

ÜÇGEN YAYILI YÜKE MARUZ ANKASTRE KİRİŞLERDE ELASTİK-PLASTİK GERİLME ANALİZİ

Ümran ESENDEMİR, Ayşe ÖNDÜRÜCÜ

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta

Geliş Tarihi : 16.01.2003

ÖZET

Bu çalışmada üçgen yayılı yüke maruz ankastre bir kiriş için analitik elastik-plastik gerilme analizi yapılmıştır. Örnek malzeme olarak 1045 C çeliği alınmıştır. Elastik-plastik çözümde malzeme tamamen plastik kabul edilmiştir. Akma kriteri olarak izotrop malzemeler için geçerli olan Von-Mises akma teorisi kullanılmıştır. Akmanın kirişin üst ve alt yüzeylerinde serbest uçtan itibaren aynı mesafede başladığı görülmüştür. σ_x artık gerilme bileşeni en alt ve en üst yüzeylerde maksimum, x ekseninde sıfırdır. Buna karşılık; τ_{xy} artık gerilme bileşeni alt ve üst yüzeylerde sıfır, x ekseninde maksimumdur. Elde edilen σ_x ve τ_{xy} artık gerilme değerleri tablolar halinde verilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Ankastre kiriş, Elasto-plastik analiz, Artık gerilme, Analitik çözüm

AN ELASTIC-PLASTIC STRESS ANALYSIS IN CANTILEVER BEAMS SUBJECTED TO TRANSVERSE LINEARLY DISTRIBUTED LOAD

ABSTRACT

In this study, an elasto-plastic stress analysis is carried out for a cantilever beam subjected to linearly distributed load. In this solution, 1045 C steel is used. The Von Mises theory is used as a yield criterion. In the elasto-plastic solution, the material is assumed to be perfectly plastic. The yielding begins at the upper and lower surfaces of the beam at the same distances from the free end. The intensity of residual stress component of σ_x is maximum at the upper and lower surfaces, however residual stress component of τ_{xy} is zero and maximum the upper and lower surfaces and on the x axis of the beam, respectively. The intensity of obtained the residual stress components of σ_x and τ_{xy} are given as Tables.

Key Words : Cantilever beam, Elasto-plastic analysis, Residual stress, Analytical solution

1. GİRİŞ

Kiriş genel haliyle eksenine dik yükler taşıyan bir yapı elemanıdır. Kirişler genellikle uzun, doğrusal ve prizmatik kesitli elemanlardır. Bu eksene dik yükler kesme kuvveti ve eğilme momenti oluştururlar.

Malzemenin elasto-plastik durumu, belli bir gerilme değerine ulaşıldıktan sonra malzemenin gösterdiği davranışlar olarak ifade edilir. Plastik deformasyonlar yükleme işlemi sona erdikten sonra geri dönmemektedir. Plastik deformasyonun başlangıcı bir akma kriteri yardımı ile belirlenmekte olup, akma sonrası deformasyon malzeme direncinin büyük ölçüde düşüşü sonucu ortaya çıkmaktadır.

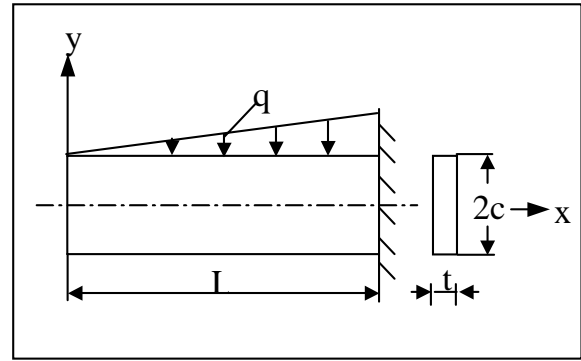
Betti and Gjelsvik (1996), üniform yayılı yüke maruz kompozit bir kirişin analitik modellemesini yapmıştır. Sınır koşullarının sağlanması açısından altıncı dereceden diferansiyel denge denklemini çözmüşlerdir. Sonuçlar Klasik Navier kiriş bağıntısından elde edilen sonuçlarla kıyas edilmiştir. Arslan ve ark., (1993), U çentikli aksel tekil yüklemeye maruz izotrop ve çapraz takviye edilmiş kompozit levhalardaki gerilme yığılmalarını bulmuşlardır. Çentik derinliği, çentik radyüsü ve levha boyu değiştirilerek çentik civarında meydana gelen gerilme yığılmalarını incelenmişlerdir. Sawa et al., (1996), statik yüklere maruz tabakalı sandwich kirişlerin gerilme analizini incelemişlerdir. Tabakalı sandwich kiriş statik yüklere maruz kaldığı zaman ara yüzeylerde meydana gelen gerilme dağılımının incelenmesinde iki boyutlu elastisite teorisinden yararlanılmışlardır. Kurban ve Odabaş (1997), elastik-plastik yüklemeye maruz bir kirişte artık gerilmelerin teorik analizini yapmışlardır. Arslan ve ark., (1995), U çentikli izotropik levhalarda elasto-plastik gerilme analizini yapmışlardır. Çözümde farklı çentik derinlikleri ve çentik yarıçapları için iç gerilmelerin değişimini incelemişlerdir. Ayrıca yüklemeye miktarına bağlı olarak plastik bölgelerin yayılımını incelemişlerdir. Zibdeh and Rachwitz (1996), farklı yüklemelere maruz homojen izotrop kirişlerdeki eksene dik yöndeki (transvers) titreşim problemleri üzerinde inceleme yapmışlardır. Fraternali and Bilotti (1997), tabakalı eğri kirişler için bir boyutlu teori ve sonlu eleman metodu kullanarak gerilme analizi yapmışlardır. Analiz esnasında çekme ve basma durumunda malzemenin farklı elastik davranışı, büyük kayma şekil değiştirmeleri ve büyük rotasyonlar hesaba katılmıştır. Sayman ve Kayıncı (2000), serbest uçtan tekil yüke maruz düşük yoğunluklu ankastre kiriş için elastik-plastik gerilme analizi uygulamışlardır. 0°, 15°, 30° ve 45° oryantasyon açıları için plastik bölge dağılımını; σ_x ve τ_{xy} artık gerilme bileşenlerini elde etmişlerdir. Sayman ve ark., (2000), serbest ucundan eğilme momenti uygulanmış ankastre termoplastik kiriş için elastik-plastik gerilme analizi uygulamışlardır. Akma kriteri olarak Tsai-Hill teorisi kullanılmıştır. Çözümde Bernoulli-Navier hipotezi kabulü yapılmıştır. Çözüm sonucunda σ_x artık gerilme bileşenlerinin kiriş üst ve alt yüzeylerinde maksimum, τ_{xy} artık gerilmelerinin ise x-ekseni üzerinde maksimum değer aldığı görülmüştür. Esendemir (2002), üçgen yayılı yüke maruz polimer matriksli kompozit kiriş için analitik olarak elastik-plastik gerilme analizi uygulamıştır. 0°, 30°, 45°, 60° ve 90° oryantasyon açıları için plastik bölge dağılımını ve σ_x artık gerilme bileşenlerini elde etmiştir. Akmanın, kirişin

alt ve üst yüzeylerinde serbest uçtan itibaren aynı mesafede başladığı görülmüştür.

Bu çalışmada, üçgen yayılı yüke maruz ankastre izotrop bir kiriş için analitik elastik-plastik gerilme analizi yapılarak elasto-plastik ve artık gerilme dağılımları verilmiştir.

2. ELASTİK ÇÖZÜM

Şekil 1’de üçgen yayılı yüke maruz ankastre bir kiriş gösterilmektedir.



Şekil 1. Üçgen yayılı yüke maruz ankastre bir kiriş

Düzlem şekil değiştirme halinde denge denklemleri aşağıdaki gibidir (Timoshenko and Goodier, 1969) :

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = 0$$

Bu kiriş için sınır şartları;

$$y = +c \text{ için } \sigma_y = -\frac{qx}{Lt} \quad (2)$$

$$y = -c \text{ için } \sigma_y = 0 \quad (3)$$

$$y = \mp c \text{ için } \tau_{xy} = 0 \quad (4)$$

x = 0 için

$$\int_{-c}^c \tau_{xy} t dy = 0, \quad \int_{-c}^c \sigma_x t dy = 0, \quad \int_{-c}^c \sigma_{xy} t dy = 0 \quad (5)$$

Hem sınır şartlarını hem de denge denklemini sağlayacak ϕ fonksiyonu aşağıdaki şekilde seçilmiştir:

$$\phi = \frac{x^2y^3}{6}d_6 + \frac{xy^5}{20}f_6 + \frac{xy^3}{6}d_4 + \frac{x^3y}{6}b_4 + \frac{x^2}{2}a_2 + b_2xy \quad (6)$$

Bu durumda gerilme bileşenleri,

$$\sigma_x = \frac{\partial^2\phi}{\partial y^2} = x^3yd_6 + xy^3f_6 + xyd_4$$

$$\sigma_y = \frac{\partial^2\phi}{\partial x^2} = xy^3d_6 + xyb_4 + a_2 \quad (7)$$

$$\tau_{xy} = -\frac{\partial^2\phi}{\partial x\partial y} = -\left(\frac{3}{2}d_6x^2y^2 + \frac{1}{4}f_6y^4 + \frac{1}{2}d_4y^2 + \frac{1}{2}b_4x^2 + b_2\right)$$

olarak bulunmuştur. (2) ve (3)'nolu sınır şartlarından;

$$a_2 = -\frac{qx}{2Lt} \quad (8)$$

$$b_4 = -\frac{q}{2Lc} - d_6c^2 \quad (9)$$

(5) nolu sınır şartından

$$b_2 = -\left(\frac{c^4}{20}f_6 + \frac{c^2}{6}d_4\right) \quad (10)$$

(4) nolu sınır şartından,

$$d_6 = \frac{q}{4tLc^3} \quad (11)$$

$$d_4 = -\frac{3}{5}f_6c^2 \quad (12)$$

olarak elde edilir. (11)'nolu denklem (9)'nolu denklemde yerine yazılırsa,

$$b_4 = -\frac{3q}{4tLc} \quad (13)$$

olarak bulunur. (4)'nolu sınır şartından

$$f_6 = -2d_6 \quad (14)$$

elde edilmiştir. (11) nolu denklem (14) nolu denklemde yerine yazılırsa f_6 katsayısı,

$$f_6 = -\frac{2q}{4tLc^3} \quad (15)$$

olarak elde edilir. (15)'nolu denklem (12)'nolu denklemde yerine yazılırsa d_4 katsayısı,

$$d_4 = -\frac{3q}{10tLc} \quad (16)$$

şeklinde elde edilir. (15) ve (16) nolu denklemler (10) nolu denklemde yerine yazılırsa b_2 katsayısı,

$$b_2 = -\frac{qc}{40tL} \quad (17)$$

olarak elde edilir. Bulunan bu a_2, b_2, b_4, d_4 ve f_6 katsayıları (7)'nolu denklemde yerine yazılırsa gerilme bileşenleri aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\sigma_x = \frac{qx^3y}{4tLc^3} + \frac{q}{4tLc^3}\left(-2xy^3 + \frac{6}{5}c^2xy\right)$$

$$\sigma_y = -\frac{qx}{2Lt} + \frac{qx}{Lt}\left(\frac{y^3}{4c^3} - \frac{3y}{4c}\right) \quad (18)$$

$$\tau_{xy} = \frac{3qx^2}{8tLc^3}(c^2 - y^2) - \frac{q}{8tLc^3}(c^4 - y^4) + \frac{3q}{20tLc}(c^2 - y^2)$$

Bu çalışmada Von-Mises akma kriteri kullanılmıştır. Bu kriter gereği akma şartı,

$$\frac{1}{2}\left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2\right] = \sigma_0^2 \quad (19)$$

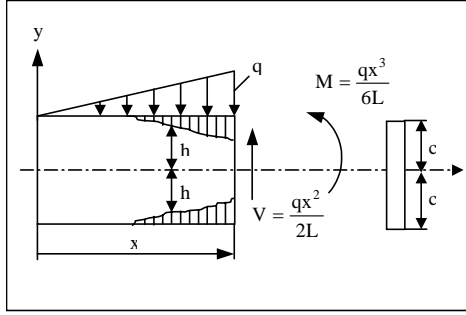
bağıntısı ile verilir (Timoshenko and Goodier, 1969). Düzlem gerilme hali için $\sigma_3 = 0$ dır. Asal malzeme yönlerindeki σ_1 ve σ_2 gerilme bileşenleri,

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_x \cos^2 \theta + 2\tau_{xy} \sin \theta \cos \theta \\ \sigma_2 &= \sigma_x \sin^2 \theta - 2\tau_{xy} \sin \theta \cos \theta \end{aligned} \quad (20)$$

denklemleri ile verilir.

3. ELASTO-PLASTİK ÇÖZÜM

Elasto-plastik çözüm için üçgen yayılı yüke maruz ankastre bir kiriş Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Elasto-plastik çözüm için üçgen yayılı yüke maruz ankastre bir kiriş

Elasto-plastik çözüm için sınır şartları:

$$y = \pm h \text{ için } \tau_{xy} = 0 \quad (21)$$

$$y = h \text{ için } \sigma_x = -X \quad (22)$$

$$y = -h \text{ için } \sigma_x = X \quad (23)$$

$$\int_{-h}^h \tau_{xy} t \, dy = -\frac{qx^2}{2L} \quad (24)$$

şeklinde dir. Normal gerilmelerin bileşkesi x kesitinde sıfırdır ve normal gerilmelerin momenti eğilme momentini vermektedir.

$$-Xt(c-h) + Xt(c-h) - \int_{-h}^h \sigma_x t \, dy = 0 \quad (25)$$

$$-Xt(c-h)\frac{c+h}{2} + Xt(c-h)\frac{c+h}{2} - \int_{-h}^h \sigma_x t \, y \, dy = -\frac{qx^3}{6L} \quad (26)$$

(22) ve (23)' nolu sınır şartlarından,

$$d_4 = -\frac{X}{xh} - x^2 d_6 - h^2 f_6 \quad (27)$$

(21)' nolu sınır şartından,

$$2b_2 + b_4 x^2 = \frac{1}{2} f_6 h^4 - 2d_6 x^2 h^2 + \frac{Xh}{x} \quad (28)$$

(24)' nolu sınır şartından,

$$d_6 = \frac{15qx^2 / (2Lt) - 10Xh^2 / (x)}{-20x^2 h^3 - 8h^5} \quad (29)$$

$$f_6 = -2d_6 \quad (30)$$

olarak elde edilir. Moment denklemi (26) indirgenirse f,

$$-Xc^2 + Xh^2 + \frac{8}{15} xh^5 d_6 + \frac{2}{3} Xh^2 + \frac{qx^3}{6Lt} = 0 \quad (31)$$

$$f = -Xc^2 + Xh^2 + \frac{8}{15} xh^5 d_6 + \frac{2}{3} Xh^2 + \frac{qx^3}{6Lt} \quad (32)$$

şeklinde bulunur. Newton Raphson metodu ile f değerini sıfır yapan h değeri bulunur.

4. ÖRNEK PROBLEM

Üçgen yayılı yüke maruz ankastre izotrop kiriş için analitik elastik-plastik gerilme analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen σ_y gerilme bileşeni σ_x ve τ_{xy} gerilme bileşenlerine göre çok küçük olduğundan ihmal edilmiştir.

Örnek malzeme olarak 1045 C çeliği kullanılmıştır. Bu çelik için akma gerilmesi $\sigma_{ak} = 420$ MPa , kirişe uygulanan yük $q=10$ N/mm, kiriş uzunluğu $L = 250$ mm, kiriş yüksekliği $2c=12$ mm, kiriş kalınlığı $t = 4$ mm olarak alınmıştır.

Tablo 1' den Tablo 7' ye kadar sırasıyla $y = c$, $y = h$, $y = h/2$, $y = 0$, $y = -h/2$, $y = -h$ ve $y = -c$ için kirişin farklı x kesitlerine göre; elastik, elastik-plastik, normal ve kayma artık gerilmeleri verilmiştir.

Tablo 1. $y = c$ için x Mesafelerine Göre Elastik, Elastik- Plastik ve Artık Gerilme Bileşenleri

x	h	σ_x^e	σ_x^p	σ_x^r	τ_{xy}^e	τ_{xy}^p	τ_{xy}^r
182.257	6.0	420.000	420.000	0.000	0.000	0.000	0.000
186.920	5.5	453.125	420.000	-33.123	0.000	0.000	0.000
191.000	5.0	483.466	420.000	-63.466	0.000	0.000	0.000
194.600	4.5	511.330	420.000	-91.330	0.000	0.000	0.000
197.700	4.0	536.178	420.000	-116.178	0.000	0.000	0.000
200.350	3.5	558.040	420.000	-138.040	0.000	0.000	0.000
202.599	3.0	577.050	420.000	-157.050	0.000	0.000	0.000
204.400	2.5	592.580	420.000	-172.580	0.000	0.000	0.000

Tablo 2. $y = h$ için x Mesafelerine Göre Elastik, Elastik- Plastik ve Artık Gerilme Bileşenleri

x	h	σ_x^e	σ_x^p	σ_x^r	τ_{xy}^e	τ_{xy}^p	τ_{xy}^r
182.257	6.0	420.000	420.000	0.000	0.000	0.000	0.000
186.920	5.5	415.735	420.000	4.265	-2.906	0.000	2.906
191.000	5.0	403.233	420.000	16.767	-5.805	0.000	5.805
194.600	4.5	383.820	420.000	36.180	-8.628	0.000	8.628
197.700	4.0	357.739	420.000	62.261	-11.308	0.000	11.308
200.350	3.5	325.778	420.000	94.222	-13.792	0.000	13.792
202.599	3.0	288.748	420.000	131.252	-16.033	0.000	16.033
204.400	2.5	247.098	420.000	172.905	-17.982	0.000	17.982

Tablo 3. $y = h/2$ için x Mesafelerine Göre Elastik, Elastik- Plastik ve Artık Gerilme Bileşenleri

x	h	σ_x^e	σ_x^p	σ_x^r	τ_{xy}^e	τ_{xy}^p	τ_{xy}^r
182.257	6.0	210.342	210.342	0.000	-12.975	-36.303	-23.328
186.920	5.5	207.867	210.342	2.475	-14.375	-41.659	-27.284
191.000	5.0	210.617	210.342	8.725	-15.702	-47.853	-32.151
194.600	4.5	191.910	210.342	18.440	-16.950	-55.198	-38.248
197.700	4.0	178.869	210.342	31.473	-18.096	-64.099	-46.003
200.350	3.5	162.889	210.342	47.453	-19.129	-75.240	-56.111
202.599	3.0	144.374	210.342	65.968	-20.043	-89.760	-69.717
204.400	2.5	123.549	210.342	86.793	-20.817	-109.650	-88.833

Tablo 4. $y = 0$ için x Mesafelerine Göre Elastik, Elastik- Plastik ve Artık Gerilme Bileşenleri

x	h	σ_x^e	σ_x^p	σ_x^r	τ_{xy}^e	τ_{xy}^p	τ_{xy}^r
182.257	6.0	0.000	0.000	0.000	-17.302	-41.495	-24.193
186.920	5.5	0.000	0.000	0.000	-18.199	-47.617	-29.418
191.000	5.0	0.000	0.000	0.000	-19.002	-54.695	-35.693
194.600	4.5	0.000	0.000	0.000	-19.725	-63.090	-43.365
197.700	4.0	0.000	0.000	0.000	-20.358	-73.261	-52.903
200.350	3.5	0.000	0.000	0.000	-20.908	-85.993	-65.085
202.599	3.0	0.000	0.000	0.000	-21.380	-102.597	-81.217
204.400	2.5	0.000	0.000	0.000	-21.762	-125.322	-103.560

Tablo 5. $y = -h/2$ için x Mesafelerine Göre Elastik, Elastik- Plastik ve Artık Gerilme Bileşenleri

x	h	σ_x^e	σ_x^p	σ_x^r	τ_{xy}^e	τ_{xy}^p	τ_{xy}^r
182.257	6.0	-210.342	-210.342	-0.000	-12.975	-36.303	-23.328
186.920	5.5	-207.867	-210.342	-2.475	-14.375	-41.659	-27.284
191.000	5.0	-210.617	-210.342	-8.725	-15.702	-47.853	-32.151
194.600	4.5	-191.910	-210.342	-18.440	-16.950	-55.198	-38.248
197.700	4.0	-178.869	-210.342	-31.473	-18.096	-64.099	-46.003
200.350	3.5	-162.889	-210.342	-47.453	-19.129	-75.240	-56.111
202.599	3.0	-144.374	-210.342	-65.968	-20.043	-89.760	-69.717
204.400	2.5	-123.549	-210.342	-86.793	-20.817	-109.650	-88.833

Tablo 6. $y = -h$ için x Mesafelerine Göre Elastik, Elastik- Plastik ve Artık Gerilme Bileşenleri

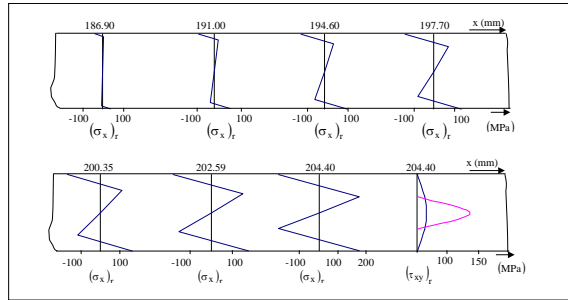
x	h	σ_x^e	σ_x^p	σ_x^r	τ_{xy}^e	τ_{xy}^p	τ_{xy}^r
182.257	6.0	-420.000	-420.000	-0.000	0.000	0.000	0.000
186.920	5.5	-415.735	-420.000	-4.265	-2.906	0.000	2.906
191.000	5.0	-403.233	-420.000	-16.767	-5.805	0.000	5.805
194.600	4.5	-383.820	-420.000	-36.180	-8.628	0.000	8.628
197.700	4.0	-357.739	-420.000	-62.261	-11.308	0.000	11.308
200.350	3.5	-325.778	-420.000	-94.222	-13.792	0.000	13.792
202.599	3.0	-288.748	-420.000	-131.252	-16.033	0.000	16.033
204.400	2.5	-247.098	-420.000	-172.905	-17.982	0.000	17.982

Tablo 7. $y = -c$ için x Mesafelerine Göre Elastik, Elastik- Plastik ve Artık Gerilme Bileşenleri

x	h	σ_x^e	σ_x^p	σ_x^r	τ_{xy}^e	τ_{xy}^p	τ_{xy}^r
182.257	6.0	-420.000	-420.000	0.000	0.000	0.000	0.000
186.920	5.5	-453.125	-420.000	33.123	0.000	0.000	0.000
191.000	5.0	-483.466	-420.000	63.466	0.000	0.000	0.000
194.600	4.5	-511.330	-420.000	91.330	0.000	0.000	0.000
197.700	4.0	-536.178	-420.000	116.178	0.000	0.000	0.000
200.350	3.5	-558.040	-420.000	138.040	0.000	0.000	0.000
202.599	3.0	-577.050	-420.000	157.050	0.000	0.000	0.000
204.400	2.5	-592.580	-420.000	172.580	0.000	0.000	0.000

Şekil 3'de kirişin farklı x değerlerine göre σ_x ve τ_{xy} artık gerilme değerleri verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere kirişin en alt ve en üst yüzeylerinde σ_x artık gerilmeleri maksimum, τ_{xy} artık gerilme değerleri ise sıfırdır.

Buna karşılık kirişin x ekseninde τ_{xy} artık gerilme değerleri maksimum, σ_x artık gerilme değerleri sıfırdır. Kirişte meydana gelen σ_x artık gerilme değerleri τ_{xy} artık gerilme değerlerinden daha büyüktür.



Şekil 3. x mesafesine göre σ_x ve τ_{xy} artık gerilme bileşenlerinin dağılımı

5. SONUÇLAR

Üçgen yayılı yüke maruz ankastre izotropik bir kiriş için analitik çözüm yapılmıştır. Analitik olarak yapılan çalışma sonucu aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. σ_x artık gerilme bileşeni kirişin en alt ve en üst yüzeylerinde maksimum, x ekseninde sıfırdır.
2. τ_{xy} artık gerilme bileşeni kirişin x ekseninde maksimum, alt ve üst yüzeylerinde ise sıfırdır.

3. σ_x artık gerilme bileşeni, τ_{xy} artık gerilme bileşeninden daha büyüktür.
4. Malzeme özelliklerinin x eksenine göre simetrisinden dolayı σ_x artık gerilme bileşeni kirişin en alt ve en üst yüzeylerinde aynı değere sahiptir. Kirişin en üst ve en alt yüzeylerinde akma aynı anda başlamaktadır.
5. Kirişin dayanımı artık gerilmelerle artırılabilir.

6. KAYNAKLAR

Arslan, N., Turgut, A., Gür, M. 1995. U Çentikli İzotropik Levhalarda Elasto-Plastik Gerilme Analizi, 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, 300-310.

Arslan, N., Turgut, A., Pıhtılı, H. 1993. Üzerinde U Çentikler Açılmış Eksenel Tekil Yüklü Düzlem Kompozit Levhalarda Oryantasyon Açısına Bağlı Olarak Gerilme Yığılmasının Bulunması, 5. Denizli Malzeme Sempozyumu, 668-691.

Betti, R., Gjelsvik, A. 1996. Elastic Composite Beams, Computers and Structures, 59, 437-451.

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 and Composites, 21, 735-748.

Fraternali, F., Bilotti, G. 1997. Nonlinear Elastic Stress Analysis in Curved Composite Beams, Computers & Structures, 62, 837-859.

Kurban, A.O., Odabaş, D. 1997. Elastik-Plastik Yükleme Maruz Bir Kirişte Artık Gerilmelerin Teorik Analizi, 7. Denizli Malzeme Sempozyumu, 313-320.

Sawa, T., Senoo, Y., Okuno, H., Hagiwara, T. 1996. Interface Stress Response of Laminated Plates

Subjected to Static and Impact Loads, Journal of Adhesion, 59, 1-16.

Sayman, O., Aksoy, S., Aykul, H. 2000. An Elastic-Plastic Solution for a Thermoplastic Composite Cantilever Beam Loading by Bending Moment, Composites Science and Technology, 60, 2739-2745.

Sayman, O., Kayrıcı, M. 2000. An Elastic-Plastic

Stress Analysis in the Thermoplastic Composite Cantilever Beam, Composites Science and Technology, 60, 623-631.

Timoshenko, S., Goodier, J.N. 1969. Elastisite Teorisi, Arı Kitabevi Matbaası, İstanbul.

Zibdeh, H.S., Rachwitz, R. 1996. Moving Loads on Beams With General Boundary Conditions, Journal of Sound and Vibration, 195, 85-102.