

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNCE CİDARLI 6063-T6 ALÜMİNYUM TÜPÜN
YÜK TAŞIMA KABİLİYETİNİN ARTTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Hakkı Taner SEZAN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Kenan GENEL

Aralık 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

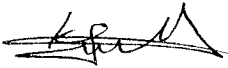
İNCE CİDARLI 6063-T6 ALÜMİNYUM TÜPÜN
YÜK TAŞIMA KABİLİYETİNİN ARTTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

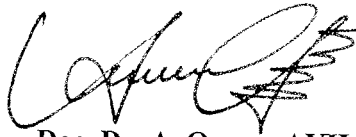
Mak. Müh. Hakkı Taner SEZAN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE
İMALAT

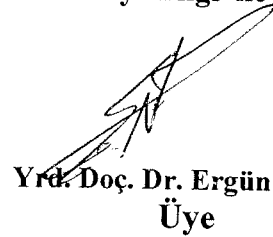
Bu tez 21 / 01 /2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Doç. Dr. Kenan GENEL
Jüri Başkanı



Doç. Dr. A. Osman AYHAN
Üye



Yrd. Doç. Dr. Ergün NART
Üye

TEŞEKKÜR

Çalıőmanın tüm safhalarında yardımını ve desteğini esirgemeyen çok değerli danıőman hocam Doç. Dr. Kenan GENEL'e, eğitimin süresince gerekli toleransları tanıyan ve tam bir idarecelik örneği sergileyen Atasan Metal Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi Satıő ve Pazarlama Yöneticisi Ahmet ÖZÇELİK'e, iőletme bünyesinde bana bu imkanların sağlanması için gerekli altyapıyı yaklaőımları ile hazırlayan Mustafa ÖZDEMİR'e ve Sn. Faik ÇİFTÇİ'ye, her zaman bana güç veren sevgili eőim Fatma SEZAN'a en içten duygularıyla teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY.....	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
DENEYSEL ÇALIŞMA.....	4
2.1. Üç Nokta Eğme Deneyi.....	13
BÖLÜM 3.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	16
3.1. Üç Nokta Eğme Deneyi Sonuçları.....	16
3.2. Sonuçların Değerlendirilmesi.....	29
3.3. Öneriler.....	34
KAYNAKLAR.....	37
ÖZGEÇMİŞ.....	39

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

GFRP	: Karbon fiber destekli polimer
PVC	: Poli Vinil Klorür
PUR	: Poliüretan
PMI	: Polymethacrylamide
Si	: Silisyum
Mg	: Magnezyum
Fe	: Demir
Ti	: Titanyum
Cr	: Krom
C _u	: Bakır
Mn	: Mangan
C	: Karbon
P	: Fosfor
S	: Kükürt
Mo	: Molibden
Ni	: Nikel
N	: Azot

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Deney numunelerine ait kesitler.....	7
Şekil 2.2.	“ACE1” Tipi numuneye cam elyaf bant uygulaması.....	8
Şekil 2.3.	“ACE1” Tipi numunenin kürleme sonrası görünümü.....	8
Şekil 2.4.	“ACE3” Tipi numunenin kürleme sonrası görünümü.....	9
Şekil 2.5.	“ACE1P” Tipi numunede profile PVC köpük montaj şekli.....	10
Şekil 2.6.	“ACE3P” Tipi numunede profile PVC köpük montaj şekli.....	10
Şekil 2.7.	Şekil 2.6. Metal takviyenin PVC köpük arasındaki konumu.....	11
Şekil 2.8.	Metal takviye ve PVC köpüğün “ACE1PM” Tipi numunede montajı.....	11
Şekil 2.9.	Metal takviyenin PVC köpük arasındaki konumu.....	12
Şekil 2.10.	Metal takviye ve PVC köpüğün “ACE3PM” Tipi numunede montajı.....	12
Şekil 2.11.	Üç nokta eğme deneyi, deney düzeneği.....	13
Şekil 2.12.	Deney düzeneğine ait kuvvet ve moment diyagramları.....	14
Şekil 2.13.	Deney uygulama şekli.....	15
Şekil 3.1.	“A” Tipi numune üç nokta eğme testi sonuçları.....	16
Şekil 3.2.	“A” Tipi numune için enerji grafiği.....	17
Şekil 3.3.	“ACE1” Tipi numune üç nokta eğme testi sonuçları.....	18
Şekil 3.4.	“ACE1” Tipi numune için enerji grafiği.....	18
Şekil 3.5.	“ACE3” Tipi numune üç nokta eğme testi sonuçları.....	19
Şekil 3.6.	“ACE3” Tipi numune için enerji grafiği.....	19
Şekil 3.7.	“ACE1P” Tipi numune üç nokta eğme testi sonuçları.....	20
Şekil 3.8.	“ACE1P” Tipi numune için enerji grafiği.....	20
Şekil 3.9.	“ACE3P” Tipi numune üç nokta eğme testi sonuçları.....	21
Şekil 3.10.	“ACE3P” Tipi numune için enerji grafiği.....	21
Şekil 3.11.	“ACE1PM” Tipi numune üç nokta eğme testi sonuçları.....	22

Şekil 3.12.	“ACE1PM” Tipi numune için enerji grafiği.....	22
Şekil 3.13.	“ACE3PM” Tipi numune üç nokta eğme testi sonuçları.....	23
Şekil 3.14.	“ACE3PM” Tipi numune için enerji grafiği.....	23
Şekil 3.15.	“ACE1PM-yapıştırılmış” Tipi numune üç nokta eğme testi sonuçları.....	24
Şekil 3.16.	“ACE1PM-yapıştırılmış” Tipi numune için enerji grafiği.....	25
Şekil 3.17.	Deney sonuçlarının birlikte gösterilmesi.....	26
Şekil 3.18.	Deneyler sonucu elde edilen enerji absorbe etme miktarları.....	27
Şekil 3.19.	“ACE1” Tipi deney parçası için, deney esnasında epokside alt bölgede kırılma başlangıcı, genişlemesi ve yayılması.....	30
Şekil 3.20.	“ACE3” Tipi deney parçası için, deney esnasında epokside alt bölgede kırılma başlangıcı, genişlemesi ve yayılması.....	31
Şekil 3.21.	“ACE3PM” Detay.....	32
Şekil 3.22.	“ACE3P” Detay.....	32
Şekil 3.23.	Deney sonrası metal takviyenin konumu.....	33
Şekil 3.24.	(a) Yapıştırma işlemi uygulanmamış numunede metal takviyenin deney sonrası konumu. (b) Yapıştırma işlemi uygulanan numunede metal takviyenin deney sonrası konumu.....	34
Şekil 3.25.	(a) cam elyaf takviye için ön görülen iyileştirme. (b) metal takviye için ön görülen iyileştirme. (c) PVC Köpük için ön görülen iyileştirme.....	36

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Alüminyum 6063 malzemenin kimyasal bileşimi.....	4
Tablo 2.2.	430 paslanmaz sacın kimyasal bileşimi.....	5
Tablo 2.3.	430 paslanmaz sacın mekanik özellikleri.....	5
Tablo 2.4.	Deney planı.....	6
Tablo 3.1.	Yük ve enerji cinsinden irdelenmiş deney sonuçları.....	28
Tablo 3.2.	Özgül yük taşıma miktarları ve özgül enerji absorbe etme miktarlarındaki değişim oranları.....	28

ÖZET

Anahtar kelimeler: 6063-T6 Alüminyum alaşım, 430 Paslanmaz sac, Cam elyaf, PVC köpük

6063-T6 Alüminyum alaşımından imal edilmiş ince cidarlı tüp geometrisindeki kirişin yük taşıma kabiliyetini arttırmak için PVC köpük, cam fiber ve AISI 430 kalite paslanmaz çelik kullanılmıştır. Numunenin yüzeyinde flame şeklindeki cam fiberin, PVC köpük kullanılarak, PVC köpük kullanılmadan ve “I” formundaki paslanmaz çeliğin eğme davranışı üzerindeki etkileri sistematik olarak incelenmiştir. Mesnetler arası “210 mm” olan üç nokta eğme testi mekanik davranışın belirlenmesinde kullanılmıştır.

Deney sonuçlarında yük taşıma kabiliyetinde %185 değerine ulaşan artışlar sağlanırken, enerji absorbe etme miktarlarında %193 ‘e varan iyileşmeler görülmüştür. Özgül yük taşıma kabiliyetindeki artışta %12, özgül enerji absorbe etme kabiliyetindeki artışta %9.7 değerlerine ulaşılmıştır.

LOAD CARRYING CAPACITY IMPROVEMENT OF THIN WALLED Al 6063-T6 TUBE

SUMMARY

Key Words: 6063 Al alloy, 430 Stainless steel, Glass fiber, PVC foam

In order to improve load carrying capacity of thin-walled tubular beam made of Al 6063-T6 alloy, PVC foam, glass fiber and AISI 430 quality stainless steel were considered for the reinforced components. Effect of woven glass fiber in filament form on the surface of specimens with and without PVC foam and stainless steel in “I” form on bending performance were investigated systematically. Three-point bending test with 210 mm of jig span was used in mechanical characterization. From the results of experiments, it seen that both load-carrying capacity and energy absorbing capacity significantly increased by the application reinforcing. Accordingly, specific values (for load carrying as well as energy absorbing) also were increased. The improvement in specific load carrying capacity was found to be 12% for the specimen reinforced by PVC, single-wrapped fiber and stainless steel metal. As for energy absorbing capacity was increased 9.7% with respect to unreinforced tube.

BÖLÜM 1.GİRİŞ

İçi boşaltılmış profiller özgül yük taşıma kabiliyetlerinin yüksek olması nedeni ile gündelik hayatta ve imalat sektöründe geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Özel geometrileri aynı miktarda yükleri içi dolu profillere göre daha düşük ağırlıklarda karşılayabilmelerini sağlamıştır. Buna karşın teknolojinin ilerlemesi ve yeni malzemelerin ortaya çıkması bu geometrideki yapıların daha da iyileştirilmesine yönelik çalışmaların önünü açmıştır.

Sigit SANTOSA ve Tomasz WIERBICKI [1]'nin yaptığı çalışmada AA 6063-T7 profil, içerisine alüminyum köpük ve alüminyum petek yapı uygulanarak takviye edilmiştir. Köpük ile alüminyum cidarın yapıştırılmamış durumunda maksimum eğme momenti %18 artış göstererek 770 Nm mertebelerine ulaşırken, alüminyum petek yapı kullanılan numunelerde bu değer %15 artış göstererek yaklaşık 750 Nm değerine ulaşmıştır. Yapıştırma işlemi uygulandığında ise yüksek oranda iyileştirme görülmüştür. Alüminyum köpük kullanılan numunelerde yapıştırma işlemi sonrası boş boruya göre maksimum eğme momentinde %85 civarında artış sağlanmış olup 1100 Nm mertebelerinde yük taşıma kabiliyeti elde edilmiştir. Alüminyum petek yapı ile desteklenmiş yapılarda bu değer %80 artış göstermiş ve 1080 Nm mertebelerine ulaşmıştır. Boş profilde 2.6 derece de meydana gelen maksimum eğme momenti ise, alüminyum köpük takviyeli numunelerde 4,5 dereceye, alüminyum petek yapı takviyeli numunelerde ise 8 dereceye kadar ötelenmiştir. Benzer çalışmaları literatürde mevcuttur [2]. S. SANTOSA, J. BANHART ve T. WIERZBICKI [3] tarafından ise kısmi takviyenin kullanıldığı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Cr18Ni8 Çelik profil ve AlCu4 köpük takviye kullanılarak yapılan deneyler sonucunda boş boruda 15 kN olan maksimum yük taşıma miktarı takviye edilmiş numunelerde 30 kN değerine yükseltilmiş ve bu şekilde %100 lük bir artış sağlanmıştır. L.W. GUO, J. L. LU ve Z. B. LI [4] tarafından yapılan çalışmada 38x38 mm kesit ölçülerinde ve

0.9 mm ve 0.6 mm et kalınlığına sahip dış profil ile 25x25 mm kesit ölçülerinde 0.6 mm, 1.2 mm ve 2.0 mm et kalınlığına sahip iç profiller kullanılmıştır. Yoğunluğu 0.35 gr/cm^3 ile 0.44 gr/cm^3 arasında değişen sahip alüminyum köpük takviye elemanı olarak kullanılmıştır. A.G. HANSSEN, O. S. HOPPERSTAD ev M. LANGSETH [5] tarafından yapılan çalışma ise, farklı köpük yoğunluklarının farklı tip et kalınlığına sahip profillerde verdiği tepkileri göstermesi açısından ilginçtir. 1.76 mm, 1.90 mm ve 2.46 mm et kalınlıkların sahip AA 6060-T6 ve AA 6060-T4 profiller 0.17 g/cm^3 , 0.34 g/cm^3 ve 0.51 g/cm^3 yoğunluklarındaki alüminyum köpükler ile kombine edilmiştir. Yüksek yoğunluktaki köpük takviyelerin alüminyum profillere yüksek dayanım kazandırmalarına ve yük taşıma miktarlarını arttırmalarına karşın dayanım sürekliliğini azalttığı ve deneyin erken safhalarında alüminyum profilde kırılma ve çatlamların ortaya çıkmasına sebep olduğu testler sonucunda görülmüştür.

Weigang CHEN [6]'ın yaptığı çalışmada kaynak ile birleştirilmiş açık profillerden oluşan kapalı profiller 0.27 gr/cm^3 yoğunluktaki alüminyum köpük ile desteklenmiştir. Profil malzemesi olarak HS5754 kullanılmıştır. Profilin iç kısmı tamamen alüminyum köpük ile takviye edildiği durumda özgül enerji absorbe etme miktarındaki artış %14 seviyesindedir. Profilin orta kısmına kısmi takviye uygulandığında ise Özgül enerji absorbe etme miktarındaki artış %45'dir. S. SHAHBEYK, A VAFAl ve H. E. ESTEKANCHI [7] tarafından yapılan benzer bir çalışma farklı et kalınlıkları ve birleşme bölgeleri için ele alınmıştır.

Kum Cheol SHIN, Jung Lu LEE, K. H. KİM, M. C. SONG ve J. S. HUH [8] tarafından cam elyaf-epoksi takviye üzerine çalışma yürütülmüştür. 6063 T-5 Alüminyum profil ve 1980 kg/m^3 cam elyaf-epoksi farklı sarım açıları ve sarım sayıları ile deneyler esnasında kullanılmıştır. Sarım açısı, 0 derece profil eksenine olmak üzere, 0 derece, 90 derece, 0-90 derece ve +-45 derece olarak kombine edilmiştir. Sekiz kat ve on altı kat sarımlar uygulanmıştır. Çalışmalar neticesinde 0-90 derece ve sekiz kat yapılan sarım ile absorbe edilen özgül enerji miktarında %10'luk bir artış sağlanmıştır. Sung-Hyuk LEE, Cheol-Woong KİM ve Nak-Sam CHOI [9] tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise 6063-T5 alüminyum profil, cam elyaf-epoksi sistemi ile farklı açılarda dört kat ve sekiz kat sarılarak desteklenmiştir.

Sekiz kat ve sıfır derece açı ile sarım uygulanan numunelerde maksimum moment değerinde %200 lük bir artış saptanmıştır. Dörder kat +-45 derece sarım uygulanan numunelerde ise absorbe edilen enerji miktarında %75'lik bir artış görülmüştür. Dal-Woo JUNG, Hyung-Jin KİM ve Nak-Sam CHOİ [10] tarafından yapılan çalışmada "1 mm" et kalınlığında Al 6063-T5 profil kullanılmıştır. Maksimum iyileşmeler sıfır ve doksan derece sarımların birlik kullanıldığı numunede elde edilmiştir. Özgül maksimum moment değerindeki artış %67, özgün enerji absorbe etme miktarındaki artış ise %29 olarak saptanmıştır. Cam Elyaf-Epoksi sistemi ile takviye kavramına farklı bir yaklaşım Sung-Hyuk LEE, Hyung-Jin KİM ve Nak-Sam CHO [11]'nin yaptığı çalışmada karşımıza çıkmaktadır. Daha önceki çalışmalardan farklı olarak 6063 T-5 profilin sadece üst yüzeyine, sadece alt yüzeyine ve alt ile üst yüzeylere cam elyaf takviye uygulanarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

İçi boş profillerin desteklenmesi ile ilgili çalışmalar, PVC Köpük, alüminyum köpük ya da cam elyaf-epoksi yapılar ile sınırlı değildir. Sung-Hyuk LEE ve Nak-Sam CHOİ [12] yaptıkları çalışmada kare kesitli 6063-T5 profilin alt ve/veya üst yüzeylerine farklı kesitlerde alüminyum levha yapıştırarak yük taşıma kabiliyetini %87.6 ya kadar iyileşme sağlamışlardır. Aynı araştırmacılar; benzer diğer bir çalışmada [13], yük taşıma kabiliyetindeki artış %85 olarak saptanmıştır. Özgül yük taşıma değerindeki artış ise %20'dir. J. G. BROUGHTON ve arkadaşları [14] yaptıkları çalışmada profilin alt yüzeyine 2 mm kalınlığında CFRP (karbon fiber destekli polimer) malzemeyi yapıştırmak sureti deneyler gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca herhangi bir metal profil kullanmaksızın farklı yoğunluktaki PVC, PUR ve PMI köpük materyallerin cam-elyaf ile takviye edildiği çalışmalar da mevcuttur [15].

Bu çalışmada cam elyaf-epoksi, PVC köpük ve paslanmaz çelik ile takviye edilmiş 30 mm çapında ve 1 mm cidar kalınlığında 6063-T6 tüp kirişin eğilme davranışı incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmalarda yüksek korozyon direnci, nispeten ucuz olması ve kolay temin edilebilmesi nedeniyle 6063-T6 kalitesinde boru tercih edilmiştir. Borunun sertlik değeri 70 HB'dir. Dış çapı 30 mm, et kalınlığı 1 mm'dir. Kimyasal bileşimi Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Kullanılan alüminyum alaşımının (6063-T6) kimyasal bileşimi

Element	% Oran	Element	% Oran
Si	0,20-0,60	Cr	0,10 maks.
Mg	0,45-0,90	Cu	0,10 maks.
Fe	0,35 maks.	Mn	0,10 maks.
Ti	0,10 maks.		
Diğer: Her biri % 0,05, Toplam % 0,15 maks.			

Borunun dış yüzeyine cam elyaf-epoksi karma malzemesi takviyesi uygulanmıştır. 225 gr/m² yoğunluğa sahip 20 mm eninde cam elyaf bant ve MGS L285 laminasyon epoksi sistemi kullanılmıştır. Kullanılan epoksi sisteminin yoğunluğu 1.2 gr/cm³, eğilme dayanımı 510-560 N/mm², gerilme dayanımı 460-500 N/mm², basma dayanımı 410-440 N/mm² ve elastik modülü 20-24 kM/mm²'dir.

Yoğunluğu 55 kg/m³ ve çekme dayanımı 1.3 MPa olan PVC Köpük alüminyum profilin iç kısmında takviye olarak kullanılmıştır.

Metal takviye olarak 0.50 mm kalınlığa sahip 430 Paslanmaz çelik kullanılmıştır. Paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi tablo 2.2. 'de, mekanik özellikleri tablo 2.3.'de gösterilmiştir

Tablo 2.2. 430 paslanmaz sacın kimyasal bileşimi (% Ağırlık)

		C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	N
430	min.	-	-	-	-	-	16.0	-	-	-
	max.	0.12	1.00	1.00	0.040	0.030	18.0		0.75	

Tablo 2.3. 430 paslanmaz sacın mekanik özellikleri

Malzeme	Çekme Dayanımı (MPa) min	%0.2 Akma Sınırı (MPa) min	Uzama (%) min	Sertlik		Yoğunluk (kg/m ³)	Elastik Modülü (GPa)
				(HRB)	(HB)		
430	450	205	22	89	183	7750	200

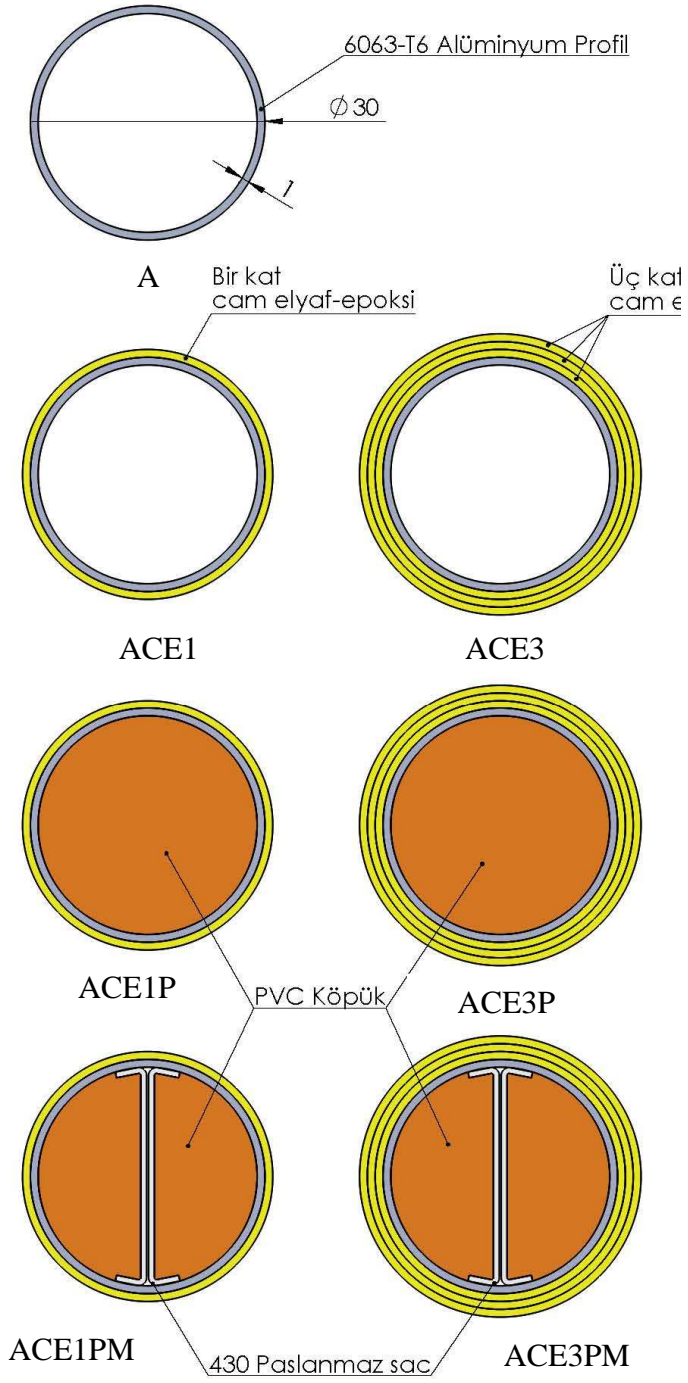
Deney planı ve kullanılan materyaller tablo 2.4'de gösterilmiştir. Numune ağırlıkları Şekil 2.10'da gösterilen üç nokta eğme test düzeneğine bağlı olarak 250 mm boy için hesap edilmiştir. Deney numunelerine ait kesitler Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Her bir konfigürasyon için üçer deney numunesi hazırlanmıştır.

Bir kat cam elyaf-epoksi uygulamasında cam elyaf miktarı 7.14 gr ve epoksi reçine miktarı 7.86 gr'dır. Cam elyafın yoğunluğu 2.54 g/cm³, epoksi reçine ve sertleştiricinin ortalama yoğunluğu 1,11 g/cm³'tür. Kütle ve yoğunluk değerleri kullanılarak tek kat cam elyaf uygulamaları için cam elyaf hacim oranı %28 olarak belirlenmiştir.

Üç kat cam elyaf-epoksi uygulamasında cam elyaf miktarı 23,5 gr ve epoksi reçine miktarı 15 gr'dır. Kütle ve yoğunluklar değerleri kullanılarak üç kat cam elyaf uygulamaları için cam elyaf hacim oranı %40 olarak belirlenmiştir.

Tablo 2.4. Deney planı

Deney Numarası	Al 6063	PVC Köpük	Cam Elyaf Bant Bir Sarım	Cam Elyaf Bant Üç Sarım	430 Pas. Sac	Numune ağırlığı	Hacimsel Cam Elyaf Oranı %
A	X					65 gr.	-
ACE1	X		X			80 gr.	28
ACE3	X			X		103.5 gr	40
ACE1P	X	X	X			88 gr.	28
ACE3P	X	X		X		111.5 gr.	40
ACE1PM	X	X	X		X	156 gr.	28
ACE3PM	X	X		X	X	179.5 gr.	40



Şekil 2.1. Deney numunelerine ait şematik kesitler

“A” Tipi numune Dış çapı 30 mm olan 1 mm et kalınlığındaki 6063 T-6 alüminyum profilden oluşmaktadır. “ACE1” Tipi numuneler hazırlanırken ise alüminyum profilin dış yüzeyine bir kat cam elyaf bant takviye edilmiştir ve epoksi uygulanmıştır. Cam elyaf bandın uygulama şekli Şekil 2.2.’de gösterilmektedir. Bir gün sonra yetmiş beş santigrat derecede sekiz saat fırınlama işlemi uygulanarak kütleme tamamlanmıştır. Fırınlanma sonrası parça görüntüsü Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.2. “ACE1” Tipi numuneye cam elyaf bant uygulaması



Şekil 2.3. “ACE1” Tipi numunenin fırınlama sonrası görünümü

“ACE3” Tipi numuneler hazırlanırken alüminyum profilin dış yüzeyine üç kat cam elyaf bant takviye edilmiştir. Epoksi her bir kata uygulanmıştır. Bir gün sonra yetmiş beş santigrat derecede sekiz saat fırınlama işlemi uygulanarak kütleme tamamlanmıştır. Fırınlanma sonrası parça görüntüsü Şekil 2.4 ‘de verilmiştir.



Şekil 2.4. “ACE3” Tipi numunenin kütleme sonrası görünümü

“ACE1P” Tipi numunelerde alüminyum profilin dış yüzeyine bir kat cam elyaf bant takviye edilmiştir. Epoksi ile yapıştırılmıştır. Bir gün sonra yetmiş beş santigrat derecede sekiz saat fırınlama işlemi uygulanarak kütleme tamamlanmıştır. Profilin iç yüzeyine PVC köpük sıkı geçme olarak takviye edilmiştir (Şekil 2.5.). PVC köpüğün konumlanması için profilin her iki ucuna, iç kısma birer tıkaç yerleştirilmiş, tıkaçlar dış yüzeyden vida ile sabitlenmiştir



Şekil 2.5. “ACE1P” Tipi numunede profile PVC köpük montaj şekli.

“ACE3P” Tipi numunelerde alüminyum profilin dış yüzeyine üç kat cam elyaf bant takviye edilmiştir. Her bir kat epoksi ile yapıştırılmıştır. Bir gün sonra yetmiş beş santigrat derecede sekiz saat fırınlama işlemi uygulanarak kürlenme tamamlanmıştır. Profilin iç yüzeyine PVC köpük sıkı geçme olarak takviye edilmiştir (Şekil 2.6.). PVC köpüğün konumlanması için profilin her iki ucuna, iç kısma birer tıkaç yerleştirilmiş, tıkaçlar dış yüzeyden vida ile sabitlenmiştir



Şekil 2.6. “ACE3P” Tipi numunede profile PVC köpük montaj şekli.

“ACE1PM” Tipi numuneler hazırlanırken alüminyum profilin dış yüzeyine bir kat cam elyaf bant takviye edilmiştir. Epoksi ile yapıştırılmıştır. Bir gün sonra yetmiş beş santigrat derecede sekiz saat fırınlama işlemi uygulanarak kürlleme tamamlanmıştır. Profilin iç yüzeyine sıkı geçme olarak yerleştirilen yarım daire kesitinde iki adet PVC köpük arasında konumlanmış (Şekil 2.7.) metal kaburga yerleştirilmiştir (Şekil 2.8.). PVC köpük ve metal kaburganın konumlanması için profilin her iki ucuna, iç kısma birer tıkaç yerleştirilmiş, tıkaçlar dış yüzeyden vida ile sabitlenmiştir.

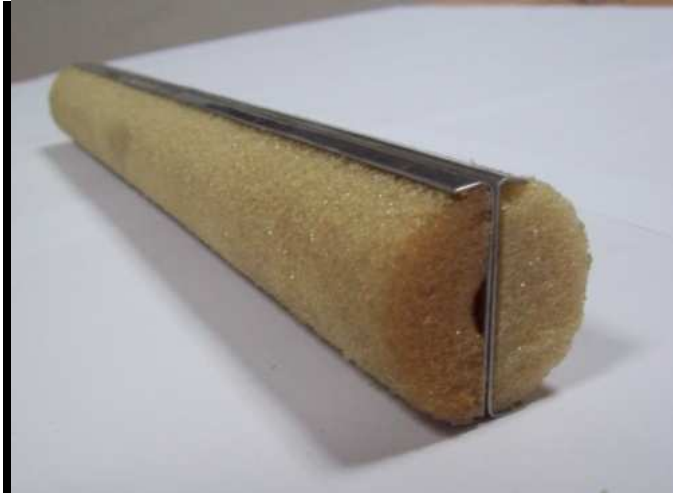


Şekil 2.7. Metal takviyenin PVC köpük arasındaki konumu.



Şekil 2.8. Metal takviye ve PVC köpüğün “ACE1PM” Tipi numunede montajı.

“ACE3PM” Tipi numuneler hazırlanırken alüminyum profilin dış yüzeyine üç cam elyaf bant takviye edilmiştir. Epoksi ile yapıştırılmıştır. Bir gün sonra yetmiş beş santigrat derecede sekiz saat fırınlama işlemi uygulanarak kürlenme tamamlanmıştır. Profilin iç yüzeyine sıkı geçme olarak yerleştirilen yarım daire kesitinde iki adet PVC köpük arasında konumlanmış (Şekil 2.9.) metal kaburga yerleştirilmiştir (Şekil 2.10.). PVC köpük ve metal kaburganın konumlanması için profilin her iki ucuna, iç kısma birer tıkaç yerleştirilmiş, tıkaçlar dış yüzeyden vida ile sabitlenmiştir.



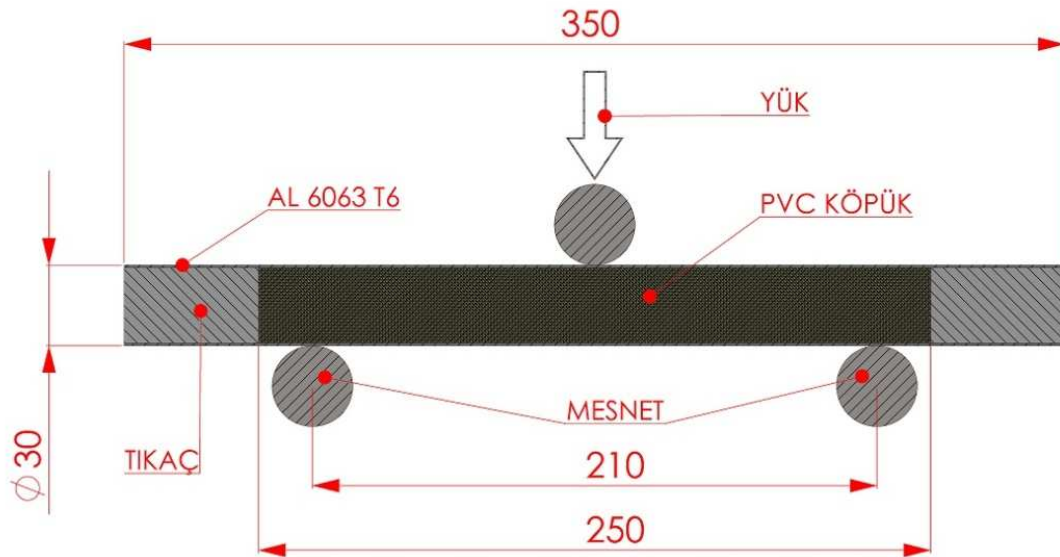
Şekil 2.9. Metal takviyenin PVC köpük arasındaki konumu.



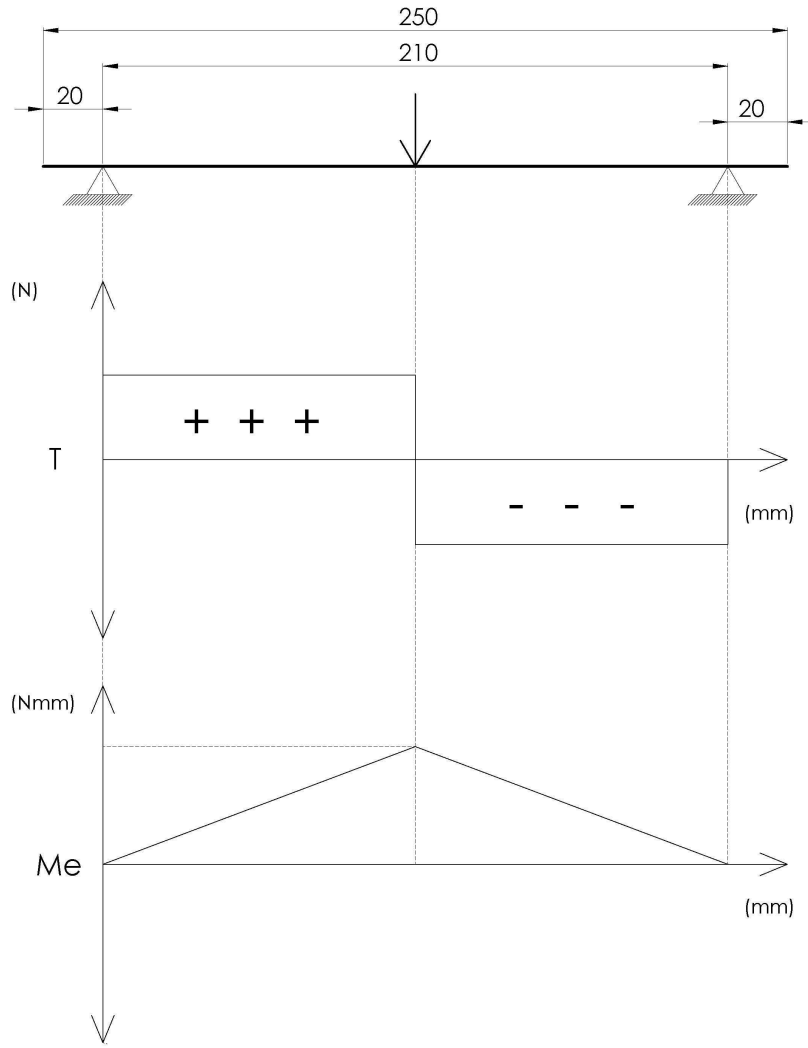
Şekil 2.10. Metal takviye ve PVC köpüğün “ACE3PM” Tipi numunede montajı.

2.1. Üç Nokta Eğme Deneyi

Eğme deneyi ıstampa hızı 1 m/sn olacak şekilde yapılmıştır. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 2.11.'de verilmiştir. Bu deney şartları için kesme ve moment diyagramları Şekil 2.12.'de gösterilmiştir. Bütün deneyler Sakarya Üniversitesi Metalürji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'ndaki Instron marka universal test cihazında gerçekleştirilmiştir. İstampa ve mesnet çapları 30 mm olarak kullanılmıştır.



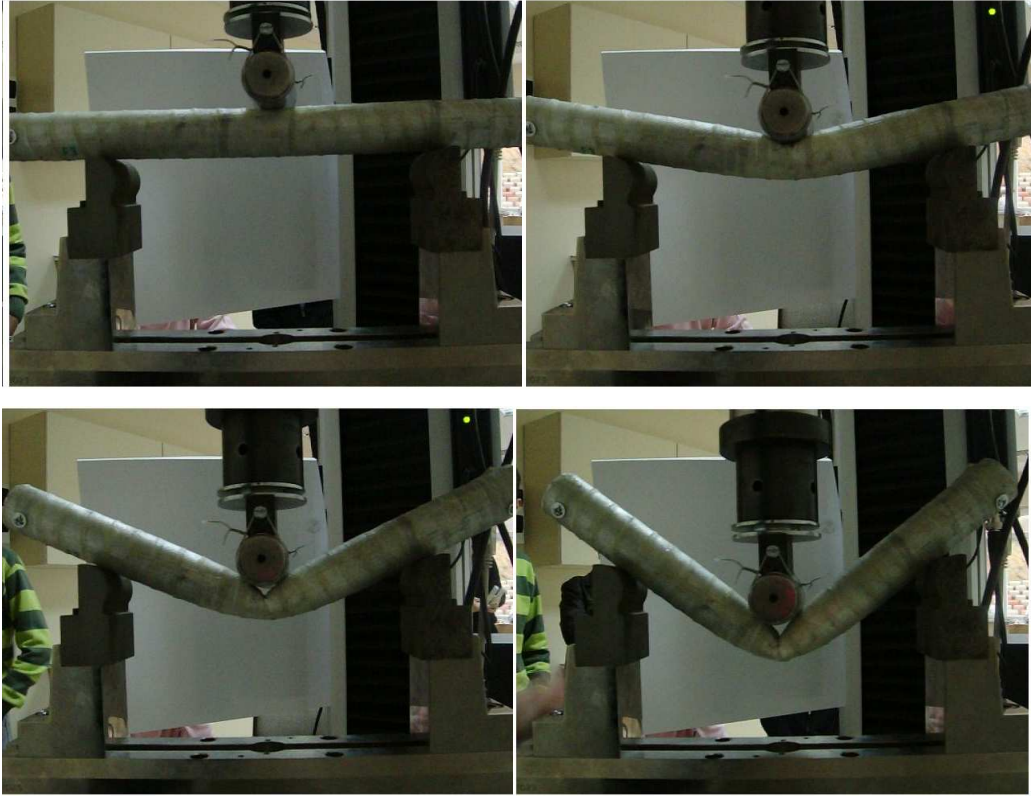
Şekil 2.11. Üç nokta eğme deneyi, deney düzeneği.



Şekil 2.12. Deney düzeneğine ait kuvvet ve moment diyagramları

Bütün deneyler 70 mm deplasman ile gerçekleştirilmiştir. Deneyin uygulama şekli, ACE3PM numunesi için Şekil 2.13’de gösterilmiştir;

Eğme deneyinde, elastik bölgede parça yüzeyinde oluşan eğilme gerilmeleri $\sigma = (Me \div I) \cdot y$ eşitliği ile belirlenir. Burada (Me) eğilme momentini, (I) kesitin atalet momentini ve (y) ise gerilmenin incelendiği noktanın tarafsız eksene olan uzaklığını belirtir.

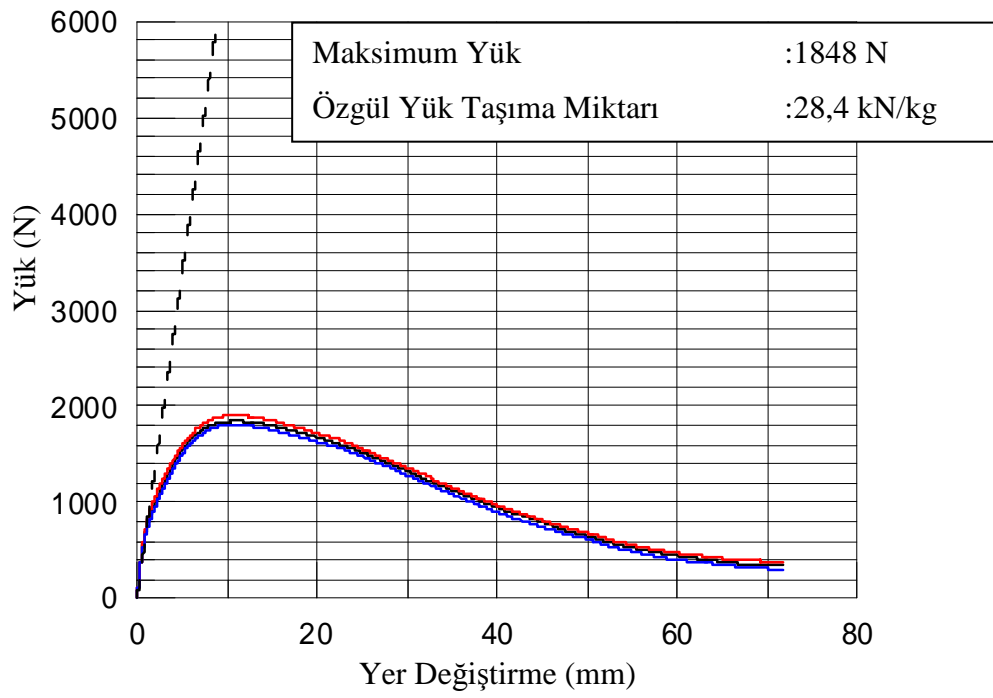


Şekil 2.13. Instron marka üniversal test cihazında eğme deneyinin uygulama şekli.

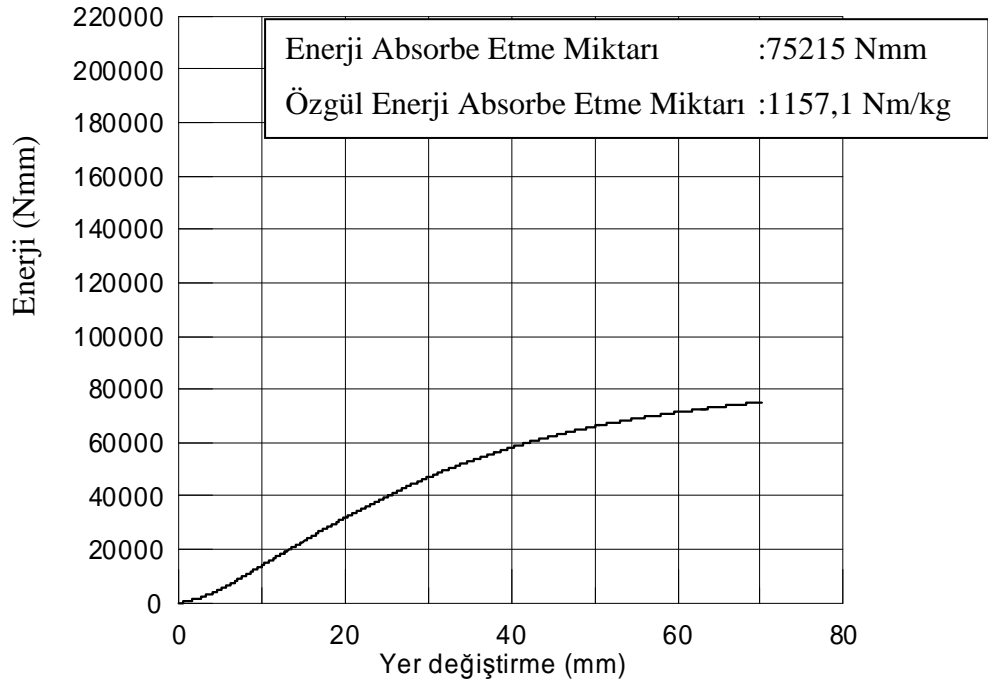
BÖLÜM 3. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

3.1. Üç Nokta Eğme Deneyi Sonuçları

“A” Tipi numunelere ait üç nokta eğme deneyi sonuçları ve eğim Şekil 3.1. ‘de gösterilmiştir. Enerji grafiği Şekil 3.2. ‘de gösterilmiştir.

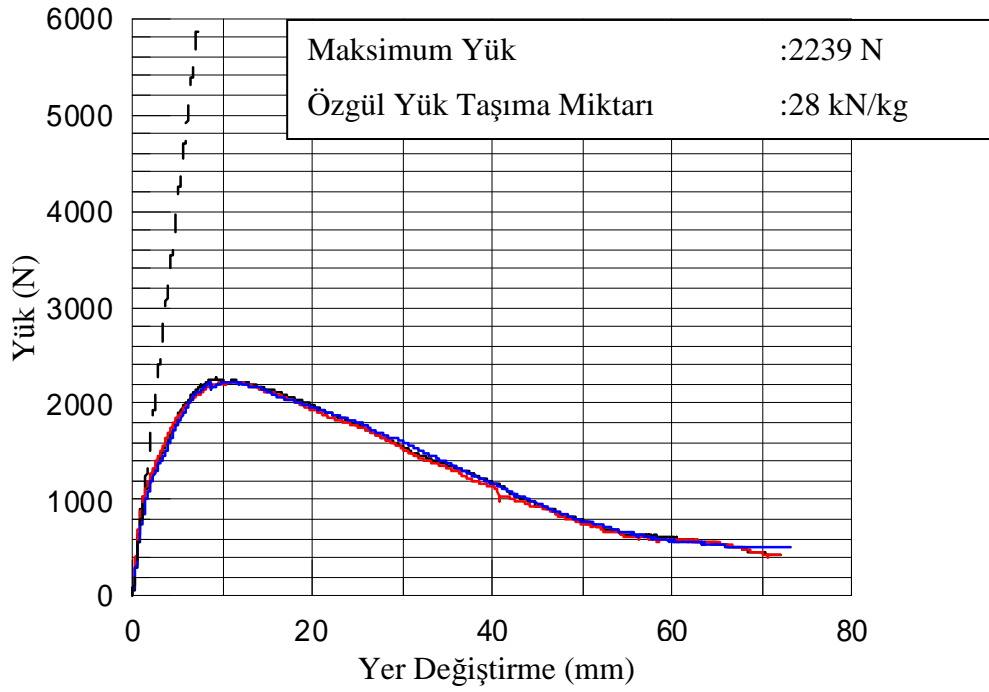


Şekil 3.1. “A” Tipi numunelerin üç nokta eğme testi sonuçları

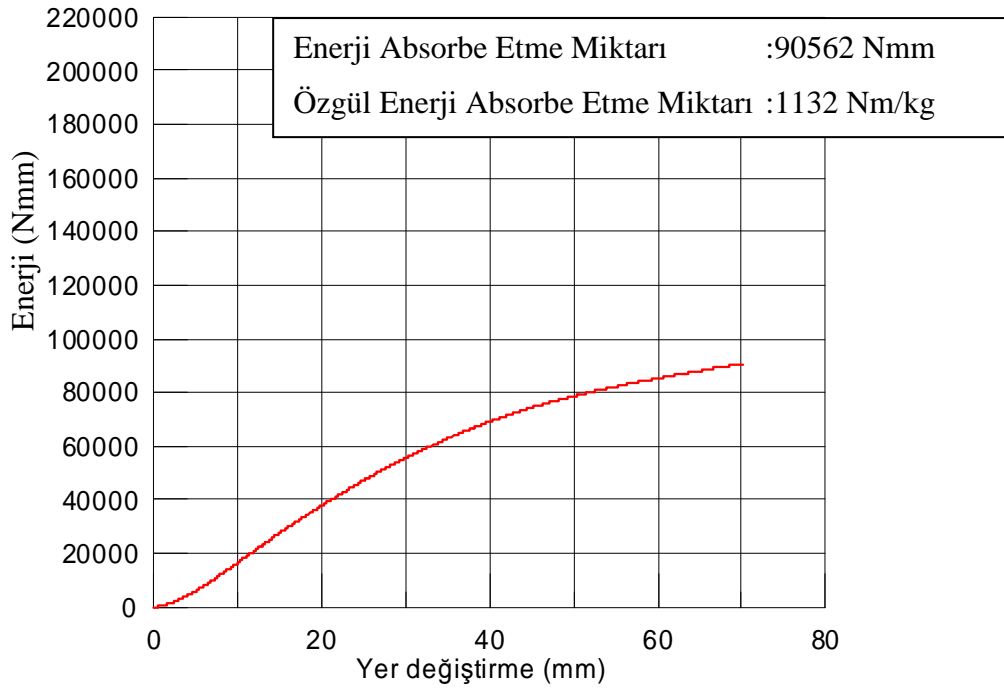


Şekil 3.2. "A" Tipi numuneler için enerji grafiği.

“ACE1” Tipi numunelere ait üç nokta eğme deneyi sonuçları ve eğim Şekil 3.3. ‘de gösterilmiştir. Enerji grafiği Şekil 3.4. ‘de gösterilmiştir.

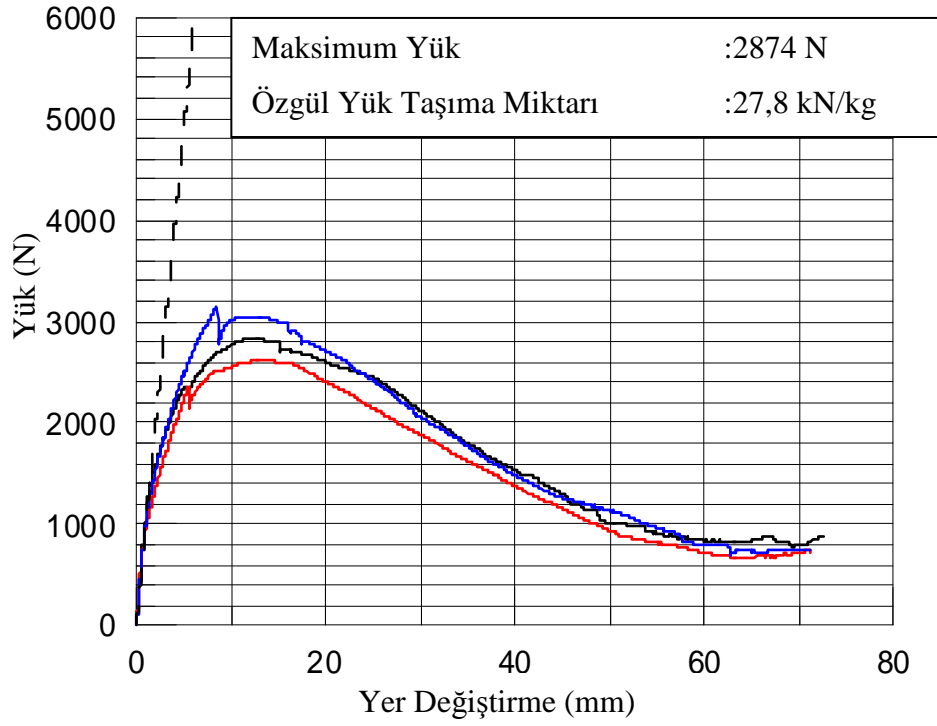


Şekil 3.3. “ACE1” Tipi numunelerin üç nokta eğme testi sonuçları

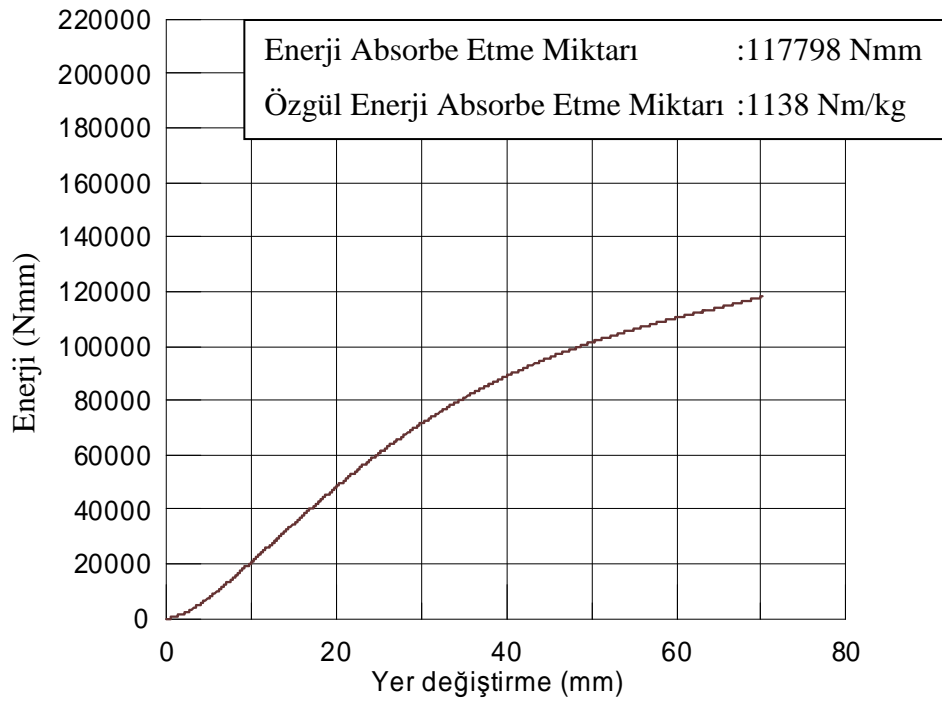


Şekil 3.4. “ACE1” Tipi numuneler için enerji grafiği.

“ACE3” Tipi numunelere ait üç nokta eğme deneyi sonuçları ve eğim Şekil 3.5. ‘de gösterilmiştir. Enerji grafiği Şekil 3.6. ‘de gösterilmiştir.

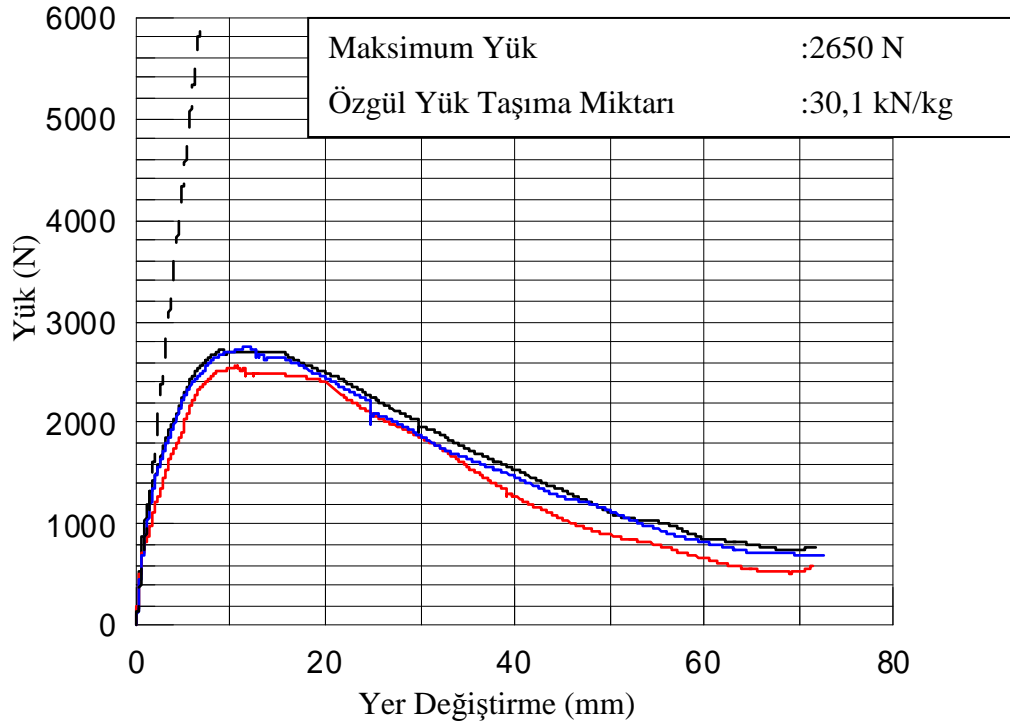


Şekil 3.5. “ACE3” Tipi numunelerin üç nokta eğme testi sonuçları

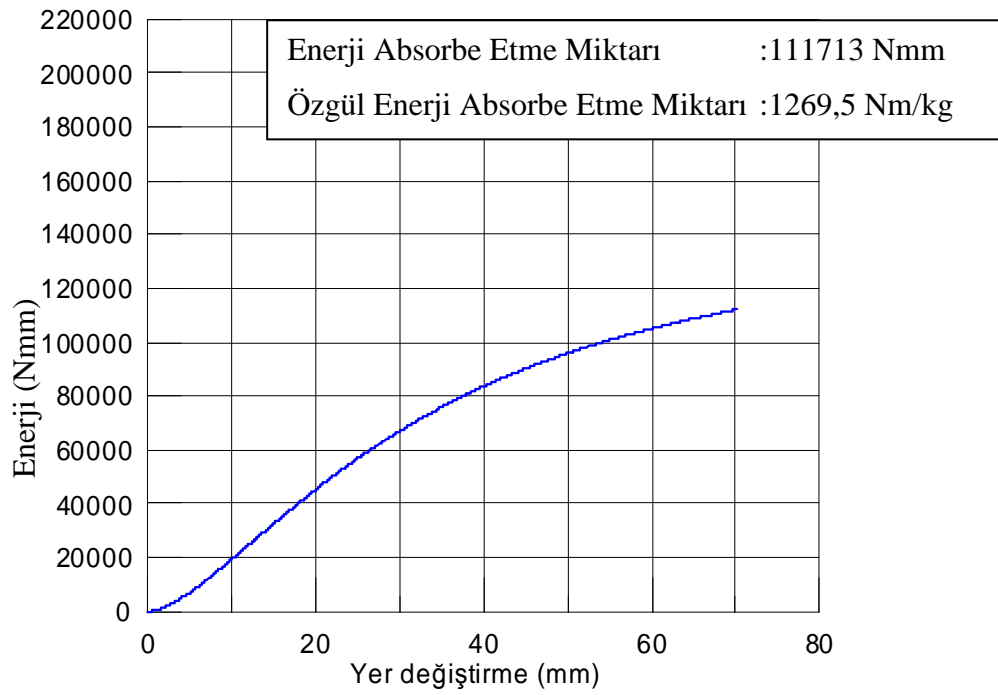


Şekil 3.6. “ACE3” Tipi numuneler için enerji grafiği.

“ACE1P” Tipi numunelere ait üç nokta eğme deneyi sonuçları ve eğim Şekil 3.7. ‘de gösterilmiştir. Enerji grafiği Şekil 3.8. ‘de gösterilmiştir.

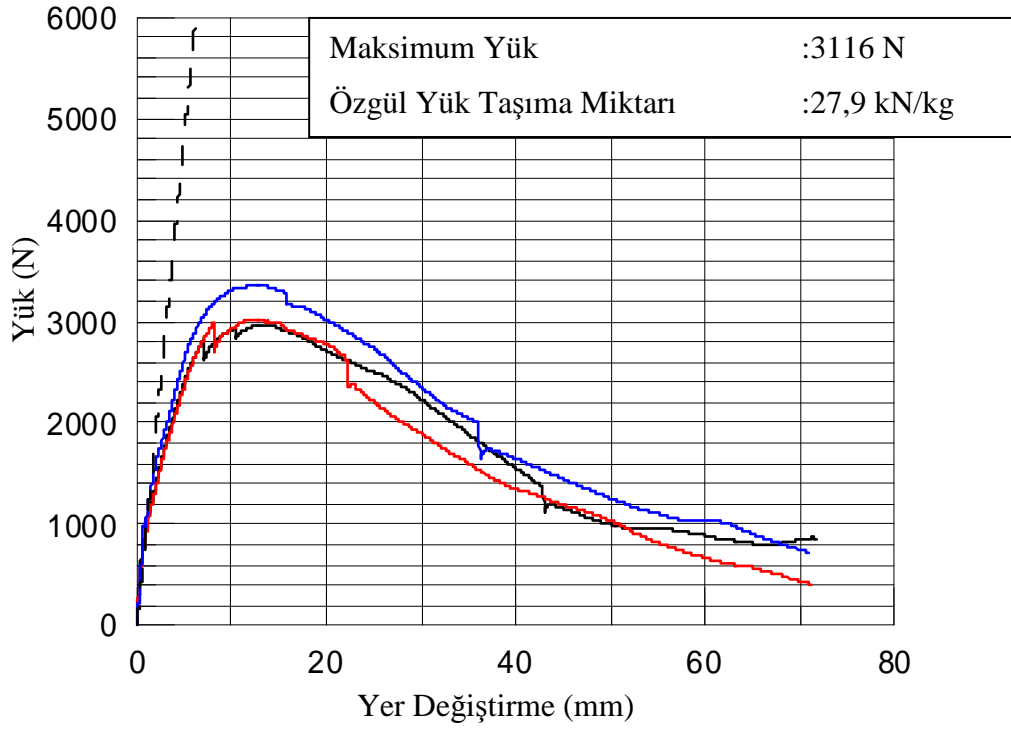


Şekil 3.7. “ACE1P” Tipi numunelerin üç nokta eğme testi sonuçları

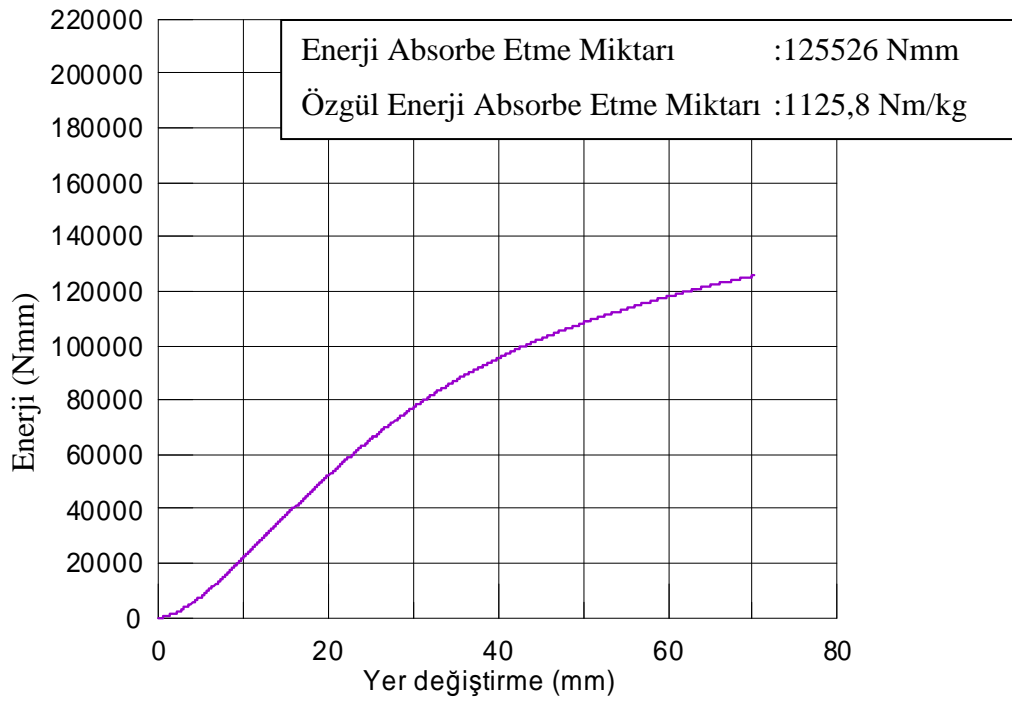


Şekil 3.8. “ACE1P” Tipi numuneler için enerji grafiği.

“ACE3P” Tipi numunelere ait üç nokta eğme deneyi sonuçları ve eğim Şekil 3.9. ‘de gösterilmiştir. Enerji grafiği Şekil 3.10. ‘de gösterilmiştir.

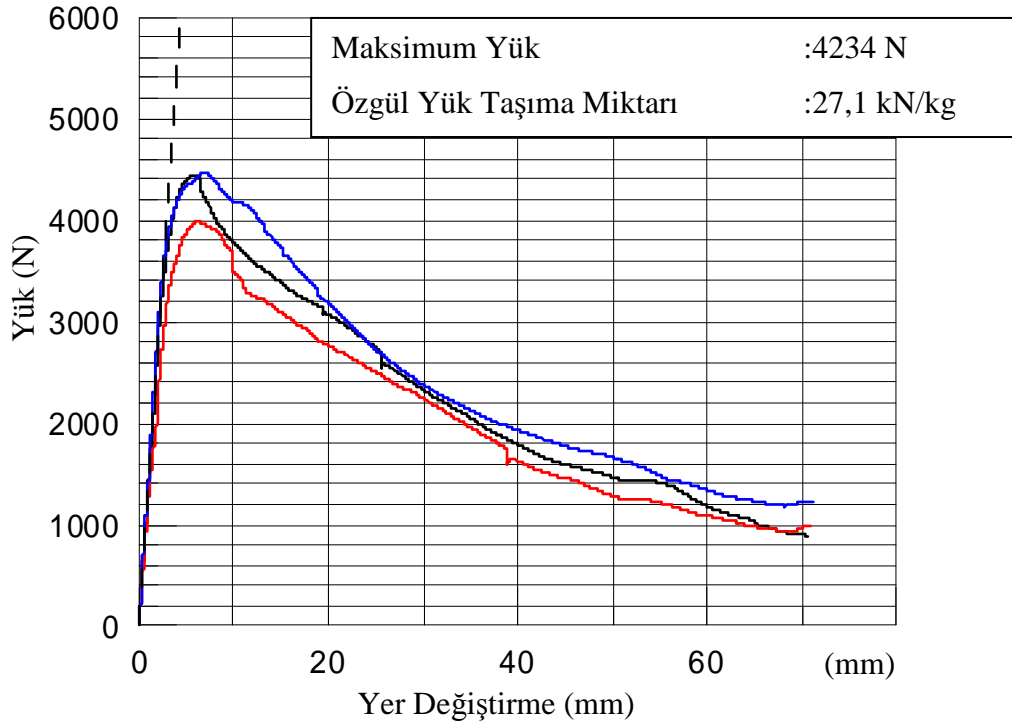


Şekil 3.9. “ACE3P” Tipi numunelerin üç nokta eğme testi sonuçları

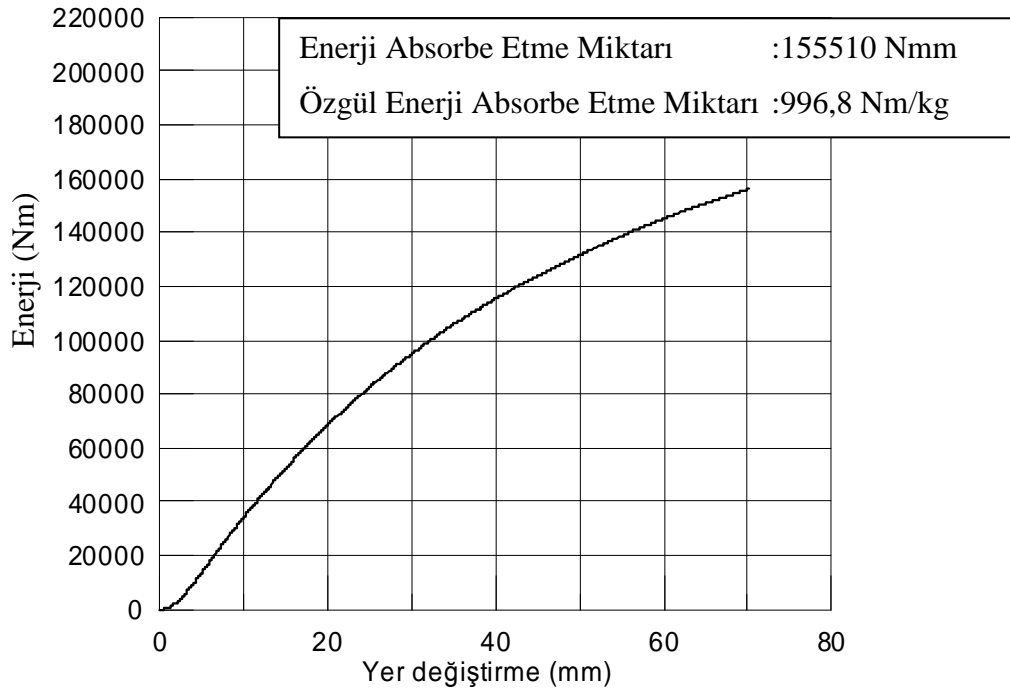


Şekil 3.10. “ACE3P” Tipi numuneler için enerji grafiği.

“ACE1PM” Tipi numunelere ait üç nokta eğme deneyi sonuçları ve eğim Şekil 3.11. 'de gösterilmiştir. Enerji grafiği Şekil 3.12. 'de gösterilmiştir.

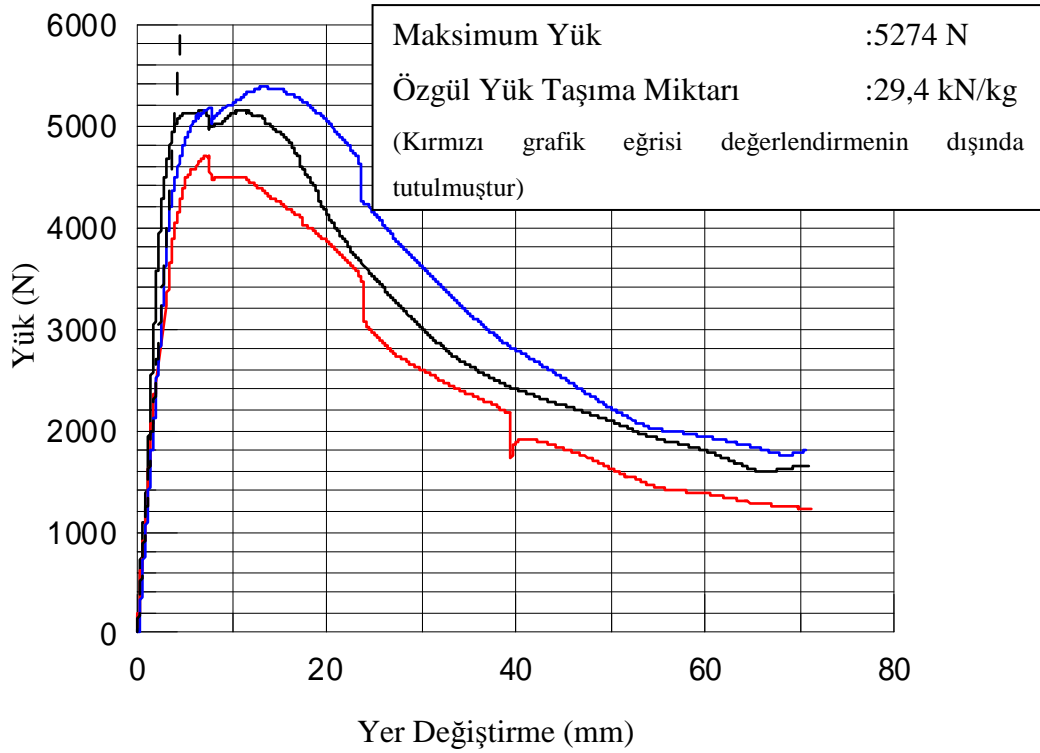


Şekil 3.11. “ACE1PM” Tipi numunelerin üç nokta eğme testi sonuçları

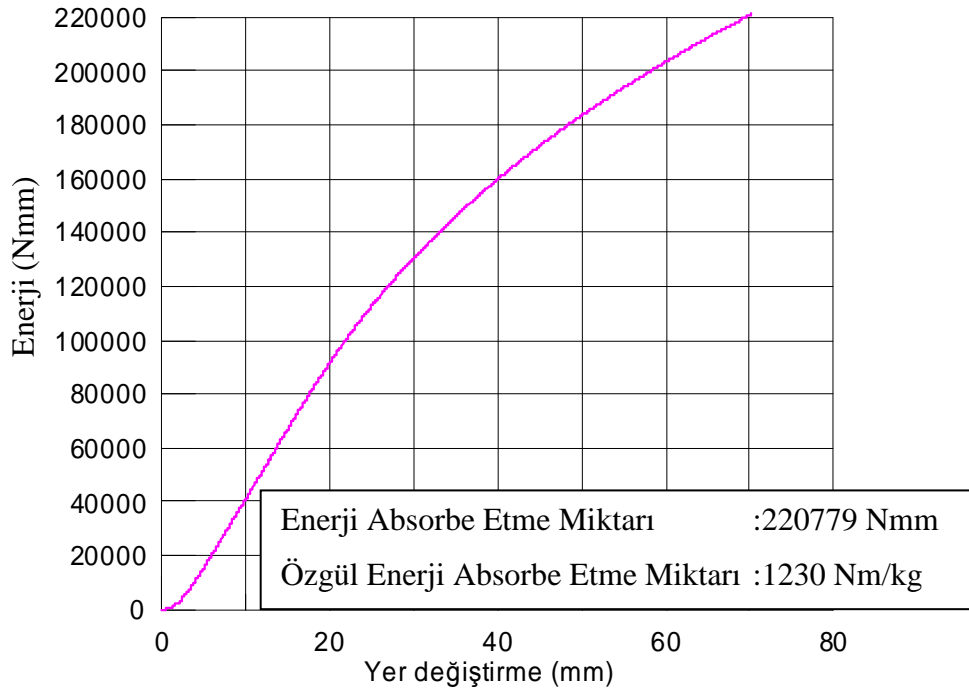


Şekil 3.12. “ACE1PM” Tipi numuneler için enerji grafiği.

“ACE3PM” Tipi numunelere ait üç nokta eğme deneyi sonuçları Şekil 3.13. ‘de gösterilmiştir. Enerji grafiği Şekil 3.14. ‘de gösterilmiştir.

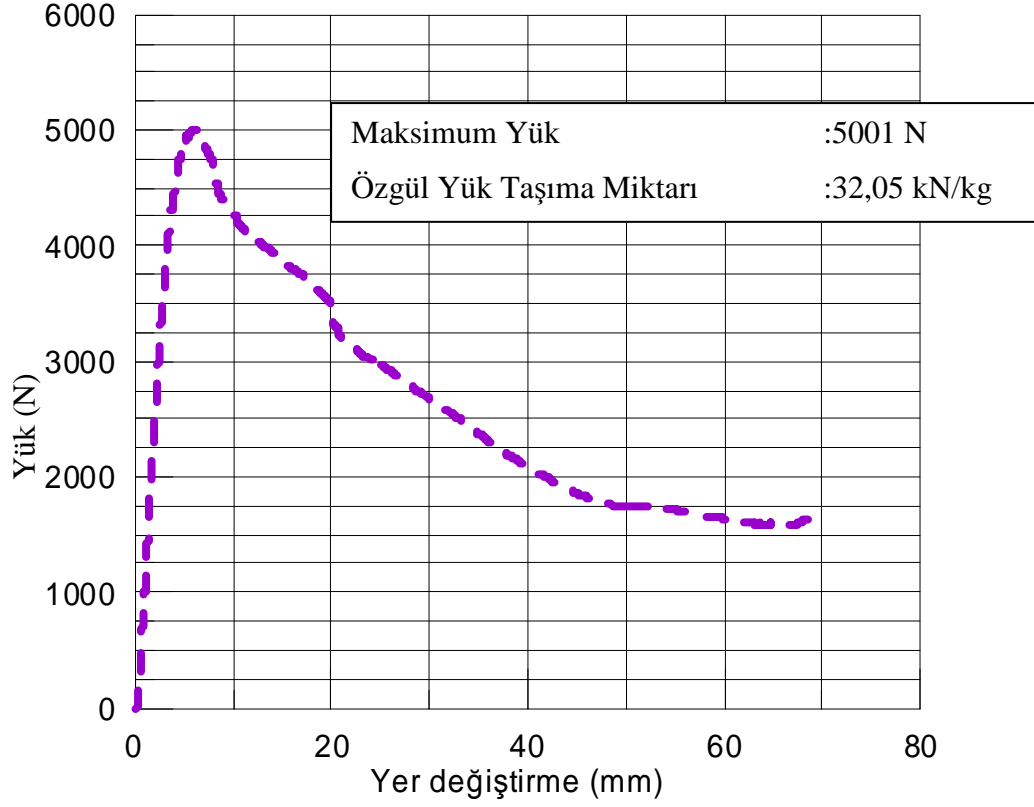


Şekil 3.13. “ACE3PM” Tipi numunelerin üç nokta eğme testi sonuçları

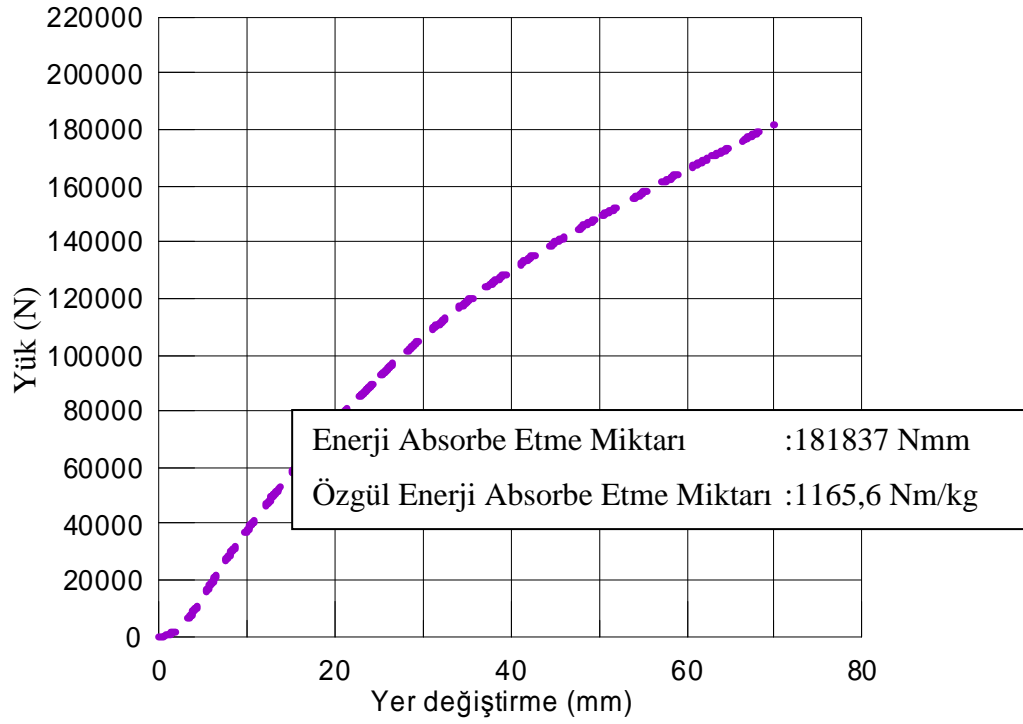


Şekil 3.14. “ACE3PM” Tipi numuneler için enerji grafiği.

“ACE1PM” Tipi numunelerinde PVC köpük ile alüminyum yapıştırılarak metal takviyenin boru içinde aksel dönmesinin önüne nispeten geçilmiştir. Bu şekli ile üç nokta eğme deneyi sonuçları Şekil 3.15. 'de gösterilmiştir. Enerji grafiği Şekil 3.16. 'de gösterilmiştir.

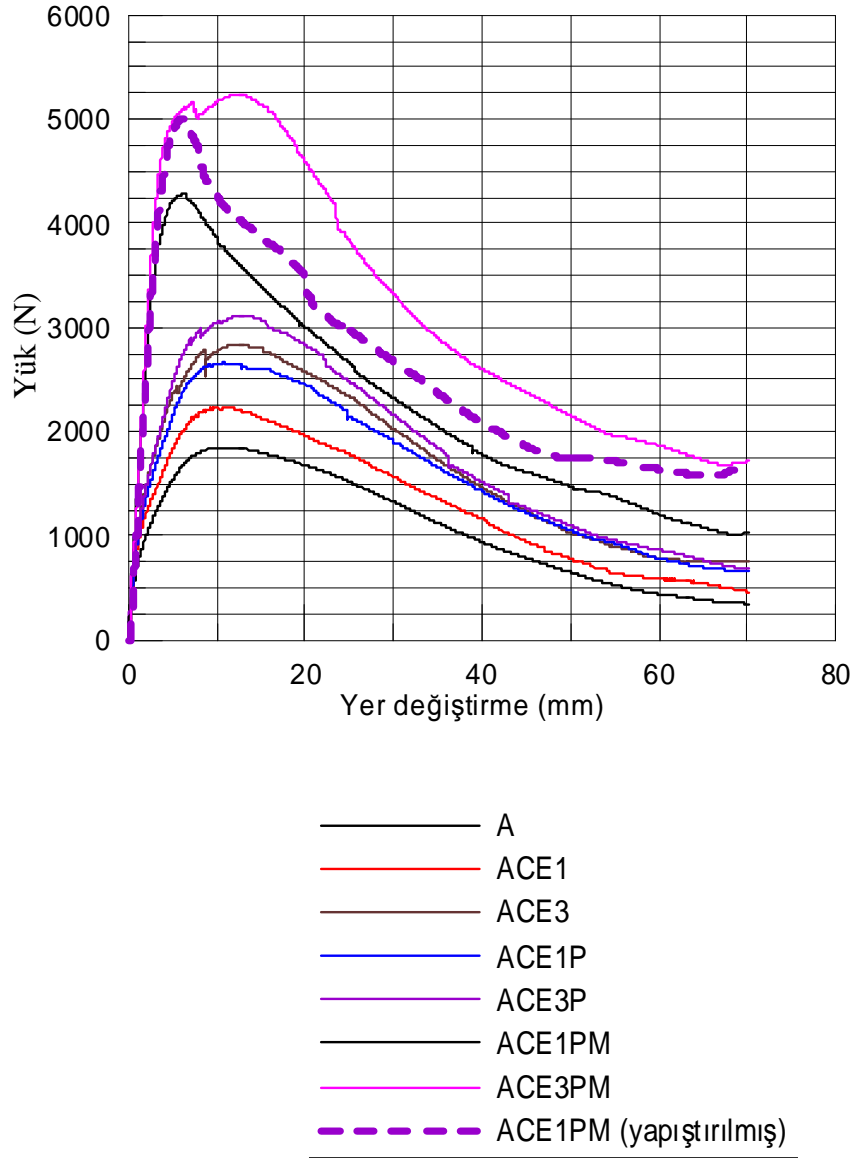


Şekil 3.15. “ACE1PM” Tipi numunenin yapıştırılmış şekli ile eğme testi sonuçları.



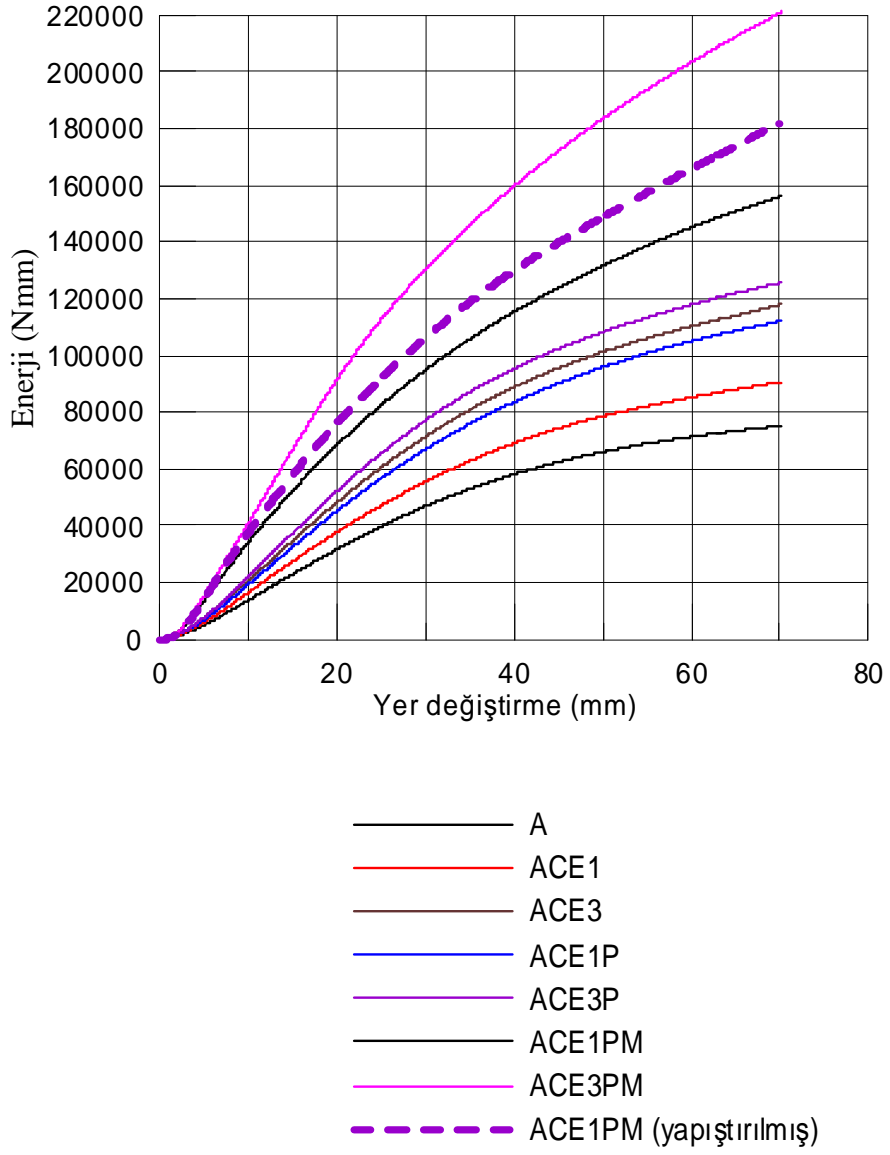
Şekil 3.16. “ACE1PM” Tipi numunenin yapıştırılmış şekli için enerji grafiği

Yapılan tüm deneylere ait sonuçlar, değerlerin ortalaması alınarak, Şekil 3.17. ‘da gösterilmiştir;



şekil 3.17. Deney sonularınnn birlikte gösterilmesi

Deney numunelerine ait enerji absorbe etme miktarlarını gösteren grafik şekil 3.18.'de gösterilmiştir;



Şekil 3.18. Deneysel sonuçları elde edilen enerji absorbe etme miktarları

Tablo 3.1.'de deneyde elde edilen yük taşıma kabiliyetlerini ve absorbe edilen enerji değerlerini içeren deney sonuçları özetlenmiştir. Tablo 3.2.'de yapılan takviyeler sonucu oluşan değişim miktarları gösterilmiştir. Tablo 3.3.'de ise, rijitlik değerleri tablo halinde listelenmiştir.

Tablo 3.1. Yük ve enerji cinsinden irdelenmiş deney sonuçları

Numune Adı	Ağırlık (gr.)	Max. Yük (N)	Özgül Yük Taşıma Miktarı (kN/kg)	Enerji Absorbe Etme Miktarı (Nm)	Özgül Enerji Absorbe Etme Miktarı (Nm/kg)
A	65	1848	28,43	75,215	1157,15
ACE1	80	2239	27,98	90,562	1132,02
ACE3	103,5	2874	27,76	117,798	1138,14
ACE1P	88	2650	30,11	111,713	1269,46
ACE3P	111,5	3116	27,94	125,526	1125,79
ACE1PM	156	4234	27,14	155,510	996,85
ACE3PM	179,5	5274	29,38	220,779	1229,96
ACE1PM (yapıştırılmış)	156	5001	32,05	181,837	1165,62

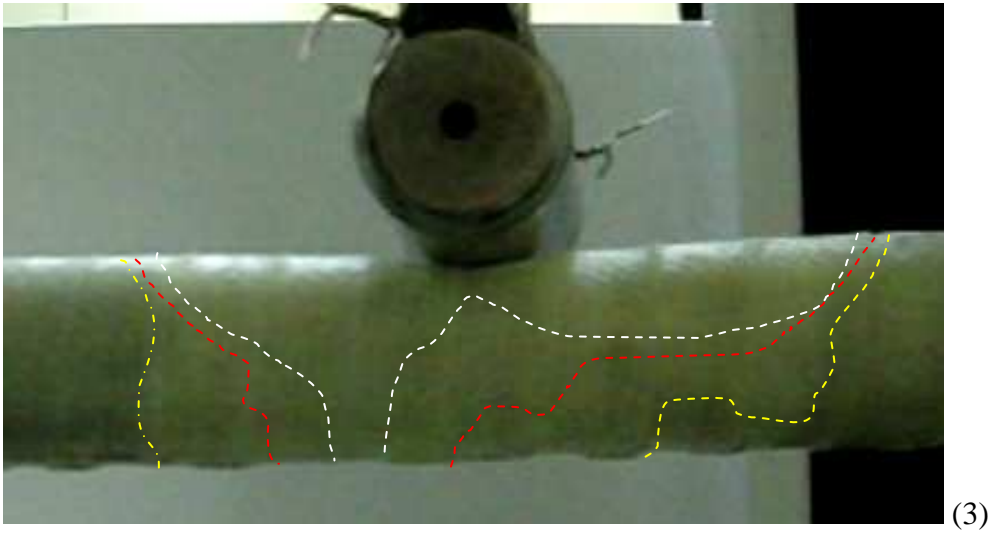
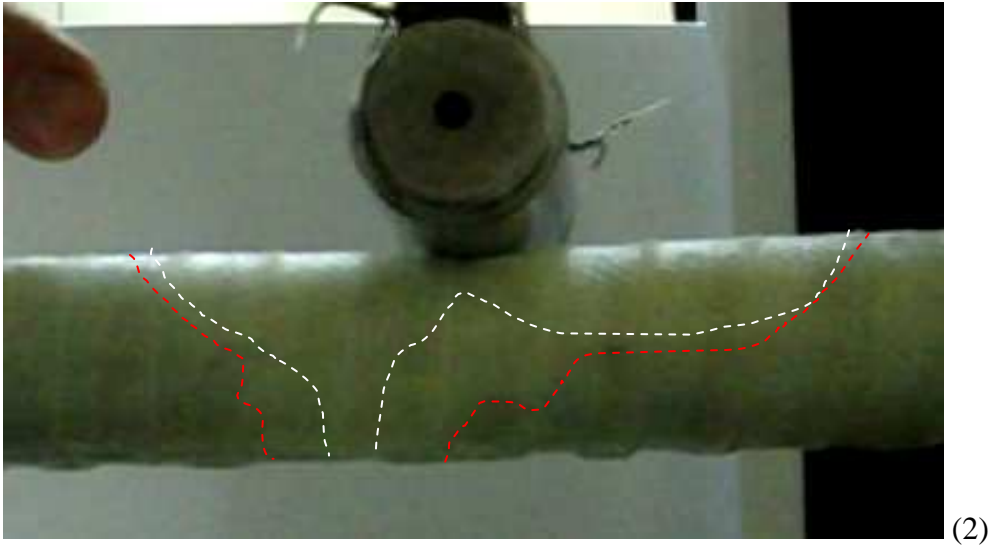
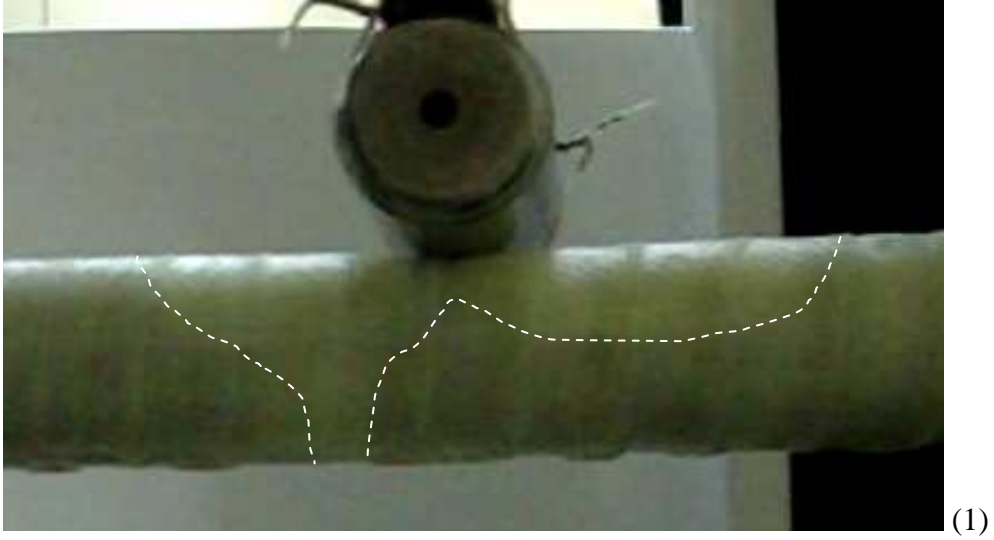
Tablo 3.2. Özgül yük taşıma miktarları ve özgül enerji absorbe etme miktarlarındaki değişim oranları.

Numune Adı	Ağırlıktaki Artış (%)	Yükteki Artış (%)	Özgül Yük Taşıma Miktarındaki Değişim (%)	Enerji Absorbe Etme Miktarındaki Artış (%)	Özgül Enerji Absorbe Etme Miktarındaki Değişim (%)
A	-	-	-	-	-
ACE1	23,1	21	-1,5	20	-2,2
ACE3	59,2	55	-2,3	56	-1,6
ACE1P	35,4	43	5,9	48	9,7
ACE3P	71,5	68	-1,7	66	-2,7
ACE1PM	140,0	129	-4,7	106	-16
ACE3PM	176,2	185	3,3	193	6,2
ACE1PM (yapıştırılmış)	140,0	170	12	141	0,7

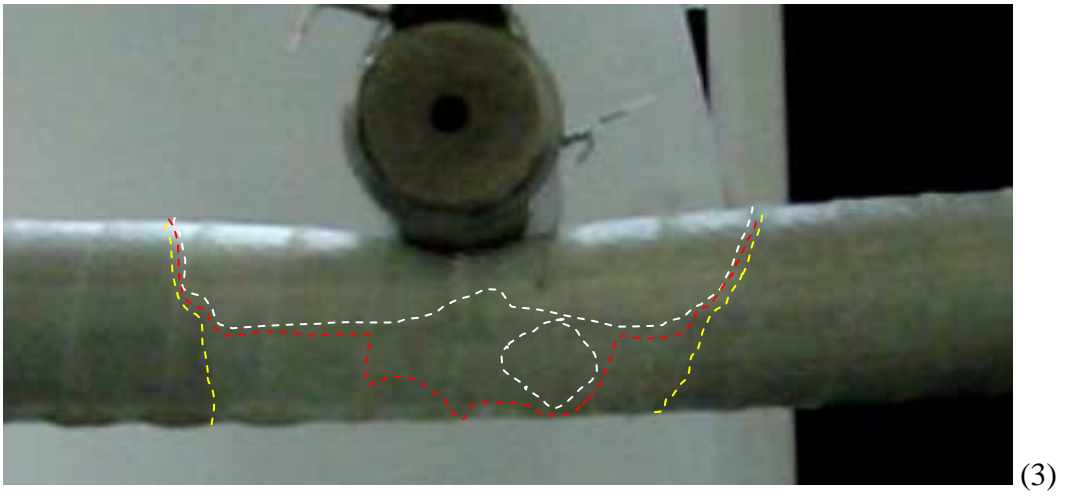
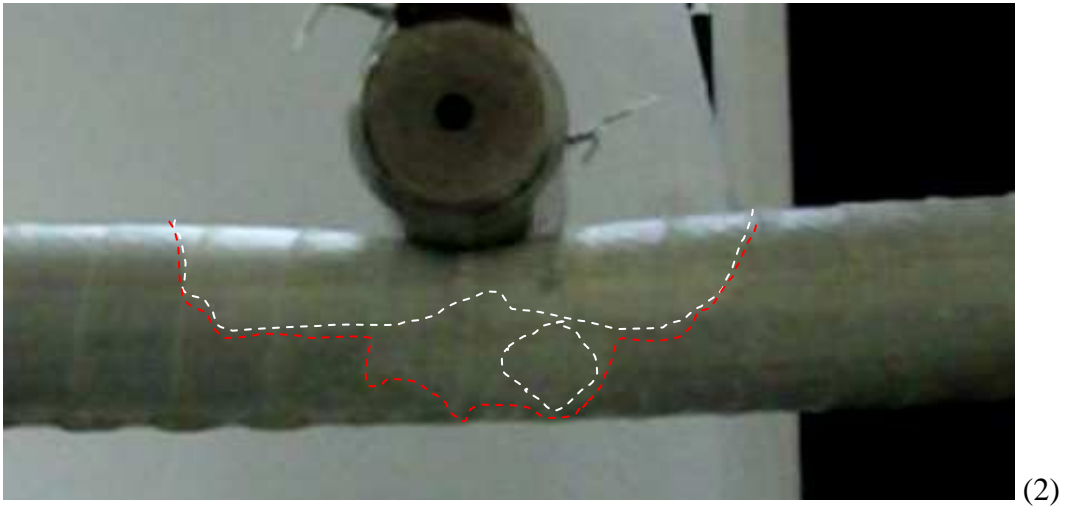
3.2. Sonuçların Değerlendirilmesi

“A” Tipi numuneye ait sonuçlar incelendiğinde beklendiği gibi homojen ve eş veriler elde edildiği görülmektedir. Cam elyaf bant takviye edilen numunelerde ise yük altında ilk temas noktası çevresinde ve deney numunesinin üst kısmında epoksi ile alüminyum arasındaki bağın deneyin erken safhalarında koptuğu, yük arttıkça alt kısımda da ayrılmaların başladığı ve alt kısımda başlayan bu ayrılmaların tetikleyici etkisiyle deney numunesinin orta kısmını kaplayacak genel bir deformasyonun kısa sürede geliştiği görülmüştür. Grafikte bu deformasyon mekanizması ile ortaya çıkan süreksizlikler bir kat ve üç kat cam elyaf takviye edilen numunelerde yük taşıma miktarlarındaki ani düşüşler şeklinde görülmektedir. Bu durum, parçanın yük taşıma kabiliyetinin ve enerji absorbe etme yeteneğinin daha fazla iyileşmesini engellemiştir. Bu hasar mekanizmasına benzer çalışmalarda da rastlanmaktadır. Grafiklerde maksimum yüke ulaşılan noktada ya da bu noktaya yakın bölgelerde ani düşüşler görülmektedir. Bu düşüşler genel olarak cam elyaf-epoksi sisteminde ayrılmaların ve kopmaların başladığı yerlerde meydana gelmektedir ve sarım açısına ve sayısına göre değişkenlik göstermektedir. Epoksinin ve cam elyafın hasarlanması ile ilgili benzer bulgular literatürde mevcuttur [8,10,11].

Profilin dayanımının, destek olarak kullanılan materyallerden daha düşük olduğu durumlarda eğme deneyi esnasında destek materyaller alüminyum profile zarar verebilmektedir. İç kısımda alüminyum köpük kullanılan bir çalışmada, yüksek yoğunluklu alüminyum köpük ile içten desteklenen alüminyum profillerde deneyin erken safhalarında alüminyum profilde kırılma ve çatlama görülmüştür [5]. Deneylerde, dışarıda bulunan cam elyaf, içeride alüminyum profile göre daha rijit olan paslanmaz metal takviye elemanının alüminyum profili yırtmasını engellemiştir. Cam elyafın bant şeklinde uygulanması sebebiyle yük altında cam elyaf takviye, dayanımın en düşük ve kırılma en fazla olduğu yerlerden, birleşim noktalarından ayrılmaya başlamış (Şekil 3.20. ve Şekil 3.21), deney sonunda ise tamamen kopmalar görülmüştür (Şekil 3.22 ve Şekil 3.23).



Şekil 3.19 “ACE3” Tipi deney parçası için, deney esnasında epokside alt bölgede kırılma başlangıcı, genişlemesi ve yayılması



Şekil 3.20 “ACE1” Tipi deney parçası için, deney esnasında epokside alt bölgede kırılma başlangıcı, genişlemesi ve yayılması (d).



Şekil 3.21. "ACE3PM" Detay



Şekil 3.22. "ACE3P" Detay

Düşük yoğunluğa sahip PVC köpüğün ise etkisi oldukça olumlu olmuştur. Özellikle "ACE1P" tipi numunede bu iyileşme daha iyi görülmektedir. Çok düşük bir kütle artışı karşın, boş boruya göre özgül yük taşıma kabiliyetinde %5.6 değerinde bir artış meydana gelmiştir. Özgül yük taşıma kabiliyetindeki artış ise %10 seviyelerindedir. "ACE3P" numunesinde ise, üç kat cam elyafın yaptığı olumsuz etki nedeni ile PVC köpükten kaynaklı iyileşmeyi görememekteyiz (Tablo 2.6 ve Tablo 2.7). Literatürde iç takviye olarak alüminyum, PVC, pal peteği yada benzeri boşluklu yapılar düşük yoğunluklarına oranla yük taşıma kabiliyetine yaptıkları yüksek katkıları nedeni ile bu tür uygulamalara sıkça kullanılmaktadır [1]. Bu tür takviyeler temas noktasında boru cidarının deformasyonunu engellemekte ve buna bağlı olarak eğme momentini önemli ölçüde arttırmaktadır.

Uygulanan konfigürasyonlar içerisinde, yük taşıma miktarı, enerji absorbe etme miktarları ve özgül enerji absorbe etme miktarı maksimum seviyelerde metal takviye uygulanan numunelerde elde edilmiştir (Tablo 3.1 ve Tablo 3.2). Cam elyafta ve epokside yaşanan kırılma ve deformasyonların daha yüksek yük değerlerinde oluşması, ön yüklerin metal tarafından karşılanarak deformasyonun geciktirilmesi ile sağlanmıştır. Bununla birlikte, atalet momentini arttırıcı yönde yerleştirilen metal takviyenin test esnasında doksan derece döndüğü ve yatay konumda konumlandığı test sonunda kesilen numunelerde görülmüştür. Bu durum metal takviyenin yapabileceği katkıları ve yük taşıma kabiliyetini sınırlamıştır (Şekil 3.24.). Bu durumun önüne geçmek için ACE1PM tipi numune üzerinde, PVC köpüğün dış

kısmı ile alüminyum borunun iç kısmı yapıştırılmıştır. Yapıştırılmış numune üzerinde uygulanan deney sonucu özellikle yük taşıma kabiliyetine ait değerlerin iyileştiği ve 767 N'luk bir artışın olduğu görülmüştür. Deney numunesi kesildiğinde, yapıştırma işlemi uygulanmayan numunelere kıyasla metal takviyenin deney başlangıcındaki pozisyonunu nispeten koruduğu görülmüştür. (Şekil 3.25.). Yapıştırma işleminin yük taşıma kabiliyetine yaptığı katkı literatürlerde de göze çarpmaktadır. Alüminyum köpük ve alüminyum petek yapı ile iç kısmı desteklenmiş 6063-T6 alüminyum profiller için, yapıştırma işlemi uygulanmamış numunelerde maksimum eğme momentinde %15-18 civarında bir iyileşme sağlanırken yapıştırılmış numunelerde iyileşme oranının %80-85 mertebelerine yükseldiği görülmektedir [1].



Şekil 3.23. Deney sonrası metal takviyenin konumu



Şekil 3.25 (a) Yapıştırma işlemi uygulanmamış numunede metal takviyenin deney sonrası konumu. (b) Yapıştırma işlemi uygulanmış numunede metal takviyenin deney sonrası konumu.

Yapılan takviye işlemlerinin eğme yükünü, dolayısı ile eğme momentini arttırması kirişin kesitinin atalet momentini arttırması ile açıklanmaktadır. Özgül yük taşıma kabiliyeti açısından; yapılacak takviyenin katkısı kullanılacak malzemenin özgül ağırlığına, geometrisine, parçanın kesitindeki konumuna ve son olarak yapısal kararlılığına bağlıdır.

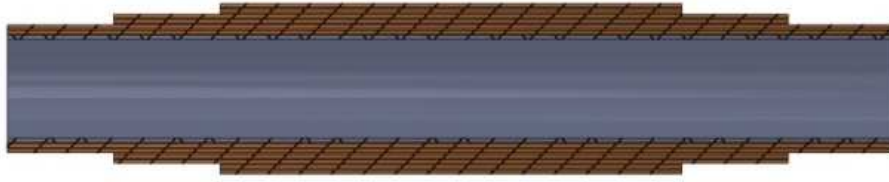
3.3. Öneriler

Yapılan çalışmalarda, cam elyaf takviye uygulamalarında, sarım açsının ve sayısının malzemenin yük taşıma kabiliyetinde, enerji absorbe etme kabiliyetinde, özgül yük taşıma ve özgül enerji absorbe etme değerlerinde oldukça etkin olduğu anlaşılmıştır. Bant şeklinde sarım daha dar açılar ile daha iyi sonuç verebilirse de, test esnasında oluşan basma ve çekme yüklerine karşı aksenal yönde dayanımı daha iyi olan sıfır

derece sarım ve sıfır derece sarımın başka sarım açıları ile kombinasyonu bu tür uygulamalarda öncelikli olarak önerilebilir.

Metal takviyenin ise profile verdiği katkı, özellikle konumlandırılmasında yapılacak iyileştirmeler ile arttırılabilir. Başlangıçta atalet momentini arttırıcı yönde konumlanan metal takviye, bu duruşunu test esnasında koruyabilirse, profilin yük taşıma kabiliyetinde ve özgül enerji absorbe etme miktarında önemli ölçüde artış meydana gelecektir. Bunun için rijit bir yapıştırma işlemi ya da metal takviye ile alüminyum profil arasında mekanik bağ kullanılması düşünülebilir.

Üç nokta eğme testinde oluşan gerilmelerin en fazla parçanın orta kesiminde olduğu göz önüne alınırsa, her bir tip takviye için ortak bir iyileştirme daha ön plana çıkmaktadır. Cam elyaf, kenarlarda iki kat ortaya yakın bölgelerde 3 kat ve orta noktada 4 kat olmak üzere değişken katlarda kullanılarak, gerilime göre takviye uygulanabilir ve uç taraflarda bulunan fazla etkin olmayan cam elyaf katmanlarının aynı kütle içinde orta noktaya kaydırılarak daha etkin olması sağlanabilir. Aynı mantık çerçevesinde metal takviyeye de (profilin orta kısmında meydana gelen gerilme yığılmaları dikkate alınarak ve bir nümerik analiz programından faydalanılarak) boşaltmalar uygulanabilir ve bu şekilde ağırlıktan tasarruf sağlanarak özgül yük taşıma ve özgül enerji absorbe etme miktarlarında artış sağlanabilir. Aynı tip bir iyileştirme, PVC köpüğün profili tamamen dolduracak şekilde değil, orta kısma yakın bölgede uygulanması ile de sağlanabilir (Şekil 3.26.). Daha önce yapılan çalışmalarda kısmi takviye uygulanarak özgül enerji absorbe etme miktarında %45 ve yük taşıma kabiliyetinde %100 mertebelerinde iyileşmeler sağlanmıştır [6].



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.26. (a) cam elyaf takviye için ön görülen iyileştirme. (b) metal takviye için ön görülen iyileştirme. (c) PVC Köpük için ön görülen iyileştirme.

KAYNAKLAR

- [1] SANTOSA, S., WIERBICKI, T., Effect of an ultralight metal filler on the bending collapse behavior of thin-walled prismatic columns, 1998; 995-1019
- [2] CHEN, W., WIERZBICKI, T., SANTOSA, S., Bending collapse of thin-walled beams with ultralight filler: numerical simulation and weight optimization, 2000; 183-206
- [3] SANTOSA, S., BANHART, J., WIERZBICKI, T., Experimental and numerical analyses of bending of foam-filled sections, 2000; 199-213
- [4] GUO, L., W., YU, J., L., LI, Z., B., Experimental studies on the quasi-static bending behavior of double square tubes filled with aluminum foam, 2010; 1-10
- [5] HANSSEN, G., HOPPERSTAD, O., S., LANGSETH M., Bending of square aluminium extrusions with aluminium foam filler, 1999; 13-31
- [6] CHEN W., Experimental and numerical study on bending collapse of aluminum foam-filled hat profiles, 2001; 7919-7944
- [7] SHAHBEYK, S., VAFAI, A., ESTEKANCHI, H., E., A parametric study of the bending crash performance of empty and metal foamfilled box-beams, 2004; 642-652
- [8] SHIN, K., C., LEE, J., J., KIM, K., H., SONG, M., C., HUH, J., S., Axial crush and bending collapse of an aluminum/GFRP hybrid square tube and its energy absorption capability, 2002; 279-287
- [9] LEE, S., H., KIM, C., W., CHOI, N., S., Bending Collapse Behaviors and Energy Absorption Characteristics of Aluminum-GFRP Hybrid Tube Beams, 2006; 1825-1828
- [10] JUNG, D., W., KIM, H., J., CHOI, N., S., Aluminum-GFRP hybrid square tube beam reinforced by a thin composite skin layer, 2009; 1558-1565
- [11] LEE, S., H., KIM, H., J., CHOI, N., S., Bending Performance Analysis of Aluminum-composite Hybrid Tube Beams, 2006; 2290-2296
- [12] LEE, S., H., CHOI, N., S., Bending Performance Evaluation of Reinforced Aluminum Square Tube Beams Considering Local Buckling Behavior,

2005;

- [13] LEE, S., H., CHOI, N., S., Bending Performance Evaluation of Reinforced Aluminum Square Tube Beams Considering Local Buckling Behavior, 2005; 2290-2296
- [14] BROUGHTON, J., G., BEEVERS, A., HUTCHINSON, A., R., Carbon-fibre-reinforced plastic (CFRP) strengthening of aluminium extrusions, 1997; 269-278
- [15] MAMALIS, A., G., SPENTZAS, K., N., MANOLAKOS, D., E., IOANNIDIS, M., B., PAPAPOSTOULOU, D., P., Experimental investigation of the collapse modes and the main crushing characteristics of composite sandwich panels subjected to flexural loading, 2009; 349-362

ÖZGEÇMİŞ

Hakkı Taner SEZAN, 25.12.1977 tarihinde Ankara'da doğdu. İlköğretimini Ankara ve Konya şehirlerinde, orta öğretimini Konya'da ve lise öğrenimini Konya ve Sakarya illerinde tamamladı. 1996 yılında Sakarya Üniversitesi'nde başladığı Makine Mühendisliği eğitimini 2000 yılında tamamladı. Aynı yıl Sakarya'da beyaz eşya yan sanayi olarak faaliyet gösteren Atasan Metal Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi'nde kalite kontrol mühendisi olarak başladığı görevine kalıphane ve ürün geliştirme bölümlerinde devam etti. 2009 yılında Sakarya Üniversitesi'nde, Makine Tasarım ve İmalat dalında yüksek lisansa başladı. Halen Atasan metal firmasında ürün geliştirme mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.