

ORTA NOKTASINDAN P YÜKÜNE MARUZ HER İKİ TARAFINDAN DESTEKLENMİŞ METAL MATRİKSİLİ KOMPOZİT BİR KİRİŞ İÇİN ELASTİK GERİLME ANALİZİ

Ümran ESENDEMİR

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 32260/Isparta

Geliş Tarihi : 03.02.2003

ÖZET

Bu çalışmada, orta noktasından P yüküne maruz her iki tarafından desteklenmiş metal matriksli kompozit bir kiriş için analitik olarak elastik gerilme analizi yapılmıştır. Bu çalışma için malzeme olarak paslanmaz çelik takviyeli alüminyum matriksli kompozit kullanılmıştır. $\theta=0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ ve 90° oryantasyon açıları için akma noktaları hesaplanmıştır. Akma teorisi olarak Tsai-Hill teorisi kullanılmıştır. Çözüm sonucunda kirişin x koordinatına göre σ_x ve τ_{xy} elastik gerilmeleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Metal matriks, Kompozit kiriş, Analitik çözüm

AN ELASTIC STRESS ANALYSIS FOR A METAL MATRIX COMPOSITE BEAM OF ARBITRARY ORIENTATION SUPPORTED FROM TWO ENDS ACTED UPON WITH A FORCE AT THE MID POINT

ABSTRACT

In this study, an elastic stress analysis is presented for a metal matrix composite beam of arbitrary orientation supported from two ends acted upon with a force at the mid point. A composite consisting of stainless-steel reinforced aluminium is used for this work. Yield points are calculated for $0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ and 90° orientation angles. The Tsai-Hill theory is used as a yield criterion. σ_x and τ_{xy} elastic stresses is obtained according to the x coordinates of the beam.

Key Words : Metal matrix, Composite beam, Analytical solution

1. GİRİŞ

Kirişler bir çok yapı ve makina elemanlarında kullanılan, eksenine dik doğrultudaki yükleri taşıyan çubuklar olup, sabit kesitli, değişken kesitli yada kademeli olarak yapılabilirler.

Kompozit malzeme, aynı veya farklı gruptaki iki ya da daha fazla sayıdaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemedede toplamak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesiyle

oluşturulan malzemeler olarak adlandırılır. Metal matriksli kompozitler yüksek mukavemet, aşınma ve korozyon direnci, yolulma ömrünün uzun olması, düşük yoğunluk ve bu özelliklerini yüksek sıcaklıklarda korumalarından dolayı günümüzde havacılık ve otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu özelliklerinin yanında ısı genleşmesinin düşük ve ısı iletkenliğinin yüksek olması alüminyum matrisli kompozitten üretilmiş malzemelerin kullanımını avantajlı hale getirmiştir (Kerti ve ark., 1997). Metal matriksli kompozitlerde

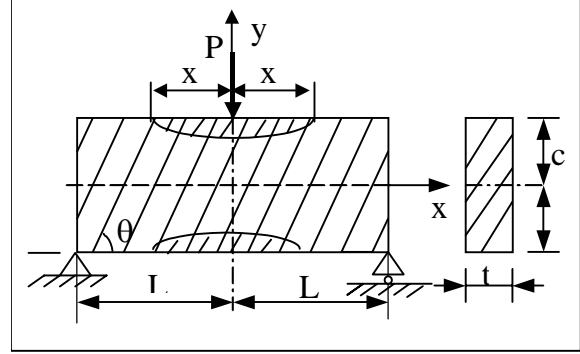
çok yaygın olarak kullanılan matris malzemesi, düşük yoğunluklu iyi tokluk ve mekanik özelliklere sahip olan hafif metaller ve alaşımlarıdır. Bu hafif metal alaşımları dayanım ve özgül ağırlık oranlarının iyi olması nedeniyle hafif yapı konstrüksiyonlarda tercih edilirler (Şahin, 2000). Kompozit kirişlerdeki plastik deformasyon başlangıcı bir akma kriteri yardımıyla belirlenir.

Bu konu ile ilgili daha önce birçok araştırma yapılmıştır: Bahei-El Din and Dvorak (1982), simetrik metal-matrisli kompozit levhaların elasto-plastik davranışını düzlem gerilme durumu için analiz etmişlerdir. Sayman (1998), sonlu eleman tekniğini kullanarak enine yüklenmiş paslanmaz çelik takviyeli alüminyum metal matris tabakalı plaklardaki elasto-plastik gerilme analizini incelemiştir. Kenny and Marchetti (1995), periyodik yük altındaki termoplastik kompozit tabakaların elasto-plastik davranışını nümerik ve deneysel olarak incelemiştir. Daehn et al. (1996), sonlu eleman metodunu kullanarak alümina ve alüminyum kompozitlerin aksel olmayan deformasyon özelliklerini hem deneysel hem de analitik olarak incelemiştir. Fraternali and Bilotti (1997), tabakalı eğri kirişlerin gerilme analizi için sonlu eleman modeli geliştirmişlerdir. Subramanian (2001), sonlu eleman metodunu kullanarak simetrik tabakalı kirişlerin eğilme analizini yapmıştır. Bassiouni et al. (1999), sonlu eleman metodunu kullanarak tabakalı kompozit kirişlerin teorik ve deneysel olarak dinamik analizini yapmışlardır. Corvi (1990), sonlu eleman metodu ve kompozit mekaniğine dayalı kompozit kirişlerin ön hazırlık dizaynı için bir PC programı sunmuştur. Krawczuk (1994), çatlaklı kompozit kirişlerin statik ve dinamik analizi için yeni bir sonlu eleman metodu geliştirmiştir. Sayman ve Özer (2001), parabolik sıcaklık dağılımı altındaki alüminyum matrisli kompozit kirişler için elastik-plastik gerilme analizi yapmışlardır. Sayman ve Esendemir (2002), orta noktasından P yüküne maruz her iki tarafından destekli termoplastik kompozit bir kirişin elasto-plastik gerime analizini yaparak plastik bölgenin dağılımını ve kirişteki artık gerilmeleri hesaplamışlardır. Esendemir (2002), üçgen yayılı yüke maruz polimer matrisli kompozit bir kirişin elasto-plastik gerilme analizini yapmıştır. 0°, 30°, 45°, 60° ve 90° oryantasyon açıları için plastik bölge dağılımını ve σ_x artık gerilme bileşenlerini elde etmiştir.

Bu çalışmada, orta noktasından P yüküne maruz her iki tarafından destekli Al-çelik kompozit kiriş için elastik gerilme analizi yapılarak, farklı oryantasyon açıları için elastik σ_x ve τ_{xy} gerilmeleri hesaplanmıştır.

2. ELASTİK ÇÖZÜM

Şekil 1’de orta noktasından P yüküne maruz her iki tarafından destekli kiriş gösterilmektedir.



Şekil 1. Orta noktasından P yüküne maruz her iki tarafından destekli kompozit kiriş

Düzlem gerilme durumu için Lekhnitskii (1981) tarafından verilen denge denklemi aşağıdaki şekildedir.

$$\begin{aligned} & a_{22} \frac{\partial^4 F}{\partial x^4} - 2a_{26} \frac{\partial^4 F}{\partial x^3 \partial y} + \left(2a_{12} + a_{66} \right) \frac{\partial^4 F}{\partial x^2 \partial y^2} \\ & - 2a_{16} \frac{\partial^4 F}{\partial x \partial y^3} + a_{11} \frac{\partial^4 F}{\partial y^4} = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Burada F gerilme fonksiyonudur. Jones (1975) tarafından verilen denge sabitleri:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{16} \\ a_{12} & a_{22} & a_{26} \\ a_{16} & a_{26} & a_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

şeklinde. Burada,

$$\begin{aligned} a_{11} &= a_{11} \cos^4 \theta + (2a_{12} + a_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + a_{22} \sin^4 \theta \\ a_{12} &= a_{12} (\sin^4 \theta + \cos^4 \theta) + (a_{11} + a_{22} - a_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta \\ a_{22} &= a_{11} \sin^4 \theta + (2a_{12} + a_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + a_{22} \cos^4 \theta \\ a_{16} &= (2a_{11} - 2a_{12} - a_{66}) \cos^3 \theta \sin \theta \\ &\quad - (2a_{22} - 2a_{12} - a_{66}) \sin^3 \theta \cos \theta \\ a_{26} &= (2a_{11} - 2a_{12} - a_{66}) \sin^3 \theta \cos \theta \\ &\quad - (2a_{22} - 2a_{12} - a_{66}) \cos^3 \theta \sin \theta \\ a_{66} &= 2(2a_{11} + 2a_{22} - 4a_{12} - a_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta \\ &\quad + a_{66} (\sin^4 \theta + \cos^4 \theta) \end{aligned} \quad (3)$$

$$a_{11} = \frac{1}{E_1}, \quad a_{12} = -\frac{v_{12}}{E_1}, \quad a_{22} = \frac{1}{E_2}, \quad a_{66} = \frac{1}{G_{12}}$$

şeklinde. Hem sınır şartlarını hem de denge denklemini sağlayacak F fonksiyonu aşağıdaki gibi seçilmiştir.

$$F = \frac{xy^3}{6}c_4 - \frac{L^2y^3}{6x}d_4 + \frac{y^4}{12}e_4 + \frac{x^3y}{6}f_4 + \frac{x^2y}{2}g_3 + \frac{y^2}{2}a_2 + xyb_2 \quad (4)$$

(4) nolu denklem (1) nolu denklemde yerine koyulursa

$$-2a_{16}(c_4 + \frac{L^2}{x^2}d_4) + 2a_{11}e_4 - 2a_{26}f_4 = 0$$

$$e_4 = mf_4 + n(c_4 + \frac{L^2}{x^2}d_4), \quad m = \frac{a_{26}}{a_{11}}, \quad n = \frac{a_{16}}{a_{11}} \quad (5)$$

olarak elde edilir. Gerilme bileşenleri

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = xy c_4 - \frac{L^2 y}{x} d_4 + y^2 e_4 + a_2$$

$$\sigma_y = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = y g_3 + x y f_4 \quad (6)$$

$$\tau_{xy} = -\frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} = -\frac{y^2}{2} c_4 - \frac{L^2 y^2}{2x^2} d_4 - \frac{x^2}{2} f_4 - x g_3 - b_2$$

şeklinde. Bu kiriş için sınır şartları:

$$y = \mp c \text{ için } \tau_{xy} = 0 \quad (7)$$

$$y = \mp c \text{ için } \sigma_y = 0 \quad (8)$$

$$x=L \text{ için } \int_{-c}^c \tau_{xy} t dy = \frac{P}{2} \quad (9)$$

$$x=-L \text{ için } \int_{-c}^c \tau_{xy} t dy = -\frac{P}{2} \quad (10)$$

$$x=\pm L \text{ için } \int_{-c}^c \sigma_x t dy = 0 \quad (11)$$

$$x=\pm L \text{ için } \int_{-c}^c \sigma_x t y dy = 0 \quad (12)$$

şeklinde. Burada t kiriş kalınlığıdır. Yukarıda verilen sınır şartlarından

$$b_2 = -\frac{c^2}{3}c_4, \quad g_3 = \frac{P}{2tLc},$$

$$f_4 = -\frac{P}{2tLc}, \quad c_4 = d_4 = -\frac{3Px^3}{2tLc(x^2c^2 + 3L^2c^2)} \quad (13)$$

olarak elde edilir. Elde edilen bu sabitler Denklem (6)'da yerine konulursa elastik gerilme bileşenleri

$$\sigma_x = (-9Px^5y + 9Px^3L^2y - 3Pmx^2c^2y^2 - 9PmL^2c^2y^2 - 9Pnx^4y^2 - 9Pnx^2L^2y^2 + 3Pnx^4c^2 + 3Pnx^2L^2c^2 + 3PmL^2c^4 + Pmx^2c^4)/(6tLx^3c^3 + 18tL^3c^3x)$$

$$\sigma_y = 0 \quad (14)$$

$$\tau_{xy} = (3Px^3y^2 + 3PL^2xy^2 - 2Px^3c^2 - 3Px^3c^2 - 3PL^2c^2x)/(4tLc^3x^2 + 12tL^3c^3)$$

olarak elde edilir. Plastik deformasyonun başlangıcı bir akma kriteri yardımı ile belirlenmekte olup, akma sonrası deformasyon, malzeme direncinin büyük ölçüde düşüşü sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu çözümde akma kriteri olarak Tsai-Hill teorisi

kullanılmıştır. Bu kriteri göre $\bar{\sigma}$ eşdeğer gerilme

$$\bar{\sigma}^2 = \sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \frac{X^2}{Y^2}\sigma_2^2 + \frac{X^2}{S^2}\tau_{12}^2 = X^2 \quad (15)$$

şeklinde. Eğer eşdeğer gerilme akma dayanımı X'den daha büyükse elasto-plastik gerilme analizi uygulanır. X ve Y, 1 ve 2 asal malzeme yönlerindeki akma dayanımları, S, 1-2 düzlemindeki kayma akma dayanımıdır. σ_1, σ_2 ve τ_{12} asal malzeme yönlerindeki gerilme bileşenleri,

$$\sigma_1 = \sigma_x \cos^2 \theta + 2\tau_{xy} \sin \theta \cos \theta$$

$$\sigma_2 = \sigma_x \sin^2 \theta - 2\tau_{xy} \sin \theta \cos \theta \quad (16)$$

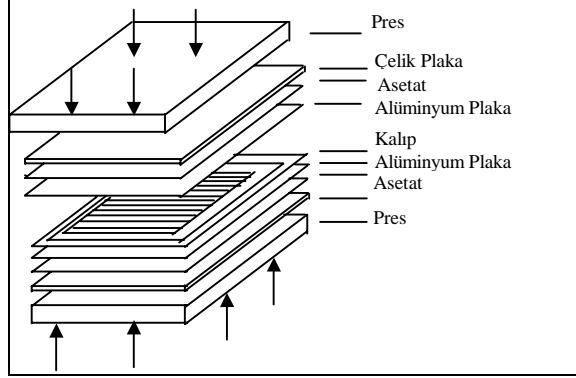
$$\tau_{12} = -\sigma_x \sin \theta \cos \theta + \tau_{xy} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta)$$

şeklinde verilir (Sayman ve Aksoy, 1982).

3. KOMPOZİT MALZEMENİN ÜRETİMİ

Paslanmaz çelik takviyeli alüminyum matrisli tabakalar 40 MPa basınç ve 575 °C sıcaklıkta preste

sıkıştırılır. 1mm çapındaki çelik fiberler Şekil 2'deki gibi yerleştirilir.



Şekil 2. Pres İşlemi

Kompozit malzemede alüminyum matrisin 0° oryantasyon açısında paslanmaz çelik fiberle takviye edilmektedir. Çelik fiberler ve alüminyum plaklar elektrikli rezistans tarafından 575 °C sıcaklığa ısıtılır ve 10 dakika basınç uygulanır. Çekme ve kayma gerilmelerinin tespiti için numuneler dikey ve yatay yönde hazırlanmaktadır.

Çelik fiberin hacim oranı $V_f = 0.15$, fiber ve matrisin yoğunlukları $\rho_f = 7800 \text{ kg/m}^3$, $\rho_m = 2560 \text{ kg/m}^3$ 'tür. Kompozitin yoğunluğu $\rho_c = V_f \rho_f + V_m \rho_m$ eşitliğinden $\rho_c = 3300 \text{ kg/m}^3$ olarak elde edilir. Kompozit malzemenin mekanik özellikleri ve akma dayanımları Tablo 1'de verilmektedir (Karakuzu ve ark., 1997).

Tablo 1. Kompozit Kirişin Mekanik Özellikleri ve Akma Dayanımları

E_1 (GPa)	E_2 (GPa)	G_{12} (GPa)	ν_{12}	Eksenel Dayanımı (X) [MPa]	Eksene Dik Dayanımı (Y) [MPa]	Kayma Dayanımı (S) [MPa]	Şekil değişik.-sertleşme parametresi(k) [MPa]
86	74	32	0.3	230	24	48.9	1254

4. ÖRNEK PROBLEM

Orta noktasından P yüküne maruz her iki tarafından destekli kompozit bir kiriş için analitik çözüm yapılmıştır. Tekil kuvvet 700N olarak alınmıştır. Kirişin kalınlığı 3 mm, uzunluğu 500 mm, yüksekliği 12 mm olarak alınmıştır.

Değişik oryantasyon açıları (0°, 30°, 45°, 60° ve 90°) için akma noktaları hesaplanarak, elde edilen değerler Tablo 2'de verilmiştir. Değişik oryantasyon açılarında farklı x değerlerine bağlı olarak elastik σ_x ve τ_{xy} gerilme değerleri Tablo 3, 4, 5, 6 ve 7'de verilmiştir.

Tablo 2. Orta Noktasından P Yüküne Maruz Her İki Tarafından Destekli Al-Çelik Kompozit Kirişin Orta Noktası İle Akma Noktaları Arasındaki (x) Mesafe

	Oryantasyon açıları				
	0°	30°	45°	60°	90°
En üst yüzeyde (mm)	214.979	108.700	83.150	69.950	61.470
En alt yüzeyde (mm)	214.979	108.540	82.950	69.843	61.470

Tablo 3. $y = c$, $y = c/2$, $y = 0$ için $\theta = 0^\circ$ Oryantasyon Açısında Orta Noktasından P Yüküne Maruz Her İki Tarafından Destekli Kompozit Kirişin X Mesafesine Göre Elastik σ_x ve τ_{xy} Gerilme Dağılımları

x (mm)	σ_{x_e} y=c	τ_{xy_e} y=c	σ_{x_e} y=c/2	τ_{xy_e} y=c/2	σ_{x_e} y=0	τ_{xy_e} y=0
214.979	230.000	0.000	115.000	-3.493	0.000	-4.665
224.979	245.102	0.000	122.550	-3.696	0.000	-4.928
234.979	259.715	0.000	129.857	-3.897	0.000	-5.196
244.979	273.703	0.000	136.852	-4.102	0.000	-5.469
254.979	286.931	0.000	143.465	-4.312	0.000	-5.749

Tablo 4. $y = c$, $y = c/2$, $y = 0$ için $\theta = 30^\circ$ Oryantasyon Açısında Orta Noktasından P Yüküne Maruz Her İki Tarafından Destekli Kompozit Kirişin X Mesafesine Göre Elastik σ_x ve τ_{xy} Gerilme Dağılımları

x (mm)	σ_{x_e} y=c	τ_{xy_e} y=c	σ_{x_e} y=c/2	τ_{xy_e} y=c/2	σ_{x_e} y=0	τ_{xy_e} y=0
108.540	71.800	0.000	35.801	-1.632	-0.077	-2.176
118.540	84.551	0.000	42.170	-1.792	-0.084	-2.390
128.540	98.047	0.000	48.909	-1.955	-0.092	-2.607
138.540	112.191	0.000	55.971	-2.121	-0.099	-2.828
148.540	126.883	0.000	63.307	-2.290	-0.107	-3.053

Tablo 5. $y = c$, $y = c/2$, $y = 0$ için $\theta = 45^\circ$ Oryantasyon Açısında Orta Noktasından P Yüküne Maruz Her İki Tarafından Destekli Kompozit Kirişin X Mesafesine Göre Elastik σ_x ve τ_{xy} Gerilme Dağılımları

x (mm)	σ_{x_e} y=c	τ_{xy_e} y=c	σ_{x_e} y=c/2	τ_{xy_e} y=c/2	σ_{x_e} y=0	τ_{xy_e} y=0
82.950	43.180	0.000	21.467	-1.232	-0.084	-1.642
92.950	53.855	0.000	26.810	-1.390	-0.094	-1.853
102.950	65.314	0.000	32.526	-1.546	-0.105	-2.062
112.950	77.642	0.000	38.676	-1.705	-0.116	-2.274
122.950	90.758	0.000	45.221	-1.867	-0.127	-2.490

Tablo 6. $y = c$, $y = c/2$, $y = 0$ için $\theta = 60^\circ$ Oryantasyon Açısında Orta Noktasından P Yüküne Maruz Her İki Tarafından Destekli Kompozit Kirişin X Mesafesine Göre Elastik σ_x ve τ_{xy} Gerilme Dağılımları

x (mm)	σ_{x_e} y=c	τ_{xy_e} y=c	σ_{x_e} y=c/2	τ_{xy_e} y=c/2	σ_{x_e} y=0	τ_{xy_e} y=0
69.700	30.800	0.000	15.321	-1.030	-0.072	-1.373
79.700	39.952	0.000	19.873	-1.182	-0.082	-1.576
89.700	50.122	0.000	24.945	-1.336	-0.093	-1.781
99.700	61.263	0.000	30.502	-1.492	-0.103	-1.989
109.700	73.300	0.000	36.507	-1.650	-0.114	-2.200

Tablo 7. $y = c$, $y = c/2$, $y = 0$ için $\theta = 90^\circ$ Oryantasyon Açısında Orta Noktasından P Yüküne Maruz Her İki Tarafından Destekli Kompozit Kirişin X Mesafesine Göre Elastik σ_x ve τ_{xy} Gerilme Dağılımları

x (mm)	σ_{x_e} y=c	τ_{xy_e} y=c	σ_{x_e} y=c/2	τ_{xy_e} y=c/2	σ_{x_e} y=0	τ_{xy_e} y=0
61.470	24.000	0.000	12.000	-0.905	0.000	-1.207
71.470	32.211	0.000	16.106	-1.056	0.000	-1.408
81.470	41.510	0.000	20.759	-1.209	0.000	-1.612
91.470	51.836	0.000	25.918	-1.363	0.000	-1.818
101.470	63.119	0.000	31.560	-1.520	0.000	-2.026

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, orta noktasından P yüküne maruz her iki tarafından desteklenmiş kompozit kirişin analitik elastik çözümü yapılmıştır. Plastik bölgenin başlangıcı Tsai-Hill akma teorisine göre bulunmuştur. Kiriş malzemesi olarak alüminyum-paslanmaz çelik kompozit malzemesi kullanılmıştır.

Tablo 2'den görüleceği üzere 30° , 45° ve 60° 'lik takviyelerde akma en alt bölgede daha önce başlamaktadır. 0° ve 90° 'lik oryantasyon açılarında

ise malzeme özelliklerinin x eksenine göre simetrisinden dolayı akma üst ve alt yüzeylerde aynı uzaklıkta başladığı görülmektedir.

Tablo 3, 4, 5, 6 ve 7'den görüleceği üzere kayma gerilmesi τ_{xy} x ekseninde maksimum,

$y = \pm c$ 'de ise sıfırdır. σ_x gerilmesi 30° , 45° ve 60° için sıfıra yakın 0° ve 90° de ise sıfırdır.

Yine bu tablolardan kayma gerilmelerinin değeri elastik gerilmelerin değerinden daha küçük olduğu görülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Bahei-El-Din, Y.A. and Dvorak, G. J. 1982. Plasticity Analysis of Laminated Composite Plates, Journal of Applied Mechanics, ASME, 49, 740-746.
- Bassiouni, A.S., Gad-Elrab, R.M and Elmahdy, T. H. 1999. Dynamic Analysis for Laminated Composite Beams, Composite Structures, 44, 81-87.
- Corvi, A. 1990. A Preliminary Approach to Composite Beam Design Using FEM Analysis, Composite Structures, 19, 259-275.
- Daehn, G.S., Starck, B., Xu, L., Elfishawy, K.F., Ringnald, J and Fraser, H.L. 1996. Elastic and Plastic Behaviour of a Co-Continuous Alumina/Aluminium Composite, Acta Materialia, 44, 249-261.
- Esendemir, Ü. 2002. An Elasto-Plastic Stress Analysis in a Polymer Matrix Composite Beam of Arbitrary Orientation Subjected to Transverse Linearly Distributed Load, Journal of Reinforced Plastics & Composites, 21, 735-748.
- Fraternali, F and Bilotti, G. 1997. Nonlinear Elastic Stress Analysis in Curved Composite Beams, Computers & Structures, 62, 837-859.
- Jones, R.M. 1975. Mechanics of Composite Materials, Mc.Graw-Hill, Kogahusha, Tokyo.
- Jones, R.M. 1975. 'Mechanics of Composite Materials', McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo.
- Karakuzu, R., Özel, A and Sayman, O. 1997. Elastic-Plastic Finite Element Analysis of Metal Matrix Plate with Edge Notches, Computers & Structures, 63, 551-558.
- Kenny, J.M and Marchetti, M. 1995. Elasto-Plastic Behaviour of Thermoplastic Composite Laminates Under Cycling Loading, Composite Structures, 32, 375-382.
- Kerti, I.Ç., Topuz, A., Birol, Y. 1997. Gaz Enjeksiyon Yöntemi ile Tic Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Üretimi, 7. Denizli Malzeme Sempozyumu, 72-78.
- Krawczuk, M. 1994. A New Finite Element for the Static and Dynamic Analysis of Cracked Composite Beams, Computers & Structures, 12, 551-561.
- Lekhnitski, S.G. 1981. Theory of Elasticity of an Anisotropic Body, Mir Publishers, Moscow.
- Sayman, O and Esendemir, Ü. 2002. An Elastic-Plastic Stress Analysis on a Thermoplastic Composite Beam of Arbitrary Orientation Supported from Two Ends Acted Upon with a Force at the Midpoint, Journal of Reinforced Plastics & Composites, 21, 473-485.
- Sayman, O and Özer, M.R. 2001. Elastic-Plastic Thermal Stress Analysis of Aluminum-Matrix Composite Beams Under a Parabolically Temperature Distribution, Composite Science and Technology, 61, 2129-2137.
- Sayman, O. 1998. Elasto-Plastic Stress Analysis in Stainless Steel Fiber Reinforced Aluminum Metal Matrix Laminated Plates Loaded Transversely, Journal of Composite Structures, 43, 147-154.
- Sayman, O., Aksoy, S. 1982. Kompozit Malzemeler, Ege Üniversitesi Matbaası, İzmir.
- Subramanian, P. 2001. Flexural Analysis of Symmetric Laminated Composite Beams Using Finite Element, Composite Structures, 54, 121-126.
- Şahin., Ş. 2000. Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitabevi Tic. Ltd. Şti, Ankara.