

TEKİL KUVVETLE YÜKLENMİŞ ÖRGÜLÜ ÇELİK FİBER TAKVİYELİ TERMOPLASTİK KOMPOZİT ANKASTRE KİRİŞLERDE ARTIK GERİLME ANALİZİ

Gürkan ALTAN, Gökmen ATLIHAN, Muzaffer TOPCU

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 20017/Çamlık-Denizli

Geliş Tarihi : 14.03.2003

ÖZET

Bu çalışmada tekil kuvvetle yüklenmiş örgülü çelik fiber takviyeli termoplastik kompozit kirişlerde elasto-plastik gerilmeler incelenmiştir. Plastik bölgenin yayılışı ve σ_x artık gerilmesi 0, 15, 30 ve 45 derecelik takviye açıları için tanımlanmıştır. Akma başlangıcı 0 ve 45 derecelerde kirişin alt ve üst yüzeylerinde kiriş ucundan eşit uzaklıklarda birlikte başlamıştır. İÇ kuvvetlerin tanımlanmasından sonra artık gerilme bileşenlerinin dağılımı bulunmuştur. Artık gerilmeler kirişin alt ve üst yüzeylerinde maksimumdur.

Anahtar Kelimeler : Artık gerilme, Elasto-plastik gerilme, Termoplastik kompozit kiriş

RESIDUAL STRESS ANALYSIS, WOVEN STEEL FIBER REINFORCED THERMOPLASTIC COMPOSITE CANTILEVER BEAM LOADED BY A CONSTANT SINGLE FORCE AT ITS FREE END

ABSTRACT

In this study an elastic-plastic stress analysis is carried out in a woven steel fiber reinforced thermoplastic composite cantilever beam loaded by a constant single force at its free end. The expansion of the plastic region and the residual stress component of σ_x are determined 0, 15, 30 and 45 orientation angles. Yielding begins for 0 and 45 orientation angles both of upper and lower surfaces of the beam at the same distances from the free end. An elastic-plastic analysis is carried out for the plastic region which spreads at the upper and lower surfaces together. The residual stress components are obtained after releasing the external force. The distributions of the residual stress components of σ_x are also determined. The intensity of the residual stress components of σ_x is maximum at the upper or lower surfaces of the beam.

Key Words : Residual stress, Elastic-plastic stress, Thermoplastic composite beam

1. GİRİŞ

Örgülü çelik fiber takviyeli termoplastik kompozitlerin yüksek özgül mukavemet ve özgül yoğunluğa sahip olmaları, hafif olmaları, kırılma tokluğu, darbe dayanımının iyi olması, uzun kullanım ömrü ve korozyona karşı dayanımı gibi özelliklerinden dolayı, geniş kullanım alanı vardır.

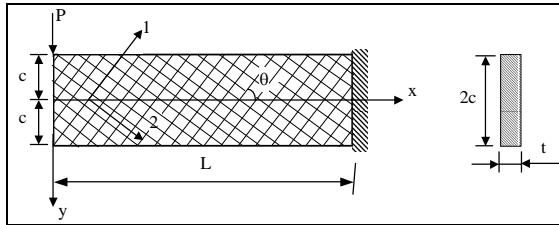
Termoplastik kompozit malzemelerin yüksek performanslarından dolayı uygulama alanı sürekli genişlemektedir. Otomotiv, uzay ve uçak sanayi başta olmak üzere inşaat ve mobilya sektöründe bir çok ürünler çelik fiber takviyeli termoplastik malzemelerden yapılmaktadır (Jegley, 1993; Marissen et al., 1995; Tawman, 1996; Cantwell, 1996; Chen, 1996).

Ayrıca termoplastik kompozitlerin üretimi çok kolaydır ve yeniden şekillendirilebilme imkanı vardır. Bir çok araştırmacı bu malzemelerle ilgili teorik ve deneysel çalışmalar yapmışlardır (Sayman and Zor, 2000). Yayılı yük etkisindeki Çelik takviyeli termoplastik kompozit ankastrerde kirişlerde elastik-plastik gerilme analizi yapmışlardır (Sayman and Kayırcı, 2000). Cr-Ni çelik takviyeli termoplastik kompozit ankastrerde kirişlerde elastik-plastik gerilme analizi yapmış ve artık gerilmeleri analitik olarak hesaplamışlardır (Sayman et al., 2000; Sayman and Çalhoğlu, 2000a). Moment etkisindeki çelik takviyeli termoplastik kompozit ankastrerde kirişlerde elastik-plastik gerilme analizi yapmışlardır (Özcan, 2000). Dikdörtgen delikli tabakalı termoplastik plaklarda artık gerilmeleri sonlu elemanlar metodu ile hesaplamış ve plastik bölgenin yayılışını göstermiştir (Arslan, 2000).

Bu çalışmada düşük yoğunluklu polietilen örgü şeklindeki çelik fiber ile takviye edilmiş tekil yük etkisindeki kompozit kirişte elasto-plastik gerilme analizi yapılmış ve kiriş boyunca artık gerilmeler hesaplanmıştır. Çözüm esnasında kompozit incelemeyi kolaylaştırmak için kirişin tam plastik oluşu düşünülmüştür. İki diferansiyel denge denklemi anizotropik malzeme için ankastrerde kirişin sınır şartları altında çözülmüş ve elastik gerilmeler bulunmuştur. Akma kriteri olarak Tsai-Hill kriteri kullanılmıştır. İç kuvvetler yardımıyla artık gerilme bileşenleri bulunmuştur. Elastik ve elasto-plastik çözümler sırasında iç kuvvetler sabit alınmıştır.

2. ELASTİK ÇÖZÜM

Şekil 1'de serbest ucundan P yüküne maruz ortotropik ankastrer bir kiriş gösterilmektedir. Kompozit fiberlerin asal eksenini x eksenine arasındaki açı θ 'dir.



Şekil 1. Serbest ucundan P yüküne maruz kompozit ankastrer kiriş.

Düzlem gerilme durumu ve anizotrop malzemeler için denge denklemleri aşağıdaki gibidir (Lekhnitskii, 1968).

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

Burada, F gerilme fonksiyonudur.

Ortotropik kompozit bir kirişteki gerilme-şekil değiştirme ilişkisi tarafından aşağıdaki gibi yazılabilir (Jones, 1975).

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

$\cos \theta = m$ ve $\sin \theta = n$ olmak üzere:

$$\begin{aligned} a_{11} &= S_{11}m^4 + (2S_{12} + S_{66})m^2n^2 + S_{12}n^4 \\ a_{12} &= S_{12}(m^4 + n^4) + (S_{11} + S_{22} - S_{66})m^2n^2 \\ a_{22} &= S_{11}n^4 + (2S_{12} + S_{66})m^2n^2 + S_{22}m^4 \\ a_{16} &= (2S_{11} - 2S_{12} - S_{66})nm^3 - (2S_{22} - 2S_{12} - S_{66})n^3m \\ a_{26} &= (2S_{11} - 2S_{12} - S_{66})n^3m - (2S_{22} - 2S_{12} - S_{66})nm^3 \\ a_{66} &= 2(2S_{11} + 2S_{22} - 4S_{12} - S_{66})n^2m^2 + S_{66}(m^4 + n^4) \end{aligned} \quad (3)$$

Burada,

$$S_{11} = \frac{1}{E_1}, S_{22} = \frac{1}{E_2}, S_{12} = \frac{-\bar{\nu}_{12}}{E_1}, S_{66} = \frac{1}{G_{12}} \text{ 'dir.}$$

F gerilme fonksiyonu, diferansiyel denge denklemleri ve sınır koşullarını sağlayacak şekilde aşağıdaki gibi seçilmiştir.

$$F = \frac{d}{6}xy^3 + \frac{e}{12}y^4 + \frac{a}{2}y^2 + bxy \quad (4)$$

F gerilme fonksiyonu, düzlem denge denklemleri (1)'de yerine konulursa,

$$\begin{aligned} -2a_{16}d + a_{11}2e &= 0 \\ e = \frac{a_{16}}{a_{11}}d = md \Rightarrow m &= \frac{a_{16}}{a_{11}} \end{aligned} \quad (5)$$

elde edilir.

Gerilme bileşenleri :

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = dxy + ey^2 + a \quad (6)$$

$$\sigma_y = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = 0 \quad (7)$$

$$\tau_{xy} = -\frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} = -\frac{d}{2} y^2 - b \quad (8)$$

Kirişin çözümü için gerekli sınır şartları aşağıda verilmiştir.

$$y = \pm c \text{ de } \sigma_y = 0 \quad (9)$$

$$y = \pm c \text{ de } \tau_{xy} = 0 \quad (10)$$

$$x = 0 \text{ da } \sigma_x = 0 \quad (11)$$

$$x = 0 \text{ da } \int_{-c}^c \tau_{xy} \cdot t \cdot dy = -P \quad (12)$$

serbest uçta x yönündeki kuvvetlerin toplamı ve eğilme momenti sıfıra eşittir.

$$\int_{-c}^c \sigma_x \cdot t \cdot dy = 0 \quad (13)$$

$$\int_{-c}^c \sigma_x \cdot t \cdot y \cdot dy = 0 \quad (14)$$

Bilinmeyen sabitler, sınır şartlarını kullanarak aşağıda bulunmuştur.

$$b = -\frac{d}{2} c^2, a = -m \frac{d}{3} c^2, d = \frac{-3P}{2c t} = \frac{-P}{I} \quad (15)$$

Sınır şartlarından bulunan a,b,d sabitlerinin gerilme denklemlerinde yerine konularak elde edilen denklemler, tekil yüklü termoplastik kompozit ankastre kirişler için elastik gerilmeleri verir. Buna göre elastik gerilmeler:

$$\sigma_x = -\frac{P}{I} \left(xy + my^2 - \frac{m}{3} c^2 \right) \quad (16)$$

$$\sigma_y = 0 \quad (17)$$

$$\tau_{xy} = -\frac{P}{2I} (c^2 - y^2) \quad (18)$$

olarak bulunur.

Burada I, kiriş kesitinin atalet momentidir ve

$$I = \frac{t(2c)^3}{12} \text{ dir.} \quad (19)$$

3. ELASTO-PLASTİK ÇÖZÜM

Elasto-plastik gerilme analizinde kompozit malzemenin tamamen plastik olduğu kabul edilerek düzlem gerilme durumu için denge denklemleri yazılacak olursa;

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0 \quad (20)$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = 0 \quad (21)$$

Ucuna tekil yük uygulanan ankastre kompozit kirişte σ_y sıfıra eşittir. Bu değer 21' nolu diferansiyel denklemde yerine konulduğunda $\tau_{xy} = f(y)$ olduğu görülür. Plastik deformasyonun başlangıcı bir akma kriteri kullanılarak bulunur. Kompozit malzemelerin elasto-plastik analizinde Tsai-Hill akma kriteri kullanılmaktadır. Tsai-Hill akma kriteri aşağıda verilmiştir (Jones, 1975).

$$\frac{\sigma_1^2}{X^2} - \frac{\sigma_1 \sigma_2}{X^2} + \frac{\sigma_2^2}{Y^2} + \frac{\tau_{12}^2}{S^2} = 1 \quad (22)$$

Kompozit kirişte asal eksen doğrultusundaki eşdeğer gerilme aşağıdaki gibidir.

$$\sigma_{eş} = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \sigma_2 + \frac{X^2}{Y^2} \sigma_2^2 + \frac{X^2}{S^2} \tau_{12}^2} = X \quad (23)$$

Eğer eşdeğer gerilme, akma gerilmesinden büyük ise elasto-plastik gerilme analizi söz konusudur. Burada X ve Y gerilmeleri 1 ve 2 asal eksenleri doğrultusundaki akma gerilmeleri göstermektedir. S ise 1-2 düzlemindeki kayma gerilmesini ifade eder. σ_1, σ_2 ve τ_{12} gerilmeleri asal doğrultulardaki gerilme bileşenleri olup, aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_x \cos^2 \theta + 2\tau_{xy} \sin \theta \cos \theta \\ \sigma_2 &= \sigma_x \sin^2 \theta - 2\tau_{xy} \sin \theta \cos \theta \end{aligned} \quad (24)$$

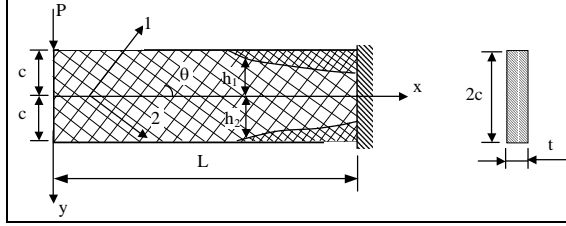
$$\tau_{12} = -\sigma_x \sin \theta \cos \theta + \tau_{xy} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta)$$

σ_1, σ_2 ve τ_{12} gerilme bileşenlerini Tsai-Hill akma kriterinde (22) yerine konularsa;

$$X_1 = \frac{X}{\sqrt{\cos^4 \theta - \sin^2 \theta \cos^2 \theta + \frac{X^2 \sin^4 \theta}{Y^2} + \frac{X^2 \sin^2 \theta \cos^2 \theta}{S^2}}} \quad (25)$$

akma başlangıcındaki akma gerilmesi elde edilir.

Burada θ açısı fiberlerin asal eksenlerle yaptığı açıdır. Kirişte plastik bölge en alt ve en üst uçlarda başlar. Plastik bölgenin meydana geldiği en alt ve üst bölgelerde kayma gerilmesi sıfırdır. X_1 akma sınırı, kompozitin x asal eksen yönündeki akma gerilmesidir. Tam plastik malzeme için plastik bölgenin oluştuğu anda σ_x 'in değeri alt ve üst yüzeylerde X_1 akma sınırına eşittir.



Şekil 2. Kompozit ankastre kirişte plastik bölgenin dağılışı

Kompozit ankastre kirişte plastik bölge her iki alt ve üst yüzeylerde Şekil 2'de gösterildiği gibi meydana gelir.

F gerilme fonksiyonu aşağıdaki gibi seçildi.

$$F = \frac{d}{6}xy^3 + \frac{e}{12}y^4 + \frac{a}{2}y^2 + \frac{r}{6}y^3 + \frac{k}{2}xy^2 + bxy \quad (26)$$

Gerilme bileşenleri;

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = dxy + md y^2 + a + kx + ry \quad (27)$$

$$\sigma_y = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = 0 \quad (28)$$

$$\tau_{xy} = -\frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} = -\frac{d}{2}y^2 - b - ky \quad (29)$$

F gerilme fonksiyonu (26), düzlem denge denklemi (1)'de yerine konulursa,

$$\begin{aligned} -2a_{16}d + a_{11}2e &= 0 \\ e = \frac{a_{16}}{a_{11}}d = md \Rightarrow m &= \frac{a_{16}}{a_{11}} \end{aligned} \quad (30)$$

elde edilir.

Plastik bölge ile elastik bölgeyi belirleyen sınır şartları aşağıda verilmiştir.

$$y = -h_1 \text{ 'de } \sigma_x = X_1 \quad (31)$$

$$y = h_2 \text{ 'de } \sigma_x = -X_1 \quad (32)$$

$$y = -h_1 \text{ 'de } \tau_{xy} = 0 \quad (33)$$

$$y = h_2 \text{ 'de } \tau_{xy} = 0 \quad (34)$$

Herhangi bir kesitte meydana gelen kuvvet,

$$\int_{-h_1}^{h_2} \tau_{xy} \cdot t \cdot dy = -P \quad (35)$$

Kesit boyunca oluşan σ_x gerilme bileşenlerinin kuvvet değerleri sıfıra eşittir.

$$X_1 t(c - h_1) - X_1 t(c - h_2) + \int_{-h_1}^{h_2} \sigma_x \cdot t \cdot dy = 0 \quad (36)$$

Kesit boyunca oluşan σ_x gerilme bileşenlerinin momenti (P.x)'dir.

$$\frac{X_1 t(c^2 - h_1^2)}{2} - \frac{X_1 t(c^2 - h_2^2)}{2} - \int_{-h_1}^{h_2} \sigma_x \cdot t \cdot y \cdot dy = P \cdot x \quad (37)$$

Gerilme bileşenlerindeki bilinmeyen sabitler sınır şartlarını kullanarak aşağıdaki gibi bulunurlar.

$$d = \frac{-12P}{t(h_1 + h_2)^3} \quad (38)$$

$$r = md(h_1 - h_2) - dx - \frac{2X_1}{h_1 + h_2} \quad (39)$$

$$k = \frac{d(h_1 - h_2)}{2} \quad (40)$$

$$a = -mdh_1h_2 - \frac{X_1(h_1 - h_2)}{h_1 + h_2} - \frac{d(h_1 - h_2)}{2}x \quad (41)$$

$$b = -\frac{dh_1h_2}{2} \quad (42)$$

Plastik bölge sınırının x asal eksenine olan uzaklıkları h_1 ve h_2 aşağıdaki şekilde bulunur.

$$h_1 = \frac{Pm}{3t} + \sqrt{\frac{P^2m^2}{3t^2} + \frac{c^2X_1^2}{3} - \frac{PcX_1}{3t}} \quad (43)$$

$$h_2 = h_1 - \frac{2Pm}{X_1t}$$

Böylece kiriş boyunca her noktadaki elasto-plastik gerilmeler, ilgili sabitlerin gerilme denklemlerinde yerine konularak bulunabilir.

4. KOMPOZİT MALZEMENİN ÜRETİMİ

Kompozit kiriş malzemesi düşük yoğunluklu polietilen levhaların içine gömülmüş örgülü takviye edilmiş çelik fiberlerden oluşur. Termoplastik granüller pres altına alınmadan önce kalıp içinde

elektrikli rezistans yardımıyla 160 °C'ye kadar 5 dakika ısıtılır. Hemen ardından kalıp içinde eriyen termoplastik granüller 160 °C'de 5 dakika 2.5 MPa basınç altına alınır ve sonra 30 °C'de 15 MPa basınç altında 3 dakika soğumaya bırakılır. Böylece polietilen plaka üretilmiş olunur. Örgülü çelik fiberler iki polietilen plaka arasına yerleştirilir ve ısı altında preslenerek çelik fiber takviyeli termoplastik kompozit levhalar üretilir. Termoplastik kompozit malzemenin mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Serbest uçundan P = 100 N'luk tekil kuvvetle yüklenmiş çelik fiber takviyeli kompozit ankastr bir kirişe analitik gerilme analizi uygulanmıştır. Kirişin kalınlığı 6 mm olarak üretilmiştir ve yüksekliği 25 mm olarak alınmıştır. Farklı takviye açıları için akma noktaları ve serbest uçtan akma noktalarına olan mesafeler hesaplanmıştır (Tablo 2).

Tablo 1. Cam Elyaf Takviyeli Termoplastik Kompozitin Mekanik Özellikleri

E ₁ (Mpa)	E ₂ (Mpa)	G ₁₂ (Mpa)	ν ₁₂	X (Mpa)	Y (Mpa)	S (Mpa)
14000	14000	470	0.28	24	24	12

Tablo 2. P = 100 N İçin Serbest Uç ile Akma Noktası Arasındaki Uzaklıkları

Açı Değeri	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Üst Akma Konumu (mm)	150	127.3388	129.6031	134.1641	145.6958	163.7039	150
Alt Akma Konumu (mm)	150	163.7039	145.6958	134.1641	129.6031	127.3388	150
X Akma Mukavemeti (Mpa)	24	23.28342	22.02391	21.46625	22.02391	23.28342	24

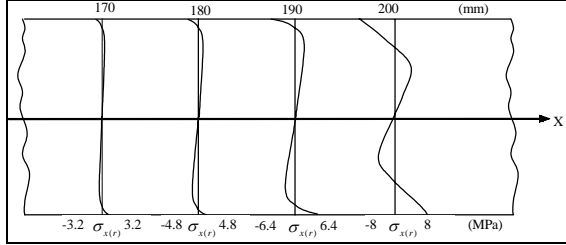
Kirişteki akma, 15° ve 30° oryantasyon açıları için ilk önce üst yüzeyde başlar. 0° ve 45° oryantasyon açıları için ise x eksenine göre malzeme özelliklerinin simetriliklerinden dolayı akmanın oluştuğu plastik bölge her iki yüzeyde de aynı zamanda meydana

gelir. Artık gerilmelerin değeri 0° ve 45° oryantasyon açıları için aynıdır. Oryantasyon açılarına bağlı olarak artık gerilmelerin ve plastik bölgelerinin dağılımı Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. h₁ ve h₂ Plastik Bölge Sınırlarında Kirişin Alt ve Üst Yüzeylerinde Oluşan σ_x Gerilmelerinden Meydan Gelen Artık Gerilmelerin ve Plastik Bölgelerinin Dağılımı

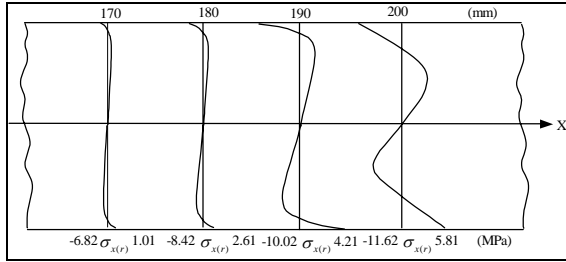
	x (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	σ _{x(e)} üst (Mpa)	σ _{x(e)} alt (Mpa)	σ _{x(p)} üst (Mpa)	σ _{x(p)} alt (Mpa)	σ _{x(r)} üst (Mpa)	σ _{x(r)} alt (Mpa)
0°	150	12.5	12.5	24	-24	24	-24	0.0	0.0
	160	11.63687	11.63687	25.6	-25.6	24	-24	-1.6	1.6
	170	10.70436	10.70436	27.2	-27.2	24	-24	-3.2	3.2
	180	9.68245	9.68245	28.8	-28.8	24	-24	-4.8	4.8
15°	163.7039	9.59709	12.5	29.10184	-23.28342	23.28342	-23.28342	-5.81842	0.0
	173.7039	8.58938	11.71308	30.70184	-24.88342	23.28342	-23.28342	-7.41842	1.6
	183.7039	7.46993	10.59363	32.30184	-26.48342	23.28342	-23.28342	-9.01842	3.2
	193.7039	6.19047	9.31417	33.90184	-28.08342	23.28342	-23.28342	-10.61842	4.8
30°	145.6958	11.08389	12.5	24.59875	-22.02391	22.02391	-22.02391	-2.57484	0.0
	155.6958	10.08050	11.54188	26.19875	-23.62391	22.02391	-22.02391	-4.17484	1.6
	165.6958	8.97390	10.43529	27.79875	-25.22391	22.02391	-22.02391	-5.77484	3.2
	175.6958	7.72369	9.18507	29.39875	-26.82391	22.02391	-22.02391	-7.37484	4.8
45°	134.1641	12.5	12.5	21.46625	-21.46625	21.46625	-21.46625	-0.0	0.0
	144.1641	11.53072	11.53072	23.06625	-23.06625	21.46625	-21.46625	-1.6	1.6
	154.1641	10.47212	10.47212	24.66625	-24.66625	21.46625	-21.46625	-3.2	3.2
	164.1641	9.29369	9.29369	26.26625	-26.26625	21.46625	-21.46625	-4.8	4.8

Yükleme sonucunda oluşan artık gerilmeler, kiriş kesiti boyunca çeşitli bölgelerde yer alırlar. 0° takviye açısı için artık gerilmelerin dağılımı Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi artık gerilmeler alt ve üst yüzeylerde eşit olarak dağılırlar.



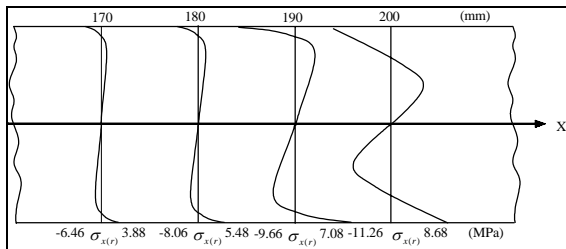
Şekil 3. 0° takviye açısı için artık gerilmelerin dağılımı

15° takviye açısı için artık gerilmelerin dağılımı Şekil 4'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi artık gerilmeler üst yüzeyde maksimumdur. Üst yüzeydeki plastik bölgenin genişlemesi alt yüzeydeki plastik bölgenin genişlemesinden daha hızlıdır. Böylece akma ilk önce üst yüzeyde oluşur.



Şekil 4. 15° takviye açısı için artık gerilmelerin dağılımı

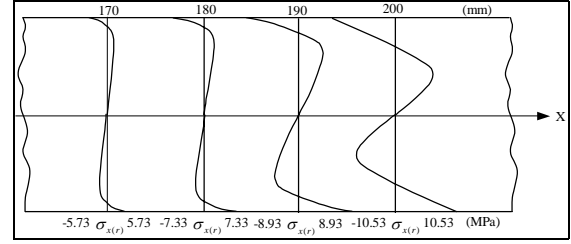
30° takviye açısı için artık gerilmelerin dağılımı Şekil 5'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi plastik bölgenin genişlemesi alt yüzeydeki plastik bölgenin genişlemesinden daha hızlıdır.



Şekil 5. 30° takviye açısı için artık gerilmelerin dağılımı

Şekil 6'da gösterildiği gibi 45° takviye açısı için artık gerilmelerin büyüklüğü alt ve üst yüzeylerde

aynıdır. Plastik bölgenin yayılışı her iki yüzeyde de aynı anda başlar. 45° takviye açısı için artık gerilmeler maksimumdur.



Şekil 6. 45° takviye açısı için artık gerilmelerin dağılımı

5. SONUÇ

Bu çalışmada, bir ucundan tekil kuvvetle yüklenmiş çelik fiber takviyeli termoplastik kompozit kirişte 0° , 15° , 30° ve 45° takviye açıları için elasto-plastik gerilmeler analitik olarak hesaplanmıştır. Plastik bölgenin başlangıcı Tsai-Hill akma teorisine göre bulunmuştur.

Akma başlangıcı 0° ve 45° oryantasyon açılarında kirişin alt ve üst yüzeylerinde kirişin ucundan eşit uzaklıklarda birlikte başlamıştır. 15° ve 30° oryantasyon açılarında ise akma ilk önce üst yüzeyde başlamıştır. Oryantasyon açısı büyüdükçe kiriş uzunluğunun küçüldüğü ve $\theta = 0^{\circ}$ oryantasyon açısında kiriş uzunluğunun en büyük olduğu Tablo 2'de görülmektedir.

Artık gerilmelerin değerleri alt ve üst yüzeylerde maksimum değerlere ulaşmaktadır. Yapılan bu çalışmanın sonucuna göre artık gerilmeler ile kirişe mukavemet kazandırılabilir.

6. KAYNAKLAR

Arslan, N. 2000. Elastic- Plastic Behavior of Thermoplastics Matrix Plates With Rectangular Holes. J. of Reinforced Plastics and Composites. 19: 1389-405.

Cantwell, W. 1996. The Influence of Stamping Temperature on the Properties of A Glass Mat Thermoplastic Composite. J. Composite Materials, 30 (11): 1266-81.

Chen, C. H 1996. Cheng CH. Secant Moduli of a Glass Bead- Reinforced Silicone Rubber Specimen. J. Composite Materials, 30 (1), 69-83.

Jegley, D. 1993. Impact-Damaged Graphite-Thermoplastic Trapezoidal Curvature Sandwich And Semi Sandwich Panels. *Journal of Composite Materials*, 27: 526-38.

Jones, R. M. 1975. *Mechanics of Composite Materials*. Tokyo: McGraw-Hill Kogakusha.

Lekhniskii, S. G. 1968. *Anisotropic Plates* London Gordon and Breach.

Marissen, R, Brouwer R, Linsen J. 1995. Notched Strength of Thermoplastic Woven Fabric Composites. *Composite Materials*, 29: 1544-64.

Özcan, R. 2000. Elastic-Plastic Stress Analysis In Thermoplastic Composite Laminated Plates Under In Plane Loading. *Composite Structures*. 49: 201-8.

Sayman, O. Aksoy, S. Aykul H. 2000. An Elastic/Plastic Solution For A Thermoplastic Composite Cantilever Beam Loading by Bending

Moment. *Composite Science and Technology*. 60: 2739-45.

Sayman O. 2000. Çallıoğlu H. An Elastic- Plastic Stress Analysis of Thermoplastic Composite Cantilever Beams Loaded By Bending Moments. *Composite Structures*. 50: 199-205.

Sayman, O. Kayrıcı M. 2000. An Elastic- Plastic Stress Analysis in a Thermoplastic Composite Cantilever Beam. *Composite Science and Technology*. 60: 623-31.

Sayman, O., Zor M. 2000. Elastic- Plastic Stress Analysis and Residual Stress in a Woven Steel Fiber Reinforced Thermoplastic Composite Cantilever Beam Loaded Uniformly. *J. of Reinforced Plastics and Composites*. 13: 1078-92.

Tawman, I. H. 1996. Thermal and Mechanical Properties of Aluminum Powder Filled High Density Polyethylene Composites. *J App. Polymer Sci.*, 62: 2161-7.