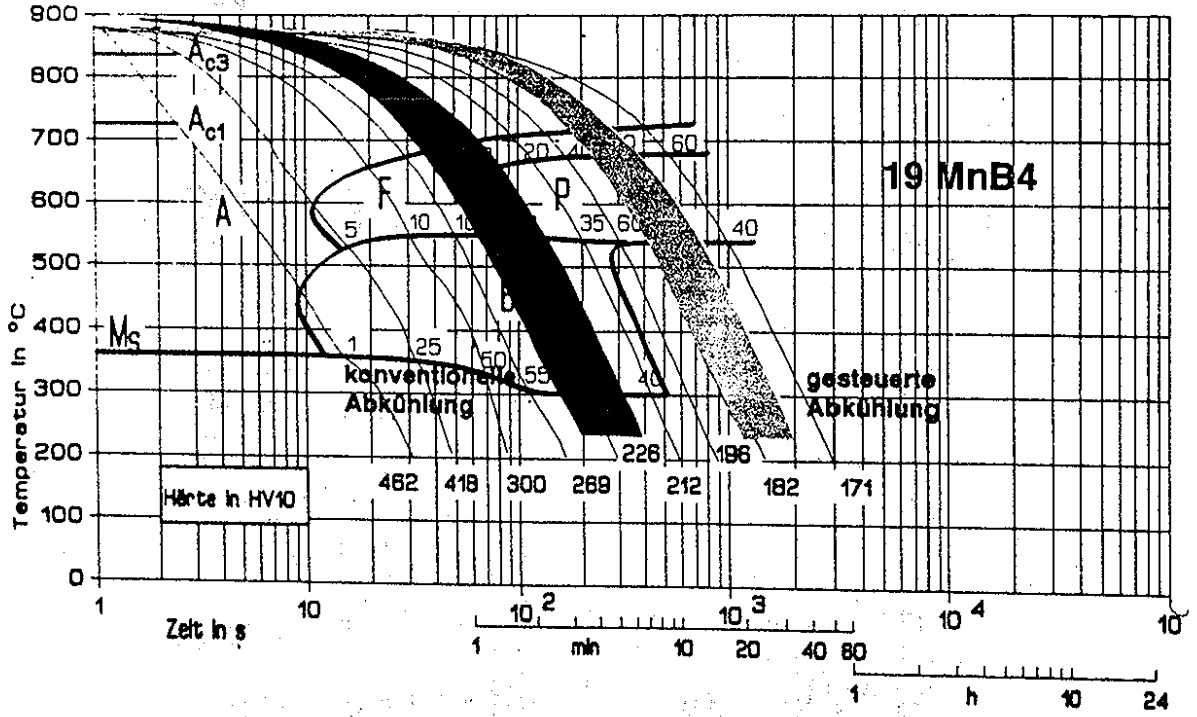


6. DENİZLİ MALZEME SEMPOZYUMU

12-13-14 NİSAN 1995



BİLDİRİLER



PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
DENİZLİ

DÜZLEMSSEL RASGELE DAĞILIMLI KEÇE ELYAFLA TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMEDE KIRILMA TOKLUĞUNUN ELYAF HACMİ, ELYAF YÖNLENMESİ VE DEFORMASYON HIZI İLE DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

İrfan AY

Raif SAKİN

ÖZET

Bu çalışmada, elyaf takviyeli kompozit bir malzemede Kırılma Tokluğu'nun, elyaf hacmi, elyaf yönü ve deformasyon hızı ile değişimi araştırılmıştır. Elyaf hacmi oranları, %4, %8, %12, %16, %20, %24 alınmıştır. Elyaf yönü 0°, 30°, 45°, 60°, 90° alınmıştır. Deformasyon hızı 5, 25, 50 mm/dak alınmıştır.

Sonuçta kırılma tokluğuna elyaf yönlenmesinin çok fazla etkili olmadığı, buna karşılık elyaf hacmi ve deformasyon hızının etkilediği görülmüştür.

SUMMARY

In this study, the effect of fibre volume, fibre direction and deformation rates on Fracture Toughness (K_{1c}) have been investigated. The ratios of fibre volume were selected %4, %8, %12, %16, %20, %24 respectively. Directions of fibre laminate were selected 0°, 30°, 45°, 60°, 90°. Deformation rate to each specimen were applied as 5, 25, 50 mm/min respectively.

At the end of the experiments, it has been observed that fibre directions did not much influence to fracture toughness, but fracture toughness has been influenced by the fibre volume ratio and deformation rate.

1. GİRİŞ

Mühendislikte ve imalatta kullandığımız malzemeler teknolojinin ilerleme hızı karşısında yetersiz kalmaktadır. Bunun sebebi ise malzemenin birden fazla özelliği aynı anda karşılayamamasıdır. Kullanmaya alıştığımız metal ve alaşımları, kullanıcı istekleri karşısında sınırlı cevap verme durumundadır. Bu soruna çözüm için çeşitli malzeme grupları geliştirilmiştir. Bunlardan birisi de kompozit malzemelerdir. Genel anlamda kompozit malzeme; iki veya daha fazla malzemenin uygun olan özelliklerini tek bir malzemede toplamak, ya da kullanım yerindeki aranan özellikleri verebilecek daha uygun bir malzeme oluşturmak için makro seviyede birleştirilmesi ile oluşan yeni malzemedir [1]. Diğer bir anlamda ise kompozit malzeme, polimer içersine takviye edilmiş partikül veya elyaf ilavesinden oluşmuştur [9]. Günümüzde, özellikle cam takviyeli plastikler (CTP) mühendisliğin pek çok alanında yaygın olarak kullanılmaktadır [5].

Metalik malzemelerle kıyaslandığında kompozit malzemelerin en belirgin üstünlükleri, malzemenin birim ağırlık başına düşen elastik modülünün ve mukavemetlerinin oldukça yüksek olmasıdır. Bu nedenle kompozit malzemeler, ileri mühendislik uygulamalarında, bilhassa yüksek rijitlik/ağırlık, mukavemet/ağırlık oranlarının önemli olduğu havacılık, otomobil endüstrisinde uygulaması her geçen gün daha da artacak şekilde yaygınlaşmaktadır [Bak Tablo 1.]. Diğer taraftan ucuz üretim yöntemi, kolay imalatı da göz önüne alındığında ekonomik açıdan da tercih edilen malzemelerdir [8,9].

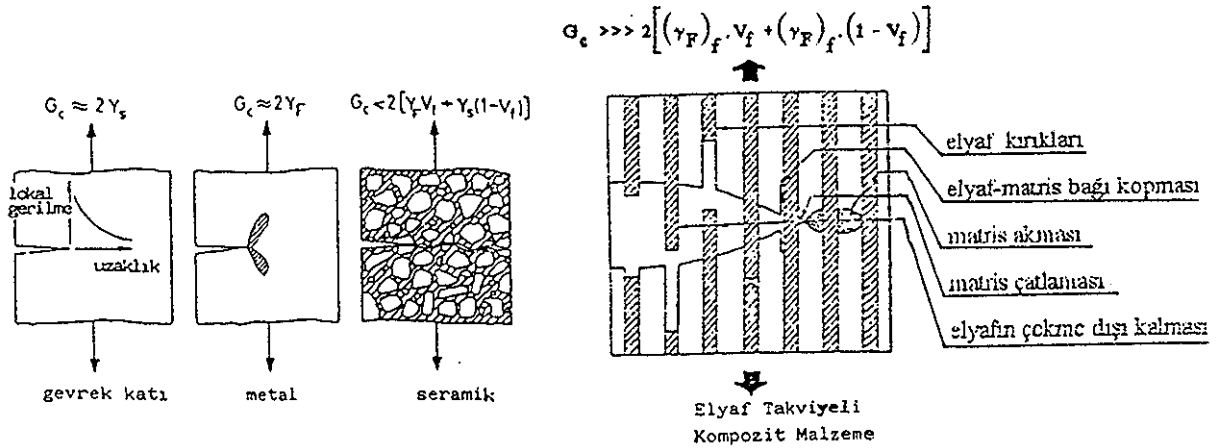
İmalat sanayinde kullanılan malzemelerin sağlıklı bir şekilde kullanılabilmesi için onların tüm karakteristik ve mekanik özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Bu mekanik özellikler çekme, basma, eğme, kesme, yorulma, aşınma dayanımı ile yüksek sıcaklık özelliği, ısı iletkenlik, elektrik iletkenliği gibi başlıca özellikleridir. Bunların yanında, mühendislikte kullanılan malzemelerin en önemli mekanik özelliklerinden birisi de *Kırılma Tokluğu* değeridir.

Tablo 1 : Cam takviyeli plastiklerin (CTP) ayrıntılı uygulama alanları

KULLANIM ALANLARI	ÜRETİCİYE SAĞLADIKLARI YARARLAR	KULLANICIYA SAĞLADIKLARI YARARLAR	ÜRÜN ÖRNEKLERİ
Otomotiv Endüstrisi	<ul style="list-style-type: none"> Seri üretim ve düşük yatırım olanağı Kolay ve ucuz model değiştirme olanağı Düşük kalıp maliyeti Kapasitenin tam kullanılabilmesi 	<ul style="list-style-type: none"> Yüksek mekanik dayanım Ucuz ve kolay onarım olanağı 	<ul style="list-style-type: none"> Otomobil, kamyon kaputu, kamyon ve otobüs karoseri parçaları, traktör parçaları, iç donanımı Demiryolu vagonları iç döşemesi
Ev Aletleri	<ul style="list-style-type: none"> Komple ve karmaşık parça üretimi Montaj kolaylığı Elektrik izolasyonundan tasarruf 	<ul style="list-style-type: none"> Hafiflik Elektriksel etkilerden korunum 	<ul style="list-style-type: none"> Dikiş makinası, mikser, şalter Çöp kutuları, özel kutular
Havacılık	<ul style="list-style-type: none"> Hafif malzeme Yüksek mekanik dayanım 	<ul style="list-style-type: none"> Aynı mekanik dayanımın daha hafif malzemeyle sağlanması 	<ul style="list-style-type: none"> Uçak burun parçası, uçak iç dekorasyonu, uzay araçlarında kullanım, helikopter parçaları, planör gövdesi, plotsuz deney uçak modelleri
İş Makinaları	<ul style="list-style-type: none"> Kalıplama kolaylığı Parça sayısını azaltma olanağı Tek parça üretimi 	<ul style="list-style-type: none"> Elektriksel etkilerden korunum Hafiflik 	<ul style="list-style-type: none"> İş makinalarının koruma kapakları Çalışma kabinleri
İnşaat Sektörü	<ul style="list-style-type: none"> Tasarım esnekliği ve kolaylığı Ucuz izolasyon Hafiflik Montajda ve nakliyede kolaylık 	<ul style="list-style-type: none"> Hafiflik Bakım giderlerinin ortadan kalkması İzolasyon sorununa çözüm Yüksek mekanik dayanım 	<ul style="list-style-type: none"> Cephe kaplamaları Tatil evleri, büfeler, otobüs durakları Soğuk hava depoları, inşaat kalıpları Komple banyo ünitesi Onçüle levhalar Şalterler Yüksek gerilim izolatörleri Devre kesiciler Bağlantı kutuları Aydınlatma armatürleri
Elektrik	<ul style="list-style-type: none"> Seri ve ucuz üretim Tek parçada ve karmaşık biçimli ürün yapımı 	<ul style="list-style-type: none"> Yüksek izolasyon güvencesi Montaj kolaylığı 	<ul style="list-style-type: none"> Yüksek gerilim izolatörleri Devre kesiciler Bağlantı kutuları Aydınlatma armatürleri
Taşımacılık	<ul style="list-style-type: none"> Kolay kalıplama olanağı Malzemeden tasarruf Düşük maliyet 	<ul style="list-style-type: none"> Yüksek ısı izolasyonu Kolay temizlenebilirlik 	<ul style="list-style-type: none"> Frigorik kamyon kasaları Nakliye tankerleri Kamyon kasaları Tren vagonları
Mobilya	<ul style="list-style-type: none"> Seri ve ucuz üretim Tek parçada ürün yapma olanağı Kolay model değiştirme Tasarımda kolaylık ve esneklik Çok sayıda standart ürünün kısa sürede üretilebilmesi 	<ul style="list-style-type: none"> Yüksek mekanik dayanım Alışılmıştan farklı modern görünüm ve tasarım 	<ul style="list-style-type: none"> Masa, sandalye, sehpa Koltuk, kütüphane Mutfak dolapları Dekoratif eşyalar
Şehircilik	<ul style="list-style-type: none"> Montajdan tasarruf Ucuz maliyet Hafiflik 	<ul style="list-style-type: none"> Yüksek izolasyon değerleri Yüksek mekanik dayanım 	<ul style="list-style-type: none"> Toplu konutların yapımı Şehir süslemeleri (heykel, çöp bidonu, elektrik direği, banklar)
Tarım Sektörü	<ul style="list-style-type: none"> Seri üretim Kolay montaj Düşük yatırım 	<ul style="list-style-type: none"> Değişik koşullarına dayanıklılık Yüksek mekanik dayanım Korozyona dayanıklılık İstek üzerine ışık geçirgenlik 	<ul style="list-style-type: none"> Seralar İlaçlama depoları Sulama kanalları Tahıl depolama siloları
Kitle Ulaşımı	<ul style="list-style-type: none"> Seri üretim Düşük yatırım olanağı 	<ul style="list-style-type: none"> Onarım kolaylığı Darbe dayanımı 	<ul style="list-style-type: none"> Şehir içi otobüsleri, tren-tramvay vagonları, tren makinist kabinleri, teleferik vagonları, iç donanım, onarım modülleri

2. KOMPOZİTLERDE KIRILMA TOKLUĞU

Kompozit malzeme kimyasal bileşimleri farklı enaz iki malzemenin makro oranda aralarında bir arayüzey oluşturacak şekilde birleştirilmesiyle elde edilen yeni malzemedir [8]. Genelde rasgele dağılımlı cam elyafı takviyeli kompozit malzemelerin kırılması, elyaf-matris arayüzeylerinin ayrılmasından sonra oluşur. Çatlak ucundaki elyaf-matris arayüzeylerinin ayrılması maksimum kırılma yükünün çok altındaki bir yükte meydana gelir. Çatlak ucunda yarı şeffaf bölge oluşması, elyaf-matris arayüzeyinin ayrılmasının bir göstergesidir. Bu olay deneyde elde edilen yük-çatlak ağzı açıklığı eğrilerinde açıkça görülmez. Şurası muhakkak ki , temel problem elyaf-matris arayüzey bağlantısıdır. Arayüzey bağlantısı güçlü ise ; çatlak ikisini birbirinden ayırmadan her ikisinde içinden geçerek doğrusal bir yol takip edecektir. Dolayısıyla kompozitin kırılma tokluğu düşük olacaktır. Arayüzey bağlantısı zayıf ise ; lif daha gevrek olduğundan, çatlak lifi geçtikten sonra, matrisin durdurucu etkisiyle karşılaşacak ve dallanmaya meyiledecektir. Çatlağın ilerlemesi çok daha karmaşık olacaktır. Bu ise kompozitin kırılma işini arttıracaktır. Şekil 1'de farklı türden malzemelerde çatlak ilerleme mekanizmalarının şematik örnekleri görülmektedir [2, 4]



Şekil 1 : Gevrek metal, metal, seramik ve kompozitlerde çatlak ilerleme mekanizmaları

Kompozit malzemelerde matrisin (polyester) görevi, elyaf demetlerini birarada tutmak, arayüzey oluşturmak ve kompozite gelen yükü elyaflara iletmektir. Kompozit malzemede matrisin hacimsel oranı düşüğe, elyaf oranı yüksek demektir. Bu durumda kompozitin kırılma tokluğu artacaktır. Örnek olarak, elyaf-matris bileşimi halinde, elyafın kırılma enerjisi $G = 10 \text{ J/m}^2$, polyesterinki $G = 100 \text{ J/m}^2$ alınır ise, kompozitin kırılma enerjisi $G = 10^5 \text{ J/m}^2$ ye ulaşabilmektedir [4].

Homojen ve izotropik metal ve alaşımlarında kırılma tokluğu belirlenmesinde Kırılma Mekanığı Yaklaşımı çok faydalıdır. Fakat, heterojen ve anizotrop yapıdaki kompozitler için Kırılma Mekanığı Yaklaşımı şüphelidir. Sebebi de kompozitlerin karmaşık yapıda oluşlarıdır [2, 4]. Çünkü metal ve alaşımları için kullanılan gerilim şiddeti faktörü (K_c), kompozitler için uygun mudur ? Kırılma Mekanığının temel denklemleri heterojen ve anizotrop bir durum için değiştirilebilir mi ? Çatlak yayılması hangi çatlak büyüklüğüne kadar kontrol edilebilir ? gibi soruların açıkça cevaplanmasına ihtiyaç vardır. Farklı kompozitler için birçok deneysel ve teorik çalışmalar yapıp, sonuçta Kırılma Mekanığının faydalı yada faydasız bir model olup olmadığı konusunda net bir açıklık yoktur. Buna rağmen belli kompozit tipleri için Lineer-Elastik Kırılma Mekanığı ile net işlemler yapılabilmektedir [2, 4, 6]

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada hedefimiz, düzlemsel rastgele dağılımlı keçe elyafı ile polyster reçinesi takviyeli kompozit malzemede kırılma tokluğunun ;

- a) elyaf yönleneşine,
- b) elyaf hacmine,
- c) deformasyon hızına,

bağılı olarak nasıl değiştiğini belirlemektir. Tablo 2 'de polyster ve elyafın özellikleri verilmiştir.

Tablo 2 : Deneyde kullanılan polyster ve cam elyafının mekanik özellikleri

Polyster Reçine (Neoxil RP 325)		Cam (keçe) elyaf , (EK 300)	
Çekme dayanımı (MPa)	45 - 48	Özgül ağırlık (gr / cm ³)	2,104
Elastiklik modülü (GPa)	3 - 3,8	Çekme dayanımı (N / mm ²)	3000
Uzama (%)	1,4	Elastiklik modülü (N / mm ²)	70000
Eğilme dayanımı (MPa)	85 - 95	Lif çapı (µm)	9,5 - 11,5
Deformasyon sıcaklığı (C°)	70 - 80	Elyaf boyu (mm)	50 ± 2
Özgül ağırlık (gr / cm ³)	1,09 - 1,12	Nem (%)	Max 0,5
Jelleşme süresi (dak)	8	Elyaf dökülmesi (%)	2,2
Sertlik (Barcol)	45	1.Bağlayıcı türü	Krom-silan
		2.Bağlayıcı türü	Toz bağlayıcı

3.1. DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI

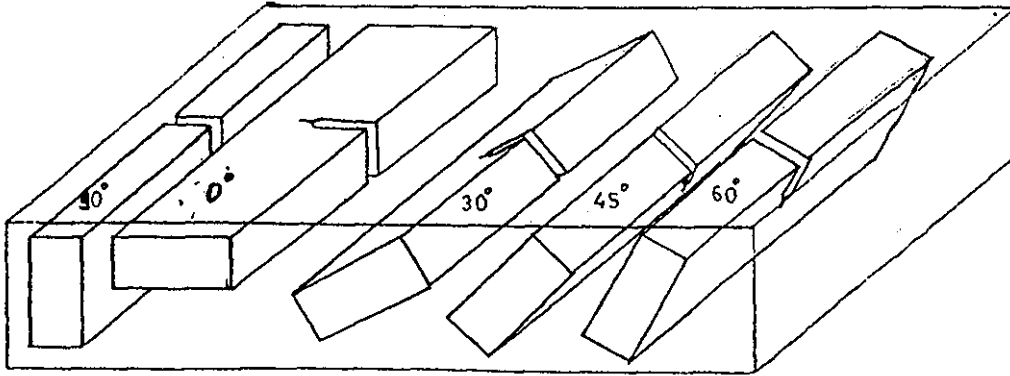
Kompozit Malzemelerin dökümü için 100x200x25 mm. boyutlarında cam kalıplar 30 adet hazırlandı. Numune yüzeylerinin düzgün elde edilebilmesi için özellikle cam kalıp kullanılmıştır. Tabaka halinde alınan keçe elyaflar, kalıba yerleştirilmek üzere kalıp boyutlarında 550 adet kesildi. Elyaf hacim oranı ve polyester hacim oranları için hesaplamalar yapıldı. (Bak. Tablo 3). El yatırması yöntemi kullanılarak numunelerin kalıplara döküm işlemi tamamlandı.

Tablo 3 : Elyaf ve polyester katları için hesaplanan değerler

Elyaf Yüzdesi	Kalıpdaki elyaf adedi	Elyaflar arasındaki polyester katlamının hacmi (cm ³)	Tek bir elyaf keçenin polyester emme hacmi (cm ³)
%24	30	2,58	10
%20	25	5,76	10
%16	20	10,46	10
%12	15	18,12	10
%8	10	32,72	10
%4	5	71,66	10

3.2. NUMUNELERİN KESİMİ

Şekil 2 'de görüldüğü gibi 0°, 30°, 45°, 60°, 90° derece yönlerinde numuneler kesildi ve Vals freze tezgahlarında 20x84x10 mm. boyutlarında üç noktadan eğme numuneleri ASTM E 399 'a göre işlendi. Adı geçen standart uyarınca üç noktadan eğme deney parçaları için $a/w = 0,5$ seçilmiştir. 1,25 mm' yi geçmeyecek tarzda ön yorulma çatlaklarına eşdeğer çatlak, dikkatli bir tarzda, çok ince uçlu çelik testere ile açıldı.



Şekil 2 : Kompozit plakaların farklı yönlerde kesim biçimleri

3.3. (P - V) EĞRİLERİNİN ELDE EDİLMESİ

Yük - çatlak ağız açıklığı (P-V) eğrileri için ALŞA marka 20 ton çekme yapabilen bir cihaz kullanıldı. Yük değerini ölçmek için strain-gauge donanımlı kuvvet ölçerden, çatlak ağız açınımını ölçmek için strain-gauge donanımlı Clip-gauge' den faydalanılmıştır. Alınan sinyaller amplifikatörde büyütülmüş ve recorder'a kaydedilmiştir. Daha önce elyaf hacmi %0, %4, %8, %12, %16, %20, %24 olarak belirlenen numunelerin yönleri 0°, 30°, 45°, 60° ve 90° şeklinde 5 mm/dak, 25 mm/dak ve 50 mm/dak 'lık deformasyon hızlarında her birinden üçer adet olmak üzere yaklaşık 300 adet numune kırılarak Şekil 3' deki eğrilere benzer eğriler elde edilmiştir (Bak. EK1). Saf polyesterden elde edilen eğriler ise Şekil 4' de görülmektedir. (Bak. EK2)

3.4. HESAPLAMALAR VE TABLOLAR

Numunelerin kırılmasından elde edilen eğrilerden ASTM F 399-74 standardında belirtildiği gibi eğme numuneleri için K_Q ve K_{IC} değeri ;

$$K_Q = \frac{P_Q \cdot S}{B \cdot W^{3/2}} \cdot \left[2,9 \cdot \left(\frac{a}{W} \right)^{1/2} - 4,6 \cdot \left(\frac{a}{W} \right)^{3/2} + 21,8 \cdot \left(\frac{a}{W} \right)^{5/2} - 37,6 \cdot \left(\frac{a}{W} \right)^{7/2} + 38,7 \cdot \left(\frac{a}{W} \right)^{9/2} \right], \quad (Kp/mm^{3/2})$$

formülünden hesaplandı. Bu formülde ;

P_Q : Kritik yük (Kp)

S : Mesnetler arası uzaklığı (mm)

ifade etmektedir.

Eğrilerden $x_1 \leq 0,25 \cdot x_5$ ve $a, B \geq 2,5 \cdot \left[\frac{K_{IC}}{\sigma_a} \right]^2$ şartı sağlandıktan sonra $K_Q = K_{IC}$ olarak

belirlenmiştir [Bak. Tablo 4 ve Tablo 5].

Tablo 5' deki $a, B \geq 2,5 \cdot \left[\frac{K_{IC}}{\sigma_a} \right]^2$ şartındaki σ_a değerleri, kompozit malzemenin her numunesi

için yaklaşık olarak $\sigma_a = \sigma_K$ alınarak ;

$$\sigma_K = \sigma_e \cdot V_e + \sigma_m \cdot (1 - V_e)$$

formülünden hesaplanmıştır [1,4]. Burada ;

σ_e : elyafın kopma mukavemeti

σ_m : matrisin kopma mukavemeti

V_e : Elyafın oransal hacmini

ifade etmektedir.

Tablo 4 : %16 Elyaf içeren numuneler için büyüklükler

Elyaf yönleri (α)	P _{max} (daN)			P _Q (daN)			P ₅ (daN)			0,8.P ₅ (daN)			X ₅ (mm)			X ₁ (mm)			K _Q = K _{IC} (Kp/mm ^{3/2})			Ynk. Hızı E (mm/dak)
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	
9	88	84	110	84	84	110	84	84	110	64	67,2	88	0,75	1,5	1	0	0,375	0	19,23	19,98	26,17	5
	144	57	36	144	57	36	144	57	36	45,6	28,8	28,8	1	0,75	0,375	0	0	0	34,26	13,56	8,56	25
	82	122	88	82	104	84	83,2	67,2	84	57,6	72	67,2	0,75	0,75	0	0	0	0	19,50	29,02	20,93	50
30	92	93	94	92	94	90	92	92	92	75,2	72	73,6	0,625	0,875	0,625	0	0	0	21,88	22,12	22,36	5
	90	116	92	90	84	108	82	67,2	85,6	65,6	65,6	65,6	0,75	0,875	1,125	0	0	0	21,41	27,59	21,88	25
	110	164	94	110	86	96	86	76,8	75,2	68,8	68,8	68,8	0,625	0,875	1,125	0	0	0	26,17	24,74	20,46	50
45	70	66	85	66	83	68	63	54,4	50,4	60,8	60,8	60,8	0,812	0,687	0,75	0,187	0	0,062	16,17	15,70	20,22	5
	63	161	86	59	161	86	59	152	83	47,2	121,6	66,4	0,5	0,875	0,75	0	0,125	0	14,03	38,30	20,46	25
	60	68	70	60	68	70	60	64	66	48	52	52,8	1	1	0,75	0	0	0	14,27	16,17	16,65	50
60	67	77	88	67	72	88	65	72	81	52	57,6	64,8	0,375	0,625	0,5	0	0,15	0	15,94	17,13	20,93	5
	73	123	84	73	120	78	67	120	78	53,6	96	62,4	0,75	0,875	0,75	0	0,187	0	17,36	28,55	18,55	25
	72	126	134	72	126	134	68	120	137	54,4	96	109,6	0,687	0,75	0,875	0	0	0	17,13	29,97	36,63	50
90	51	90	181	51	90	181	48	86	173	38,4	68,8	138,4	0,625	0,875	1,625	3,125	0	0	12,13	21,41	43,06	5
	130	130	80	130	130	80	120	124	80	96	99,2	64	1,25	1,25	0,75	0	0	0	30,92	30,92	19,03	25
	178	172	165	172	165	178	167	143	146	133,6	114,4	115,8	0,625	1,312	1,312	0	0,312	0	42,34	40,92	39,25	50

Tablo 5 : Numune boyutlarının K_{IC} ve σ_K ya göre karşılaştırılması.

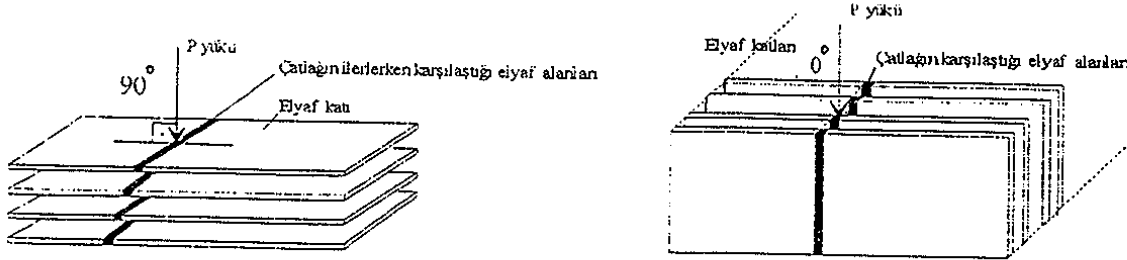
Elyaf Hacmi V _e	Maksimum Kırdırma Tokuğu (K _{IC}) (Kp/mm ^{3/2})	σ_K (Kp/mm ²)	a,B (mm)	$\left[\frac{K_{IC}}{\sigma_K} \right]^2$ $\geq 2,5$
%24	102,3	75,64	10	4,572
%20	74,7	63,84	10	3,422
%16	43,06	52,03	10	1,712
%12	25,21	40,22	10	0,982
%8	22,12	28,41	10	1,515
%4	21,17	16,6	10	4,065
%0	5,947	4,8	10	3,837

4. SONUÇLAR

Elde ettiğimiz verileri üç açıdan değerlendirdiğimizde;

a) Elyaf yönüne bağlı (K_{IC}) değişimi için ;

Genel olarak K_{IC} yöne bağımlılıktan çok fazla etkilenmemiştir diyebiliriz. Ancak 0° ve 90° gibi birbirine dik yönlerde göze batan farklılıklar bulunmuştur (Bak. EK3, Şekil 6). Sebebi ise aşağıda gösterilen kuvvete karşı gelen elyaf alanlarıdır (Şekil 5). Bu sonuç, daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlarla uyum içerisindedir [8].



Şekil 5 a) 90° yüklemeye halinde çatlakın karşılaştığı elyaf alanları

b) 0° yüklemeye halinde çatlakın karşılaştığı elyaf alanları

b) Yükleme hızı ile (K_{IC}) değişimi için ;

Metallik malzemelerin tersine, elyaf takviyeli kompozit malzemede (K_{IC}) değeri, yükleme hızı arttıkça artış göstermektedir. Fakat elyaf hacminin Kritik bir sınır değeri altında bu olay tersine dönmektedir. (Bak. EK4, Şekil 7)

c) Elyaf hacmi ile (K_{IC}) değişimi için ;

1) İnceleme yaptığımız kompozit malzemede maksimum %24 elyaf hacmine ulaşılmıştır. Daha fazla hacime ulaşamamasının sebebi ; elyaf / matris ara yüzey yapışma kabiliyetinin çok düşmesidir.

2) Elyaf hacmi arttıkça K_{IC} değeri bariz bir şekilde artmıştır. (Bak. EK5, Şekil 8)

3) Elyaf hacminin belli bir oranında (%0 - 10 arası bir değer) *Kritik bir nokta* vardır. Bu noktanın üstünde (K_{IC}) elyaf hacmi arttıkça artmakta, altında (K_{IC}) elyaf hacmi düştükçe azalmaktadır. (Bak. EK5, Şekil 8)

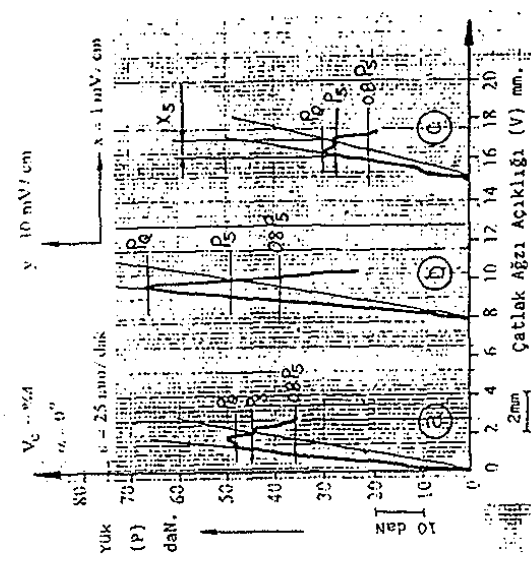
d) Yükleme hızı, elyaf yönü ve elyaf hacim ilişkisi bir bütün olarak düşünüldüğünde K_{IC} değeri için ;

1) Maksimum K_{IC} değeri 90° lif yönü, 50 mm/dak yükleme hızı %24 elyaf hacminde bulunmuştur.

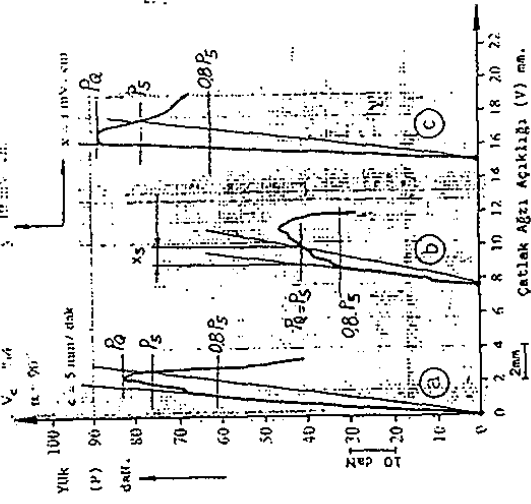
2) Elyaf hacmi artışı, yükleme hızı artışı (K_{IC}) 'yi arttırmakta, elyaf yönlendirmesinin çok fazla etkisi olmadığı gözlenmiştir.

3) K_{IC} , elyaf hacmi ve deformasyon hızı ile beraber yorumlandığında *kritik bir hacim sınır değeri* sözkonusudur. K_{IC} bu değerden etkilenmektedir. Bu değer altında malzeme izotropik bir davranış göstermektedir. (Bak. EK5, Şekil 8 ve EK4, Şekil 7)

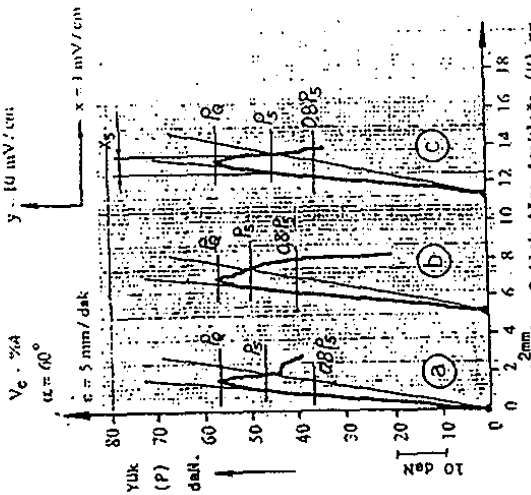
Son olarak bu çalışmada kullandığımız kompozit malzemeden elde ettiğimiz (P-V) eğrileri, malzemenin gevrek olduğunu, dolayısıyla ASTM E 399-74 standardında metalik malzemeler için belirtilen K_{IC} standardının kullanılabileceğini söyleyebiliriz.



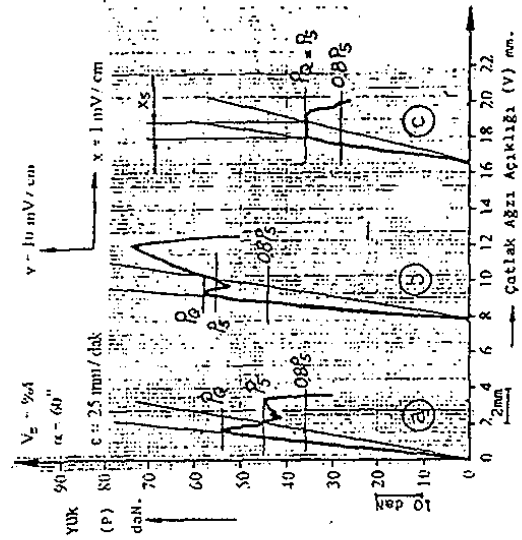
Şekil a : Elyaf hacmi $V_c = 60\%$, elyaf yönü $\alpha = 60^\circ$ ve yüklenme hızı $\epsilon = 5$ mm/dak olan kompozitin (P-V) eğrisi



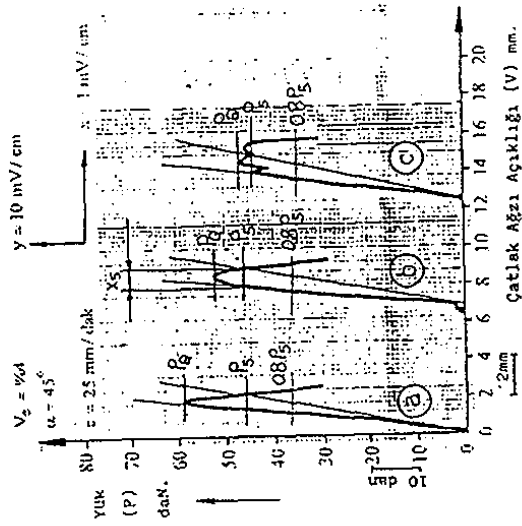
Şekil b : Elyaf hacmi $V_c = 60\%$, elyaf yönü $\alpha = 90^\circ$ ve yüklenme hızı $\epsilon = 5$ mm/dak olan kompozitin (P-V) eğrisi



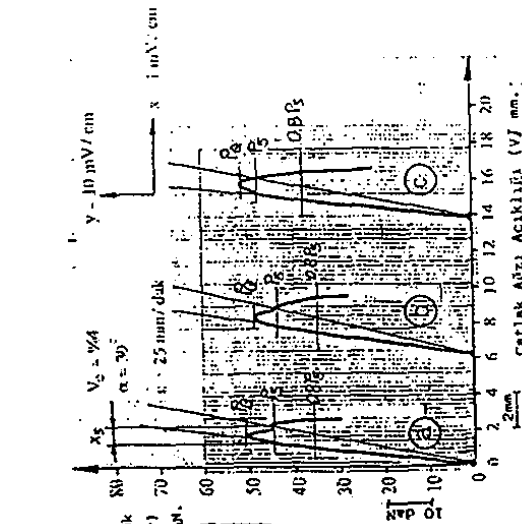
Şekil c : Elyaf hacmi $V_c = 60\%$, elyaf yönü $\alpha = 30^\circ$ ve yüklenme hızı $\epsilon = 5$ mm/dak olan kompozitin (P-V) eğrisi



Şekil d : Elyaf hacmi $V_c = 64\%$, elyaf yönü $\alpha = 60^\circ$ ve yüklenme hızı $\epsilon = 25$ mm/dak olan kompozitin (P-V) eğrisi

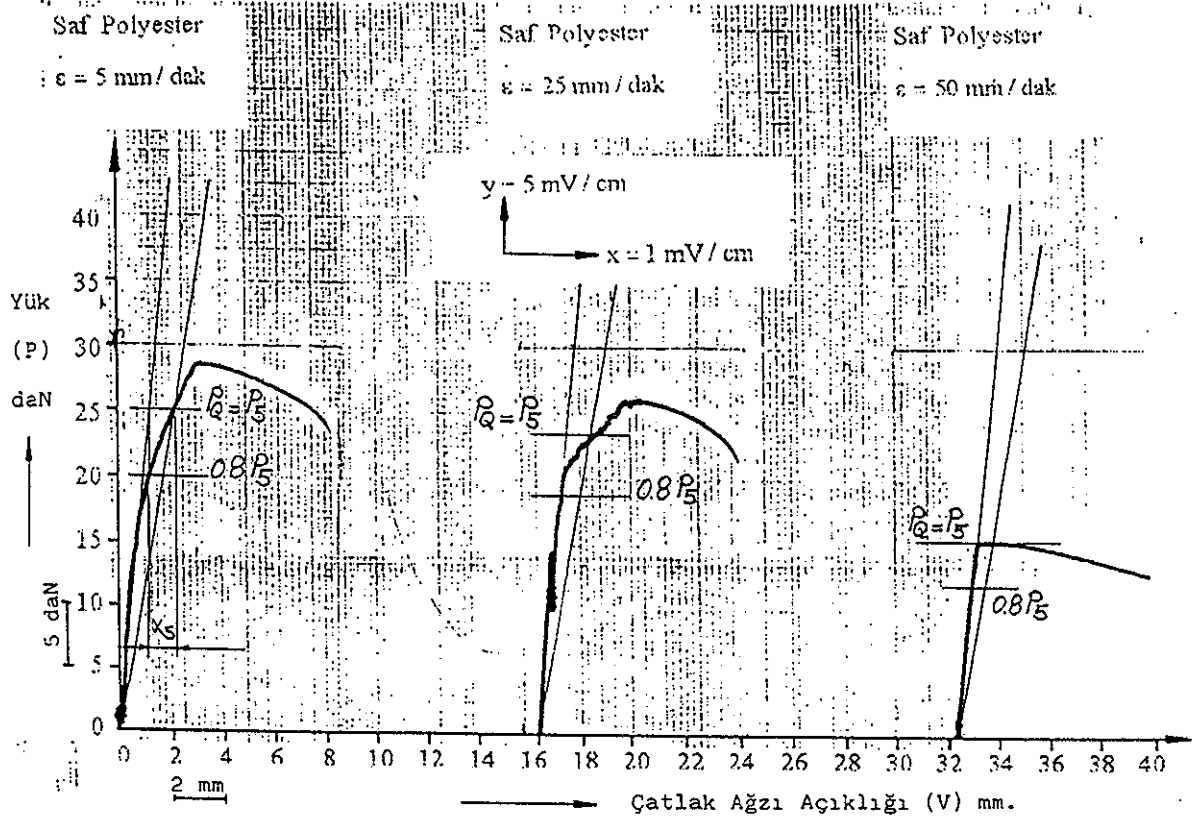


Şekil e : Elyaf hacmi $V_c = 64\%$, elyaf yönü $\alpha = 45^\circ$ ve yüklenme hızı $\epsilon = 25$ mm/dak olan kompozitin (P-V) eğrisi



Şekil f : Elyaf hacmi $V_c = 64\%$, elyaf yönü $\alpha = 30^\circ$ ve yüklenme hızı $\epsilon = 25$ mm/dak olan kompozitin (P-V) eğrisi

Şekil 3 : Üç farklı parametre (elyaf hacmi, elyaf yönelmesi, deformasyon hızı) esas alınarak, yaklaşık 270 adet numuneden elde edilen (P-V) eğrilerinden bazıları

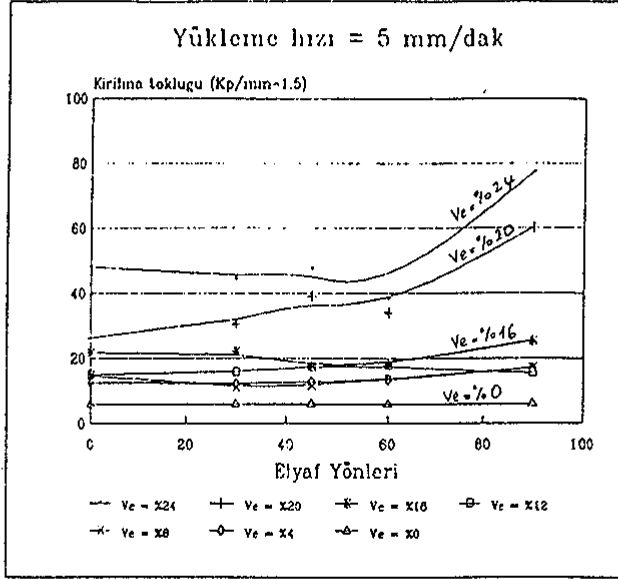
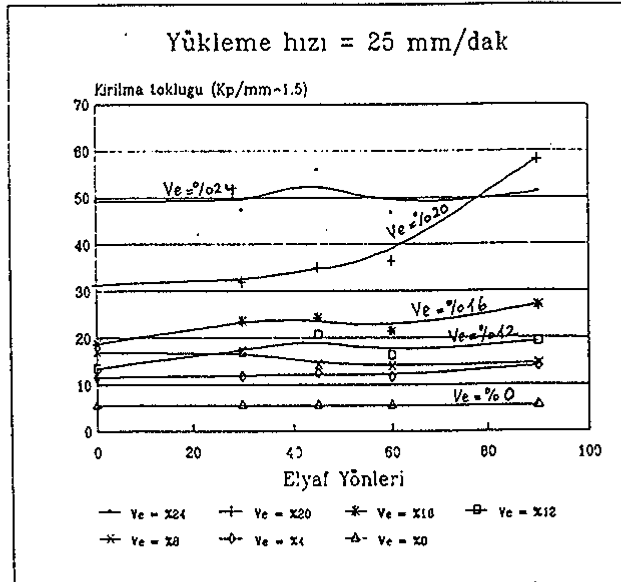
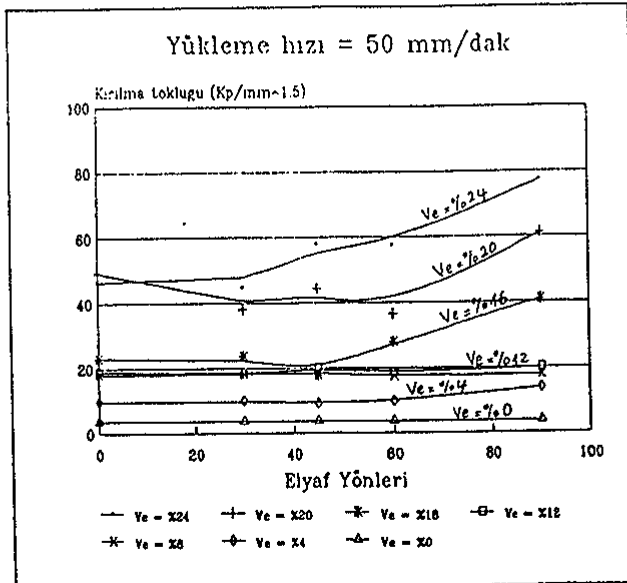


Şekil 4 : Saf Polyesterin üç farklı yükleme hızı ($\epsilon = 5$ mm/dak, $\epsilon = 25$ mm/dak, $\epsilon = 50$ mm/dak) altındaki (P-V) eğrileri

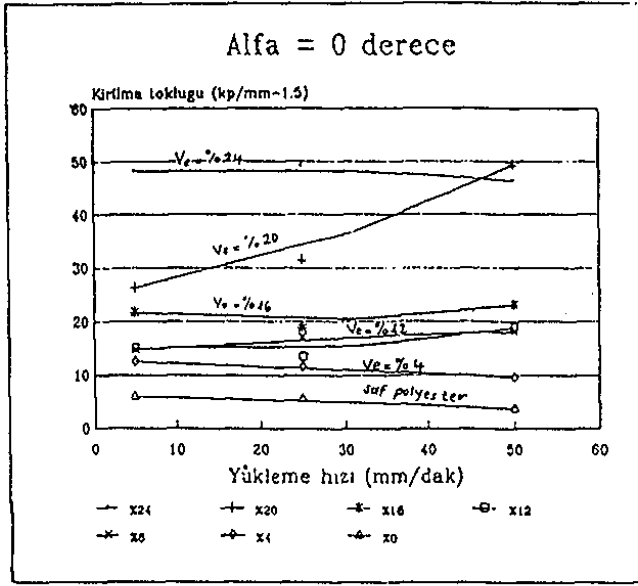
Tablo 6 : Farklı eiyaf hacim oranları, açılar ve yükleme hızları için hazırlanan numunelerden elde edilen tokluk değerleri

ELYAF HACMİ (V_e)	ELYAF YÖNLERİ (α)					YÜKLEME HIZI (ϵ) (mm/dak)
	0°	30°	45°	60°	90°	
%24	48,17	44,4	47,58	38,46	77,31	5
	49,16	47,34	55,90	46,78	51,15	25
	46,39	44,80	57,88	57,49	77,32	50
%20	26,32	30,44	39,01	34,09	60,26	5
	31,40	31,97	35,04	36,47	58,04	25
	49,32	38,06	44,40	36,51	61,06	50
%16	21,72	22,12	17,36	18,00	25,45	5
	18,79	23,62	24,26	21,48	26,95	25
	23,15	23,79	17,72	27,91	40,83	50
%12	15,06	15,77	17,44	17,72	15,46	5
	13,48	16,88	20,61	16,25	19,24	25
	18,87	18,07	20,06	18,55	19,98	50
%8	14,74	11,09	11,73	13,63	17,13	5
	17,04	17,24	14,34	14,03	14,51	25
	18,08	18,08	18,79	17,36	17,72	50
%4	12,54	12,24	12,60	13,56	16,88	5
	11,57	11,77	12,52	11,73	14,03	25
	9,67	9,89	9,19	9,75	13,80	50
%0			5,947			5
			5,591			25
			3,687			50

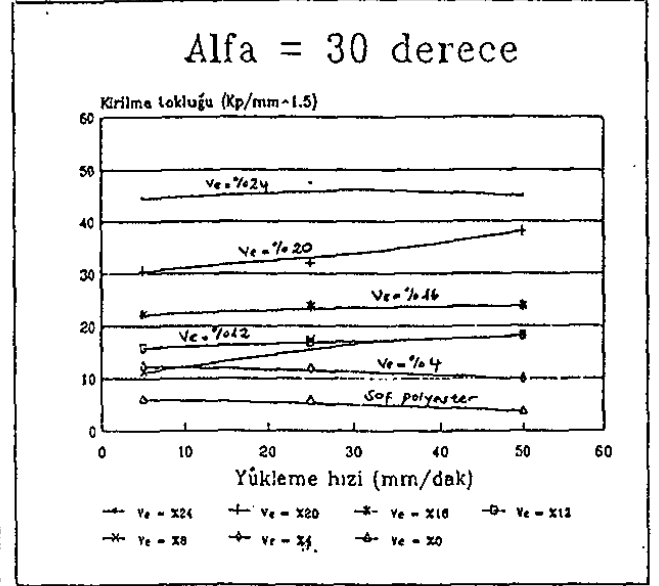
* Kırılma tokluğu değerleri yapılan deneylerin ortalaması olarak alınmıştır.

Şekil a : Kırılma tokluğunun, $\dot{\epsilon} = 5$ mm/dak da elyaf yönlenmesi ile değişimiŞekil b : Kırılma tokluğunun, $\dot{\epsilon} = 25$ mm/dak da elyaf yönlenmesi ile değişimiŞekil c : Kırılma tokluğunun, $\dot{\epsilon} = 50$ mm/dak da elyaf yönlenmesi ile değişimi

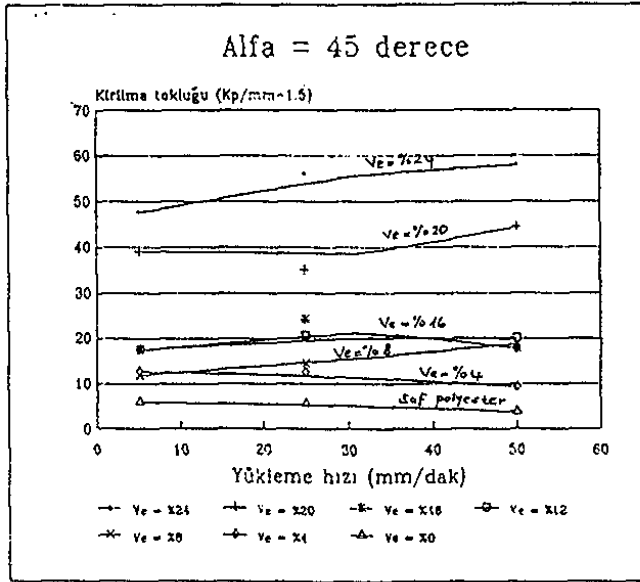
Şekil 6 : Kırılma tokluğunun Elyaf yönlenmesi ile değişimi



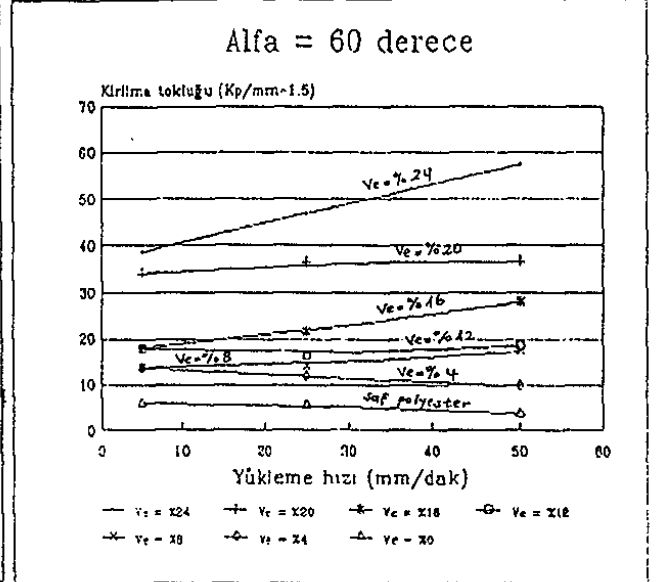
Şekil a : Kırılma tokluğunun, $\alpha = 0^\circ$ de yükleme hızı ile değişimi



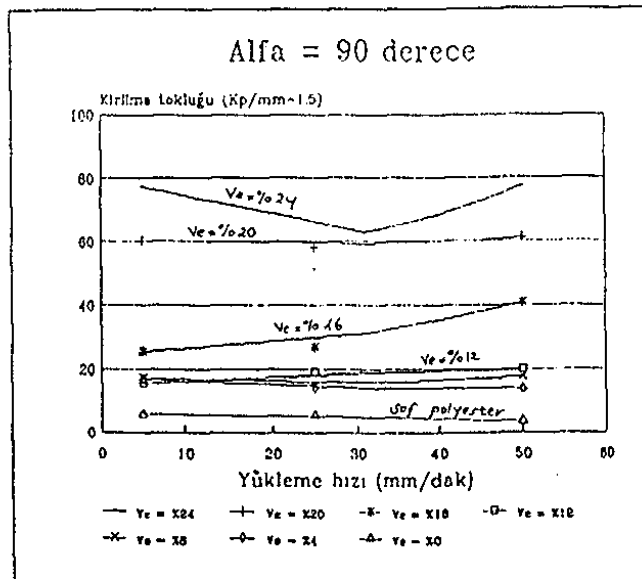
Şekil b : Kırılma tokluğunun, $\alpha = 30^\circ$ de yükleme hızı ile değişimi



Şekil c : Kırılma tokluğunun, $\alpha = 45^\circ$ de yükleme hızı ile değişimi

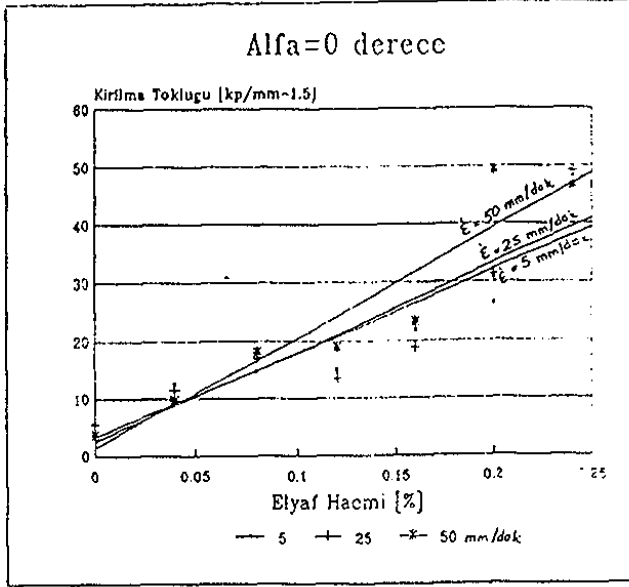
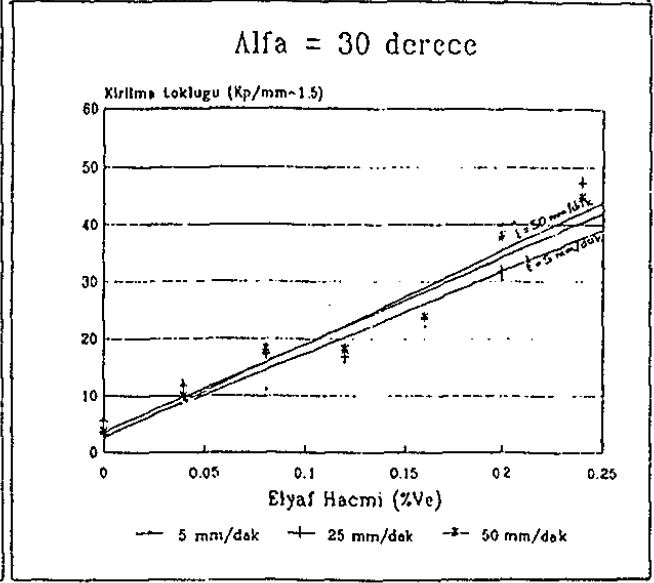
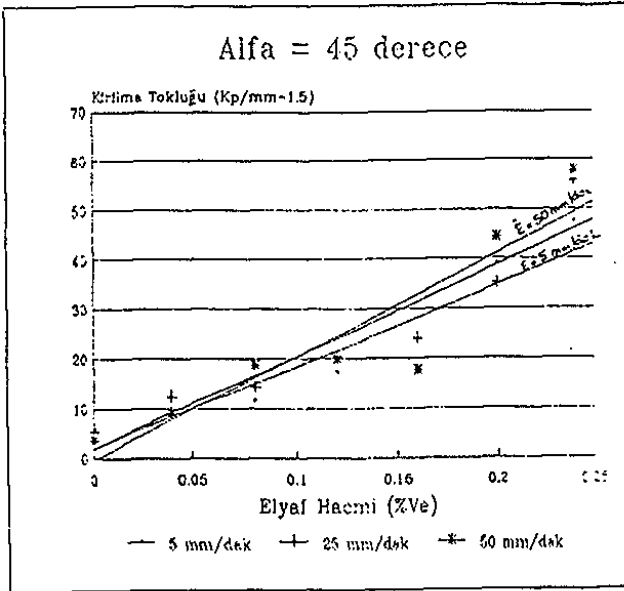
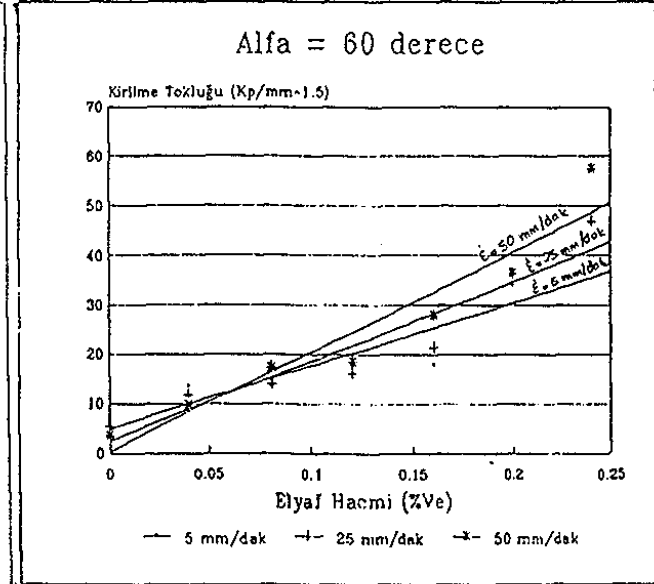
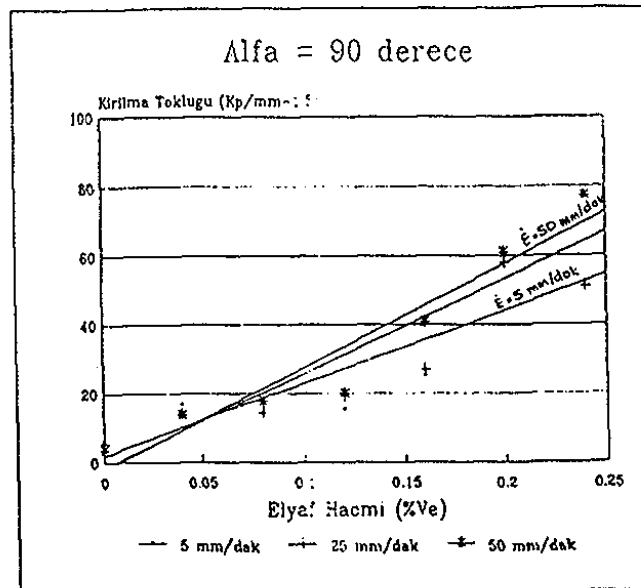


Şekil d : Kırılma tokluğunun, $\alpha = 60^\circ$ de yükleme hızı ile değişimi



Şekil e : Kırılma tokluğunun, $\alpha = 90^\circ$ de yükleme hızı ile değişimi

Şekil 7 : Kırılma tokluğunun Deformasyon (yükleme) hızı ile değişimi

Şekil a : Kırılma tokluğunun, $\alpha = 0^\circ$ de elyaf hacmiyle değişimiŞekil b : Kırılma tokluğunun, $\alpha = 30^\circ$ de elyaf hacmiyle değişimiŞekil c : Kırılma tokluğunun, $\alpha = 45^\circ$ de elyaf hacmiyle değişimiŞekil d : Kırılma tokluğunun, $\alpha = 60^\circ$ de elyaf hacmiyle değişimiŞekil e : Kırılma tokluğunun, $\alpha = 90^\circ$ de elyaf hacmiyle değişimi

Şekil 8 : Kırılma tokluğunun Elyaf hacmi ile değişimi

KAYNAKÇA

- 1-) ARAN, A. "Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler", İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi, 1990
- 2-) AFACAN, M.
ARAN, A. "Dairesel Delik İçeren Elyaf Takviyeli Karma Levhalarda Uygulanan Gerilme Kırılması", İkinci Ulusal Kırılma Konferansı Bildirileri, Trabzon, 1987, Sf 109
- 3-) EDWARD, M.WU. "Fracture Mechanics of Anisotropic Plates", Washington University, St.Louis, Missouri, "Composit Material Workshop", Volume 1, 1967, pp-20
- 4-) HARRIS, B. "Engineering Composite Material", The Institute of Metals, London, 1986, pp. 59-77
- 5-) HULL, D. "An Introduction to Composite Materials", Cambridge University Press, Cambridge, 1987
- 6-) IRWIN, G.R. "Fracture Behaviors of Composite Materials", Naval Research Laboratory, Washington D.C., "Composite Materials Workshop", Volume 1, (1967), pp.9
- 7-) TSAI, S.W.
HALPIN, J.C. "Composite Material Workshop", Volume 1, Washington University St Louis, Mo, 1968, Pagano, Nicholas
- 8-) ÜNAL, A.
KELEŞOĞLU, E. "Farklı Destekli CTP'de Kırılma Tokluğunun Fiber Yönüne Bağlı Olarak Değişimi", Üçüncü Ulusal Kırılma Konferansı Bildirileri, İstanbul 1991, Sf.187
- 9-) YAYLA, P.
UZMAN, İ. "Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerde Tabaka Ayrılması", Üçüncü Ulusal Kırılma Konferansı Bildirileri, Trabzon, 1987, Sf. 109
- 10-) Standart Test Methods for "Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials", E 399-74 , American Standart Institution, 1974