde $\lambda_0^{(m)}$ ve $\mu_0^{(m)}$ Lamé sabitlerinin anlık değerleridir. $q^{(m)}$, $r_\lambda^{(m)}$ ve $r_\mu^{(m)}$ dikkate alınan sistemde m. tabakanın reolojik parametreleridir. Ayrıca (3) eşitliğinde $1/q^{(m)}$, $1/r_\lambda^{(m)}$ ve $1/r_\mu^{(m)}$ oranları zaman boyutuna sahiptir. Sonuç olarak $1/q^{(m)}$ karakteristik gevşeme süresi şeklinde, $1/r_\lambda^{(m)}$ veya $1/r_\mu^{(m)}$ ise sünme süresi şeklinde dikkate alınabilir.

Örtü tabakasının üst yüzeyinde;

$$\sigma_{12}^{(1)} \Big|_{x_2=0} = 0, \quad \sigma_{22}^{(1)} \Big|_{x_2=0} = P e^{i\omega t} \delta(x_1 - Vt) \quad (4)$$

sınır koşulları bulunmaktadır. Buradaki δ Dirac delta fonksiyonunu göstermektedir. Örtü tabakası ile viskoelastik levha arasındaki yüzeyde izleyen tam temas koşulları bulunmaktadır:

$$\sigma_{i2}^{(1)} \Big|_{x_2=-h_1} = \sigma_{i2}^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1}, \quad u_i^{(1)} \Big|_{x_2=-h_1} = u_i^{(2)} \Big|_{x_2=-h_1}, \quad i=1,2 \quad (5)$$

Ayrıca viskoelastik levhanın rijit ortam üzerine temas ettiği bölgede yer değiştirme oluşmamaktadır.

$$u_1^{(2)} \Big|_{x_2=-(h_1+h_2)} = 0, \quad u_2^{(2)} \Big|_{x_2=-(h_1+h_2)} = 0 \quad (6)$$

(4-6) sınır ve süreklilik koşulları kullanılarak çözümü yapılan (1-3) denklemleri ile probleme ait bilinmeyen büyüklükler hesaplanabilmektedir.

$g(x'_1, x'_2, t) = \bar{g}(x'_1, x'_2) e^{i\omega t}$ tanımlaması ve $x'_2 = x_2$, $x'_1 = x_1 - Vt$ hareketli koordinat sistemi kullanılarak (1) den aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir.

$$\frac{\partial \sigma_{ij}^{(m)}}{\partial x_i} = \rho^{(m)} \left(-V^2 \frac{\partial^2 u_j^{(m)}}{\partial x_1^2} - 2i\omega V \frac{\partial u_j^{(m)}}{\partial x_1} - \omega^2 u_j^{(m)} \right) \quad (7)$$

(4) eşitliğinde verilen ikinci sınır koşulu ve (3) korunum eşitliği, sırasıyla (8) ve (9) eşitliklerine dönüşür.

$$\sigma_{22}^{(1)} \Big|_{x_2=0} = -P \delta(x_1) \quad (8)$$

$$\begin{aligned}
 -V \frac{d\sigma_{11}^{(m)}}{dx_1} + (i\omega + q^{(m)})\sigma_{11}^{(m)} &= \lambda_0^{(m)} \left(-V \frac{d\theta^{(m)}}{dx_1} + (i\omega + r_\lambda^{(m)})\theta^{(m)} \right) + 2\mu_0^{(m)} \left(-V \frac{d\varepsilon_{11}^{(m)}}{dx_1} + (i\omega + r_\mu^{(m)})\varepsilon_{11}^{(m)} \right), \\
 -V \frac{d\sigma_{22}^{(m)}}{dx_1} + (i\omega + q^{(m)})\sigma_{22}^{(m)} &= \lambda_0^{(m)} \left(-V \frac{d\theta^{(m)}}{dx_1} + (i\omega + r_\lambda^{(m)})\theta^{(m)} \right) + 2\mu_0^{(m)} \left(-V \frac{d\varepsilon_{22}^{(m)}}{dx_1} + (i\omega + r_\mu^{(m)})\varepsilon_{22}^{(m)} \right), \\
 -V \frac{d\sigma_{12}^{(m)}}{dx_1} + (i\omega + q^{(m)})\sigma_{12}^{(m)} &= 2\mu_0^{(m)} \left(-V \frac{d\varepsilon_{12}^{(m)}}{dx_1} + (i\omega + r_\mu^{(m)})\varepsilon_{12}^{(m)} \right).
 \end{aligned} \tag{9}$$

Eşitliklerin çözümünde $f_F(sx_2) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x_1, x_2) e^{-isx_1} dx_1$ Fourier integral dönüşümü kullanılmıştır.

Böylece hareket denklemleri:

$$\begin{aligned}
 is\sigma_{11F}^{(m)} + \frac{d\sigma_{12F}^{(m)}}{dx_2} - s^2\sigma_{11}^{(m),0} u_{1F}^{(m)} &= \rho^{(m)} (s^2V^2 - 2s\omega V - \omega^2) u_{1F}^{(m)}, \\
 is\sigma_{12F}^{(m)} + \frac{d\sigma_{22F}^{(m)}}{dx_2} - s^2\sigma_{11}^{(m),0} u_{2F}^{(m)} &= \rho^{(m)} (s^2V^2 - 2s\omega V - \omega^2) u_{2F}^{(m)},
 \end{aligned} \tag{10}$$

Şekil değiştirme - yer değiştirme bağıntısı:

$$\varepsilon_{11F}^{(m)} = isu_{1F}^{(m)}, \quad \varepsilon_{22F}^{(m)} = \frac{du_{2F}^{(m)}}{dx_2}, \quad \varepsilon_{12F}^{(m)} = \frac{1}{2} \left(isu_{2F}^{(m)} + \frac{du_{1F}^{(m)}}{dx_2} \right) \tag{11}$$

ve korunum eşitlikleri:

$$\begin{aligned}
 (q^{(m)} - i(sV - \omega))\sigma_{11F}^{(m)} &= \lambda_0^{(m)} (r_\lambda^{(m)} i(sV - \omega))\theta_F^{(m)} + 2\mu_0^{(m)} (r_\mu^{(m)} i(sV - \omega))\varepsilon_{11F}^{(m)}, \\
 (q^{(m)} - i(sV - \omega))\sigma_{22F}^{(m)} &= \lambda_0^{(m)} (r_\lambda^{(m)} i(sV - \omega))\theta_F^{(m)} + 2\mu_0^{(m)} (r_\mu^{(m)} i(sV - \omega))\varepsilon_{22F}^{(m)}, \\
 (q^{(m)} - i(sV - \omega))\sigma_{12F}^{(m)} &= 2\mu_0^{(m)} (r_\mu^{(m)} i(sV - \omega))\varepsilon_{12F}^{(m)},
 \end{aligned} \tag{12}$$

şeklini alırlar. (2) eşitliği, (4) te verilen birinci sınır koşulu, (5) ve (6) daki temas koşulları Fourier dönüşümü sonrasında da aynı kalır. Ancak (4) te verilen ikinci sınır koşulu aşağıdaki şekilde değişir.

$$\sigma_{22F}^{(1)} \Big|_{x_2=0} = -P \tag{13}$$

Bazı matematiksel işlemler neticesinde:

$$\sigma_{11F}^{(m)} = \lambda_{com}^{(m)} \theta_F^{(m)} + 2\mu_{com}^{(m)} \varepsilon_{11F}^{(m)}, \quad \sigma_{22F}^{(m)} = \lambda_{com}^{(m)} \theta_F^{(m)} + 2\mu_{com}^{(m)} \varepsilon_{22F}^{(m)}, \quad \sigma_{12F}^{(m)} = 2\mu_{com}^{(m)} \varepsilon_{12F}^{(m)} \tag{14}$$

elde edilir. (14) eşitliğinde aşağıdaki notasyonlar kullanılmıştır:

$$\begin{aligned}
 \lambda_{com}^{(m)} &= \lambda_1^{(m)} + i\lambda_2^{(m)}, \quad \mu_{com}^{(m)} = \mu_1^{(m)} + i\mu_2^{(m)} \\
 \lambda_1^{(m)} &= \lambda_0^{(m)} \frac{d_\lambda^{(m)} + \left(Q^{(m)} \frac{c_2^{(1)}}{c_2^{(m)}} \right)^2 ((sh_1)c - \Omega)^2}{1 + \left(Q^{(m)} \frac{c_2^{(1)}}{c_2^{(m)}} \right)^2 ((sh_1)c - \Omega)^2}, \quad \lambda_2^{(m)} = \lambda_0^{(m)} \frac{Q^{(m)} \frac{c_2^{(1)}}{c_2^{(m)}} ((sh_1)c - \Omega)(d_\lambda^{(m)} - 1)}{1 + \left(Q^{(m)} \frac{c_2^{(1)}}{c_2^{(m)}} \right)^2 ((sh_1)c - \Omega)^2},
 \end{aligned}$$

$$\mu_1^{(m)} = \mu_0^{(m)} \frac{d_\mu^{(m)} + \left(Q^{(m)} \frac{c_2^{(1)}}{c_2^{(m)}} \right)^2 ((sh_1)c - \Omega)^2}{1 + \left(Q^{(m)} \frac{c_2^{(1)}}{c_2^{(m)}} \right)^2 ((sh_1)c - \Omega)^2}, \quad \mu_2^{(m)} = \mu_0^{(m)} \frac{Q^{(m)} \frac{c_2^{(1)}}{c_2^{(m)}} ((sh_1)c - \Omega)(d_\mu^{(m)} - 1)}{1 + \left(Q^{(m)} \frac{c_2^{(1)}}{c_2^{(m)}} \right)^2 ((sh_1)c - \Omega)^2} \quad (15)$$

burada;

$$c = \frac{V}{c_2^{(1)}}, \quad \Omega = \frac{h_1 \omega}{c_2^{(1)}}, \quad Q^{(m)} = \frac{c_2^{(1)}}{h_1 q^{(m)}}, \quad d_\lambda^{(m)} = \frac{r_\lambda^{(m)}}{q^{(m)}}, \quad d_\mu^{(m)} = \frac{r_\mu^{(m)}}{q^{(m)}}, \quad \eta_{(m)} = \frac{\sigma_{11}^{(m),0}}{\mu_{com}^{(m)}} \quad (16)$$

olmaktadır.

Burada Ω hareketli yükün boyutsuz frekansı; $d_\lambda^{(m)}$, $d_\mu^{(m)}$ ve $Q^{(m)}$ m . malzeme bileşenine ait viskoelastisiteye ilişkin reolojik parametrelerdir.

$u_{1F}^{(m)}$ ve $u_{2F}^{(m)}$ i elde etmek için aşağıdaki denklemler yazılır.

$$\begin{aligned} -(sh_1)^2 a^{(m)} u_{1F}^{(m)} + \frac{d^2 u_{1F}^{(m)}}{d(x_2/h_1)^2} + i(sh_1) b^{(m)} \frac{du_{2F}^{(m)}}{d(x_2/h_1)} &= 0, \\ i(sh_1) b^{(m)} \frac{du_{1F}^{(m)}}{d(x_2/h_1)} - (sh_1)^2 c^{(m)} u_{2F}^{(m)} + (b^{(m)} + 1) \frac{d^2 u_{2F}^{(m)}}{d(x_2/h_1)^2} &= 0, \end{aligned} \quad (17)$$

Burada;

$$\begin{aligned} a^{(m)} &= 2 + \frac{\lambda_{com}^m}{\mu_{com}^{(m)}} + \frac{\sigma_{11}^{(m),0}}{\mu_{com}^{(m)}} - \frac{c^2}{(c_{2com}^{(m)})^2} + 2i \frac{\Omega c}{(c_{2com}^{(m)})^2} - \frac{\Omega^2}{(c_{2com}^{(m)})^2}, \\ b^{(m)} &= \frac{\lambda_{com}^m}{\mu_{com}^{(m)}} + 1, \quad d^{(m)} = b^{(m)} + 1 = 2 + \frac{\lambda_{com}^m}{\mu_{com}^{(m)}}, \\ c^{(m)} &= 1 - \frac{c^2}{(c_{2com}^{(m)})^2} + 2i \frac{\Omega c}{(c_{2com}^{(m)})^2} - \frac{\Omega^2}{(c_{2com}^{(m)})^2}, \quad c_{2com}^{(m)} = \sqrt{\mu_{com}^{(m)} / \rho^{(m)}}. \end{aligned} \quad (18)$$

(17) eşitliği çözümlerse ve yukarıdaki bağıntılar kullanılırsa yerdeğiştirmelere ve gerilmelere ait ifadeler elde edilir:

Böylece (4), (5) ve (1) eşitliklerini kullanarak $u_{1F}^{(m)}$ ve $u_{2F}^{(m)}$ için eşitlikler elde edilir.

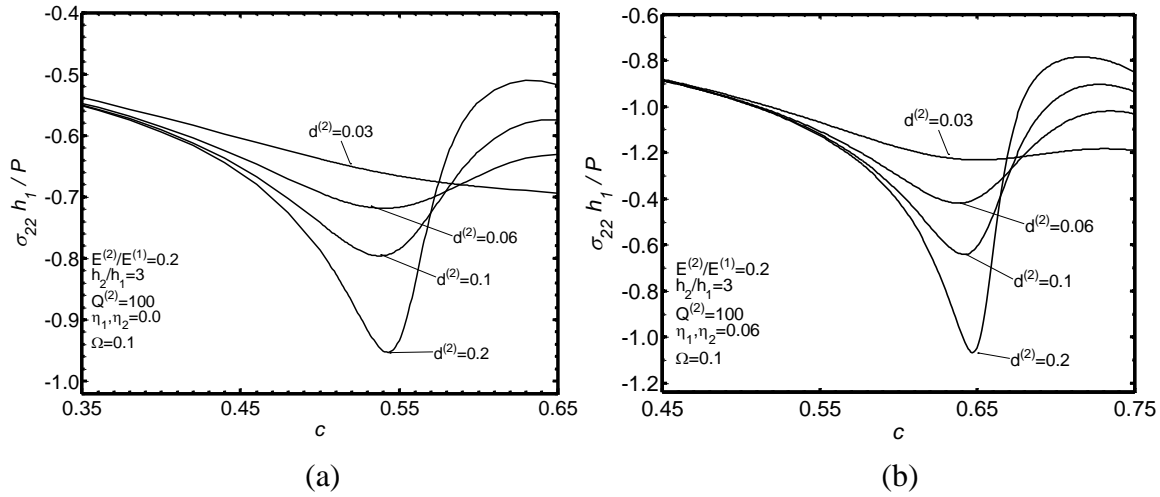
SAYISAL SONUÇLAR

Çalışmada tanımlanan problemin çözümü için geliştirilen algoritma ile elde edilen sayısal sonuçlar grafiksel olarak verilmiş ve yorumlanmıştır. Bu çalışmada levha kalınlıklarının değişimi, h_2/h_1 oranı dikkate alınarak, öngörilmeli viskoelastik iki tabakanın temas yüzeyindeki boyutsuz hıza göre gerilme dağılımı incelenmektedir. Ayrıca ikinci tabakaya ait viskoelastik özellikleri belirleyen reolojik parametreler olan, $d^{(2)}$ ve $Q^{(2)}$ parametrelerinin de hız - gerilme yayılımına etkisi incelenmiştir.

Basitleştirme açısından $d_\lambda^{(m)} = d_\mu^{(m)}$ olarak varsayılmıştır ve $d^{(m)} (= d_\lambda^{(m)} = d_\mu^{(m)})$ şeklinde

tanımlanmıştır. $d^{(2)}$ ve $Q^{(2)}$ parametrelerinin değerindeki azalma, ikinci tabaka malzemesinin viskozite özelliklerinde artışa işaret etmektedir. Diğer taraftan bu parametrelerdeki artış, viskozitede azalmayı işaret etmektedir.

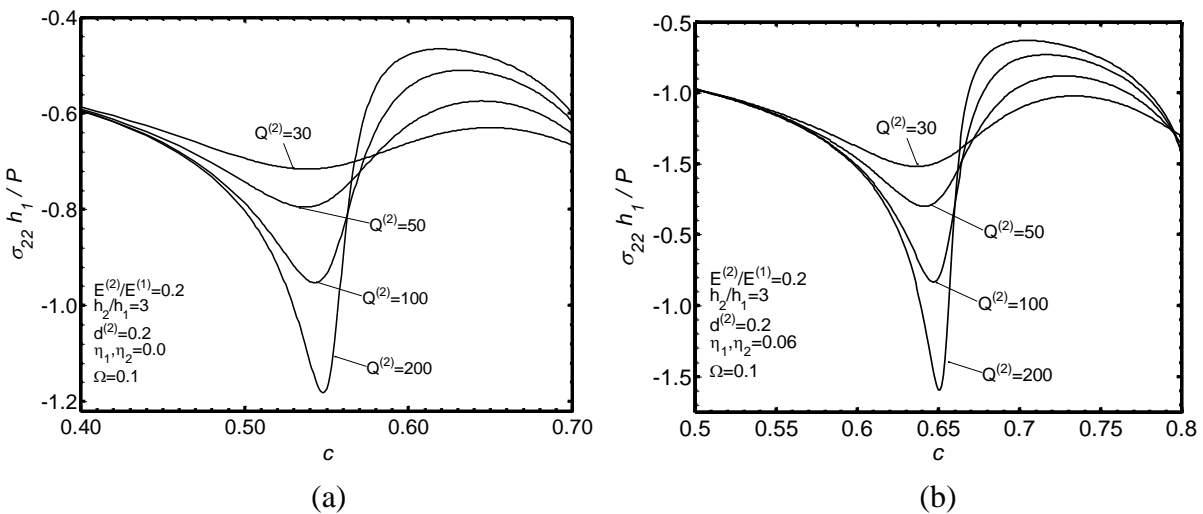
Şekil 2'de $\Omega=0.1$, $E_0^{(2)}/E_0^{(1)}=0.2$, $\nu_0^{(2)}=\nu_0^{(1)}=0.3$, $Q^{(2)}=100$, $h_2/h_1=3$ için farklı $d^{(2)}$ parametresinin boyutsuz hız-normal gerilme dağılımlarına etkisi öngerilmemiş ve öngerilmeli durumlar için incelenmiştir.



Şekil 2. $\Omega=0.1$ için a) öngerilmemiş b) öngerilmeli durumda $d^{(2)}$ parametresinin boyutsuz hız-normal gerilme dağılımlarına etkisi

Şekil 2'de $d^{(2)}$ parametresinin artması ile malzemenin viskozitesi azalmakta, elastik duruma yaklaşmaktadır. Bu durumda beklenen şekilde σ_{22} normal gerilmesinin mutlak en büyük değeri artmaktadır. Sisteme öngerilme uygulanması ile kritik hız değeri ve σ_{22} normal gerilmesinin mutlak en büyük değeri artmaktadır.

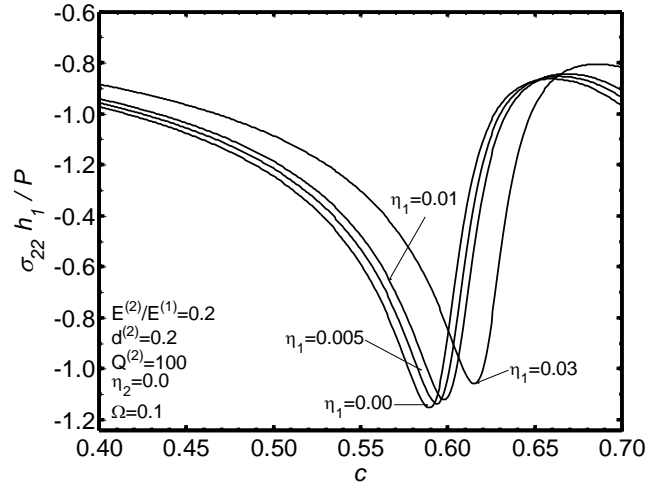
Şekil 3'te $\Omega=0.1$, $E_0^{(2)}/E_0^{(1)}=0.2$, $\nu_0^{(2)}=\nu_0^{(1)}=0.3$, $d^{(2)}=0.2$, $h_2/h_1=3$ için farklı $Q^{(2)}$ parametresinin boyutsuz hız-normal gerilme dağılımlarına etkisi öngerilmemiş ve öngerilmeli durumlar için incelenmiştir.



Şekil 3. $\Omega = 0.1$ için a) öngerilmemiş b) öngerilmeli durumda $Q^{(2)}$ parametresinin boyutsuz hız-normal gerilme dağılımlarına etkisi

$Q^{(2)}$ parametresinin artması ile malzemenin viskozitesi azalmakta, elastik duruma yaklaşmaktadır ve σ_{22} normal gerilmesinin mutlak en büyük değeri artmaktadır. Sisteme öngerilme uygulanması ile kritik hız değeri ve σ_{22} normal gerilmesinin mutlak en büyük değeri artmaktadır.

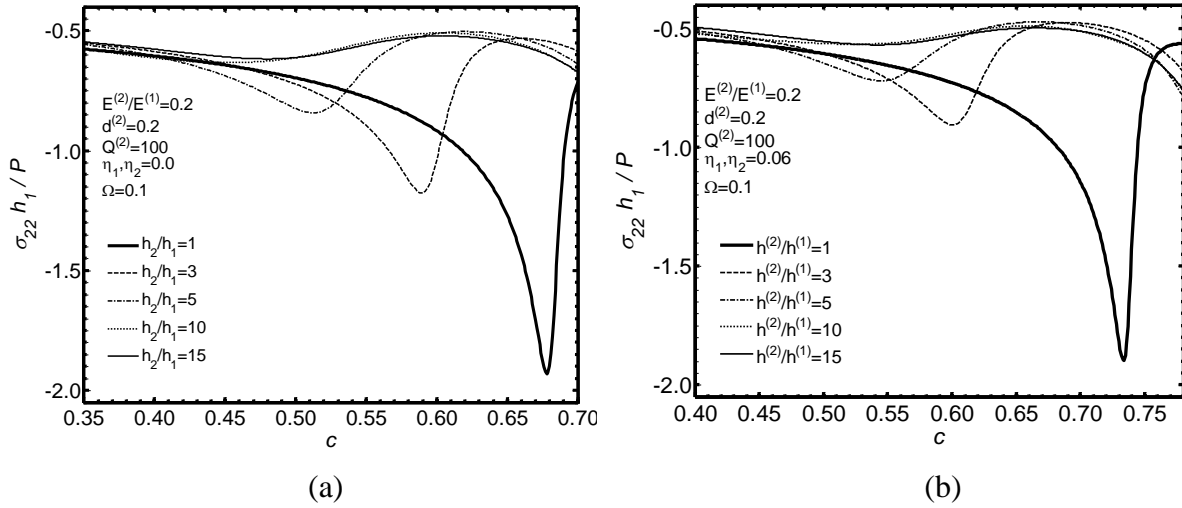
Şekil 4'te $E_0^{(2)}/E_0^{(1)} = 0.2$, $\nu_0^{(2)} = \nu_0^{(1)} = 0.3$, $d^{(2)} = 0.2$, $Q^{(2)} = 100$ ve $h_2/h_1 = 3$ değerleri için $\Omega = 0.1$ de $x_1/h_1 = 0$ da $\sigma_{22}h_1/P$ nin c ye göre değişimi farklı öngerilme değerleri için ($\eta_1 = 0.0, 0.005, 0.01, 0.03$) incelenmiştir.



Şekil 4. $\Omega = 0.1$ için örtü tabakasındaki ön çekme gerilmesinin boyutsuz hız-normal gerilme dağılımlarına etkisi

Şekil 4'te görüldüğü üzere örtü tabakasındaki ön çekme gerilmesi değeri arttıkça kritik hız değeri artmaktadır. Örtü tabakasındaki çekme ön gerilmesi ilgili gerilmeleri azaltmaktadır. Örtü tabakasındaki ön gerilmenin σ_{22} nin rezonans değerlerini azalttığı görülmektedir.

Şekil 5'te $E_0^{(2)}/E_0^{(1)} = 0.2$, $\nu_0^{(2)} = \nu_0^{(1)} = 0.3$, $d^{(2)} = 0.2$, $Q^{(2)} = 100$ ve $\Omega = 0.1$ alınmıştır. Şekil 5'te öngerilmemiş ve öngerilmeli durumlar için levha kalınlıklarındaki artışın normal gerilme-boyutsuz hız ($\sigma_{22} - c$) değişimine etkisi incelenmiştir. Normal gerilme σ_{22} nin mutlak maksimum değerleri h_2/h_1 oranının artması ile, diğer bir deyişle tabaka kalınlığı oranlarının artması ile azalmaktadır. Ayrıca normal gerilmenin mutlak en büyük değerine karşılık gelen kritik hız değerleri belirgin bir biçimde küçülmektedir. Sisteme ön çekme gerilmesi uygulanması ile kritik hız değerleri artmaktadır.



Şekil 5. $\Omega = 0.1$ için a) öngerilmemiş b) öngerilmeli durumda levha yükseklik oranlarındaki değişimin kritik hıza etkisi

SONUÇLAR

Çalışmada rijit bir ortam üzerindeki öngerilmeli viskoelastik levha ve bunun üzerindeki viskoelastik örtü tabakasından oluşan sistemin harmonik değişen hareketli yük etkisindeki dinamik davranışı ele alınmıştır. Sistemin bileşenlerindeki viskoelastisitenin, tabaka kalınlıklarının ve öngerilmelinin bu davranışa etkisi incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre tabaka kalınlıkları oranı azaldıkça gerilme değerleri artmaktadır. Malzemenin viskoelastik özelliklerini belirleyen parametreler olan, $d^{(2)}$ ve $Q^{(2)}$ parametrelerinin de gerilme yayılımına etkisi incelenmiştir. $d^{(2)}$ ve $Q^{(2)}$ parametrelerin değerindeki azalma ikinci tabaka malzemesinin viskozite özelliklerinde artışa işaret etmektedir. $d^{(2)}$ ve $Q^{(2)}$ parametreleri azaldıkça gerilmelerin mutlak en büyük değerleri azalmaktadır.

Ayrıca incelenen problem parametreleri için h_2 / h_1 oranının artması, diğer bir deyişle tabaka kalınlığı oranlarının artması ile normal gerilmenin mutlak en büyük değerine karşılık gelen boyutsuz hız değerleri yani c_{kr} , kritik hız değerleri ve bu c_{kr} değerlerine karşılık gelen σ_{22} normal gerilme değerleri belirgin bir biçimde azalmaktadır.

Örtü tabakasındaki ön çekme gerilmesi değeri arttıkça kritik hız değeri artmaktadır. Örtü tabakasındaki çekme ön gerilmesi ilgili gerilmeleri azaltmaktadır. Ayrıca ön germenin σ_{22} nin rezonans değerlerini azalttığı görülmektedir.

Her iki tabakaya çekme öngerilmesi uygulanması ile kritik hız değerlerinde artış gözlenmektedir.

Nümerik sonuçlar, temas yüzeyinde oluşan gerilme değerlerini göstermektedir. Mevcut çalışma, diğer hareketli ve titreşimli hareketli yük problemlerinde de uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] J. D. Achenbach, S. P. Keshava, G. Herman, Moving load on a plate resting on an elastic half-space, *Trans ASME Ser. E. J. Appl. Mech.*, 1967: 34 (4) s. 183-189.
- [2] S. Yu. Babich, Yu. P. Glukhov, A.N. Guz, Dynamics of a layered compressible prestressed half-space under the influence of moving load, *Int. Appl. Mech.*, 1986: 22 (6) s. 808-815.

- [3] S. Yu. Babich, Yu. P. Glukhov, A.N. Guz, To the solution of the problem of the action of a live load on a two-layer half space with initial stress, *Int. Appl. Mech.*, 1988: 24 (8) s. 775-780.
- [4] S. Yu. Babich, Yu. P. Glukhov, A.N. Guz, Dynamics of a pre-stressed incompressible layered half-space under load, *Int. Appl. Mech.*, 2008: 44 (3) s. 268-285.
- [5] S. Yu. Babich, Yu. P. Glukhov, A.N. Guz, A dynamic for a pre-stressed compressible layered half-space under moving load, *Int. Appl. Mech.*, 2008: 44 (4) s. 388-405.
- [6] S. D. Akbarov, C. Guler, E. Dincsoy, The critical speed of a moving load on a pre-stressed plate resting on a pre-stressed half-plane, *Mech. Comp. Mater.*, 2007: 43 (2) s. 388-405.
- [7] E. Dincsoy, V. Guler, S. D. Akbarov, Dynamical response of a pretrained system comprising of a substrate and bond and covering layers to a moving load, *Mech. Comp. Mater.*, 2009: 45 (5) s. 527-536.
- [8] S. D. Akbarov, K. A. Salmanova, On the dynamics of a finite pre-streined bi-layered slab resting on a rigid foundation under the action of an oscillating moving load, *J. Sound Vibration*, 2009: 327 (3-5) s. 454-472.
- [9] S. D. Akbarov, *Dynamics of Pre-strained Bi-material Elastic Systems*, Springer, 2015.
- [10] S. D. Akbarov, N. İlhan, N. S. Şahin, Dynamic response to a time-harmonic moving load of a system comprising of viscoelastic layer covering a viscoelastic half space, *XVIII. International Conference on Mechanics on Composite Materials*, MCM 2014, Riga, Latvia, 2014, s. 21.
- [11] S. D. Akbarov, N. İlhan, N. S. Şahin, Rijit Ortam Üzerindeki Viskoelastik Örtü Tabakası ve Viskoelastik Levhadan Oluşan Sistemin Dinamik Davranışına Levha Yüksekliğinin Etkisi, *19. Ulusal Mekanik Kongresi*, Trabzon, Türkiye, 2015, s. 34-43.