

ELASTİK ZEMİNE OTURAN YAPILARIN HESAP YÖNTEMLERİNE GENEL BİR BAKIŞ

Ömer CİVALEK(*)

ÖZET

Çeşitli özellikteki zeminler ile temas halinde olan mühendislik yapılarının hesapları günümüzde de önemini korumaktadır. Bu çalışmalarda çeşitli tiplerde zemin modelleri kullanıldığı gibi, kullanılan analiz yöntemleride çeşitli olabilmektedir. Bu yazıda; elastik veya elastik olmayan zeminler ile temas halinde olan kiriş, plak veya kabuk yapıların analizleri açıklanmış, bu analizlerde kullanılan metotlar irdelenmiş, ve konunun günümüze kadar olan gelişmesi ana hatları ile vurgulanmıştır. Son bölümde ülkemizde bu konuda çalışan değerli bilim adamları ve konu hakkındaki eserlerine değinilmiştir. Kaynaklar bölümünde elastik zemine oturan kiriş, plak ve kabuk yapılar ile ilgili literatür özetlenmiş plak ve kabuklar ile ilgili ek bir kaynaklar listesi verilmiştir.

1. GİRİŞ

Elastik zemine oturan çeşitli geometrilerdeki kiriş, plak ve kabukların lineer ve lineer olmayan analizi geçen 25 yıl boyunca araştırmacıların ve teorisyenlerin en fazla ilgisini çeken konulardan biri olmuştur. Özellikle 1960' lı yıllardan sonra uçak-uzay sanayiindeki hızlı gelişmeler ve kompozitlerin sektörde kullanılması ile farklı tip ve amaçlar için geliştirilen yapılar ile birlikte elastik zemine oturan yapı türlerinde ve ihtiyaçlarında da bir artış olmuştur.

Elastik zemine oturan plak ve kabuklar pek çok sektörde özellikle; füze ve roket rampaları olarak askeri alanlarda ve uçak-uzay sanayisinde, teknoloji de çeşitli uygulamalarda, inşaat ve makine mühendisliği alanında, endüstride çeşitli fabrika kren ve makinaların zemine sabitlenmesinde, diş hekimliği ve biyomekanikte, kıyı-liman yapılarında, sıvı ve gazların iletim hatlarında, temel ve zemin mühendisliğinde, nükleer enerji santrallerinde, uçak hangarlarında, özel amaçlı (özellikle ağır kargo uçakları ve süpersonik uçakların inebileceği) hava alanı

inşasında ve demiryolu uygulamalarında karşılaşırlar [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Daha çok yüksek maliyet gerektiren büyük kapsamlı işlerde ve stratejik yapılarda kullanılan elastik zemine oturan plak ve kabukların her türlü dış etkiye karşı yeter güvencilikte inşası büyük önem kazanmaktadır. Dolayısı ile, gerek mevcut yükler ve kendi ağırlıkları altındaki gerilme, deformasyon, eğilme ve çeşitli noktalarındaki deplasmanlarının hesaplandığı statik hesap ve gerekse deprem gibi dinamik yükler altındaki dinamik analizleri yeter hassasiyete sahip olarak yapılmalıdır.

2. ELASTİK ZEMİNE OTURAN YAPILARIN ANALİZİ

Günümüze kadar elastik zemine oturan plak ve kabukların hesabı çeşitli sayısal yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmalarda daha çok, sonlu farklar, sonlu elemanlar, sınır elemanlar, Ritz, Galerkin yöntemi, sayısal ya da çok ölçekli pertürbasyon yöntemlerin kullanıldığı pertürbasyon teknikleri, kollokasyon, varyasyonel teknikler ve seriler ile yapılmış çözümleri içermektedir.

Nath ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada [1] elastik zemine oturan dikdörtgen plakların lineer olmayan titreşimi incelenmiştir. Zamana bağlı olarak deplasmanlar elde edilmiştir. Üniform adım yük ve sinüs periyodik gibi iki farklı dinamik yük etkisi dikkate alınmıştır. Plakın lineer olmayan dinamik hesabı için gerekli hareket denklemi Von- Karman plak denklemi olarak elde edilmiş ve bu denklem sonlu farklar metodu ile çözülmüştür. Zemin parametresi, K, değerinin artmasıyla hesaplanan deplasmanın genliğinin azaldığı vurgulanmıştır.

Dumir ve Bhaskar [2] Winkler ve Pasternak tipi elastik zemine oturan dikdörtgen plakların lineer olmayan statik hesabını yapmışlardır. Çalışmada ortogonal nokta kollokasyon metodunu kullanmışlardır. Göz önüne alınan zemin modeli non-lineerdir. Mesnet koşulları olarak basit ve ankastre durumlar dikkate alınmıştır.

(*) Yrd. Doç. Dr., Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Topçular-Antalya

Dumir yapmış olduğu çalışmada izotrop ince plakların Galerkin yöntemiyle lineer olmayan dinamik analizini yapmıştır ve elde ettiği değerlere elastik zeminin etkisi incelenmiştir [3].

Elastik zemine oturan ince izotrop dairesel plakların lineer olmayan dinamik hesabı Chebyshev polinomları ve Houbolt tekniği ile hesaplanmıştır [4]. Çalışmada göz önüne alınan elastik zemin, hem Winkler (kesme etkilerinin ihmal edildiği) hem de Pasternak (kesme etkisinin dikkate alındığı) zemin türleridir. Plak lineer olmayan titreşiminin yönetici diferansiyel denklemi hem konum hem de zaman değişkeninin çeşitli mertebelerden türevlerini içeren bir non-lineer denklemdir. Çalışmada konum değişkeninin integrasyonu için Chebyshev polinomları, zaman değişkeninin integrasyonu için Houbolt tekniği kullanılmıştır.

Yapılan diğer çalışmalarda [5, 10] dairesel plakların geometrik bakımdan lineer olmayan statik hesabı Chebyshev polinomları kullanılarak yapılmıştır.

Sonlu farklar ve Houbolt metotları, elastik zemine oturan çift eğrilikli basık kabukların dinamik hesabına uygulanmıştır [6]. Von Karman-Donnell kabuk teorisi kullanılarak sistem yönetici denklemi elde edilmiştir. Sisteme ait bu hareket denklemi, konum değişkenini içeren türevlerin sonlu farklar, zaman değişkeni için Houbolt sayısal integrasyon metodunun kullanılması ile lineer bir denklem takımına indirgenmiştir. Dinamik yük olarak adım ve sinüsoidal yük dikkate alınmıştır. Zemin rijitliği ve kütesinin deplasmanlar üzerine etkisi incelenmiştir.

Cheung tarafından yapılan çalışmada [7] elastik zemine oturan dikdörtgen plakların sonlu elemanlar ile çözümü sunulmuştur. Lineer statik analizin yapıldığı çalışmada eğilme momentleri ve gerilmeler hesaplanmıştır.

Bir başka çalışmada [8] Reissner-Mindlin plak teorisi kullanılarak iki parametrelili elastik zemine oturan dikdörtgen plaklar için 9 düğüm noktalı bir katı (solid) sonlu eleman geliştirilmiş ve lineer statik analiz yapılmıştır.

Kukreti ve Man-Gi yaptıkları çalışmada [9] üniform yayılı yük etkisindeki dikdörtgen plakların minimum potansiyel enerji prensibine dayalı analitik yaklaşım ile lineer statik hesabı yapılmıştır.

Dairesel ve dikdörtgen plakların non-lineer titreşim frekanslarının hesaplandığı çalışmada [11] Galerkin metodu kullanılmıştır.

Qin [12] yaptığı çalışmasında kare bir plağın çeşitli noktalarındaki deplasmanları ve eğilme momentleri Winkler ve Pasternak zemin türü için incelenmiştir. Çalışmada Hibrit bir sonlu eleman modeli önerilmiştir.

İki parametrelili zemin modelinin dikkate alındığı çalışmada Yang [13] ince dikdörtgen plakların lineer statik hesabını yapmış ve çeşitli noktalardaki düşey deplasmanlar ile eğilme değerleri elde edilmiştir.

Sonlu elemanlar metodu ile elastik zemine oturan plakların lineer statik hesabı yapılmış ve eğilme momenti ile deplasmanlar bulunmuştur. Winkler zemin için çözüm yapılmış ve metot izotrop elastik yarı düzlem için genelleştirilerek zemin etkisini içeren genel bir rijitlik matrisi kurulmuştur [14].

Dillard tarafından yapılan çalışmada [15] Winkler elastik zemine oturan dikdörtgen ve kare plakların eğilme hesabı analitik olarak gerçekleştirilmiştir. Sistem yönetici denklemi 6. mertebeden bir diferansiyel denklem olup çözüme seriler yardımıyla ulaşılmıştır. Çalışmada tekil yük ve tekil moment etkileri dikkate alınmıştır.

Lineer vizkoelastik zemine oturan dairesel plakların eğilme hesabı Laplace dönüşümü yardımıyla gerçekleştirilmiştir [16].

Datta tarafından yapılan çalışmada [17] elastik zemine oturan daire ve dikdörtgen şeklinde geometrilere sahip plakların lineer olmayan titreşimi analitik olarak incelenmiştir. Galerkin metodu ile lineer olmayan titreşim frekansları elde edilmiştir. Basit ve ankastre mesnet koşulları için çözüm yapılmıştır.

İki parametrelili elastik zemine oturan ince plakların statik hesabı sınır elemanlar metodu ile yapılmıştır. Dördüncü mertebeden olan sisteme ait yönetici diferansiyel denklem her biri ikinci mertebeden olan Poisson ve Helmholtz gibi bilinen iki forma indirgenmiş ve sınır elemanlar metodu ile çözülmüştür [18].

Tabakalı kompozit dikdörtgen plakların lineer olmayan eğilme hesabı, üniform yayılı yük ve termal etkiler dikkate alınarak yapılmıştır. Kayma etkilerini denklemlere ilave eden Pasternak zemin modeli (iki parametrelili) kullanılan çalışmada, sayısal çözümler için Galerkin-Perturbasyon kombinasyonu kullanılmıştır [19].

Lineer davranışa sahip olmayan bir zemine oturan kompozit tabakalı dikdörtgen bir plağın, eksenel olmayan düzlem yükü etkisinde inelastik burkulma hesabı analitik olarak incelenmiştir [20]. Çalışmada kullanılan yöntem, lineerleştirmeye dayalı perturbasyon tekniğidir.

Pasternak elastik zemine oturan dairesel silindirik kabuğun serbest titreşimi, Paliwal ve Pandey [21] tarafından yapılmıştır. Literatürde yaygın olarak bilinen Donnel-Muhtari kabuk denklemleri analitik olarak çözülmüş ve zemin parametresine bağlı olarak frekans değişimi incelenmiştir.

Massalas ve Kafousias [22] yaptıkları çalışmada, kübik nonlineeriteye sahip zemine oturan basık silindirik panelin eğilmeli titreşimi incelenmiştir. Büyük deplasman teorisi ile elde edilen yönetici denklem çok ölçekli perturbasyon tekniği ile lineerleştirilmiş ve elde edilen denklem Galerkin metodu ile çözülmüştür.

Paliwal ve diğ.[23] yaptıkları çalışmada, Winkler-Pasternak iki parametrelili zemine oturan dairesel silindirik kabuğun membran kabuk teorisine dayalı elde edilen hareket denklemi bir özdeğer forma indirgenmiş ve kabuğun radyal, boylamasına ve enine titreşim modunun zemin parametresine bağlı olarak etkilendiği vurgulanmıştır.

Yine Paliwal ve Bhalla [24] tarafından yapılan çalışmada Pasternak elastik zemine oturan silindirik kabuğun lineer olmayan statik hesabı Varyasyonel prensip ve Galerkin yönteminin birlikte uygulanmasıyla yapılmıştır. Kenarlarından basit mesnetli kabuğun yük-deplasman eğrisi farklı yük, malzeme, geometri ve zemin özellikleri için elde edilmiştir.

Nath ve Jain [25] tarafından yapılan çalışmada Winkler-Pasternak elastik zemine oturan basık küresel kabuğun lineer olmayan dinamik analizi sürekli adım yük fonksiyonu için elde edilmiştir. Kabuk yönetici denklemi Donnel kabuk teorisi ile çıkartılmıştır. Elde edilen kısmi türevli nonlineer hareket denklemi Taylor serisine açılarak lineerleştirilmiştir. Daha sonra konum (uzay) değişkenleri Chebyshev serileri, zaman değişkeni ise Houbolt sayısal integrasyon metodu yardımıyla integre edilerek lineer bir denklem takımına dönüştürülmüş ve çözülmüştür.

Diferansiyel quadrature metotlarının herhangi biriyle çözülmüş elastik zemine oturan kabuk problemine literatürde rastlanmamıştır. Elastik zemine oturan plaklar ile ilgili literatürde Diferansiyel quadrature yönteminin uygulandığı iki adet çalışma olup [26, 27] bu çalışmalarda lineer statik analiz yapılmıştır.

Liu yaptığı çalışmada [26] Winkler elastik zemine oturan kalın dikdörtgen plakların Reissner plak teorisine göre elde edilen yönetici denklem diferansiyel quadrature elemanlar yöntemi ile lineer statik hesabını incelemiştir. Çalışmada basit mesnet ve ankastre mesnet durumları dikkate alınmıştır. Liew ve diğ. [27] tarafından yapılan çalışmada elastik zemine oturan kalın plakların lineer statik analizi yapılmıştır. Bilindiği gibi kalın plaklar Kirchhoff plak teorisi ile çözülmektedir. Ancak Kirchhoff plak teorisinde boyuna kayma deformasyonları ihmal edilmektedir. Bu etkileri dikkate alan plak teorileri geliştirilmiştir. Bunlar Reissner [28] ve Mindlin [29] plak teorileridir.

Aköz ve diğerleri [30], Eratlı ve diğerleri [31, 32] Omurtag ve diğerleri [33, 34] ve Doğruoğlu ve diğerleri [35, 36] tarafından yapılan çalışmalarda genel olarak karışık sonlu elemanlar formülasyonu ile elastik zemine oturan çeşitli geometrilerdeki ince ve kalın plakların statik ve dinamik analizleri incelenmiştir.

Elastik zemin modelleri ve elastik zemine oturan kirişler ile ilgili literatürde pek çok çalışma vardır [39-53]. Bu çalışmalarda elastik zemine oturan kiriş ve kolon-kiriş yapıların çeşitli yöntemler ile statik, dinamik ve burkulma analizleri verilmiştir.

Elastik zemine oturan kiriş ve plaklar ile ilgili literatürde iki önemli kitap olup; bunlar Vlasov ve Leont'ev'in İngilizceye de çevrilen (Orjinali Rusçadır) elastik zemine oturan kiriş, plak ve kabuklar ile ilgili kitabı [51] ve Hetenyi'nin yine literatürde çok iyi bilinen [52] elastik zemine oturan kirişler hakkındaki kitabıdır.

Çoşkun ve diğerleri tarafından yapılan çalışmalarda elastik zemine oturan kirişlerin lineer ve lineer olmayan titreşimleri incelenmiş ve bu analizlerde analitik ve sayısal yöntemler kullanılmıştır [53-62].

Birinci ve Erdöl [63-66], Çakıroğlu ve Erdöl [67-68] tarafından yapılan çalışmalarda elastik zemine oturan yapılar ve temas problemleri incelenmiştir.

Elastik Zemine Oturan Kirişlerin Nöro-Fuzzy Tekniği ile hakkındaki çalışma yapay zeka tekniğinin bu alana başarı ile uygulanmış bir örneğidir [99].

3. ELASTİK ZEMİNE OTURAN KİRİŞLER

Zemin modülü k olan bir elastik zemine oturan ve eğilme rijitliği EI olan üniform bir kirişin (Şekil 1a) eğilme denklemi

$$EI \frac{d^4 v}{dx^4} + kv = -q(x)$$

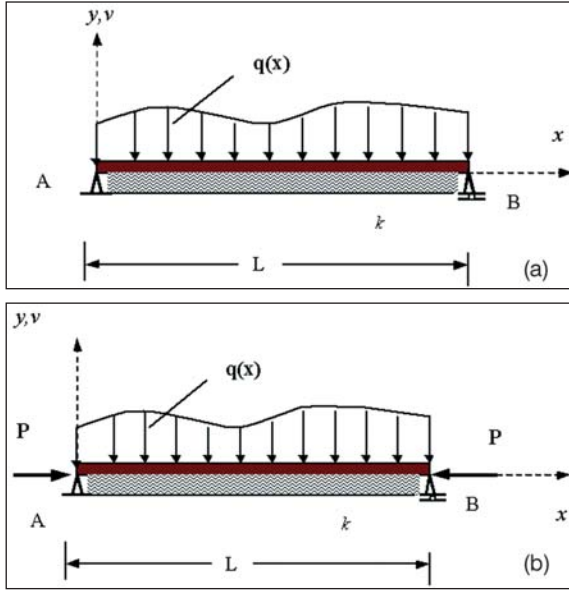
olarak verilir. Burada v kirişin çökmesini ifade eder. $q(x)$ ise kirişe etkiyen yüküdür. Elastik zemine oturan kirişe eksenine doğrultusunda yatay bir yük etkirse (Şekil 1b) bu durumda sistemin denklemi [1];

$$EI \frac{d^4 v}{dx^4} + P \frac{d^2 v}{dx^2} + kv = -q(x)$$

olarak verilir. Benzer olarak elastik kirişin serbest titreşim denklemi

$$EI \frac{d^4 v}{dx^4} + \rho A \frac{d^2 v}{dt^2} + kv = 0$$

formülü ile tanımlanır. Bu denklemlerin çözümü ile ilgili literatürde pek çok çalışma vardır.

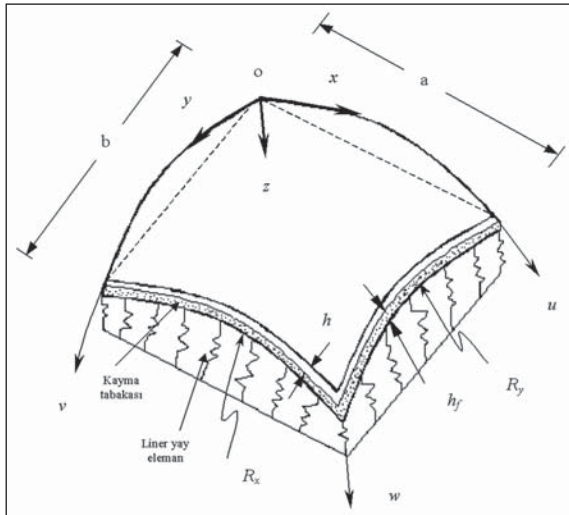


Şekil 1 - Elastik Zemine Oturan (a) Kiriş ve (b) Kolon-Kiriş Modelleri

4. ELASTİK ZEMİNE OTURAN ÇİFT EĞRİLİKLİ BASIK KABUK

Winkler-Pasternak türü iki parametrelili elastik zemine oturan çift eğrilikli basık kabuğun geometrisi Şekil 2'de verilmiştir.

Şekilde x, y, z kabuk konum değişkenleri, u, v, w,



Şekil 2 - Elastik Zemine Oturan Çift Eğrilikli Basık Babuk ve Elemanları

sırasıyla kabuğun x, y ve z yönündeki deplasmanları, a ve b kabuğun kenar boylarını, k, kabuk kenar boylarının oranını, R_x ve R_y kabuğun x ve y yönündeki eğrilikleri, G_f zemin kayma modülü, h_f zemin kalınlığıdır.

5. ELASTİK ZEMİNE OTURAN DİKDÖRTGEN PLAK

Elastik (Winkler-Pasternak) zemine oturan dikdörtgen ve izotrop plağın (Şekil 3) denklemi :

$$\frac{\partial^4 W}{\partial X^4} + 2\beta^2 \frac{\partial^4 W}{\partial X^2 \partial Y^2} + \beta^4 \frac{\partial^4 W}{\partial Y^4} - KW - G \left(\frac{\partial^2 W}{\partial X^2} + \beta^2 \frac{\partial^2 W}{\partial Y^2} \right) - Q = 0$$

olarak verilebilir. Burada β plak kenar boyutlarının oranıdır. Winkler zemin etkisi dikate alınmadığı takdirde ilgili denklem

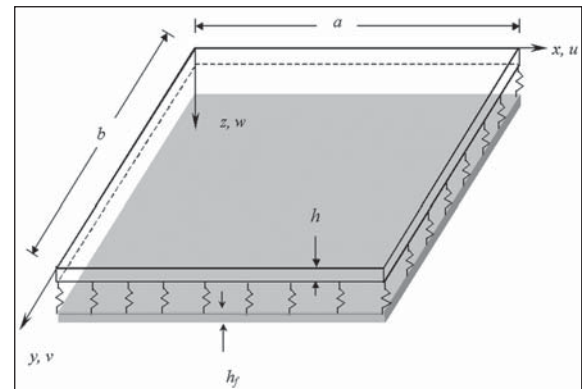
$$\frac{\partial^4 W}{\partial X^4} + 2\beta^2 \frac{\partial^4 W}{\partial X^2 \partial Y^2} + \beta^4 \frac{\partial^4 W}{\partial Y^4} - KW - Q = 0$$

şeklinde verilir. Lineer ve lineer olmayan durumlar ve ayrıca statik ve dinamik analiz için geniş bir literatür taraması ve ilgili denklemler yazarın yaptığı Doktora çalışmasında bulunabilir [100]. Elastik zemine (Winkler-Pasternak) oturan dikdörtgen ve izotrop plağın lineer olmayan hareket denklemleri ise şu şekilde verilir [1, 2, 3, 4, 100]:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \beta^2 \frac{(1-\nu)}{2} \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} + \beta \frac{(1+\nu)}{2} \frac{\partial^2 V}{\partial X \partial Y} + \left[\frac{\partial^2 W}{\partial X^2} + \beta^2 \frac{(1-\nu)}{2} \frac{\partial^2 W}{\partial Y^2} \right] \frac{\partial W}{\partial X} + \beta^2 \frac{(1+\nu)}{2} \frac{\partial W}{\partial Y} \frac{\partial^2 W}{\partial X \partial Y} = 0$$

$$\beta^2 \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} + \frac{(1-\nu)}{2} \frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \beta \frac{(1+\nu)}{2} \frac{\partial^2 U}{\partial X \partial Y} + \beta \left[\beta^2 \frac{\partial^2 W}{\partial Y^2} + \frac{(1-\nu)}{2} \frac{\partial^2 W}{\partial X^2} \right] \frac{\partial W}{\partial Y} + \beta \frac{(1+\nu)}{2} \frac{\partial W}{\partial X} \frac{\partial^2 W}{\partial X \partial Y} - \frac{\partial W}{\partial Y} = 0$$

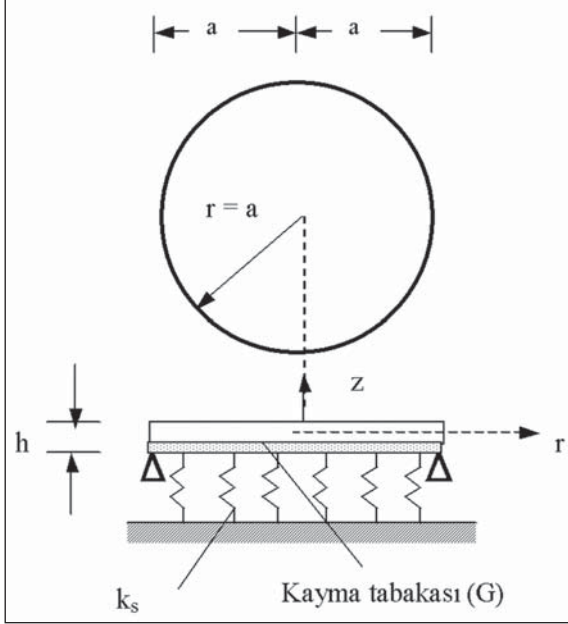
$$\frac{\partial^4 W}{\partial X^4} + 2\beta^2 \frac{\partial^4 W}{\partial X^2 \partial Y^2} + \beta^4 \frac{\partial^4 W}{\partial Y^4} - 12 \left[\frac{\partial U}{\partial X} + \beta \nu \frac{\partial V}{\partial Y} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial W}{\partial X} \right)^2 + \frac{1}{2} \beta^2 \nu \left(\frac{\partial W}{\partial Y} \right)^2 \right] \frac{\partial^2 W}{\partial X^2} - 12 \left[\beta \frac{\partial V}{\partial Y} + \nu \frac{\partial U}{\partial X} + \frac{1}{2} \nu \left(\frac{\partial W}{\partial X} \right)^2 + \frac{1}{2} \beta^2 \left(\frac{\partial W}{\partial Y} \right)^2 \right] \frac{\partial^2 W}{\partial Y^2} - 12 \left[\beta \frac{\partial U}{\partial Y} + \frac{\partial V}{\partial X} + \beta \frac{\partial W}{\partial X} \frac{\partial W}{\partial Y} \right] (1-\nu) \beta \frac{\partial^2 W}{\partial X \partial Y} + KW - G \left(\frac{\partial^2 W}{\partial X^2} + \beta^2 \frac{\partial^2 W}{\partial Y^2} \right) - 12(1-\nu^2) \frac{q a^4}{E h^4} + \frac{\partial^2 W}{\partial \tau^2} + c \frac{\partial W}{\partial \tau} + m_r \frac{\partial^2 W}{\partial \tau^2} = 0$$



Şekil 3 - Elastik Zemine Oturan Dikdörtgen Plak

6. ELASTİK ZEMİNE OTURAN DAİRESEL PLAKLAR

Winkler-Pasternak tipi iki parametrelili elastik zemine oturan dairesel plak geometrisi Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4 - Elastik Zemine Oturan Dairesel Plak

Böyle bir plak için Von-Karman'ın büyük deplasmanlar teorisi dikkate alınarak verilen lineer olmayan hareket denklemleri radyal ve teğetsel doğrultudaki değişkenler cinsinden [5, 100, 101, 102]:

$$R^2(\psi_{,RR} + \frac{1}{R}\psi_{,R} - \frac{1}{R^2}\psi) + \frac{1-\nu^2}{2}R(W_{,R})^2 = 0$$

$$R^3(W_{,RRR} + \frac{2}{R}W_{,RR} + \frac{1}{R^2}W_{,R}) - 12(\frac{a}{h})^2 R^2(\psi_{,R}W_{,R} + W_{,RR}\psi)$$

$$+ R^3[KW - G(W_{,RR} + \frac{1}{R}W_{,R})] - R^3[P - CW_{,x} - W_{,tt}] = 0$$

olarak verilir. Elastik zemine oturan veya oturmamış plakların lineer ve lineer olmayan analizleri hakkında ilgili literatürde [1-170] gerekli formülasyonlar ve detaylar bulmak mümkündür. Ancak bilinmelidir ki üzerinde yaklaşık 60 yıldır çalışılan böylesi bir konuda ulusal ve uluslararası literatürde kirap olarak kısıtlı kaynak olmasına rağmen, makale veya rapor olarak ortalama 1000 adet referans mevcuttur. Ancak bunlardan önemli olanlar yaklaşık 200 civarı uluslararası makaledir. Konuyla ilgilenenlerin verilen referansların kendilerinde mevcut referanslarada ulaşmaları gerekmektedir.

7. SONUÇ

Elastik zemine oturan plak ve kabuklar pek çok sektörde özellikle; füze ve roket rampaları olarak askeri alanlarda ve uçak-uzay sanayisinde, teknoloji de çeşitli uygulamalarda, inşaat ve makine mühendisliği alanında, endüstride çeşitli fabrika kren ve makinaların zemine sabitlenmesinde, dış hekimliği ve biyomekanikte, kıyı-liman yapılarında, sıvı ve gazların iletim hatlarında, temel ve zemin mühendisliğinde, nükleer enerji santrallerinde, uçak hangarlarında, özel amaçlı (özellikle ağır kargo uçakları ve süpersonik uçakların inebileceği) hava alanı inşasında ve demiryolu uygulamalarında karşılaşırlar. Daha çok yüksek maliyet gerektiren büyük kapsamlı işlerde ve stratejik yapılarda kullanılan elastik zemine oturan plak ve kabukların her türlü dış etkiye karşı yeter güvenlikte inşası büyük önem kazanmaktadır. Dolayısı ile, gerek mevcut yükler ve kendi ağırlıkları altındaki gerilme, deformasyon, eğilme ve çeşitli noktalarındaki deplasmanlarının hesaplandığı statik hesap ve gerekse deprem gibi dinamik yükler altındaki dinamik analizleri yeter hassasiyete sahip olarak yapılmalıdır. Bu yazıda elastik zemine oturan kiriş, plak ve kabuk yapıların analizler üzerinde durulmuş ve geniş bir literatür verilmiştir. Ancak bunlardan başka konu hakkında 1940-2000 yılları arasında çeşitli dergi ve sempozyumlarda yayınlanmış yaklaşık olarak 1000 civarı farklı çalışma literatürde bulmak mümkündür. Ülkemizde bu konuda yapılmış onlarca yüksek lisans ve doktora tezi mevcuttur. **Bu çalışmalar yapan ülkemizdeki önemli araştırmacılar sırasıyla şöyle verilebilir:**

İ.T.Ü İnşaat fakültesi bünyesinde değerli bilim adamı Prof. Dr. Yalçın Aköz ve ekibinin (Prof. Dr. Mehmet Hakkı Omurtag, Doç. Dr. Nihal Eratlı, Yrd. Doç. Dr. Ali Nuri Doğruoğlu, Yrd. Doç. Dr. Reha Artan ve Yrd. Doç. Dr. Abdullah Gedikli) yurt içi ve yurt dışı literatürde pek çok çalışmaları olup bunların bir kısmına burada değinilmiş ve kaynaklar bölümünde bunların bir kaçı verilmiştir [30-36].

Yine İ.T.Ü ve Y.T.Ü.'nde Prof. Dr. Hasan Engin, Prof. Dr. Ertaç Ergüven ve Doç. Dr. İrfan Çoşkun bu konuda gerek yurt içi ve gerekse yurt dışı literatürde önemli çalışmaları olup bunlarında bir kısmına bu yazıda değinilmiş ve kaynaklarda verilmiştir [54-62].

K.T.Ü.'nde yine değerli bilim adamı Prof. Dr. Ragıp Erdöl ve ekibi (Doç. Dr. Mehmet Çakıroğlu, Yrd. Doç. Dr. Ahmet Birinci ve Dr. F. Lütfi Çakıroğlu) yurt içi ve yurt dışında temas veya değme problemleri başlığı altında önemli çalışmalar yayınlamışlardır. Bu çalışmalarında bazıları kaynaklar kısmında listelenmiştir [63-68].

Ç.Ü.'nde Prof. Dr. Orhan Aksoğan, Prof. Dr. Erhan

Kıral ve ekibinin (Yrd. Doç. Dr. Beytullah Temel ve Yrd. Doç. Dr. Hüseyin R. Yerli) yaptıkları çalışmalarda zemin-yapı etkileşim problemleri iki ve üç boyutlu sonlu ve sonsuz elemanlar yöntemi ile ve diğer bazı analitik metotlar ile çalışılmıştır [72-86].

Değerli bilim adamı Prof. Dr. Nuri Akkaş'ın çalışmalarında bu konu çerçevesinde vurgulanması gereken önemli çalışmalardır. Katı cisimler mekaniği ve biyomekanik alanında dört yüz civarı ulusal ve uluslararası bilimsel yayını olan hocamızın çalışmalarının bir kısmında elastik ortamlar ile temas halinde yapıların veya biyomekanik alanındaki uygulamalar hakkındadır [87-94].

Yine O.D.T.Ü'ünden değerli bilim adamı Prof. Dr. M. Ruşen Geçit'in temas problemleri ve bu tür yapılarda kırılma üzerine pek çok yayınından bazı örnekler verilebilir [95-98].

Dokuz Eylül Üniversitesinden Prof. Dr. H. Hikmet Çatal ve ekibinin elastik zemine oturan yapılar hakkında çeşitli yayınları olup bunlardan bir kaçı yine kaynaklar kısmında verilmiştir [50,71].

Bunların dışında diğer üniversitelerde de konuyla ilgilenen araştırmacıların olması muhtemeldir. Bu yazının asıl amacı konuya ilgi duyacak araştırmacılara konu ile ilgili temel bilgileri vermek ve ilgili literatürü tanıtmaktır. Böylece konuyla ilgilenen araştırmacılar; toparlanmış ve kaynaklar kısmında listelenmiş referanslara kolayca ulaşarak istifade edebileceklerdir.

KAYNAKLAR

- Nath, Y., Varma, K.K. and Mahrenholtz, D., 1986, *Nonlinear Dynamic response of rectangular plates on linear elastic foundation*, *Computers and Structures*, 24(3), 391-399.
- Dumir, P.C. and Bhaskar, A., 1988, *Nonlinear static analysis of rectangular plates on elastic foundations by the orthogonal point collocation method*, *Comput. Method. In Applied Mech. And Engineering*, 67, 111-124.
- Dumir, P.C., 1988, *Nonlinear dynamic response of isotropic thin rectangular plates on elastic foundations*, *Acta Mechanica*, 71, 233-244.
- Nath, Y., 1979, *Non-linear dynamic response of rectangular plates subjected to transient loads*, *Journal of Sound and vibration*, 63(2), 179-188.
- Nath, Y., 1982, *Large Amplitude Response of circular plates on elastic foundations*, *Int. J. of Non-linear Mechanics*, 17(4), 285-296.
- Nath, Y., Mahrenholtz, O., Varma, K.K., 1987, *Nonlinear dynamic response of a doubly curved shallow shell on an elastic foundation*, *J. of sound and vibration*, 112(1), 53-61.
- Cheung, M.S. 1978, *A simplified finite element solution for the plates on elastic foundation*, *Computers and structures*, 8, 139-145.
- Buczowski, R., Torbacki, W., 2001, *Finite element modelling of thick plates on two-parameter elastic foundation*, *Int. J. For Num. and Anal. Meth. Geomech.*, 25, 1409-1427.
- Kukreti, A.R. and Man-Gi, K., 1992, *Analysis of rectangular plate resting on an elastic half space using an energy approach*, *Appl. Math. Modelling*, Vol.16, 338-356.
- Alwar, R.S. and Nath, Y., 1976, *Application of Chebyshev polynomials to the nonlinear analysis of circular plates*, *Int. J. Mech. Sciences*, 18, 589-595.
- Gajendar, N., 1967, *Large amplitude vibrations of plates on elastic foundations*, *Int. J. Non-Linear Mech.*, 2, 163-172.
- Qin, Q.H., 1994, *Hybrid Trefftz finite element approach for plate bending on an elastic foundation*, *Applied Math. Modelling*, 18, 334-339.
- Yang, T.Y., 1972, *A finite element analysis of plates on a two parameter foundation model*, *computers and structures*, 2, 593-614.
- Cheung, Y.K. and Zienkiewicz, O.C., 1965, *Plates and tanks on elastic foundations- An application of finite element method*, *Int. J. Solids and Structures*, 1, 451-461.
- Dillard, D.A., 1989, *Bending of plates on thin elastomeric foundations*, *J. Of Applied Mechanics*, ASME, 56, 382-386.
- Nassar, M., 1981, *Bending of a circular plate on a linear viscoelastic foundation*, *Appl. Math. Modelling*, 5, 60-62.
- Datta, S., 1976, *Large amplitude free vibrations of irregular plates placed on an elastic foundation*, *Int. J. Non-Linear Mech.*, 11, 337-345.
- Sladek, J., Sladek, V., and Mang, H.H., 2002, *Meshless local boundary integral equation method for simply supported and clamped plates resting on elastic foundation*, *Comput. Meth. Appl. Mech. Eng.*, 191, 5943-5959.
- Shen, H-S., 2000, *Nonlinear bending of shear deformable laminated plates under lateral pressure and thermal loading and resting on elastic foundation*, *J. of Str. Anal.*, 35(2), 93-108.
- Shen Hui-S, and Williams, F.W., 1995, *Postbuckling analysis of imperfect composite laminated plates on non-linear elastic foundations*, *Int. J. of Non. Mech.*, 30(5), 651-659.
- Paliwal, D.N., and Pandey, R.K., 1998, *The free vibration of a cylindrical shell on an elastic foundation*, *J. of Vibration and Acoustics*, 120, 63-71.
- Massalas, C. and Kafousias, N., 1979, *Nonlinear vibrations of a cylindrical panel on a nonlinear elastic foundation*, *J. of sound and vibration*, 66(4), 507-512.
- Paliwal, D.N, Kumar, P.R., Nath, T., 1996, *Free vibrations of circular cylindrical shell on Winkler and Pasternak foundations*, *Int. J. of Pressure Vess. And Piping*, 69, 79-89.
- Paliwal, D.N., Bhalla, V., 1993, *Large deflection analysis of cylindrical shells on a pasternak foundation*, *Int. J. of Pressure Vess. And Piping*, 53, 261-271.

25. Nath, Y, Jain, R.K., 1983, Nonlinear dynamic analysis of shallow spherical shells on elastic foundation, *Int. J. Mech. Sci.*, 25(6), 409-419.
26. Liu, F-L, 2000, Rectangular thick plates on winkler foundation : Differential Quadrature element solution, *Int. J. Solids and Struc.*,37, 1743-1763.
27. Liew, K.M., Han, J-B, Xiao, Z.M., and Du, H., 1996, Differentiel Quadrature Method for Mindlin plates on Winkler foundations, *Int. J. Mech. Sciences*, 38(4), 405-421.
28. Reissner, E.,1945, The effect of transverse shear deformation on the bending of elastic plates, *J. Appl. Mech.*, 12, 69-77.
29. Mindlin, R.D.,1951, Influence of rotator inertia and shear on flexural motion of isotropic elastic plates, *J. of Appl. Mech.*, 18, 31-38.
30. Aköz, A.Y., Eratlı, N., Dairesel kalın plaklar için varyasyonel yolla fonksiyonel bulunması ve karışık sonlu eleman formülasyonu, X. Ulusal Mekanik Kongresi, 1997 İstanbul.
31. Eratlı, N., Özutok A., Aköz, A.Y., Kadioğlu, F., Karman Plaklarının karışık sonlu eleman formülasyonu, XII. Ulusal Mekanik Kongresi, 10-14, Eylül, 2001, Konya
32. Eratlı, N., Aköz, A.Y., The mixed finite element formulation for the thick plates on elastic foundations, *Computers and Structures*, 65(4), 515-529,1997.
33. Omurtag, M.H., Özutok, A., Özçelikörs, Y. And Aköz, A.Y., Free vibration analysis of kirchhoff plates resting on elastic foundation by mixed finite element formulation based on Gateaux differential, *Int. J. Numerical Meths. Engng.*, 40, 295-317, 1997.
34. Omurtag, M.H., ve Kadioğlu F, Free Vibration analysis of orthotropic plates resting on pasternak foundation by mixed finite element formulation, *Com. & Struc.* 67,253-265, 1998.
35. Doğruoğlu, A.N., Omurtag, M.H., ve Kadioğlu, F., Elastik zemin-plak etkileşiminde serbest titreşim ve stabilite analizi için karışık se formülasyonu, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, *Teknik Dergi*, 10(1), 1891-1908, (1999).
36. Doğruoğlu, A.N., ve Omurtag, M.H., Plak-zemin etkileşiminde pasternak modellemesi ve karışık sonlu eleman yöntemi kullanılarak stabilite analizi, III. Ulusal Hesaplmalı Mekanik Kongresi, 25-32, İstanbul (1998).
37. Kameswara Rao NSV, Das YC, Anandkrishnan M, Dynamic response of beams on generalized elastic foundation. *Int. J. Solids Struc.*,1975;11:255-273.
38. Kerr AD, Elastic and viscoelastic foundation models. *J. Appl. Mech.*1964;31:491-498.
39. Miranda C, Nair K, Finite beams on elastic foundation. *J. Structral Division*, ASCE.1966; 92:131-142.
40. Ting BY, Finite beams on elastic foundation with restraints. *J. St. Div. ASCE.* 1982;108:611-621.
41. Cook RD, *Concept and applications of finite element analysis*, Wiley, New York, 1981.
42. Lentini M, Numerical solution of the beam equation with nonuniform foundation coefficient, *J. App. Mech. ASME.*1979;46:901-904
43. Lai YC, Ting BY, Lee WS, and Becker WR, Dynamic response of beams on elastic foundation, *J. Struct. Eng. ASCE.*1992;118:853-858.
44. Wang J, Vibration of stepped beams on elastic foundations, *J. Sound Vib.*1991;149:315-322.
45. Rosa Maria AD, Stability and dynamics of beams on winkler elastic foundations, *Earth. Eng. Struct. Dyn.*1989;18:377-388.
46. Kerr AD, A study of a new foundation model, *ACTA Mech.*1965; 1(2):135-147
47. Yankelevsky DZ, Eisenberger M., Analysis of a beam-column on elastic foundations, *Comp. Struct.* 1986; 23(3):351-356.
48. Eisenberger M., Clastornik J, Eisenberger M., Vibrations and buckling of a beam on variable winkler elastic foundation, *J. Sound Vib.*1987;115(2):233-241.
49. Razaqpur AG, Stiffness of beam-columns on elastic foundation with exact shape functions, *Comp. Struct.* 1986;24(5):813-819.
50. Çatal HH, Alku S, Computation of second-order rigidity matrix of beam on elastic foundation, *Tr. J. Eng. Environ. Sci.*1996;20:195-201.
51. Vlasov, V.Z., and Leont'ev N.N.,1966, *Beams, Plates and Shells on Elastic foundations*, Translated from Russian to English by Barouch, A, Israel Program for scientific translations, Jerusalem.
52. Hetenyi M, *Beams on elastic foundation*, The University of Michigan Press, 1946.
53. Hetenyi M, *Beams and plates on elastic foundations and related problems*, *Appl. Mech. Rev.*1966;19:95-102.
54. Coşkun İ., Engin H. , "Nonlinear Vibrations of a Beam on an Elastic Foundation ", *Journal of Sound and Vibration*, 223(3), p.335-354, 1999.
55. Coşkun İ., Engin H. and Ergüven M.E., "Nonlinear Forced Vibration of an Inhomogeneous Layer", *Journal of Sound and Vibration*, 228(1), p.91-108, 1999.
56. Coşkun İ., "Nonlinear Vibrations of a Beam Resting on a Tensionless Winkler Foundation", *Journal of Sound and Vibration*, 236(3), p.401-411, 2000.
57. Engin H., Ergüven M.E, and Coşkun İ., "Nonlinear Vibrations of an Inhomogeneous Layer, ", *Proc. 9. European Con.on Earth. Eng. ECCM-9*,p.81-89, 1990, Moscow.
58. Coşkun İ., Engin H. and Ergüven M.E. "Homogen Olmayan Viskoelastik bir Tabakanın Nonlineer Titreşimleri", VII. Ulusal Mekanik Kongresi, s.150-161, Antalya, Eylül 1991.
59. Coşkun İ., Engin H. "Lineer Olmayan bir Elastik Zemine Oturan Kirişin Zorlanmış Titreşimleri", VIII. Ulusal Mekanik Kongresi, s.206-215, Antalya, Eylül 1993.
60. Coşkun İ., Engin H. "Lineer Olmayan Winkler Zeminine Oturan Kirişlerin Rezonans Titreşimleri", IX. Ulusal Mekanik Kongresi, s.226-235, Ürgüp, Eylül 1995.

61. Coşkun İ., Engin H. "Hiperbolik Elastik Zemine Oturan Kirişlerin Hareketli Yük Altındaki Rezonans Titreşimleri", X. Ulusal Mekanik Kongresi, 189-200, İstanbul, 1997
62. Engin H., Coşkun İ., "Boşluk İçeren Yarım Uzayda Zorlanmış Titreşimler", XII. Ulusal Mekanik Kongresi, s.365-374, Konya, Eylül 2001.
63. Birinci, A., Erdöl, R. Frictionless Contact between a Rigid Stamp and an Elastic Layered Composite Resting on Simple Supports, *Mathematica & Computational Applications*, 4(3), 261-272, 1999.
64. Birinci, A., Çakıroğlu, M., Erdöl, R., Two Strips Problem Resting on an Elastic Foundation, *Mathematica & Computational Applications*, 7(3), 275-286, 2002.
65. Birinci, A., Erdöl, R., A Frictionless Contact Problem for two Elastic Layers Supported by a Winkler Foundation, *Structural Engineering & Mechanics*, 15(3), 331-344, 2003.
66. Birinci, A., Erdöl, R. Elastik Mesnete Oturan Çift Şerit Problemi, III. Balkesir Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu, Balkesir, 1995.
67. Çakıroğlu, F. L., Erdöl, R., Elastik Zemine Oturan Bileşik Şeritlerde Sürekli Değme Problemi, VI. Ulusal Mekanik Kongresi, Kirazlı Yayla, Eylül 1989.
68. Çakıroğlu, F. L., Erdöl, R., Elastik Yarı Sonsuz Düzleme Oturan Bileşik Tabakalarda Temas Problemi, VIII. Ulusal Mekanik Kongresi, Antalya, Eylül 1993.
71. Çatal, H.H., Free vibration of partially supported piles with the effects of bending moment, axial and shear force, *Volume 24(12)*, 1615-1622 2002.
72. Aksogan, O., S. S. Akavcı ve A. A. Becker, "A Comparative Study of the Contact Problem for an Elastic Layer Supported by Two Elastic Quarter Planes", *Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Der.*, C.11, No.1, s.25-31, June 1996.
73. Erdogan F., and Aksogan, O., "Bonded Half Planes Containing an Arbitrarily Oriented Crack", *Int. J. Solids Structures*, V.10, No.6, p.569, 1974.
74. Aksogan, O., "Nonhomogeneous Nonsymmetrical Plane Problems with Several Griffith Cracks One or Two Partially Closed", *Int. J. Frac.*, V.12, p.223, 1976.
75. Tanrıku, A.H., Yerli, H.R. and Tanrıku, A.K., "Application of the Multi-Region Boundary Element Method to Dynamic Soil-Structure Interaction Analysis", *Computers and Geotechnics*, 28 (4), 289-307, 2001.
76. Yerli, H.R., Temel B., and Kiral E., "Transient Infinite Elements for 2D Soil-Structure Interaction Analysis", *J. of Geotech. and Geoenv. Eng. ASCE*, Vol:124(10), 976-988, 1998.
77. Temel B., "Yapı-Zemin Etkileşimi Problemlerinin Sonlu-Sonsuz Elemanlar Modeli İle Statik Analizi", *Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Cilt:11, Sayı:1, Haziran 1996.
78. Temel B., Kiral E., "İmpulsif Yükler Altında Yapı-Zemin Etkileşimi Problemlerinin Sonlu ve Sonsuz Elemanlar İle Çözümü", *İnşaat Mühendisliğinde Bilgisayar Kullanımı V. Sempozyumu*, İstanbul, Haziran 1996.
79. Temel B., Kiral E., "Harmonik ve Keyfi Yükleme Halleri için Yapı-Zemin Etkileşimi Problemlerinin Sonlu-Sonsuz Elemanlar ile Analizi", *II. Ulusal Hesaplamalı Mekanik Konferansı*, Trabzon, Eylül 1996.
80. Temel B., Yerli H.R., ve Kiral, E. "Üç Boyutlu Yapı-Zemin Etkileşimi Problemlerinin Sonlu-Sonsuz Elemanlar ile Modellenmesi", *III. Ulusal Hesaplamalı Mekanik Konferansı*, İstanbul, 16-18 Kasım 1998.
81. Yerli, H.R. ve Kiral, E., "İki Boyutlu Yapı-Zemin Etkileşimi Problemlerinin Sonlu ve Sonsuz Elemanlar ile Dinamik Analizi". *Ç. Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 11 (2), 43-54, 1996.
82. Temel, B., Yerli, H.R. ve Kiral, E., "Dinamik Yapı-Zemin Etkileşimi Problemlerinin Sonlu ve Sonsuz Elemanlar ile Çözümü". *İMO Teknik Dergi*, 8 (1), 1343-1362, 1997.
83. Yerli, H.R. ve Kiral, E., "Dış Yükleme Etkisindeki Üç Boyutlu Sistemlerin Dinamik Yapı-Zemin Etkileşim Analizi". *İMO Teknik Dergi*, 9 (3), 1715-1732, 1998.
84. Tanrıku, A.H. ve Yerli, H.R., "Yapı-Zemin Etkileşim Analizinde Sınır Eleman Yönteminin Kullanılması". *Ç. Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 15 (1-2), 73-89, 2000.
85. Kaçın, S. ve Yerli, H.R., "Sonlu ve Sonsuz Eleman Modeli ile Üç Boyutlu Yapı-Zemin Etkileşimi Analizi", *Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 16, 1-2, 87-98, 2001.
86. Kaçın, S. ve Yerli, H.R., "Zamanla Değişen Yükleme Etkisi Altındaki Üç Boyutlu Yapı-Zemin Etkileşimi Analizi", *Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 16, 1-2, 99-109, 2001.
87. Akkas, N., Yılmaz, C. 1979 "Dynamics of elastic structures in acoustic media using general purpose finite element programs", *The Mathematics of Finite Elements and Applications III-MAFELAP 1978* (ed: J.R. Whiteman), Academic Press, London, 373-380.
88. Akkas, N., Kaymaz, S. 1986 "Dynamics of soil-pile interaction systems", *Proc. Eighth European Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, V.2, 5.6/41-48.
89. Akkas, N. 1977 "Transient response of a moving spherical shell in acoustic medium", *International Journal of Solids and Structures*, V.13, 211-220.
90. Akkas, N. 1977 "Effect of pulse duration on head injury", *ASCE Journal of the Engineering Mechanics Division*, V.103, 35-49.
91. Akkas, N. 1977 "Radiation of waves from a spherical shell accelerating in an acoustic medium", *Journal of Sound and Vibration*, V.54, 273-283.
92. Engin, A.E., Akkas, N. 1978 "Application of a fluid-filled spherical sandwich shell as a biodynamic head injury model for primates", *Journal of Aviation, Space and Environmental Medicine*, V.49, 120-124.
93. Akkas, N., Yılmaz, C. 1978 "Dynamics of elastic structures in acoustic media using general purpose finite element programs", *Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Architektur & Bauwesen Weimar*, Heft 1, 4-6.
94. Akkas, N., Engin, A.E. 1980 "Transient response of a spherical shell in an acoustic medium: Comparison

- of exact and approximate solutions”, *J. of Sound and Vib.* 73, 447-460.
95. Geçit, M.R., Erdogan, F. The effect of adhesive layers on the fracture of laminated structures, *ASME Journal of Engineering Materials and Technology*, 1978, V.100, pp.2-5.
96. Geçit, M.R., Erdogan, F. Frictionless contact problem for an elastic layer under axisymmetric loading, *International Journal of Solids and Structures*, 1978, V.14, pp.771-785.
97. Geçit, M.R., A tensionless contact without friction between an elastic layer and an elastic foundation, *International Journal of Solids and Structures*, V. 16 1980, pp.387-396.
98. Geçit, M.R., Axisymmetric contact problem for an elastic layer and an elastic foundation, *International Journal of Engineering Science*, V. 19, 1981, pp.747-755.
99. Civalek, Ö., Elastik Zemin Oturan Kirişlerin Nöro-Fuzzy Tekniği ile Analizi, 7th. National soil mechanics and foundation engineering conferences, 22-23 October, Yıldız Univ., İstanbul, 1998.
100. Civalek, Ö., Polinomal Diferansiyel Quadrature (PDQ) Metodu ile Elastik Zemin Oturan Plak ve Kabukların Geometrik Bakımdan Lineer Olmayan Statik ve Dinamik Analizi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2004.
101. Alwar, R.S., Nath, Y., 1976, Application of Chebyshev polynomials to the nonlinear analysis of circular plates, *Int. J. of Mechanical Sciences*, 18, 589-595.
102. Nath, Y., Dumir, P.C., and Bhatia, R.S., 1985, Nonlinear static and dynamic analysis of circular plates and shallow spherical shells using the collocation method, *Int. Journal for Numerical Meth. In Eng.*, 21, 565-578.
103. Liew, K.M., Han, J-B, Xiao, Z.M., and Du, H., 1996, Differential Quadrature Method for Mindlin plates on Winkler foundations, *Int. J. Mech. Sciences*, 38(4), 405-421.
104. Liew, K.M. Liu, F.-L. 1997, “Differential cubature method: A solution technique for Kirchhoff plates of arbitrary shape” *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.* 145, 1-10.
105. Chia, C.Y., 1980, *Nonlinear analysis of plates* McGraw Book Co., New York, N.Y.
106. Timoshenko, S., Woinowski-Krieger, S., 1959, *Theory of plates and shells*, McGraw-Hill, New York.
107. Leissa, A.W., 1973, *Vibration of plates*, NASA, SP-160.
108. Leissa, A.W., Narita, Y., 1980, Natural Frequencies of simply supported circular plates, *J. of Sound and Vibration*, 70(2), 221-229.
109. Sathyamorth, M., (1987), Nonlinear vibration analysis of plates: A review and survey of current developments, *Appl. Mech. Rev.*, 40, 1533-1561.
110. Ugural, A.C., 1999, *Stresses in plates and shells*, 2ed. Ed., McGraw-Hill, Boston.
111. Vinson, J.R., 1989, *The behavior of thin walled structures: Beams, plates, and shells*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
112. Dym, Clive, L., 1974, *Introduction to the theory of shells*, Pergamon press, Oxford, UK.
113. Aköz, Y., Omurtag, M.H., 1992, Değişken Kesitli Silindirik Kabukların Karışık Sonlu Eleman Metodu ile Formülasyonu, İMO Teknik Dergi, 539-553
114. Berktag, İ., 1992, *Plak Teorisi ve Uygulamaları*, Yıldız Üniv. Basımı
115. Billington, D. P., 1965, *Thin Shell Concrete Structures*, McGraw- Hill
116. Çetmeli, E., 1987, *Plaklar*, İ.T.Ü yayınları, Yayın No:19
117. Dökmeci, M.C., 1965, Eksenlerine Göre Simetrik Yüklü Eşit Mukavemetli Dönel Simetrik Kabuklar, Doktora Tezi, İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi
118. Green, A. E., Zerna, W., 1971, *Teorik Elastisite, Çeviren: Vural Cinemre, Çağlayan Basım evi*,
119. Erdöl, R., 1972, Kalınlığı Değişken Silindirik Kabukta Dairesel Delik Problemi, Doktora tezi, İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi
120. Fung, Y. C., 1968, *Foundations of Solid Mechanics*, Prentice- Hall
121. Girkman, K. 1964, *Yüzeysel Taşıyıcı Sistemler, Cilt II, Çeviren: S. Sacit. Tameroglu, Matbaa Teknisyenleri Basımevi*
122. Keskinel, F., Kumbasar, N., 1976, *Sürekli Temeller ve Dönel Kabuklar*, Matbaa Teknisyenleri
123. Love, A. E. H., 1944, *A Treatise on The Mathematical Theory of Elasticity*” Dover Publ., Inc., New York
124. Novozhilov, V. V. 1959, *The Theory of Thin Shells*, P. N.Ltd., Translation to Eng. by Lowe, P.G.
125. Omurtag, M.H., Ünlü, M.A, Aköz, A.Y., 1995, Takviyeli Silindirik Kabuklar İçin Geliştirilmiş Daha Uyumlu Bir Karışık Sonlu Eleman Modeli ile Delikli, Düzgün Değişken Kesitli Problemlere Uygulamalar, İMO Teknik Dergi, 993-1006
126. Özden, K., 1975, *Dönel Kabuklar*, Matbaa Teknisyenleri Basımevi
127. Przemieniecki, J.S., 1968, *Theory of Matrix Structural Analysis*, McGraw- Hill
128. Reddy, J. N. 1984, *Energy and Variational Methods in Applied Mechanics*, John Wiley & Sons,
129. Rüdiger, D., Urban, J., 1964, *Dairesel Silindirik Kabuklar, Çeviren: Dökmeci, M. C., Karataş, H., Arı Kitabevi*
130. Sayar, K., 1970, Dönel Kabuk Sistemlerin Diferansiyel Geçiş Matrisleriyle Çözümü, Doçentlik Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fak.
131. Saygun, A., 1974, *Yüzeysel Taşıyıcı Sistemlerin Hesabı İçin Eğrisel Sonlu Elemanlar*, Doktora Tezi, İ.T.Ü., İnş. Fak.
132. Sodel, W. 1993, *Vibrations of Shells and Plates*, Mercel Dekker, Inc.

133. Zeytinci, A., *İnce Elastik Dairesel Plakların Titreşimi İçin Başlangıç Koşullarını da İçeren Genel Bir Yaklaşım*, Doktora Tezi, İ.T.Ü., 1980.
134. Cook, R. D., 1981, *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
135. Çakıroğlu, A., Özmen, G., Özden, E., 1974, *Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları*, Cilt I-II, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
136. Bogner, F. K., Fox, R. L., Schmit, L. A., 1967, *A Cylindrical Shell Discrete Element*, AIAA Jour. No:4
137. Bonnes, G., Dhatt, G., Giroux, Y.M., Robichaud, L.P.A., 1968, *Curved Triangular Elements For The Analysis Of Shells*, AFFDL-TR-68-150
138. Cantin, G., Clough, R.W., 1968, *A Curved Cylindrical Shell Finite Element*, AIAA Jour. No:6
139. Cıvlek, Ö., 1998, *Plak Ve Kabukların Sonlu Elemanlar Metoduyla Analizi*, Yüksek Lisans Semineri, Fırat Üniversitesi, Elazığ
140. Dawe, D.J., 1975, *High Order Triangular Finite Element For Shell Analysis*, Int.J. Solids Str. Vol.11.
141. Fan, S.C., Luah, M.H., 1990, *New Spline Finite Element For Analysis Of Shells Of Revolution*, Jour. Of Eng. Mech., ASCE, Vol. 116, No, 3.
142. Fulgugge, W., Leckie F.A., 1958, *Bending Theory For Shells Of Revolution Subjected To Nonsymmetric Edge Loads*, Tech. Report., No. 113, Stanford University.
143. Gallagher, R. H., 1969, *The Development And Evaluation Of Matrix Methods For Thin Shell Structural Analysis*, Ph.D. Univ. Of Buffalo.
144. Gallagher, R.H., Thomas, G.R., 1975, *A Triangular Thin Shell Finite Element Linear Analysis*, NASA, CR- 2483
145. Gibson, J. E., 1961, *The Design Of Cylindrical Shell Roofs*, D. Van Nostrand Company, Inc.,
146. Jenkins, R.S. 1957, *A Variational Method For Design Of Cylindrical Shells*, Proceedings Of Second Symposium On Concrete Shell Roof Construction, Oslo.
147. Karman, T.V., Tsien, H. S. 1941, *The Buckling Of Thin Cylindrical Shells Under Axial Compression*, Jour. Of Aeronautical Sci. Vol. 8 No.8, Pp. 303- 312
148. Köksal, E. 1992, *Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Orthotrop Kabuk Ve Plakların Kaymalı- Kaymasız Statik Ve Stabilite Hesabı*, Doçentlik Tezi, İ.T.Ü, İnşaat Fakültesi
149. Köksal, T. 1994, *Kabukların Başlangıç Değer Yöntemleri İle Çözümü*, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi 3, Ss.33-45
150. Mecitoğlu, Z., Dökmeci, M.C. 1990, *Free Vibrations Of A Thin, Stiffened, Cylindrical Shallow Shell*, A.I.A.A, Journal, Vol. 30, No.3.
151. Mei, C., Umphai, K.D., 1985, *A Finite Element Method For Nonlinear Forced Vibrations Of Rectangular Plates*, A.I.A.A. Journal , Vol.23, No.7.
152. Raamachandran, J., Reddy, B. (1989), *Bending Of Circular Plates Supported At Number Of Points*, Jour. Of Eng. Mech., ASCE, Vol. 115, No, 2
153. Ramaswamy, G. S. 1968, *Design And Construction Of Concrete Shell Roofs*, McGraw- Hill
154. Singhal, A.C., Villaveces, A., Utku, Ş. 1962, *Computer Analysis Of Thin Shells Of Revolution*, Proceedings Of The World Conference On Shell Structures.
155. Tezcan, S. 1970, *Silindirik Kabukların Sonlu Elemanlar Metodu ile Çözümü*, TÜBİTAK, Mag-192.
156. Trupia, A.L., 1974, *İnce Elastik Dönel Kabuk Sitemlerin; Statik, Dinamik Ve İkinci Mertebe Teorisine Göre Hesabı İçin Bir Metod*, Doktora Tezi, İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi
157. Carter, R.L., Robinson, A.R., Schnobrich, W.C., 1969, *Free Vibrations Of Hyperboloidal Shells Of Revolution*, Journal Of The Eng. Mech. Div. ASCE, Vol.95, No: EM5, Proc Paper 6808, Pp.1033-1052
158. Türkmen, H. S., Mecitoğlu, Z., Borat, O., 1994, *Nonlinear Structural Response Of Laminated Composite Panels Subjected To Blast Loading*, Mathematical And Computational Applications, Vol. 1 , No: 1
159. Utku, Ş. 1967, *Stiffness Matrices For Thin Triangular Elements Of Nonzero Gaussian Curvature*, AIAA Jour., Vol. 5, No: 9
160. Yang, R. J., Bhatti, A., *Nonlinear Static And Dynamic Analysis Of Plates*, Jour. Of Eng. Mech., ASCE, Vol. 111, No, 2 ,1985
161. Markus, S., 1988, *The mechanics of vibrations of cylindrical shells*, Elsevier, New York.
162. Leissa, A.W., 1973, *Vibration of shells*, NASA, SP-288.
163. Gibson, J.E., 1980, *Thin Shells: computing and theory*, Pergamon Press, New York.
164. Brush, D.O., and Almroth, B.O., 1975, *Bucklin of bars, plates, and shells*, McGraw-Hill, New York.
165. Zienkiewicz O.C., 1977, *The finite element method in engineering science*. (3rd ed.). London, McGraw- Hill.
166. Reddy JN. *Improved finite difference analysis of bending the rectangular plates*. Computer and Structures, 1979,10: 431-438.
167. Szilard R. *Theory and analysis of plates: classical and numerical methods*. Prentice-Hall, Englewood cliffs, NJ: 1974.
168. Fried I, Schmitt KH. *Numerical results from the application of gradients iterative techniques to the finite element vibration and stability of skew plates*. Journal of Aeronautics, 1972, 76: 166-169.
169. York CB, Williams FW. *Buckling analysis of skew plate assemblies, classical plate theory results incorporating lagrangian multipliers*. Computers and Structures, 1995,56: 625-635.
170. Wang CM, Liew KM, and Alwis WAM. *Buckling of skew plates and corner conditions for simply supported edges*. Journal of Engineering Mechanics, 1991, 118: 651-662.

