

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

**CTP' LERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ELYAF  
HACİM ORANLARININ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tek. Öğrt. Mehmet TURHAN**

**Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK**

**Ocak 2007**

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

**CTP' LERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ELYAF  
HACİM ORANLARININ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tekn. Öğrt. Mehmet TURHAN**

**Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ**

**Bu tez 30 / 01 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Prof. Dr. Ahmet APAY  
Jüri Başkanı**

**Yrd. Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK  
Üye**

**Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ  
Üye**

## TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması aŐamasında bana her tŒrlŒ desteği veren, benden bilgi ve tecrŒbelerini esirgemeyen değerli hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK bey'e teŐekkŒr ederim.

Tezin hazırlanmasında maddi manevi desteklerini esirgemeyen hocam sayın Prof. Dr. Ahmet APAY' a teŐekkŒr ederim.

Maddi manevi desteklerini esirgemeyen bŒlŒm hocalarıma, arkadaŐlarım Tahir AKGŒL ve İsa VURAL' a, MŒdŒrŒmŒz Sayın Cevdet YILDIZ bey' e, MŒdŒr yardımcılarımız sayın Erol ŐENGŒZ ve Murat AKSOY bey'e, hukuk MŒdŒrŒmŒz sayın Osman TEZCAN bey'e, mesai arkadaŐlarım Abdullah ERBİL' e, Eser Arık DERELİ' ye, Yılmaz GŒLEBAęLAN' a , Metin GŒNEŐ'e, Őaban KAYA'ya ve bŒtŒn mesai arkadaŐlarıma teŐekkŒrŒ bir borę bilirim.

Bilgilerini ve TecrŒbelerini esirgemeyen, numunelerin temininde hep yanımızda olan Esa Kimya Metal A.Ő' ne teŐekkŒr ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiğbir zaman benden esirgemeyen sevgili aileme, bana kazandırdıkları her Őey için teŐekkŒr ederim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET .....	xiv
SUMMARY .....	xv

### BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
1.2. Kompozit Malzemenin Tarihsel Gelişimi.....	3
1.3. Literatür Taraması.....	10

### BÖLÜM 2.

KOMPOZİT MALZEMELER .....	13
2.1. Kompozit Malzemelerin Sınıfları .....	15
2.1.1. Takviye edilme şekillerine göre kompozitler .....	16
2.1.1.1. Parçacık takviyeli kompozitler .....	16
2.1.1.2. Lamine kompozitler .....	16
2.1.1.3. Elyaf takviyeli kompozitler .....	16
2.1.2. Matris elemanlarına göre kompozitler .....	19
2.1.2.1. Metal matrisli kompozitler .....	19
2.1.2.2. Seramik matrisli kompozit .....	19
2.1.2.3. Polimer matrisli kompozit .....	20
2.2. Kompozitlerin Özellikleri Üzerine Etki Eden Değişkenler .....	25
2.2.1. Lif- matris ara yüzeyi .....	25

2.2.2.Elyaf hacim oranı.....	26
2.2.3.Elyaf yönlenmesi .....	26
2.2.4.Hızlandırıcı .....	28
2.3. Kompozit Malzemede Kullanılan Başlıca Elyaf Türleri .....	28
2.3.1. Karbon elyafları .....	29
2.3.2. Aramid elyafarı.....	29
2.3.3. Organik elyaflar .....	30
2.3.4. Boron elyaflar .....	30
2.3.5. Cam elyaflar .....	31

### BÖLÜM 3.

#### CAM ELYAF TAKVİYELİ PLASTİK

KOMPOZİTLER (CTP) .....	35
3.1. CTP'nin Tarihsel Gelişimi .....	35
3.2. CTP'nin Avantajları .....	37
3.3. CTP Üretiminde Kullanılan Malzemeler .....	37
3.3.1. Polyester reçineler.....	38
3.3.2. Hızlandırıcılar .....	38
3.3.3. Dolgu maddeleri .....	38
3.3.4. Boyalar .....	39
3.3.5. Katalizörler .....	40
3.3.6. Kalıp ayırıcılar .....	40
3.3.7. Takviye malzemeleri.....	40
3.3.7.1. Cam elyaf.....	41
3.4. CTP Kalıplama Yöntemleri.....	47
3.4.1. El yatırması yöntemi .....	47
3.4.2. Püskürtme yöntemi .....	48
3.4.3. Reçine enjeksiyonu yöntemi REY (RTM).....	50
3.4.4. Soğuk pres yöntemi.....	52
3.4.5. Elyaf sarma yöntemi .....	52
3.4.6. Savurma döküm yöntemi.....	54
3.4.7. Vakum bonding (Vakum Bagging).....	55

3.4.8. Devamlı levha üretim yöntemi .....	55
3.4.10. Preslenebilir takviyeli termoplastik .....	58
3.4.11. Profil çekme yöntemi .....	59
3.4.11.1. Pultruzyon yönteminin avantajları .....	63
3.4.11.2. Pultruzyon yönteminin dezavantajı .....	64
3.4.11.3. Pultruzyonla üretilen CTP özellikleri .....	64
3.5. CTP' nin İnşaat Sektöründe Kullanım Uygulamaları .....	65
3.5.1. Cephe kaplama panelleri .....	66
3.5.2. Prefabrik konutlar .....	67
3.5.3. CTP beton kalıpları .....	67
3.5.4. CTP borular .....	68
3.5.5. Somun .....	69
3.5.6. Köprüler ve çatı makaslar .....	69
3.5.7. Diğer uygulamalar .....	70

## BÖLÜM 4.

METERİAL VE METOT .....	75
4.1. Çekme Deneyi .....	76
4.1.1. Çekme deneyinde kullanılan makine ve ekipmanlar .....	77
4.1.1.1. Çekme makinesi .....	77
4.1.1.2. Extansometre (Uzama Ölçer) .....	78
4.1.1.3. Kumpas .....	79
4.1.2. Çekme deney numunelerinin hazırlanması .....	80
4.1.3. Çekme deneyinin yapılışı .....	82
4.2. Poisson Oranı Deneyinin .....	82
4.2.1. Poisson Oranı Deneyinde kullanılan ekipmanlar .....	85
4.2.1.1. Komparatör saati .....	85
4.2.2. Poisson Oranı Deneyinin Yapılışı .....	86

## BÖLÜM 5.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	89
5.1. Çekme Deneyi .....	89

5.1.1 Çekme Deneyi Sonuçları.....	91
5.1.1.1. A Kot numaralı malzemenin deney sonuçları .....	91
5.1.1.2. B Kot numaralı malzemenin deney sonuçları .....	94
5.1.1.3. C Kot numaralı malzemenin deney sonuçları .....	96
5.1.1.4. D Kot numaralı malzemenin deney sonuçları .....	98
5.1.1.5. E Kot numaralı malzemenin deney sonuçları .....	100
5.1.1.6. F Kot numaralı malzemenin deney sonuçları.....	103
5.1.1.7. G Kot numaralı malzemenin deney sonuçları.....	105
5.1.1.8. H Kot numaralı malzemenin deney sonuçları .....	107
5.1.1.9. I Kot numaralı malzemenin deney sonuçları.....	110
5.2. Poisson Oranı Deneyi.....	113
5.2.1. Poisson oranı deneyinin sonuçları .....	114
5.2.1.1. A Kot numaralı malzemenin deney sonuçları .....	115
5.2.1.2. B Kot numaralı malzemenin ı deney sonuçları .....	117
5.2.1.3. C Kot numaralı malzemenin ı deney sonuçları .....	120
5.2.1.4. D Kot numaralı malzemenin deney sonuçları.....	122
5.2.1.5. E Kot numaralı malzemenin deney sonuçları .....	125
5.2.1.6. F Kot numaralı malzemenin deney sonuçları.....	127
5.2.1.7. G Kot numaralı malzemenin deney sonuçları .....	130
5.2.1.8. H Kot numaralı malzemenin deney sonuçları.....	132
5.2.1.9. I Kot numaralı malzemenin deney sonuçları.....	135

## BÖLÜM 6.

TEORİK HESAPLAR .....	139
6.1. Hesaplama .....	140
6.1.1. Mikro mekanik analiz .....	140
6.1.2. Makro mekanik analiz.....	141
6.2. Örnek Bir Malzeme Hesabı.....	143
6.3. Teorik Hesap Sonuçları.....	152

BÖLÜM 7.	
BULGULAR.....	156
7.1. Deneysel Çalışma Sonuçları.....	156
7.2. Teorik Hesap Sonuçla .....	159
BÖLÜM 8.	
SONUÇ ve ÖNERİLER .....	161
KAYNAKLAR.....	163
ÖZGEÇMİŞ .....	168



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

E	: Elastisite Modülü (KN/mm <sup>2</sup> )
$\sigma$	: Gerilme (KN/mm <sup>2</sup> )
$\varepsilon$	: Şekil Değişirme Oranı
P	: Yük (N)
A	: Kesit Alanı (mm <sup>2</sup> )
$\Delta l$	: Boy Değişimi (mm)
L	: İlk Boy (mm)
$E_m$	: Matris'in elastisite modülü
$V_m$	: Matris'in hacmi
$G_m$	: Matris'in kaayma modülü
$\nu_m$	: Matris'in poisson oranı
$E_f$	: Elyaf'in elastisite modülü
$V_f$	: Elyaf'in hacmi
$G_f$	: Elyaf'in kayma modülü
$\nu_f$	: Elyaf'in poison oranı
HKB	: Hazır kalıplama metodu
CTP	: Cam takviyeli plastik
TS	: Türk standartları
E	: Elastisite modülü
G	: Kayma modülü
$\nu$	: Poison oranı

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Elastomerin seyrek ağırlaşmış iç yapısı .....	21
Şekil 2.2. Termosetlerin sık ağılaşmış iç yapısı .....	22
Şekil 2.3. Değişik türlerinin elastiklik modülleri .....	28
Şekil 2.4. Cam elyafın üretim aşamaları.....	33
Şekil 3.1. Cam elyaf keçe.....	43
Şekil 3.2. Sürekli cam elyaf fitil ve iplik .....	44
Şekil 3.3. Cam elyaf dokuma .....	45
Şekil 3.4. Cam elyaf kırılmış demetler .....	45
Şekil 3.5. Tek yönlü cam elyafı tipinin şekli .....	46
Şekil 3.6. İki yönlü cam elyafı tipinin şekli .....	46
Şekil 3.7. Çok yönlü cam elyafı tipinin şekli .....	46
Şekil 3.8. El yatırması yönteminin genel gösterimi.....	48
Şekil 3.9. Püskürtme yöntemi uygulama.....	49
Şekil 3.10. Püskürtme yöntemi uygulama sistemi.....	50
Şekil 3.11. Reçine enjeksiyonu uygulaması.....	51
Şekil 3.12. Soğuk pres uygulanması .....	52
Şekil 3.13. Elyaf sarma yöntemi makine ekipmanları.....	54
Şekil 3.14. Vakum bagging malzemeleri .....	55
Şekil 3.15. CTP şeffaf levha uygulaması.....	56
Şekil 3.16. HKB üretim prosesi ve ekipmanları.....	57
Şekil 3.17. Profil çekme yöntemini oluşturan ekipmanlar.....	60
Şekil 3.18. Profil çekme yönteminde kullanılan makine şeması .....	60
Şekil 3.19a.Köprü ayağı ve kirişler .....	61
Şekil 3.19b.Çatı makasları.....	61
Şekil 3.19c.Köprüler.....	62
Şekil 3.19d.Betonarme donatı çubukları .....	62
Şekil 3.19e.Yüksek gerilim hat direği .....	63

Şekil 3.20. Cephe Kaplamaları.....	66
Şekil 3.21. Ctp sistemle yapılan konut .....	67
Şekil 3.22. Borular .....	68
Şekil 3.23. Somun Cıvata.....	69
Şekil 3.24. Çatı makasları .....	69
Şekil 3.25. Zemin Kaplamaları.....	70
Şekil 3.26. Trafik levhaları.....	70
Şekil 3.27. Kent Mobilyası.....	71
Şekil 3.28. Platformlar .....	71
Şekil 3.29. Merdivenler.....	72
Şekil 3.30. Çatı Kaplamaları .....	72
Şekil 3.31. Oluklar .....	73
Şekil 3.32. Yer kaplamaları.....	73
Şekil 4.1. Çekme makinesi çeneleri ve düzeneği .....	77
Şekil 4.2. Çekme makinesi ve donanımı.....	78
Şekil 4.3. Extasometre.....	79
Şekil 4.4. Dijital Kumpas .....	79
Şekil 4.5. CTP profilleri .....	80
Şekil 4.6. Proillerden Kesilmiş CTP numune.....	80
Şekil 4.7. Metal başlık.....	81
Şekil 4.8. Metal başlık yapıştırılmış numuneler.....	82
Şekil 4.9. Makine çenelerine sıkıştırılmış numuneler .....	82
Şekil 4.10. Çekme deneyi düzeneği.....	83
Şekil 4.11. Çekme deneyinin sonlanması .....	84
Şekil 4.12. Çekme deneyi yapılmış numuneler.....	84
Şekil 4.13. Komparatör saati .....	85
Şekil 4.14. Poisson deneyi öncesi oluşturulan düzenek.....	86
Şekil 4.15. Extansometre ve komparatörün numuneye montajı .....	87
Şekil 4.16. Poisson deneyi sonrası.....	87
Şekil 5.1. Lif doğrultusuna paralel tek numuneye ait çekme deneyi grafiği .....	90
Şekil 5.2. A Kot numaralı malzemenin Gerilme-Şekil değiştirme grafiği .....	93
Şekil 5.3. B Kot numaralı malzemenin Gerilme-Şekil değiştirme grafiği.....	95
Şekil 5.4. C Kot numaralı malzemenin Gerilme-Şekil değiştirme grafiği.....	97

Şekil 5.5. D Kot numaralı malzemenin Gerilme-Şekil değiştirme grafiği .....	100
Şekil 5.6. E Kot numaralı malzemenin Gerilme-Şekil değiştirme grafiği.....	102
Şekil 5.7. F Kot numaralı malzemenin Gerilme-Şekil değiştirme grafiği.....	104
Şekil 5.8. G Kot numaralı malzemenin Gerilme-Şekil değiştirme grafiği .....	107
Şekil 5.9. H Kot numaralı malzemenin Gerilme-Şekil değiştirme grafiği .....	109
Şekil 5.10. I Kot numaralı malzemenin Gerilme-Şekil değiştirme grafiği.....	112
Şekil 5.11. Tek numuneye ait Poisson Deneyi grafiği.....	114
Şekil 5.12. A Kot numaralı malzemenin Poisson Deneyi grafiği .....	117
Şekil 5.13. B Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi grafiği.....	119
Şekil 5.14. C Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi grafiği.....	121
Şekil 5.15. D Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi grafiği .....	124
Şekil 5.16. E Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi grafiği.....	125
Şekil 5.17. F Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi grafiği .....	129
Şekil 5.18. G Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi grafiği .....	131
Şekil 5.19. H Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi grafiği .....	134
Şekil 5.20. I Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi grafiği .....	137
Şekil 6.1. Malzeme detayı .....	141
Şekil 7.1. Elyaf hacim oranı-elastisite modülünün değişimi .....	157
Şekil 7.2. Elyaf hacim oranlarının değişimi ile poisson oranlarının Değişimi ..	158
Şekil 7.3. Malzemeler ile % uzamaların değişimi.....	159
Şekil 7.4. Elyaf hacim oranları-Elastisite modülü ilişkisi .....	160
Şekil 7.5. Elyaf hacim oranları-poisson oranları ilişkisi.....	160

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Bazı termosetlerin mekanik özellikleri .....	22
Tablo 2.2. Organik elyaf türleri ve özellikleri.....	31
Tablo 2.3. Kompozitlerde kullanılan cam elyaf türleri ve kimyasal bileşimleri .	32
Tablo 3.1. Bazı cam elyaf türleri ve kompozisyonları.....	42
Tablo 3.2. Bazı cam elyaf türlerinin mekanik özellikleri .....	42
Tablo 5.1. Deneyde kullanılan malzemeler.....	91
Tablo 5.2. A Kot numaralı malzemelerle ilgili deney sonuçları .....	93
Tablo 5.3. B Kot numaralı malzemelerle ilgili deney sonuçları .....	95
Tablo 5.4. C Kot numaralı malzemelerle ilgili deney sonuçları .....	98
Tablo 5.5. D Kot numaralı malzemelerle ilgili deney sonuçları .....	100
Tablo 5.6. E Kot numaralı malzemelerle ilgili deney sonuçları.....	102
Tablo 5.7. F Kot numaralı malzemelerle ilgili deney sonuçları.....	105
Tablo 5.8. G Kot numaralı malzemelerle ilgili deney sonuçları .....	107
Tablo 5.9. H Kot numaralı malzemelerle ilgili deney sonuçları .....	110
Tablo 5.10. I Kot numaralı malzemelerle ilgili deney sonuçları.....	112
Tablo 5.11. Bir numuneye ait Poisson Deneyi sonuçları.....	113
Tablo 5.12. Deneyde kullanılan malzemeler.....	115
Tablo 5.13. A Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi sonuçları.....	117
Tablo 5.14. B Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi sonuçları.....	119
Tablo 5.15. C Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi sonuçları.....	122
Tablo 5.16. D Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi sonuçları.....	124
Tablo 5.17. E Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi sonuçları .....	126
Tablo 5.18. F Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi sonuçları .....	129
Tablo 5.19. G Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi sonuçları.....	132
Tablo 5.20. H Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi sonuçları.....	135
Tablo 5.21. I Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi sonuçları .....	138

Tablo 6.1. Numunenin ağırlığı ve içerisinde bulunan emalzeme yüzdeleri .....	143
Tablo 6.2. 1 metrelik malzemedeki tabakaların hacimleri.....	145
Tablo 6.3. Tabakalardaki malzemelerin yüzde dağılımları.....	145
Tablo 6.4. Kutuyu oluşturan malzemeler ve hacim oranları .....	146
Tablo 6.5. Kompoziti oluşturan malzemelerin özellikleri .....	146
Tablo 6.6. Deneyde kullanılan malzemeler.....	152
Tablo 6.7. Malzemelerin Hacim cinsinden yüzdeleri .....	153
Tablo 6.8. Malzemelerin içindeki katmanlarda olan Elyaf-Reçine oranlar.....	154
Tablo 6.9. Malzemelerde tabaka kalınlığı.....	154
Tablo 6.10. Teorik hesap sonuç tablosu.....	155

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Cam takviyeli plastikler, kompozitler, Elyaf hacim oranı.

Cam elyaf takviyeli plastikler (CTP) günümüzde yaygın olarak kullanılan ve ilk modern polimer esaslı kompozit malzemedir. Temel olarak, kalıp görevi gören reçine içerisine dağılmış cam (sürekli veya süreksiz) liflerinden elde edilmişlerdir. Takviye malzemesi olan cam elyaflar mekanik özellikleri iyileştirir, reçine ise deformasyon sırasında çatlak oluşumunu önler, takviye elemanlarını bir arada tutar. Buradan da anlaşılacağı gibi CTP malzemelerin mekanik özelliklerinin en önemli belirleyicisi takviye elemanlarıdır. Cam elyafının mekanik özellikleri, cam elyafının malzeme içerisindeki oranı kompozitin mekanik özelliklerinin belirleyicisi konumundadır.

Bu çalışmanın amacı cam elyaf takviyeli plastik esaslı kompozit malzemelerde, cam elyafın değişik oranlarda kullanılmasıyla mekanik özelliklere etkisinin araştırılmasıdır. Deneyde kullanılan CTP malzemeleri profil çekme yöntemi ile üretilmiş olup, üretici firma olan Esa Kimya Metal' den temin edilmiştir. Numune içerisindeki elyaf, keçe ve reçine oranları, malzemedeki tabaka kalınlıkları ve malzeme içerisindeki elyaf ve reçine özellikleri üretici firmadan alınarak hesaplamalara katılmıştır. Toplam 9 farklı elyaf hacim oranı olan malzemeden 90 adet deney yapılmıştır. Bu doğrultuda hazırlanan değişik oranlarda cam elyaf içeren numuneler çekme deneyine tabi tutulmuş buradan malzemenin, elastisite modülü ve poisson oranını bulunmuş ve elde edilen değerler tablo ve grafikler haline getirilmiştir. Daha sonraki aşamada üretici firma olan üretici firmadan alınan değerler esas alınarak teorik hesaplar yapılarak elastisite modülü ve poisson oranı sonuçları bulunmuştur.

Deney sonucunda bulunan elastisite modülü ve poisson oranları kendi içerisinde ayrı ayrı değerlendirilmiş ve elyaf hacim oranlarının değişimlerine göre bu sonuçların değişimleri karşılaştırılmıştır. Daha sonra deneysel çalışmalar ile teorik hesaplar karşılaştırılmıştır ve uygunluğu kontrol edilmiştir.

# INVESTIGATION EFFECTS OF FIBRES VOLUME RATIOS TO MECHANICS PROPERTIES OF CTP

## SUMMARY

Key Words: glassfiber reinforcet plastics, composites, fiber volum ratio.

The glass fiber reinforced polyesters (GRP) is first modern polymer based composite material used mast commanly nowadays. These composites mainly consist of glassfiber (continuous or not) dispersied into matrix used as a mould. The glass fibers, which are reinforcement materials, improve the mechanical properties, however, the matrix prevents the formation of cleovages during deformation and dept together the reinforcement elements. Assent from this, the mast important factor assigned to the mechanical properties of GRP metarials is the reinforcement component. The propertion in the material and mechanical properties of glassfiber control the mechanical properties.

The aim this study is to investigate the influence of the different propertions of glassfiber used on the mechanical properties of the material in the glassfiber reinforced plastic based composite maaterials.GRP materials used in the experiments one the materials produced by pultruzyon method. These materials were supplied from 'Esa Chemical Metal'. The values related to the characteristics such as the properties of, fiber, mat and matrix in the sample, layer thickness and the properties of fiber and resin in the material were supplied from Esa Chemical metal and were used to in calculations.

The total 90 experiments were performed too 9 materials with the different volume ratios of the fiber. The pulling test was applied to the samples containing the glassfiber of various propertios. Therefee, the elasticity modülüs, which means the resistance of the meterial towards to shape elasticity, or the rigidity, and the poisson ratio, that is the propertien the lateral shape to the axis shape, was found, and the obfained valves was converted to the tables and the graphics. At the next step, theoretical calculsatiens was done by taking accant account of vales suplied from Esa Chemical Metal, and thes the elasticity modulus and poisson ratio were fount. The volves of elasticity modulus and poisson ratios were realited separaty and compared the results with respec to the chages of volum ratios of glassfiber. Firslly, experimental calculations were comparaed and controlled consistency of the rerul



## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde oldukça gelişmiş olan kompozit malzemeler, aslında binlerce yıldan beri kullanılmaktadır. Örneğin, çamur içine karıştırılan saman çöpleri ile yapılan kerpiç, bir kompozit malzemedir. Ok yayı yapılırken üst üste konulan, özellikleri ve lif yönleri farklı ağaç levhalar kompozit bir malzeme oluştururlar. Ayrıca ahşap, kemik gibi malzemeler, tabiatta bulunan doğal kompozitlerdir. İki veya daha fazla malzemenin, üstün özelliklerini tek bir malzeme toplamak ya da yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmeleri ile oluşturulan malzemeler, kompozit malzeme olarak adlandırılır. Örneğin mezopotamya da Babiller ve Asurlar tarafından çok farklı türde harç kullanmışlardır. Özellikle ilk uygulamaları M.Ö 3000’li yıllar da her türlü yapıda kerpiç ve tuğla kullandıkları görülmüştür. M.Ö 2800’lü yıllarda tabakalar halinde birleştirilmiş tahta parçaları, bunların dışında kil hamurunun içerisine katılan keçi kılları, saman içerisine karıştırılan saman çöpleri başlıca kullanılan kompozit malzemelerdir. Her aşamada insanlar günün koşulları ve ihtiyaçları doğrultusunda malzeme arayışı içinde oldukları görülmüştür. Bu arayış neticesinde 1868 yılında J.Hyatt tarafından polimer malzeme olarak selüloid buldu. Ancak modern plastik endüstrisi L.Baekeland tarafından 1909’da geliştirilmeye başlanmıştır. 1930’lu yıllarda plastik malzemeler önemli bir konuma gelmiştir [1]. Kolay şekil verilebilmesi, korozyon direnci, hafif olması gibi nedenler plastiğin ön plana çıkmasına neden olmuştur. Yalnız sert olmaları, dayanıklılıklarının düşük olması gibi dezavantajlar plastiğin inşaat sektöründe birincil malzeme olarak kullanılmasını engellemiştir. Bu eksikliklerin giderilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. 1950’li yıllarda plastik malzemenin içerisine katkı maddeleri katılarak güçlendirme yoluna gidilmiştir. Daha sonra istenilen düzeyde matris ve takviye malzemeleri kullanılarak çeşitli yapılarda kompozit malzeme üretilmiştir. Polimer matrisli kompozit iki ana bileşenden oluşmuştur.

Bunlar yük aktarımını sağlayan takviye kısmı ve takviye elemanlarını cepe çevre saran matris kısmıdır. Günümüzde en çok kullanılan polimer matrisli kompozitler; Cam takviyeli plastikler (CTP) ve karbon elyaf takviyeli plastiklerdir.

Cam takviyeli plastikler, reçinenin içerisine takviye malzemesi olarak cam liflerinin katılmasıyla elde edilen kompozit malzemedir. Kompozit içerisinde cam elyaf, sürekli veya süreksiz fazda bulunabilirler. CTP' leri elde etmek için çeşitli kalıplama yöntemleri olduğu gibi bunların en önemlisi Profil çekme ( pultrüzyon ) yöntemidir. Profil çekme yöntemi ile kalıplanan malzemeler inşaat sektöründe önemli bir yere sahiptir. Bu yöntem üretilen CTP' ler inşaat sektöründe birincil malzeme ve tamamlayıcı malzeme olarak kullanılma yönünde hızla ilerleme kaydedilmiştir. Bu metod kullanılarak elde edilen CTP' lerin avantajları; istenilen boyutlarda üretilebilme imkanı, seri üretim, yüksek mukavemet, istenilen özellikte malzeme üretilebilme kolaylığı sağlaması, sertlik, sınırsız kalıplama, yüksek su dayanımı, çok sayıda kimyasal maddeye dayanım, hava koşullarına dayanım, UV ışınlarına dayanım, istendiğinde yanmazlık, çok iyi elektrik ve termal özellik, düşük ısı iletkenliği, hacimsel fazda CTP üretimi için metallere daha az enerjiye ihtiyaç duyması, kendinden renklendirme kolaylığı, farklı mekanik özelliklerde elde etmek için farklı katmanlarda ve kombinasyonlarda malzeme üretilebilme imkanı sağlaması gibi üstün özellikleri sayesinde inşaat sektöründe birincil malzeme olarak kullanımına olanak sağlamaktadır. CTP' ler günümüzde inşaatın hemen hemen her safhasına girmiştir. İlk yıllarda daha küçük, taşıyıcı olmayan yerlerde kullanılırken günümüzde, oldukça ilerleme kaydetmiştir. Bütün bu gelişmeler göz önüne alındığımızda insanlık var oldukça bulunduğu ortama ve koşullarına göre malzeme geliştirme yoluna gidecektir. Bugüne kadar nasıl bu malzemeler geliştirildi ise bundan sonra da geliştirilmeye devam edecektir. CTP' ler günümüzde alternatif bir malzeme olma yönünde hızla ilerlemekte ve bu konuda çok çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. CTP' lerin en iyi özelliklerden bir tanesi farklı mekanik özellikleri elde edebilmek için farklı katmanlarda ve kombinasyonlarda malzeme üretebilme imkanı sağlamasıdır. O halde farklı mekanik özelliklerde malzeme elde etmenin en kolay yolu malzeme içerisindeki elyaf hacim oranlarının değiştirilmesidir.

### 1.1. Kompozit Malzemenin Tarihsel Gelişimi

Yapılarda kullanılan malzemeler, sağlamlık (strenght, katı) ve mukavemetlik (stiffness) gibi iki temel özelliğe sahip olmalıdır. Günümüz binalarında kullanılacak malzemelerde olması istenen sağlamlık, malzemenin kendi atalet kuvveti ve dış kuvvetlere karşı direnç gösterebilecek düzeyde olmasıdır. İkinci özellik ise mukavemet (stiffness) özelliğidir. Malzemeye çeşitli yükler uygulandığında malzeme mutlaka karşı direnç göstermeli ve deformasyona izin vermemeli ya da deformasyon oluyorsa bile çok küçük boyutlarda kalmalıdır [2]. Malzemenin mukavemet değeri, yük ile deformasyon arasındaki orantı ile belirlenir. Bu yüzden yapıda yüksek mukavemetli malzemeler tercih edilmelidir. Bununla birlikte, yapıda kullanılacak olan malzemeye yük uygulanıp sonra kaldırıldığında, yükleme durumunda gözlenen deformasyon ortadan kalkıyorsa bu tip malzemeler de kullanılabilir. Böyle bir özelliğe sahip malzemeler, genel olarak elastik yapıli malzeme olarak tanımlanırlar. Elastik malzemedede, yükleme durumunda yük ile deformasyon arasında eğer sabit bir oran varsa, bu tip malzemeye lineer elastik malzeme denir. Yapıda kullanılacak malzeme için sağlamlık ve mukavemetlik iki temel gereksinim olmakla birlikte malzeme, sünme yapmamalıdır. Eğer yapıda kullanılan bir malzemenin sünme özelliği varsa ne kadar sağlam ve mukavim olursa olsun en kısa zamanda yük ve ısı sayesinde şekil değiştirir, bu durum istenmeyen olaylar ile sonuçlanabilir. Ayrıca, malzeme hafif yani, yoğunluğu düşük olmalıdır. Hafif malzemeler yapıya büyük avantaj getirmektedir. Çünkü yoğunluğu fazla olan yapı malzemelerine, hareketli yükler (rüzgar, deprem, v.b.) karşısında, yoğunluğu az olan malzemelere göre, daha fazla kuvvet gelmektedir. Bunlara ek olarak, yapıda kullanılacak malzemeler sağlıklı ve güvenli olmalıdırlar. Güvenli olma kriteri ise herhangi bir zorlanma veya ağır yük karşısında deformasyonu belli bir seviyeye çıkabilir fakat ani kırılma, kopma veya yıkılma yapmamasıdır. Ayrıca, yangın anında ani alev almamalı, ısı karşısında ani deformasyona uğramamalı, erimemeli ve bu esnada zehirli gaz çıkarmamalıdır. Bütün bunları özet olarak toparlamak gerekirse, yapıda kullanılacak olan malzeme genel olarak sağlam, mukavim, yoğunluğu düşük, yanmaya karşı direnç gösterebilen ve sağlık açısından bir sakınca teşkil etmeyen malzemedir. Yapıda kullanılacak malzeme belirlendikten sonra, yapının şekli de kullanılacak olan malzemenin özelliklerine bağlı olarak tasarlanır. Örneğin, geniş açıklıklı kirişlerde kullanılacak

olan malzeme, büyük yükleri karşılamak için yüksek çekme, basınç ve kesme mukavemetine sahip olmalıdır. Ayrıca, yükleme durumunda deplasmanı minimum, yüksek sağlamlık ve hareketli yüklerin etkisini azaltmak için de yoğunluğu düşük olmalıdır. Eğer bir malzeme yüksek basınç mukavemetine karşı düşük çekme mukavemetine sahipse, yapı malzemenin zayıf olduğu yön dikkate alınarak dizayn edilmeli ve yükler genellikle basınç doğrultusunda çalıştırılmalıdır [3]. Bu duruma klasik bir örnek vermek gerekirse, kubbe ve yay biçimli yapılarda kullanılan malzeme olan tuğlaların özelliği, basınç mukavemeti yüksek fakat çekme kuvveti düşüktür. Bu özelliklerini göz önüne alarak yapılan dizaynda, yapıya gelen yükler basınç doğrultusunda taşınmakta ve malzemeye göre yapının nasıl dizayn edilmesi gerektiğine dair güzel bir örnek teşkil etmektedir. Diğer taraftan, eğer malzeme düşük sağlamlık, fakat buna karşın düşük sünme karakteristiğine sahip ise, bu tip malzemeler yüklerin ve esnemenin az olduğu yerlerde kullanılabilirler. Bu tip malzemelerin kullanım yerine örnek olarak, çatılar verilebilir. Çatıdaki yükler, kubbe tarzı formlarda olduğu gibi basınç yönünde taşınır, bu durumda yükün az olabilmesi için malzemenin özgül ağırlığı da düşük olmalıdır. Malzemenin çekme mukavemeti yüksek ise, yapı formu ters çevrilerek malzemeyi basınca değil de çekmeye çalıştırmak, oluşması muhtemel problemleri önler. Buradan çıkarılacak sonuç, yapının formunu yapıda kullanılacak malzemelerin özellikleri ile yakından ilgilidir. Mühendislikte yaşanan gelişmeler sonucunda, yapılarda bütün malzemelerin az çok kullanılabilmesi tespit edilmiştir. Yakın zamanda yapılan araştırmalar göstermiştir ki, yapılarda kullanılan malzemeler yapısal olarak iki gruba ayrılmıştır. Bunlardan ilki, malzemenin iç yapısı üniform olan homojen malzemeler; diğeri ise, genel olarak yeni nesil malzemeler olarak adlandırılan ve içerisinde iki veya daha fazla homojen malzeme bulunan kompozit malzemelerdir. Yapıda kullanılan, homojen malzeme olarak büyük bir oranda demir kastedilmektedir. Yeryüzü kabuğunun % 5'i demirden meydana gelmektedir [3]. Yaklaşık 3000 yıldır kullanılmakta olan demir, 19. YY'ın bağlarındaki endüstri devriminden sonra yapılarda kullanılan temel malzeme olarak yerini almıştır. Endüstri devriminin ardından ortaya çıkan buhar makineleri sayesinde, demirin işlenmesi için gerekli olan ısı ve diğer ihtiyaçlar sağlanmış oldu. Bu sayede, ucuz ürün elde edilmeye bağlandı. Bütün bu gelişmeler doğrudan mühendisliğe yansdı ve elde edilen gelişmeler büyük bir hızla yayılmaya başladı. İlk yapı malzemeleri olan ham demiri, patlamalı fırınlarda işleyerek dökme demir ve

dövme demir elde edildi. Dökme demir ucuz üretim yöntemi sayesinde, 19.YY'da geniş bir kullanım alanı buldu. Hatta dünyanın ilk demir köprüsü 1778 de İngiltere'de Coalbrookdale Kasabası civarında, Severn Nehri üzerindeki 31 m açıklığa sahip köprüdür [2]. Yapı malzemesi olarak kullanılan dökme demirin en büyük sorunu, düşük çekme mukavemeti ve kırılgan doğasıydı. En büyük avantajı ise, isminden de anlaşılacağı gibi döküm yöntemi ile üretildiği için istenilen her şekle sokulabilmesiydi. Ancak, böyle bir işlemi yapabilmek için yüksek ısıya, uygun kalıba ve doğal olarak yetişmiş kalifiye bir elemana ihtiyaç vardı. Bu nedenlerden dolayı, Bessemer ve Siemens dövme ve dökme demir yerine, korozyona nispeten daha dayanıklı olan çeliği keşfettiler [3]. Bessemer ve Siemens, eritilmiş demire yabancı maddeler olarak su, karbon ve demirin çekme mukavemetini arttıracak yönde çeşitli alaşımlar ekleyerek, çeliği keşfettiler. Dövme demir üretim yöntemine benzeyen çelik üretimi ile levha ve profil elde ettiler. Bu yeni keşfedilen malzeme, demir yollarında ve gemi imalatında sıkça kullanılmaya bağlandı. Büyük miktarda çeliğin üretilmesi, mühendislik alanında büyük ve olumlu bir yönde etki yaptı. Demir gibi kırılgan malzemeler, yerini yüksek çekme mukavemetine ve esnekliğine sahip, daha güvenli bir malzeme olan çeliğe bıraktı. Çeliğin, yapı malzemelerinden beklenen yüksek çekme ve basınç mukavemetine ek olarak dayanım, yük karşısında yüksek oranda gösterdiği lineer elastik davranış ve ısı karşısında sünme oranının ihmal edilecek kadar az olması; mühendislikte yeni bir çağır açtı. Bütün bunlara ek olarak; yük karşısında ani kırılma yapmaması da büyük bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Çeliğin yapı mühendisliğine girmesi ile yapıların şekilleri büyük bir değişime uğradı. Daha önce hayal bile edilemeyen, geniş açıklıklara sahip yapıları üretmek mümkün oldu. Bu başarıyı, günümüzde de çok büyük açıklıklı köprüler ve çatı makasları gibi yerlerde görmekteyiz. Bunla beraber, yaygın olarak kullanılan çeliğin, aşınmaya eğilimli olduğu ve çeliğin özelliklerinin korunabilmesi için alınacak önlemlerin maliyet açısından büyük yükler getirdiği fark edildi. Ayrıca, çeliğin yoğunluğunun fazla olması da diğer bir dezavantajıydı. Örneğin; yeni tür malzemeler sayesinde 20.YY'da geliştirilmeye bağlanan uçakların, sadece yüksek kuvvetlere dayanmayıp, aynı zamanda hafifliklerine de şahit olduk. Buradan çıkarılacak sonuç, yapılarda da kullanılacak olan malzeme çelikten daha az yoğunluğa sahip fakat onun kadar yüksek dayanım ve mukavemete sahip olmalıdır. Bu amaçla, 19.YY'ın sonlarında yapılarda kullanılmak amacıyla çeşitli malzemeler

üretilmeye bağlandı. Bunlardan biri olan alüminyum yoğunluk bakımından çeliğin dörtte biri olmasına rağmen mukavemeti de aynı oranda düşüktür. Bu yüzden yapıda taşıyıcı olarak kullanılmamaktadır. Alüminyumun tersine, titanyum ve bakır çeşitli yapılarda kullanılmıştır. Temel olarak, bir yapıda kullanılacak malzemelerin gereksinimlerini demir ve çelik karşılmasına rağmen; bu malzemelerin üretimlerinin zor olması, malzemeyi ekonomik olmaktan çıkarmaktadır. Bunların yerine üretimleri daha kolay, yeni nesil malzemeler olan kompozit malzemeler geliştirilmeye başlandı.

Kompozit, temel olarak iki veya daha fazla malzemenin bir arada kullanılması ile oluşan ve meydana geldiği malzemelerden farklı özelliklere sahip, yeni bir malzeme olarak tanımlanır [4]. Kompozit malzemeler binlerce yıldır, insanların farkında olarak ya da olmayarak, sorunların çözümü için kullandıkları malzemelerdir. Fakat bu yapay malzemeler üzerindeki araştırmalar son yüz yıl içerisinde büyük bir gelişme göstermiştir. Bu büyük gelişmeye, homojen malzemelerden kalan genel bilgi birikimi, analitik ve dizayn yapabilme becerilerinin katkısı da büyük olmuştur.

Kompozit malzemenin tarihi incelendiğinde, Orta Doğuda, fazladan eşilme dayanımı sağlamak amacıyla, ok yayları üzerine farklı lif yönleri oluşturacak şekilde konulan malzemeler, kerpiç yapı sistemleri ile MÖ. 2800'lü yıllara ait olduğu tespit edilen lamine edilmiş çeşitli tahta parçalarının Mısır'da bulunması ve buna ek olarak birçok yapıda kaya-çakıl gibi malzemeleri birbirine bağlamak için kireç, kum ve kil karışımından elde edilen bağlayıcı ile yapılmış kompozit malzemeler tespit edilmiştir [5]. Bulunan bu yapıştırıcı malzeme, yavaş donması, malzemeleri daha sağlam bir hale getirmesi ve düşük sıcaklıkta kolay şekil verilebilmesi nedeni ile hala en çok kullanılan yapı malzemesidir. Bu tip bağlayıcı karışımlar, yapı malzemelerinin mukavemetini ve dayanımını artırdığı için sürekli araştırma konusu olmuştur. Jhon Smeaton 1756 yılında içerisinde kireç, kalsiyum oksit, aluminat ve silikat bulunan bir karışımı Eddystone Fenerinin yapımında kullanmış ve bu gelişmeden kısa bir süre sonra, 1796'da James Paker kil ve kireç taşının karışımı ile elde edilen Roma Çimentosunun patentini almıştır [3]. Böylece 19.YY'ın sonlarına doğru çok büyük bir icat olan çimento keşfedilmiş oldu. Joseph Aspdin 1824 yılında, günümüzde de yaygın olarak kullanılan yüksek mukavemetli çimento yapımının ilk adımını atmıştır. Aspdin'in çimentosu, kireç ocağında yakılmış kil ve tebeşirin toz haline getirilmesi

ile oluşmaktaydı. Aspdin'in kullandığı temel malzemeleri çok daha yüksek sıcaklıklara kadar yakan Isaac Jhonson, 1845 yılında yeni bulduğu üretim yöntemi ile daha yüksek mukavemete sahip çimentoyu keşfetmiş oldu. Isaac Jhonson bu yeni üretim yöntemini Portland şehri yakınlarında bulduğu için, bu yeni ürüne Portlant ismini verdi. Bu icat, günümüzde de beton karışımlarında en çok kullanılan çimentolardan biri olmuştur. Çimento, taş, kum gibi beton karışımlarından beklenen sertlik ve rijitliği su ile sağlanmakta ve bu sayede karışıma çelik gibi kolay şekil verilebilmekteydi. Beton ile çelik arasındaki temel fark; beton, çelikten çok daha büyük alanlarda ve kütleli olarak kullanılabilen, ayrıca betona daha kolay şekil verilebilmesi nedeniyle plak veya baraj gibi kütle tarzı yapılarda kolaylıkla uygulanabilmekteydi. Bu yüzden çimento 20.YY'da en yaygın olarak kullanılan yapı malzemesi olmuştur.

Bu kadar yaygın olarak kullanılmaya başlanan beton, tek başına dökme demir gibi basınç mukavemeti çok yüksek fakat çekme mukavemetinin düşük olması nedeniyle, yeni yapı tasarımları için problem olmuştur. Bu sorunu gidermek için, çeliğin yüksek çekme mukavemetini betonun basınç mukavemeti ile birleştirmenin yolları aranmış ve sonunda çelik çubuklarının tek yönlü, temelden çatıya kadar kesintisiz olarak beton içerisine katılmasıyla aranan yüksek basınç ve çekme mukavemetine sahip yeni bir yapı malzemesi bulunmuş oldu. Bulunan bu malzeme günümüzde de kullandığımız güçlendirilmiş betondur. Güçlendirilmiş beton sonraki yıllarda üzerinde yapılan çeşitli çalışmalar sonucunda bir üst üretim yöntemi olan ön germeli beton üretimine kadar gelmiştir. Bu yüzden, günümüzde yaygın olarak kullandığımız beton tam anlamı ile bir kompozit malzemedir.

Bu yüzyılın başından itibaren, hem homojen hem de kompozitlerin üretimi ve geliştirilmesi üzerinde geniş çaplı araştırmalar yapılmakta ve yapılan bu araştırmalar genellikle organik maddeler olan ve yaygın olarak plastik diye tanımlanan süper polimerler üzerine kaymıştır. Bu malzemeler (süper polimerler) özellikle 2. Dünya Savaşından sonra hızlı bir yükseliş içerisinde olmuştur [3].

İlk termoset plastik, fenol ve formaldehit karışımı olan bakalittir. 1907 yılında Belçikalı kimyager olan Leo Beakeland tarafından üretilmiştir. Silikon, epoksi ve

polyester bu grupta yer almaktadır. Bu grupta yer alan ve yapı malzemelerinde en çok kullanılan süper plastik (reçine) ise polyesterdir. Fakat tek başına yapı elemanı olarak kullanılamaz. Çünkü, yük altında kullanım için yapı malzemelerinde aranan dayanım ve mukavemet değerleri nispeten düşüktür ve buna ek olarak da malzemede gözlenen sünme ise ihmal edilemeyecek düzeyde yüksektir. Betonda olduğu gibi, bu malzemenin üzerinde de çekme mukavemetini arttırmak ve yapıda taşıyıcı eleman olarak kullanabilmek için cam liflerinin de arasında bulunduğu birçok malzemeyle çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda, Polyester reçinesinin cam elyafları ile birleşmesinde gösterdiği uyum, bu ikilinin en çok tercih edilen malzemeler arasında yer almasını sağlamıştır. Takviye malzemesi olarak karbon ve boron elyafı gibi çeşitli elyaf cinsleri de denenmiş fakat ekonomik olarak en uygun olanın cam elyafı olduğu tespit edilmiştir. Bu geliştirilen teknolojik yapı malzemesi, yeni yapı tasarımlarında süratle kendisine yer edinmektedir. Örneğin, Londra'daki Merpoth okulunun ve Dubai Havaalanının çatı sistemleri CTP malzemeden yapılmıştır [3]. Kompozit malzeme, birbirleri arasında ayırt edilebilir farklılıkları olan iki ya da daha fazla malzemenin birleşimi ile oluşan ve bileşenlerine hiç benzemeyen yepyeni bir malzeme olarak tanımlanmaktadır.

Plastiğin yükselmesindeki önemli özellikler; kolay biçim verilebilir olması, metallere oranla düşük yoğunlukta olması, üstün yüzey kalitesi ve korozyona karşı dayanımdır. Bir çok üstün özelliğinin yanı sıra, sertlik ve dayanıklılık özelliklerin düşük olması plastik malzemelerin güçlendirilmesi için çalışmalar yapılmasına neden olmuştur. Bu eksikliğin giderilmesi amacıyla 1950' ilerde polimer esaslı kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Kompozitler, özellikle polimerik kompozitler yüksek mukavemet, termal kararlılık, sertlik ve aşınmaya karşı dayanıklılık gibi özellikleriyle pek çok avantajları vardır. Ayrıca kompozit malzemeler dayanıklılık ve sertlik yönünden metallere yarışmakla birlikte çok daha hafiftirler [6,7].

Kompozit malzemelerin tüm bu üstün özelliklerinden dolayı inşaat sektöründe birincil (taşıyıcı) eleman olarak kullanılmasının yolları aranmıştır. Bunun bir aşama daha üstü olarak; asma köprüler yapılmaya başlanmıştır. 18 Haziran 1997 yılında Danimarka'nın Kolding şehrinde, tren yolunun üzerine yapılan 40 m açıklığa ve 18,5 m yüksekliğe sahip kulesi ile toplam 12 ton ağırlığındaki CTP köprüdür. Bu köprü, 5



tona kadar araç ve  $500 \text{ kg/m}^2$  yayılı yük taşıma kapasitesine sahip olup, 18,5 m yüksekliğindeki kulesi ile hava sıcaklığını, rüzgarın yönünü ve şiddetini ölçen bir hava gözlem kulesi işlevi de görmektedir. En önemli özelliklerinden bir tanesi de, bu ebatlarda bir yapının CTP kullanılması durumunda, yerine montajının tamamen bitirilip kullanıma açılması, tren yolu trafiğinin az olduğu 3 hafta sonu (cumartesi ve pazar) gecesi yani sadece toplam 9 gece sürmüştür. Yapım hızı ve uygun maliyeti gibi özelliklerinden dolayı CTP ile imal edilen köprü 1997 yılında Alman Plastik Birliği'nden (German Reinforced Plastic Association) icatlar ödülü ve 1998 yılında da Danimarka Endüstri Birliğinden ürün ödülü almıştır [8].

## 1.2. Literatür Taraması

Elyaf olarak silan kaplı sürekli cam elyaf (E-camı), matris malzemesi olarak polyester kullanmak suretiyle tek doğrultuda bir kompozit malzeme üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin çekme dayanımlarının elyaf hacim oranı ve elyaf yönü ile değişimi incelenmiştir. Elyaf hacim oranı arttıkça çekme dayanımının da arttığı gözlenmiştir. Ayrıca elyaf hacim oranı arttıkça makro sertlik belli bir değere kadar artmaktadır. Elyaf hacim oranı sabit alınarak ( $v_e = \%40$ ) yapılan deneylerde, en yüksek aşınma direncinin paralel konumunda, en düşük aşınma direncinin dik (D) konumunda olduğu antiparalel konumda ise, sürtünme katsayısının paralel konumda daha düşük olmasına karşılık, aşınma direncinin bu konumda daha düşük olduğu belirlenmiştir [9].

Yapısal uygulamalarda kullanılmakta olan ince cidarlı kutu kesitli CTP kirişlerinin iki boyutlu gerilme ve tekrarlı yüklemeler altında davranışını incelemiştir. Yazarlar lif boyuna dik doğrultuda oluşan normal gerilme ve düzlem içi kayma gerilmesi şiddetlerinin küçük olmasına rağmen, tekrarlı yükler altında lif boyunca oluşan normal gerilmelere karşı kompozitin direncini önemli ölçüde azaltabileceğinin altını çizmektedir. Tekrarlı yükler altında malzeme dayanımını belirlemek amacı ile numuneler, dış yüzlere yerleştirilen  $0^0$  doğrultuda E tipi sürekli cam elyaf  $700 \text{ gr/m}^2$  ve iç yüze  $\pm 45^0$  doğrultuda E-tipi cam elyaf dokuma ( $450 \text{ gr/m}^2$   $225 \text{ gr/m}^2$ ) içeren 4 katmanlı kompozit kuponlardır. Polyester bağlayıcı ile oluşturulan lamine kompozit

numuneler  $15^0$  acı değişimleri ile  $0-90^0$  arası doğrultuda kesilerek hazırlanmışlardır. Statik yükleme deneylerinde 1 mm/ dak. hızında yükleme kontrolü kullanılarak basınç ve çekme kuvvetleri altında test uygulanmıştır. Yoğunluk mukavemeti deneylerinde de sabit genişlikte sinüzoidal dalga formunda yükleme kontrollü periyodik yüklemeler yapılmıştır. Deneyler numunelere  $10^6$  periyoduna veya kopmaya kadar tekrarlı yük etki ettirilmek suretiyle ifa edilmiştir. Kopozitlerin düşük periyotlarda çekme mukavemetlerinin basınç mukavemetlerine oranla daha yüksek olduğu, fakat daha yüksek periyotlara durumun tersine döndüğü rapor edilmektedir. Acısal değişiklik içeren numune davranışları incelendiğinde dayanım karakterlerinin eksen doğrultusundan saptıkça azaldığı ve anisotropik malzeme özellikleri gösterdikleri anlaşılmaktadır. Ayrıca aksiyel olmayan yükleme durumlarına göre oluşturulan eğriler CTP laminantlarının izotropik olmayan özelliklerini doğrulamaktadır. Deney bulgularına göre %5 ile % 0,25 gibi düşük lif boyuna dik / paralel gerilme oranlarında paralel gerilmelerin tekrarlı yükler altında tekrar sayısının % 35 oranında azalttığını deneysel bulguların statiksel değerlendirmesine bağlı olarak ispatlamaktadır [10].

Mevcut kullanım ömrü hesaplama yöntemlerinin sadece eğilme ve merkezkaç kuvvetlerine bağlı normal gerilmeleri hesaba kattığını, kayma ve enine normal gerilmeleri göz ardı ettiğini vurgulamaktadır. Kendi yaptıkları deneysel çalışmaların bulguları ışığında iki boyutlu gerilme halleri için tekrarlı yükleme sayısını tahmin eden modeli kullanarak CTP rüzgar değirmeni Türbin pervanelerinde enine doğrultuda 0,074 ve 0,06 oranında kayma ve normal gerilmelerin gelmesi halinde tekrarlı dayanım sayısının % 80 azalacağı hesaplanmaktadır. Ayrıca, deney sonuçları kullanılarak, kompozitlerin tekrarlı yükler altında dayanım sınırlarını tahmin etmeye yönelik FTPF ( failure tensor polynominal in fatigue) teorisinin doğrulanma çalışması yapılmaktadır.  $15^0$  kupan numuneleri dışında,  $30^0$ ,  $60^0$  ve  $75^0$  lik açılarda kesişmiş numunelerde teorisinin güvenli tarafta hesap yaptığı ifade edilmektedir [11].

Mühendislik uygulamalarında mukavemet/ağırlık oranının yüksek olması sayesinde çeliğin yerini alan cam elyaf ve karbon takviyeli kompozit malzemelerin darbe yükleri karşısında dayanıksız ve statik yükleme hızlarında elde edilen mekanik

özelliklerden farklı özellikler gösterebildiğini iddia etmektedir. Darbe yükleri altında malzeme davranışı Split Hopkinson bar test düzeneği ile araştırılmaktadır. Yöntemde darbe yükü ile iletilen şok dalgasının hızından numune yüzeyi arakesitinde yarattığı birim deformasyon hızlarında belirlenmektedir. Kullanılan numuneler Ampreg 20 epoksi bağlayıcılı E-cam elyaf takviyeli CTP ve UT-C300/500 karbon takviyeli kompozitlerdir. Her iki kompozitin normal deformasyon hızlarında davranışı doğrusal elastik özellikler göstermektedir. Enerji yutuculuğu yüksek deformasyon hızları da düşmekte, buna karşılık elastisite modülü ve nihai basınç dayanımında önemli artışlar kaydedilmektedir. Normal deformasyon hızlarında dayanım 495 ve 408 MPa olarak belirlenirken, yüksek hızlarda bu değerler 528 ve 672 MPa düzeyine yükselmektedir. Elastisite modülü için benzer değerler sırasıyla 4700 ve 6000 MPa da 19400 ve 23000 MPa ya yükselmektedir. Göçme modu deformasyon hızlarında kayma dayanımıyla kontrol edilirken, yüksek hızlarda delaminasyon yada fibre burkulmasıyla göçme oluşmaktadır [12].

CTP kompozitlerin, deneysel yöntemler ile elde edilen malzeme özelliklerini klasik laminasyon teorisi ile elde edilen mekanik malzeme özellikleri ile karşılaştırmaktır. Teorik yöntem güvenilirliği ASTM D3039 test standardı ile yapılmış bir dizi kupon testlerle karşılaştırılmıştır. Profil çekme yöntemi ile üretilmiş standart bir CTP kutu profilin mekanik özellikleri klasik laminasyon teorisi ile tahmin edilmiştir. Mikromekanik formüller yardımı ile takviye ve bağlayıcı malzemelerin takviye oranları doğrultusunda, kompozite kazandırdığı mekanik özellikler değerlendirilmiş, makromekanik formüller ile de bu bileşenlerin oluşturduğu kompozit formun mekanik özellikleri hesaplanmıştır. Teorik yöntem ile elde edilen elastisite modülü 26,7 Gpa bulunurken, testlerle elde edilen kompozitin elastisite modülü 27,4 Gpa olarak ölçülmüştür. Teorik olarak hesaplanan poisson oranlarının da (0,38), (0,29) test sonuçlarına göre çıkan değerler olmuştur [13].

Cam lif takviyeli silindirik tüp elemanların burkulma davranışını deneysel ve analitik olarak incelemektedir. Kompozitin yüksek mukavemet-kütle oranı yazarlar tarafından en önemli kullanım gerekçesi olarak gösterilmekte ancak ince cidarlı yapısı gereği burkulma davranışının titizlikle incelenmesi gerektiği rapor edilmektedir. Yazarlar e tipi cam lifi ve isopitalik polyester bağlayıcı ile 0-0<sup>0</sup>, 0-90<sup>0</sup>

ve  $\pm 45^\circ$  doğrultusunda dokunmuş 60 cm boyunda silindirik elemanlar araştırılmaktadır. Bu tür elemanların üretiminde dokumanın bindirme noktasında ve bağlayıcının kusması sonucunda kalınlık değişimleri gözlenmekte, böylece yükleme öncesi boyuna ve kesitsel geometrik eksentriste bulunabilmektedir. Geometrik üretim kusurlarının özellikle ince cidarlı tüplerde burkulma davranışını önemli ölçüde değiştirdiği vurgulanmaktadır. Lazer tarama yöntemi ile numunelerin yüzey düzensizliği % 15 oranında bir değişim olduğu vurgulanmaktadır. Sonlu elemanlar analizi ile ölçülen düzensizliğin yüzey elemanlarının düğüm noktalarında Fourier yüzey fonksiyonu ile tanımlamak ve akabinde doğrusal olmayan geometrik analiz ve doğrusal eigenvalue burkulma analizleri tatbik edilerek kullanılmıştır. Burkulma modları incelendiğinde malzeme kalınlığının azaldığı bölgelerde sinüs dalgası verdiği hem deneysel çalışma sonrası ölçümlerden hem de sonlu eleman analizlerinden belirlenmiştir. Yük-deformasyon eğrileri ve rijitlikler incelendiğinde deneysel ve analitik çalışma bulguları uyumlu bulunmaktadır. Ancak nihai basınç mukavemetleri analitik çalışmalardan bulunan değerlerin yarısı olarak belirlenmekte ve bu durum doğrusal elastik kabul edilen malzeme özelliklerinin gerçekte lamine teorisi CLT (elastical laminate theory) uymamasına bağlanmaktadır. Yazarlar sonlu elemanlar modellemesinin hem doğrusal olmayan, geometrik hem de doğrusal olmayan malzeme algoritması kullanılarak yapılmasının uygun olacağını ve geometrik yüzey düzensizliğinin mutlaka hassas olarak değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır [14].

Bu çalışmada elyaf hacim oranlarının malzeme mukavemetine etkisi araştırılmıştır. Bunun için, elyaf hacim oranları farklı olan 9 malzemede toplam 90 adet çekme deneyi yapılmıştır. Çekme deneyinde elastisite modülü, poisson oranları ve yüzde uzamaları elde edilmiştir. Farklı orandaki malzemelerden elde edilen bu değerler tablolar ve grafikler halinde verilmiştir. Bu çalışmadaki amaç istenilen malzemenin mekanik özelliklerini bildiğimizde, elyaf hacim oranları hangi oranlarda bir malzeme üretelim ki bu değerleri karşılarının cevabını bulmak olacaktır.

## **BÖLÜM 2. KOMPOZİT MALZEMELER**

İki veya daha fazla malzemenin, üstün özelliklerini tek bir malzeme toplamak ya da yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmeleri ile oluşturulan malzemeler, kompozit malzeme olarak adlandırılır. Kompozitler yapay ve çok fazlı malzemelerdir. Yapıyı oluşturan bileşenler, kimyasal olarak farklıdır ve fazları birbirinden ayıran belirgin bir ara yüzey bulunmaktadır [15].

Kompozit malzemelerin geleneksel malzemelere göre avantajı, bileşenlerinin en iyi özellikleri, bir araya getirmesidir. Mukavemet, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, korozyon dayanımı, kırılma tokluğu, yüksek sıcaklık özellikleri, ısıl iletkenlik, rijitlik, ağırlık, fiyat ve estetik görünüm gibi özelliklerinden biri veya birkaçı, kompozit malzeme üretimiyle iyileştirilebilmektedir.

Kompozit üretiminin bilinçli olarak ele alınması ve bilimsel yaklaşımlarla yeni malzemeler üzerindeki çalışmalar, 1940'lı yıllarda, cam takviyeli plastiklerin kullanımı ile başlamıştır. Önemli ilk uygulamalara örnek olarak radar kubbeleri gösterilebilir. Cam takviyeli plastikler elektromanyetik geçirgenlik, hafiflik, atmosfer koşullarına dayanıklılık ve mekanik özellikleri nedeniyle bu amaç için kullanılacak en uygun malzemelerdir. İlk cam takviyeli plastik tekne 1942'de yapılmış ilk elyaf sarma patenti ise 1946'da A.B.D.'de alınmıştır. 1950'lerde ise uçak pervaneleri kompozit malzemelerden yapılmaya başlanmıştır [16]. Günümüzde bu malzemeler, her alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Elyaf takviyeli gelişmiş kompozitler, kompozit malzemeler içerisinde ayrıcalıklı bir yere sahiptir. Hatta gelişmiş elyaf takviyeli kompozitlerin üretimi, jet motorundan sonra en büyük teknolojik devrim olarak nitelendirilir. Bu tür kompozitlere yüksek teknoloji kompozitleri de denilmektedir. Bunlar elastiklik modülü yüksek olan

karbon elyaf veya bor elyafla takviye edilmektedir. Diğer kompozitlere göre oldukça yüksek mukavemet ve rijitliğe sahiptirler. Yüksek mukavemetli çeliğe göre aynı mukavemet değerlerine sahip gelişmiş kompozitler, % 70 oranında daha hafiftirler. Bazı gelişmiş kompozitler, alüminyuma göre üç kat daha kuvvetlidir. Bu sebeple kompozitlerden imal edilen uçak parçalarının ağırlığı, geleneksel uçak malzemelerinden imal edilenlere göre % 60 oranında daha düşüktür [17].

Günümüzde uçak endüstrisinde, % 30'lara varan oranlarda kompozit malzeme kullanılmaktadır. Son 10 yılda uçak sanayinde kullanılan kompozit malzeme gelişimi, çeşitli aşamalardan geçmiştir. İlk aşamada kompozitler, uçakların bazı kısımlarında deneme amaçlı kullanılmaya başlanmıştır. Test uçuşları sonunda herhangi bir problem çıkmayınca, mevcut uçakların metal parçaları, kompozitlerle değiştirilerek kullanılmıştır. General dynamics firmasının ürettiği F-111'lerin gövdesinde kullanılan bor-epoksi çifti, yine aynı kuruluşun ürettiği Northrop F-5'lerin gövdesinde kullanılan grafit-epoksi çifti, bu uygulamalara örnek olarak gösterilebilir. Üçüncü aşamada ise, uçak tasarımı sırasında parçaların bir kısmının kompozit malzemelerden yapımı uygun görülmüştür. Grumman F-14 ve McDonnell-Douglas F-15'lerde kullanılan bor-epoksi, General Dynamics'e ait YF-16'larda kullanılan karbon-epoksi esaslı kompozitler, bunlara örnek olarak verilebilir. Alüminyum içine dizilmiş bor lifleri, 1000 °C üzerindeki sıcaklıklarda çalışan ve nikel-alüminyum alışıma içerisinde oluşturulmuş nikel-niobiyum levhaları ile kuvvetlendirilen malzemeler, uçak sanayinde kullanılan diğer kompozit malzemelerdir. Kompozit malzemeler üzerinde yoğun çalışmalar devam etmektedir. Özellikle gelişen teknolojinin malzeme gereksinimini karşılamak için tek çözüm olarak bu malzemeler görülmektedir. Bir çok kişinin hayalini, tamamen kompozit malzeme kullanılarak uçak üretimi süslemektedir [17].

Bir malzemenin kompozit malzeme olabilmesi için;

1. İnsan yapısı olması, dolayısıyla doğal bir malzeme olmaması,
2. Kimyasal bileşenleri birbirinden farklı ve belirli ara yüzleri ayrılmaz en az iki malzemenin bir araya getirilmiş olması,
3. Farklı malzemenin üç boyutlu olarak bir araya getirilmiş olması,

4. Bileşenlerinin hiç birinin tek başına sahip olmadığı özellikleri taşıması, dolayısı ile bu amaçla üretilmiş olması [18].

Yukarıdaki tanımlarda da yer alan “ malzemenin üç boyut olarak bir araya getirilmiş olması” ifadesi, burada fiziksel anlamda bir araya getirme, heterojen bir malzeme özelliği göstermekte, ancak makroskobik açıdan homojen bir malzeme gibi davranmaktadır. Buna örnek olarak cam takviyeli plastiği verecek olursak, cam lifleri ile plastiğin bileşmesiyle oluşmuş bir kompozit malzemedir. Malzeme ayrıntılı olarak inceleyecek olursa, seçilen her noktası, bileşimi oluşturan malzemelerden hangisine isabet ederse onun özelliğini taşıyacaktır. Ama bütün olarak baktığımızda farklı bir malzemedir.

### 2.1. Kompozit Malzemelerin Sınıfları

Bir kompozit malzeme, birbirleri arasında ayırt edilebilir farklılıkları olan iki yada daha çok değişik malzemenin birleşimi olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte, kompozitler genellikle mekanik özellikleri için kullanıldığından, bu tanım bağlayıcı bir madde ile desteklenen, 'takviye' (lif veya parçacık gibi) ihtiva eden malzemeleri de içermektedir [19]. Kompozitlerin, sürekli bağlayıcı kısımlarından daha sert, mukavim ve süreksiz olan parçacık kısımları vardır. Takviye malzemesini bir arada tutan ve homojen bir hacim yaratan, bağlayıcı bir maddeye ihtiyaç duyulmaktadır.

Kompozitler;

1. Takviye edilme şekillerine göre,
  - a) Parçacık takviyeli kompozitleri,
  - b) Elyaf (lif) takviyeli kompozitleri,
  - c) Lamine (levha) kompozitleri.
2. Matris elemanlarına göre,
  - a) Metal matrisli kompozit,
  - b) Seramik matrisli kompozit,
  - c) Polimer matrisli kompozit.

## 2.1.1. Takviye edilme şekillerine göre kompozitler

### 2.1.1.1. Parçacık takviyeli kompozitler

Bir takviye, eğer her doğrultudaki boyutları hemen hemen aynıysa, 'parçacık' olarak adlandırılmaktadır. Küre, pul, çubuk gibi eşit akslara sahip pek çok diğer şekillerde takviyeleri ihtiva etmektedir. Parçacık takviyeli kompozitler ortogonal gerekmeleri karşılayabilmeleri nedeniyle, iki boyutlu gerilme hallerinde ideal malzeme olarak görülmektedirler. Polimerler gibi, bünyesinde takviye amacı dışında parçacık bulunduran malzemeler de mevcuttur. Bunlar genellikle 'doldurulmuş' sistemler olarak bilinirler. Çünkü parçacıklar takviye amaçlı değil, maliyeti düşürmek için kullanılmaktadırlar. Yinede bazı durumlarda doldurucu, bağlayıcı maddeyi az da olsa güçlendirebilmektedir. Örneğin betonun içinde yer alan çakıl ve kum, takviyeden çok dolgu görevi görmektedir. Burada asıl mukavemeti sağlayan çimento harcının kendisidir. Aynı durum yangın yalıtımı, ısı iletkenliği arttırıcılık gibi, mekanik özellikleri iyileştirici amaçların dışında eklenen parçacıklar için de geçerlidir.

### 2.1.1.2. Lamine kompozitler

İki yada daha fazla katmandan oluşan farklı mukavemetteki levhasal elemanlarla teşkil edilmektedir. Hem sürekli hem de süreksiz olabilen katmanların kompozit davranışı etkileyen en önemli unsur, katmanların hiçbirinin üç yönde de sürekli olmamasıdır. Katmanlar arası kayma gerilmelerinin karşıladığı kısım bağlayıcıdır. Bu tür kompozitler membran gerilmelerinin karşılayacak biçimde, kendi düzlemi içinde ortogonal yönlerde (iki boyutlu gerilme hali) yük aktarma kapasitelerine sahip malzemelerdir. Ayrıca katmanların basınç ve çekme kapasitelerine göre tek boyutlu gerilmelerinde düzlem dışı eğilme için ideal iç yapıları oluşturmaktadırlar.

### 2.1.1.3. Elyaf takviyeli kompozitler

Liflerle donatılı kompozitler, kompozit malzemelerin önemli bir gurubu oluşturmaktadır. Bilindiği gibi, her malzeme çeşitli olumlu olumsuz özelliklere bir



arada sahiptir. Tasarımcı ve üretici, amaçlarına uygun malzemeyi seçerken, bilinçli yada bilinçsiz olarak birbirlerine seçenek oluşturan malzemeler arasında, nitelikleri her yönü ile değerlendirerek, içinde bulunulan koşullar altında en uygun olan malzemeyi seçmeyi hedeflemektedir. Kompozit malzeme üretimi mevcut temel malzemelerin olumsuz yanlarının iyileştirilmesi ve böylelikle kullanım alanının genişletilmesi, çok yönlü kullanımının sağlanması yönünde önemli bir adımı oluşturmaktadır.

Değişik malzemeler liflerle donatılarak çeşitli özelliklerini özelleştirmeye yönelik çalışmaların teorik yönü ile ele alınışının yeni olmasına karşın, ilk uygulamaların çok eskilere dayandığı bilinmektedir. Kerpiç malzemenin bitkisel elyaf ve samanla karıştırılarak yapılması, alçı hamurunda yine bitkisel lifler ile at kuyruğu ve yelesi gibi hayvansal liflerin, kılların kullanılması, asbest lifleri gibi inorganik malzeme kullanılarak çimento bağlayıcılı malzemelerin donatılması herkesçe bilinen örneklerden birkaçıdır.

Malzemelerin liflerle donatılması, öncelikle mekanik dayanımları daha iyi olarak kompozit malzeme üretmeye yöneliktir. Malzemeler, özellikle çekme, eğilme ve çarpma dayanımları gibi mekanik dayanımların iyileştirilmesi, gevrek kırılma özelliğinin kısmen giderilmesi amacı ile lifler kullanılmaktadır.

Liflerle donatılı kompozit malzeme de, en basit hali ile iki fazlı kompozit olarak ele alınabilmektedir. Kompozitin sürekli fazını, lifleri bir arada tutan ve kompozit içindeki hacim oranının yüksekliği nedeni ile kompozitin ana bileşeni olarak da düşünebileceğimiz matris malzemesi oluşturmaktadır. Bu matris içinde, lif olarak kullanılan malzeme ikinci bir fazdır. Lifin etkinliği, lif malzemesinin E-modülünün matrisin E-modülünden çok daha yüksek olmasına bağlıdır. Matris ve lif fazının E-modülü değerlerinin birbirine yakın olması halinde, lif fazı taşımaya yeterince katılamamakta ve dolayısıyla kompozit amaçlanan özelliklere sahip olmamaktadır.

Lifli kompozitlerde lifin taşımaya katılabilmesi için matris üzerindeki mekanik etkinin life iletilmesi gerekir. Burada lif ile matris arasında herhangi bir kimyasal bağ yoktur ve iletim kayma kuvveti ile olacaktır. Dolayısı ile lifle matris arasında, meydana gelebilecek kayma gerilmelerine dayanabilecek düzeyde bir aderansın

bulunması gerekmektedir. Ayrıca, fazlar arasında kimyasal etkileşimin olmaması ve yine fazların ısı genişmesi değerlerinin kompozitin yapısını bozacak düzeyde farklılık taşımamamsıda öngörülmektedir.

Lifli kompozitlerde özellikle çekme, eğilme, çarpma dayanımlarında önemli artışlar olmaktadır. Dolayısı ile bu tip kompozit malzemede, sözü edilen çekme, eğilme gibi gerilmelerin birim ağırlığa oranı da diğer malzemelere göre daha yüksektir.

Bir boyutu diğer boyutlarına oranla çok fazla olan malzemelerin hacim içindeki konumu, lifli kompozitlere has özellik olan “lif yönü” ile ilgili bir diğer kriteri oluşturmaktadır. Lif yönü, kompozitin dayanımı ve liflerin taşımaya katkısı açısından önemli bir faktördür. Dolayısı ile yönlendirilmiş lif donatılı kompozitler değişik yönlerden farklı özellikler gösterirler. Liflerin matris içinde rast gele geliştiği güzel dağılmış olması halinde malzeme izotrop kabul edilir. Bu durumda kompozitin özellikleri yöne bağlı olarak değişmez.

Sünek matrisli ve kırılğan lifli kompozitlerde, malzemenin matris fazını epoksi, polyester, fenolik reçine, melamin reçinesi gibi organik maddeler oluşturur. Bu kompozitlerde, matris malzemesine oranla daha kırılğan özellikler taşıyan cam ve seramik esaslı lifle, asbest lifleri, yüksek dayanımlı çelik lifler kullanılmaktadır. Sünek matrisli ve kırılğan lifli kompozitlere örnek olarak, ülkemizde de yaygın üretimi ve çok yönlü kullanımı olan cam lifi donatılı polyester reçinesi gösterilebilir. Bu malzeme dilimizde uzun yıllar, kısmen de hatalı biçimde “Fiberglas” adıyla anılmıştır. Günümüzde cam elyaf takviyeli plastik adıyla yaygınlaşmıştır. Göreceli olarak daha ucuz olan cam elyaf takviyeli plastikler, genellikle otomotiv endüstrisi, elektrik- elektronik endüstrisi, kimya endüstrisi, gemi inşa endüstrisinde ikame malzemesi olarak kullanılmaktadır. Havacılık endüstrisinde ise hafifliğin ve yüksek mekanik dayanımın belirleyici olması nedeniyle, pahalı takviye elyafları kullanılmaktadır. CTP İnşaat sektöründen ve çeşitli sektörlerde; mukavemet/ağırlık oranı avantajı ve sertlik, sınırsız kalıplama boyutları, kolay üretim, çok sayıda üretim tekniği, küçük sermaye yatırımı, tasarım esnekliği, diğer malzemelerle bağdaşma olanağı, mükemmel su dayanımı, çok sayıda kimyasal maddeye dayanım, hava koşullarına dayanım, UV ışınlarına dayanım, kendinden renklendirme olanağı,

istendiğinde yanmazlık, isteğe bağlı olarak ışık geçirgen özellikte üretebilme olanağı, çok iyi elektrik ve termal özellik, farklı mekanik özellikleri elde etmek için farklı katmanlarda ve farklı kombinasyonlarda malzeme üretilir bilinir olma imkanı sunması, hacimsel fazda CTP üretimi için metallere daha az enerjiye ihtiyaç duyulur ve İstenilen mukavemette ve özellikte üretebilme kolaylığı gibi avantajları sayesinde çok sayıda kullanım alanları bulmuştur. CTP' lerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada ise malzeme içerisindeki elyaf/hacim oranlarının mukavemete etkisi incelenmiştir. Bu konudaki deneysel çalışmalar bölüm 5'de sunulmuştur.

## **2.1.2. Matris elemanlarına göre kompozitler**

### **2.1.2.1. Metal matrisli kompozitler**

Bu gruptaki kompozitler, genellikle alüminyum, bakır, magnezyum, titanyum gibi hafif metal ve alaşımların matris işlevleriyle; karbon, boron ve diğer bazı metal elyaf, parçacık, plakacık, whisker yapısında takviye fazını oluşturmasından meydana gelmektedir. Bu karma malzemeler daha üstün mukavemet, aşınma, korozyon, sertlik özellikleriyle nükleer güç ekipmanlarında, gaz türbinlerinde, uzay-havacılık ve otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Bu malzemelerin üretim süreçlerinde yeni geliştirilen son-net şekil verme teknikleri başarı ile uygulanmaktadır [20].

### **2.1.2.2. Seramik matrisli kompozit**

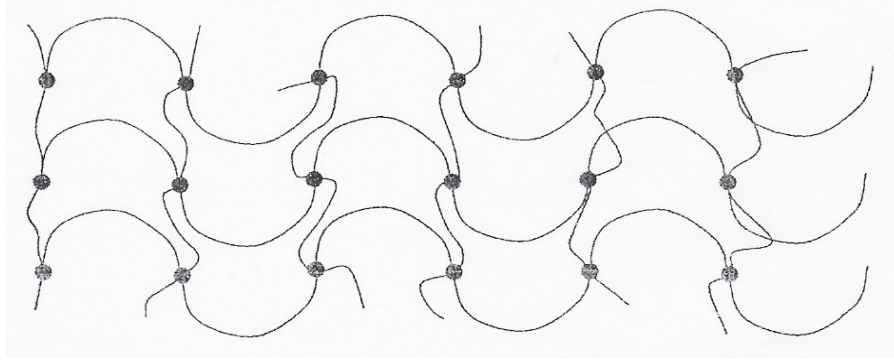
Seramik matris malzemelerinin ( $Al_2S_3$ ,  $Ni_3N_4$ , SiC gibi), seramik veya metal parça, plaka, kristal veya elyaf olarak takviyesiyle oluşturulan, üstün ısıl dayanım ve mukavemete sahip malzemeler grubudur. SMK malzemeler genellikle, nükleer uygulamalarda, gaz türbinlerinde ve uzay-havacılık sektöründe kullanılmaktadır [20].

### 2.1.2.3. Polimer matrisli kompozit

Plastik-polimer gurubu matriks malzemelerin çoğunlukla elyaf formunda sert, dayanımlı malzemelerle takviye edilmeleri veya pekiştirmeleri kısaca bu guruptaki kompozit malzemeler gurubunu oluşturmaktadır. En tipik örnek, artık günümüzde gelenekselleşmeye başlayan ve “fiberglas” olarak bilinen polyester esaslı reçinelerin cam elyafla takviyesiyle üretilen malzemelerdir. Ancak ileri kompozit gurubunda daha üstün fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip elyaflar kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüksek dayanım (çekme ve basma dayanımı), yüksek elastik modülü ve yüksek tokluğa sahiptir.

Yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerin, yani makro moleküllerin varlığı ilk Hermann Staudinger tarafından öne sürülmüş ve geçen kısa bir içinde polimerler günlük yaşamımızın hemen her safhasında kullanılır hale gelmiştir. Sahip oldukları üstün özellikleri nedeniyle polimerik malzemelerin kullanım alanları giderek yaygınlaşmaktadır. Polimerlerin başlıca avantajları, hafif oluşları, korozyona karşı dayanıklı oluşları ve kolay işlenebilirlikleridir. Yapı malzemeleri olarak ta polimerlerin çok büyük bir önemi vardır. Bugün dünyada üretilen polimerlerin yaklaşık %30' u her sene inşaat mühendisliği ve yapı endüstrisinde kullanılmaktadır. Polimerler monomer adı verilen küçük moleküllerin art arda dizilmesi ile oluşan uzun zincirli yapılardır. Tek bir polimer zincirinde binlerce ya da milyonlarca monomer bulunur. Polimer zincirini oluşturan monomerlerin özellikleri ve zincirlerin birbirleri ile olan etkileşimleri polimer malzeme özelliklerinde belirleyici olmaktadır. Genelde polimer denince ilk akla organik polimerler gelmesine rağmen inorganik polimerler de oldukça yaygındır. Polimer zincirleri doğrusal yani lineer olabildiği gibi dallanmış yapıda da olabilir, bu durumda ana zincirden yan dallar ayrılmaktadır. Yan dallar başka ana zincirlere bağlanıyorsa oluşan polimerlere çapraz bağlı polimerler denir ki, günümüzde kullanılan polimerlerin yarıya yakını çapraz bağlı yapıdadır. Çapraz bağlı polimerler hiç bir solventte çözünmezler ancak sıvıları emerek şişerler ve bir jel oluştururlar. Şekil 2.1'de lineer bir polimer zincirinin şematik görünüşü görülmektedir. Genelde polimerlerde kristal ve amorf bölgeler bir arada bulunmaktadır. Kristal bölgeler malzemeye sertlik ve kırılmalık, buna karşılık amorf bölgeler malzemeye tokluk verir. Dolayısıyla malzemenin kristallik derecesi

mekanik özelliklerinde çok önemlidir. Düzenli yapılar ya da lineer zincirler kristal oluşumunu kolaylaştırır. Moleküller arası çekim kuvvetleri de kristalliği arttırmaktadır. Polimerlerin termal özellikleri onların erime ve camsı geçiş sıcaklıkları ile tanımlanır. Polimer zincirleri donmuş, kauçuksu yapıdadır. Bu sıcaklıkları yan gruplar ya da zincirin sertliği belirlemektedir. Polimerlerin mekanik özellikleri ise çekme-uzama testleri ile belirlenir [21].



Şekil 2.1 Elastomerin seyrek ağırlaşmış iç yapısı [22]

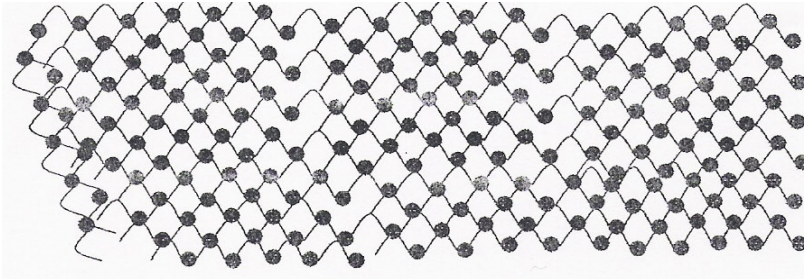
İçyapılarına göre plastikler, termosetler ve termoplastlar olmak üzere ikiye ayrılır.

#### a) Termoplastikler

Termoplastlar, makro molekülleri arasında sadece van der Waals bağı bulunan lastiklerdir. Makro molekülleri birbiriyle bağ oluşturmuştur. Bunlar ya lineer dizilmişlerdir ya da dallanmış durumdadırlar. Aralarındaki bağların Van der Waals bağı olmasından dolayı sıcaklığın artmasıyla mukavemet değerlerinin de azalacağı bilinmelidir. Bu sebeple plastiklerin kullanım sıcaklıklarının üst sınırları metallere göre düşüktür. Termoplastların makro molekülleri ya aynı cins (homopolimer) veya farklı cins moleküllerdir (kopolimer). Ayrıca çeşitli termoplastların birbiriyle karıştırılmalarıyla makro moleküller düzeyinde bir karışım olacaktır. Bunlara poliblend adı verilir [21].

## b) Termosetler

Termosetler, monomerler arasında olduğu gibi, makro molekülleri arasında da kovalent bağ bulunan plastiklerdir. Makro moleküller birbiriyle ağ oluşturacak şekilde kovalent bağlar ile bağlanmıştır. Şekil 2.2’de termoset malzemelerin iç yapısı görülmektedir. Aralarındaki bağların kovalent bağ olmasından dolayı kalıp içinde ağlaştıırılıp imalatı tamamlandıktan sonra, ısıtılarak tekrar şekillendirilmeleri imkansızdır. Bunun sonucu olarak da sıcaklığın artmasıyla mukavemet değerinde de azalma olmaz [22].



Şekil 2.2 Termosetlerin sık ağlaşmış iç yapısı [22]

Başlıca termoset plastikler, epoksiler, polyester, fonelik, silikonlar ve polimide lerdir. Tablo 2.1’de bazı termosetlerin mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.1 Bazı termosetlerin mekanik özellikleri [17]

Malzeme	Çekme Dayanımı [MPa]	% Uzama	Elastisite Modülü [GPa]	Yoğunluk [gr/cm <sup>3</sup> ]
Fenolik	34-62	0-2	2,8-9	1,27
Polyester	41-90	0-3	2,1-4,5	1,28
Epoksi	28-103	0-6	2,8-3,4	1,25
Slikon	21-28	0	8,3	1,55

## 1. Epoksi

Epoksi reçineler, yüksek mukavemetli CTP kompozitlerinde sıkça kullanılan bir matrikstir. Epoksi reçineleri neme karşı hassas olsalar bile, polyesterlere karşı daha üstün özellik göstermektedirler. Isıl işlem görmemiş epoksiler, düşük polimerizasyon derecesine sahiptir. Bu yüzden, epoksinin moleküler ağırlığını ve çapraz başını arttırmak için ısıl işlem uygulanır. Isıl-ışlem görmüş epoksilerin dayanımı yüksek, ısı ve kimyasallara karşı dirençleri iyidir. Yüzey kaplamaları, endüstriyel döşemeler, yapıştırıcılar ve CTP' lerde matriks malzemesi olarak kullanılırlar. Ayrıca epoksinin yalıtım özellikleri nedeni ile çeşitli elektronik uygulamalarda, örneğin transistor ve baskı devre plakalarında da kullanılmaktadır.

## 2. Polyester

Polyester kelimesi birleşik bir kelime olup, çok anlamındaki “poly” ve organik tuzu ifade eden terim olan “ester” den oluşur. Polyester kelimesi çok sayıda organik tuz olarak ifade edilebilir. Ayrıca ester molekül zincirlerini de Polimer olarak tanımlayabiliriz. Doymamış polyester reçinelerin ilk pratik uygulama örneğin, 2. Dünya savaşındadır. Fakat cam elyafı ile takviye edildiğinde, çok sağlam ve hafif bir malzeme olduğunun anlaşılması 1950'lerdedir. Günümüzde doymamış polyester reçineler, ilk hallerine göre çok daha üstün özelliklere sahiptirler. Doymamış polyester reçine, Türkiye'de ve dünyada CTP üretiminde en yaygın olarak kullanılmaktadır ve takviyeli plastikler içinde ise termoset grubunda yer alan bir malzemedir. Basit kalıplama tekniklerden, en karmaşık makineleşmiş kalıplama tekniklerine kadar her tür kalıplama tekniğine hitap eder. Polyester reçineler, çok geniş bir kimyasal aileyi kapsar ve genel olarak dibazik asitlerle polihidrik alkollerin kondensasyon reaksiyonu sonucunda elde edilirler [23]. Kullanılan dibazik asit türüne bağlı olarak, doymamış polyester reçineler, kompozitin genel amaçlı veya kimyasal dayanımlı olmasını sağlayacak şekilde “ortoftalik” veya “izoftalik” olarak adlandırılır. Bu reçineler, kimyasal etkilere dayanıklı boru ve reaktörlerde, tren vagonlarında, iş aletlerinde, duş kabinlerinde, otomotiv gövde, parça ve kapılarında kullanılmaktadır. Genel amaç, kimyasal etkilere karşı yalıtımın ve ısı geçirimsizliğinin sağlanmasıdır [15].

### 3. Fenolik

Ticari ismi bakalit olan fenolikler tahta ununun, selüloz elyafları ve kalıplama malzemesi olarak kullanılan minerallerin birleştirilmesinde kullanılır. Fenolikler, gevrek yapıya sahip olmalarına karşın kimyasal ve boyutsal kararlılığı iyidir. Bununla birlikte, malzemeye koyu renkler verilebilmekte fakat diğer renkler sınırlı olarak uygulanabilmektedir. Fenolikler toplam reçine kullanımının %10'unu kapsar. Bu reçineler genellikle ahşap yapıştırıcısı, baskı devre plakaları ve fren balatası yapımında başlayıcı olarak kullanılmaktadır.

### 4. Silikon

Silikonlar, inorganik ve yarı-inorganik polimerlerin molekül yapılarında tekrarlanan siloxane başının farklı şekillerde bağlanması ile üretilen bağlayıcı, elastomer, termoplastikler ve termoset gibi 3 çeşitte bulunurlar. Termoset silikonlar çapraz bağlara sahiptirler. Bu tip reçineler boyama, parlatma ve kaplama işlerinde kullanılırlar.

### 5. Polymide

Diğer reçinelerin aksine, polymide reçineler kür esnasında gaz açışa çıkaran bir yoğunlaşma reaksiyonu ile işlenmektedir. Bu esnada çıkan gaz, kompozitin içinde hava boşlukları oluşturduğundan mukavemet kaybına yol açmaktadır. Fakat bu durum, polymide reçinelerin, 260 °C' lik sıcaklıklarda bile kullanımını mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte, polymide reçinelerin son kür esnasında gaz çıkarmayan birkaç cinsi de mevcuttur [15].

### 6. Bismaleimide (BMI)

Bismaleimide reçineler, epoksi reçineleri gibi, iyi mekanik özelliklere sahiptirler ve nispeten işleme kolaylığı sağladığından matriks olarak aranan bir malzemedir. Epoksi reçinelere kıyasla ısı dayanımı yüksek olup, 205-220 °C' ye kadar güvenle kullanımı mümkündür. Fakat bu tür reçinelerde çekme mukavemetinin düşük, çekme



modüllerinin ise nispeten yüksek olması nedeniyle gevrek kırılma yaparlar.

## 7.Amino Reçineler

Bu reçine cinsi, çok katı ve parçacıkla yapıya sahip plakalarda yapıştırıcı malzeme olarak kullanılmaktadır. Fakat fiyat olarak fenoliklerden pahalıdır.

## 2.2. Kompozitlerin Özellikleri Üzerine Etki Eden Faktörler

Gelişmiş elyaf takviyeli kompozitler, her biri farklı yönlerde takviye edilmiş çok sayıda tabakadan oluşur. Böyle bir malzemenin özellikleri, örneğin metaller gibi homojen ve izotrop malzemelerden çok farklıdır. Bu tür malzemelerde özellikleri etkileyen parametrelerin başında, bileşenlerin türü, elyaf hacim oranı, elyaf yönlenmesi, lif-matris ara yüzey özellikleri ve hızlandırıcı %'si gelmektedir [13].

### 2.2.1. Lif- matris ara yüzeyi

Lif-Matris ara yüzeyinin yapısı ve özellikleri, kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde çok önemli rol oynar. Bilindiği gibi elyaf takviyeli kompozit malzemelerde, malzemeye uygulanan yük, lif-matris ara yüzeyi tarafından liflere iletilir. Özellikle, oluşan ara yüzeyin kayma mukavemeti, kompozit malzeme mukavemeti ve rijitliğin kontrol edilmesinde en önemli parametredir [23].

Lif-matris çok güçlü bir yapışma olması durumunda, elyaf takviyeli kompozit malzeme yüksek mukavemet ve sertlik gösterir, yapı kırılma olur. Eğer ara yüzey boyunca zayıf yapışma var ise, malzemenin sertlik ve mukavemeti düşük olur.

Termoset reçinelerin kevlar lifleriyle oluşturduğu ara yüzeyin, termoplastiklere göre daha kuvvetli yapışma özelliği gösterdiği saptanmıştır [24].

Liflerin matrisle daha iyi yapışma özelliği olan bir ara yüzey oluşturmasını sağlamak için, lifler genellikle uygun bir kimyasal madde ile kaplanır. Yüzeyi silan ile kaplanmış elyafla üretilen polyester esaslı kompozit malzemenin mukavemet özelliklerinin, yüzey kaplamasız elyafla üretilen malzemeye göre oldukça yüksek

olduğu görülmüştür. Silan, polyester ile daha iyi ara yüzey bağı oluşturmakta ve özellikleri iyileştirmektedir [23].

### 2.2.2. Elyaf hacim oranı

Teorik olarak malzemenin elyaf hacim oranı arttıkça, mukavemetinin de artması gerekir. Oysa mukavemet belirli bir kritik hacim oranına azalmakta daha sonra artmaktadır. Bu oranın üst limiti, elyafın matris tarafından sarılabilmesi bağlıdır. Teorik olarak bu oran, % 91 denilmesine karşılık, pratikte % 80 olarak uygulanır [2]. Değişik çalışmalarda, hacim oranının malzemenin mekanik özelliklerine etkisi ele alınmıştır. Eğilme mukavemetinin, %10 elyaf ağırlık oranına kadar azaldığı, bu orandan sonra ise arttığı görülmüştür. Malzeme sertliğinin ise elyaf hacim oranı arttıkça, arttığı saptanmıştır [25].

Kevlar-epoksi esaslı ve tek doğrultuda sürekli elyaf takviyeli kompozitin çekme dayanımı, elyaf hacim oranı arttıkça artmaktadır. Düşük elyaf hacim oranlarında deneysel eğrinin karakteristiği, karışımlar kuralından hesaplanan eğriye yakınken, elyaf hacim oranı arttıkça bir miktar doğrusal olmayan sapma görülmektedir [26].

Polyester esaslı ve cam keçe takviyeli diğer bir çalışmada, elyaf hacim oranı arttıkça kırılma tokluğu, çekme özellikleri ve elastiklik modülünün önemli derecede arttığı görülmüştür. Kırılma tokluğunun numune boyutlarından bağımsız olduğu saptanmaktadır [27].

### 2.2.3. Elyaf yönlenmesi

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini etkileyen faktörlerden biri de elyaf yönlenmesidir. Elyaf lar tek yönde olduğu gibi, birbirine dik vaziyette veya rasgele yönlenmiş olabilirler. Lifler tek yönde yönlendiğinde, elyaf yönünde maksimum mukavemet elde edilir. Bu durumda, özellikler yöne göre büyük ölçüde değişmektedir. Diğer yönlenmelerde ise maksimum mukavemet elde edilememekte, özellikler bütün yönlerde aynı olmaktadır [16].

Diğer taraftan tek doğrultuda sürekli elyaf takviyeli kompozitlerin eksen dışı (off-axis) yüklenmeleri durumunda, çekme mukavemeti değişik kırılma kriterlerine göre yaklaşık olarak tahmin edilebilmektedir. Eksen dışı uygulanan gerilme sonunda malzeme üç değişik şekilde kırılmaktadır.  $\alpha = 0^\circ$  'a yakın olduğu durumlarda liflere paralel yönde kırılma gerçekleşmektedir. Şayet  $5^\circ < \alpha < 20^\circ$  olursa, bu durumda kırılma, tabakalar arası kayma şeklinde olmaktadır.  $45^\circ < \alpha < 90^\circ$  arasında ise kırılma çapraz şekilde gerçekleşmektedir.  $18^\circ$  ile  $42^\circ$  arasında kırılma, bu iki kırılmanın karışımı şeklinde olmaktadır. Bu aralık dışında hangi kırılma mekanizması daha baskınsa, ilgili dönüşüm kullanılarak maksimum gerilme kriteri uygulanabilir.

Bu dönüşümler;

$$\sigma_1 = \sigma_a \cdot \cos^2 \alpha \quad (2.1)$$

$$\sigma_1 = \sigma_a \cdot \sin^2 \alpha \quad (2.2)$$

$$\tau_{12} = \sigma_a \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \quad (2.3)$$

eşitlikleri ile verilir [6].

Karışık kırılma bölgesinde çekme mukavemeti ise;

$$\sigma_1 = [\cos^4 \alpha / \sigma_1^2 + (1 / \tau_{12}^2 - 1 / \sigma_1^2) \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha + \sin^4 \alpha / \sigma_2^2]^{-1/2} \quad (2.4)$$

Diğer taraftan çeşitli formlarda cam takviye kullanılarak üretilen polyeşter esaslı kompozit malzemenin yönlenebilir olarak elastiklik modülü araştırılmıştır. Düzlemsel dokuma kullanılan kompozitlerde, elastik modülü  $0^\circ$  den  $45^\circ$  ye kadar minimum,  $0^\circ$  den  $90^\circ$  lerde ise maksimum elastiklik modülüne sahiptir. Sürekli ve tek yönlü elyaf ile takviye edilen kompozitlerde, elastik modülü, elyaf yönünden uzaklaştıkça azalmaktadır. Düzlemsel keçe de ise elastiklik modülü yönden bağımsız, izotropik bir davranış sergilemektedir [28].

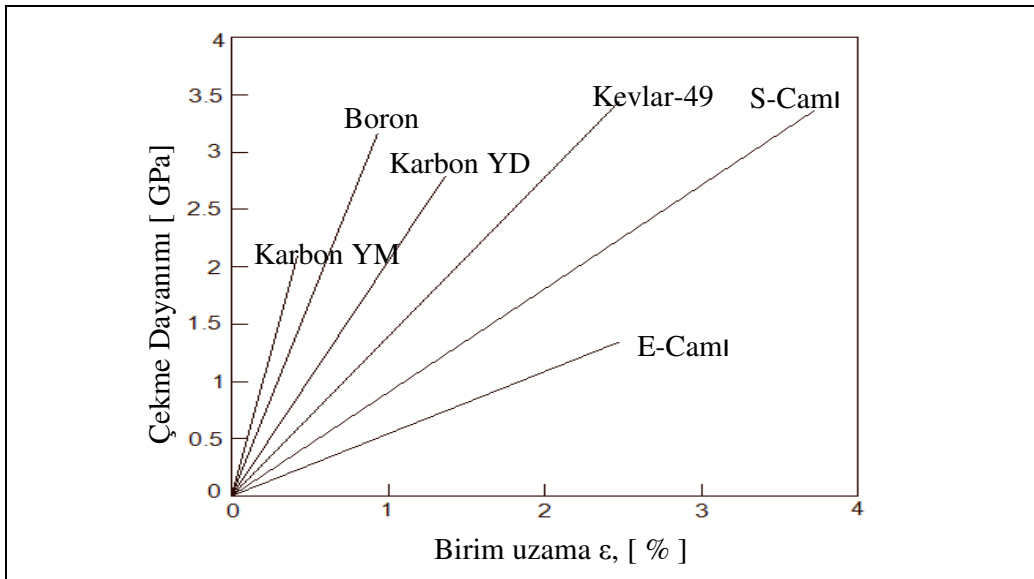
### 2.2.4. Hızlandırıcı

Bazı matris malzemelerinin sertleştirilebilmesi için hızlandırıcı olarak katalizör kullanılır. Kullanılan bu malzeme polimer zincirine katılmayıp, yapıda süreksizlik olarak kalır. Bu nedenle katalizör optimum miktarda kullanılmalıdır.

Polyester-cam elyaf yapılı kompozitleme üzerinde yapılan araştırmada, sertleşme için gerekli optimum hızlandırıcı oranı % 1,23 olarak belirlenmiştir [23]. Bu oranda hızlandırıcı katıldığında, en yüksek mukavemet değerlerine ulaşılmaktadır.

### 2.3. Kompozit Malzemelerde Kullanılan Başlıca Elyaf Türleri

Elyaf kompozit malzemenin mekanik özelliklerini belirleyen ve yük taşıma mekanizmasını sağlayan en önemli bileşendir. Elyaf bazı teknik literatürde lif olarak da adlandırılırlar. Takviye elemanı olarak kullanılan başlıca lif çeşitleri şunlardır. Cam elyaflar, Karbon elyaflar, Aramid elyaflar, Organik elyaflar, Boron elyafı ve Sürekli Silikon Carbide (SIC) elyaflarıdır. Elyafın Çekmede birim uzamaları Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3 Değişik türlerinin elastiklik modülleri [29]

### 2.3.1. Karbon elyafları

En basit haliyle karbon elyafı yapay ipek malzemenin ısı ile ayrıştırılmasıyla elde edilmektedir. İşlem, ihtiyaç duyulan karbon yapısını oluşturmak için. Yüksek kontrollü aşama ve gerilimleri kapsamaktadır. Günümüzde yapay ipek (rayon) yerine, büyük ölçüde polyacrylonitril (PAN) kullanılmaktadır. PAN ile çok daha ekonomik elyaflar üretme imkanı vardır. Çünkü karbon kazancı yüksektir ve son yüksek sıcaklık 'graphitization' prosesine ihtiyaç duyulmamaktadır.

Yüksek performanslı kompozit arayışlarına karbon ve grafit elyafları cevap verebilmektedir. 80' li yıllara kadar üretim tekniklerinin yetersizliği ve zor elde edilmesi dolayısıyla maliyetler oldukça yüksek olmaktadır. Bu yüzden sadece havacılık gibi çok özel alanlarda veya yüksek gerilme alan parçalarda sınırlı miktarda kullanılabilirdi. Günümüzde grafit ve karbon elyaflarının maliyetlerinin düşüşü ile spor malzemesi sektöründe tenis raketi, sırık, snowboard gibi daha güncel kullanımlar için uygulamaları mümkün olabilmektedir. Ancak maliyetler hala inşaat sektörünün tolere edebileceği düzeylere inmemiştir. Karbon elyaflarının depremde hasar gören yapıların takviyesinde uygulaması, oldukça yüksek maliyetler karşılığında kısıtlı da olsa yapılabilmektedir.

Düşük maliyetli, yüksek performanslı karbon elyaflar üretmenin yeni bir yöntemi petrol veya kömür esaslı zift kullanımıdır. 830 GPa elastisite modülüne sahip zift esaslı karbon elyaflar ticari olarak mevcutsa da, uygulamalar son derece sınırlıdır. Çünkü hammaddenin kendisi ucuz olmasına rağmen, arıtma ve üretim işlemleri oldukça yüksek maliyetlidir [30;31].

### 2.3.2. Aramid elyafarı

Aramid elyafı termoplastik polimerden üretilen bir lif türüdür. Aramid ismini 1960' ların ilk yıllarında ticari olarak üretilen aromatic polyamide elyaflarından almaktadır. Bu elyafların ticari versiyonları hala üretilmektedir. Ancak, yüksek performanslı olanları para-phenyleneterephthalamide türevleridir. Bu elyaflar 3450 MPa mukavemet ve 132 GPa elastiklik modülüne kadar ulaşabilirler. En çok bilinen

aramid elyaf, yüksek mekanik özellikleri sayesinde ileri kompozitlerde kullanılan Kevlar 49'dur [30;31].

### 2.3.3. Organik elyaflar

Yeni ve potansiyel olarak oldukça önemli elyaflardır. Bunlar arasında en çok tanınan, Du-pont firmasının 1970' li yıllarda geliştirip piyasaya sunduğu kevlar türleridir. Kevlar dışında Hollanda 'da ENKA firmasının ürettiği twaron, Japonya'da Teijin firmasının ürettiği HM-50 ve ABD'de Allied firmasının ürettiği yüksek mukavemetli ve yüksek modüllü polietilen, piyasaya sunulan diğer organik elyaflardır [32].

Piyasa da üç çeşit kevlar bulunmaktadır. Kevlar-49 çok ilginç bir elyaftır. Önceleri otomobil lastiklerinde çelik tellerin yerini alması için üretilen bu malzemenin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Camdan hafif ve rijit olup, camdan daha pahalı, diğer elyaflardan ise ucuzdur. Elyafa işlem yapmak çok kolaydır ve üretimleri değişik biçimlerde gerçekleştirilir ve piyasaya sürülür. Elyaf sarmada başarı ile uygulanabilirler. Basınçlı kalıplar, roket gövdeleri ve elektrik hatları izolasyon boruları bu şekilde üretilir.

Çekme dayanımı oldukça iyi olan kevların, basma dayanımı düşüktür. Bu nedenle, basma gerilmesi uygulamalarında kullanımı sınırlıdır. 180 °C' ye kadar ısıtıldığında mukavemet ve çekme modülü doğrusal olarak azalmakta, 180 °C' de bu özelliklerini % 80 oranında korumaktadır. Oda sıcaklığında, çekme özelliklerine nemin etkisi % 5' in altındadır. Yüksek sıcaklıklarda ise nem ters bir etki yaparak, nemsiz ortamdaki çekme özelliklerini göstermektedir. Isındıkça kısalır. Bu durum tasarımda göz önüne alınmalıdır [32].

Yüksek sıcaklıkta sürtünme dayanımı oldukça iyidir. En zayıf yönü kolay eğilmesidir. Kesme dayanımı iyidir. Bir çok ortamda korozyon dayanımı iyi olmasına rağmen, sülfürik aside ve güneş ışınlarına karşı duyarlıdır. Mukavemet özellikleri 300 °C' den sonra ani olarak düşmektedir [16]. Kevlar türleri ve özellikleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

Polietilen ise, özellikle ip ve kablo üretiminde kullanılmak üzere üretilen bir elyafır. Plastik matrisli kompozitlerde kullanılabilir, potansiyel bir elyaf türüdür. Ortam sıcaklığında çok iyi özelliklere sahip olmasına rağmen, sıcaklık arttıkça özellikleri hızlı bir şekilde düşmektedir. Bunun nedeni, eğrime sıcaklığının düşük olmasıdır. Değişik iki türü ve özellikleri Tablo 2.2’de verilmiştir [32].

Tablo 2.2 Organik elyaf türleri ve özellikleri [17]

Malzemeler	Yoğunluk [gr/cm <sup>3</sup> ]	Lif Çapı [µm]	Elastiklik Modülü [GPa]	Çekme Dayanımı [GPa]	Çekme Uzaması [%]
<b>Kavler</b>					
Kevlar-29	1,44	12	83	3,6	4
Kevlar-49	1,44	12	131	3,6-4,1	2,8
Kevlar-149	1,47	12	186	3,4	2
<b>Polietilen</b>					
Spektra 900	0,97	38	117	2,6	3,5
Spektra 1000	0,97	27	172	2,9-3,3	0,7

#### 2.3.4. Boron elyaflar

Boron elyaflar, yüksek mukavemetli düşük maliyetli kompozitlerde kullanılmak üzere 1960’larda geliştirilmiş takviye liflerindedir. Yüksek mukavemet ve yüksek elastisite modülüne sahip bu lifler, F-15 ve F-14 savaş uçaklarında halen kullanılmaktadır. Karbon liflerinin günümüzde daha ucuz maliyetlerle üretilmesine ve daha iyi mekanik özellikler göstermesine rağmen, değiştirme maliyetinin yüksek olması nedeniyle, boron lifler bu uçaklarda hala tercih edilebilmektedir. Boron-epoksi kompozitler, mükemmel mekanik özellikleri, performansı iyileştirici katkılarla olan düşük etkileşimi sayesinde, spor ekipmanları endüstrisi ve metal--matriks kompozitlerde (MMC) karbon liflerine tercih edilebilmektedir. MMC imalatında, silikon carbide elyafının boron elyafının yerini almasıyla boron elyafı artık ticari olarak sunulmamaktadır [30;31].

#### 2.3.5. Cam elyaflar

Elyaf takviyeli organik bağlayıcı kompozitlerin ilk uygulamaları cam elyaf

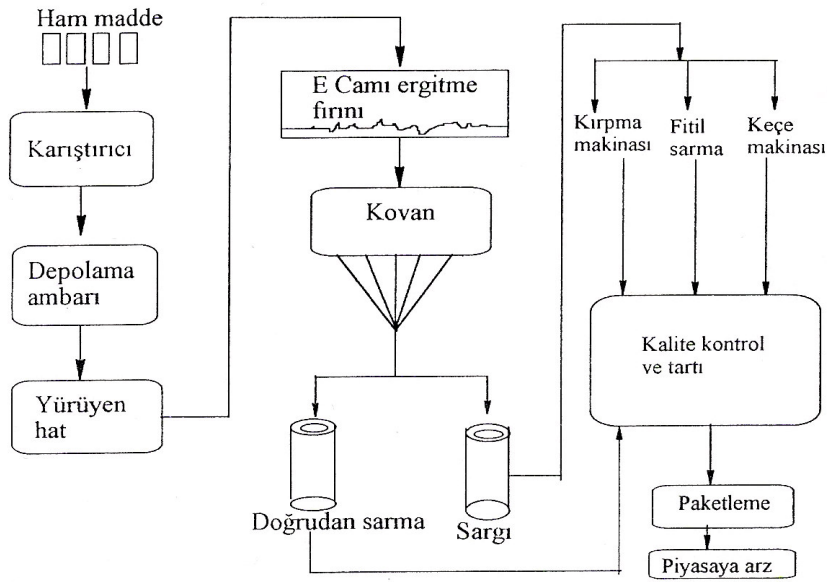
takviyeli plastiklerdir. Reçine matrisli karma malzemelerde en yaygın kullanılan ve en ucuz takviye türü, cam elyafıdır. Hem sürekli hem de süreksiz cam elyaf takviyeli kompozitler, uçak kontrol panelleri gibi yapısal olmayan kullanımlardan, roket motoru parçaları yüksek basınç kabinleri gibi yüksek yapısal dayanımı gerektiren uygulamalara kadar çok geniş bir yelpazede uygulama imkanı bulmaktadır. Cam elyaf takviyeli kompozitlerin geçmişte ve günümüzde geniş kullanım alanı bulunmasının ana sebepleri düşük maliyeti, kolay elde edilebilirliği, üretim kolaylığı ve yüksek mukavemeti olarak gösterilebilir [19;31]. Esas olarak SiO<sub>2</sub> olan çamda, diğer elementlerin oksitleri de bulunur. Farklı özellikler elde etmek için, farklı kimyasal yapıda cam elyaf üretilir. Tablo 2.3’de üç tür cam elyaf mevcuttur. E-camı, en yaygın kullanılan cam elyaf türüdür. Malzeme mukavemetini ve elektrik direncini artırmak için kullanılır. E-camının mukavemeti, üretim sırasındaki işlemler ve testin yapıldığı çevre koşullarına göre değişiklik göstermektedir. Bunların başında, ortamdaki nem gelmektedir. Nem, mukavemeti düşürmektedir. Camın asitlerle teması ise, mukavemeti düşüren diğer bir nedendir. Üretim sırasında cam elyaf liflerin birbirlerine sürtünmesi de dayanımı azaltmaktadır. Elyaf içerisinde yok edilemeyen bazı süreksizliklerin oluşması da mukavemet değerlerinin her ölçümde aynı çıkmamasına neden olmaktadır [33]. Magnezyum ve alüminyum oksitleri içeren S-camının mekanik özellikleri diğerlerine göre daha iyidir. Bu nedenle yüksek çekme mukavemeti gerektiren alanlarda kullanılır. C-camı ise, korozyonlu ortamlara karşı kimyasal kararlılığı yüksek olduğundan, asidik ortamlarda kullanılacak kompozitlerde kullanılır.

Tablo 2.3 Kompozitlerde kullanılan cam elyaf türleri ve kimyasal bileşimleri [17]

Malzemeler	E-camı	S-camı	C-camı
Silisyum dioksit [%]	52–56	65	64–68
Alüminyum oksit [%]	12–16	25	3–5
Bor oksit [%]	5–10	...	4–6
Sodyum ve potasyum oksit [%]	0–2	...	7–10
Mağnezyum oksit [%]	0–5	10	2–4
Kalsiyum oksit [%]	16–25	...	11–15
Baryum oksit [%]	...	...	0–1
Titanyum oksit [%]	0–1,5	...	...
Zirkonyum oksit [%]	...	...	0–0,8
Demir oksit [%]	0–0,8	...	...
Demir [%]	0–1	...	...



Cam elyafın ucuzluk, yüksek çekme dayanımı ve yüksek darbe mukavemeti, yüksek kimyasal dayanım ve mekanik özelliklerinin yüksek sıcaklıklarda fazla düşmemesi gibi üstün özelliklerinin yanında, düşük elastisite modülü, liflerin sürtünerek birbirini aşındırması, düşük yorulma dayanımı ve matrisle arasında iyi bağ oluşmaması gibi zayıf yönleri de bulunmaktadır. Cam elyaf, üretim aşamasının en sonunda, silan ile kaplanarak, hem elyaf yüzeyini korur hem de matrisle iyi bir bağ yapması sağlanmış olur. Bu tabaka, sürtünmeyi azaltarak, aşınmayı önler ve üretim sırasında liflerin birbirlerine göre hareketini kolaylaştırır. Cam elyafın üretim aşamaları Şekil 2.4’de verilmiştir.



Şekil 2.4 Cam elyafın üretim aşamaları

Cam elyaf sürekli ve süreksiz olarak üretilir. 1300°C sıcaklıktaki sıvı cam, bir platin kovanın tabanındaki çok sayıda delikten aşağıya doğru demet halinde çekilir. Bir soğutma işleminden sonra, koruyucu yüzey kaplaması uygulanır. Lifler daha sonra fitil olarak adlandırılan demetler halinde toplanır. Bu üretim sırasında hız, 3 km/dak’ya kadar ulaşabilir. Bobinlere sarılan elyaf, kondisyonlanır ve kurutulur. Bu sırada koruyucu tabaka içerisindeki çözücü sıvı ve su giderilir. Camın vizkozitesi, sıcaklığı ve çekme hızı değiştirilerek farklı çaplarda elyaf üretilir. Piyasaya

sunuluğu, bükümsüz fitil, yarı bükülmüş fitil, bükülmüş iplik, kırılmış elyaf, keçe ve dokuma şeklindedir [16].

Bu açıklamalardan da anlaşılacağı gibi ucuz olması, düşük maliyetli olması, kolay elde edilebilmesi, üretim kolaylığı, yüksek kimyasal dayanım, yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek çekme dayanımı, yüksek darbe dayanımı, yüksek mukavemet gibi üstün özellikleri sayesinde kompozitlerde cam elyafının kullanımını ön plana çıkarmaktadır. Bu malzemeler cam takviyeli plastikler (CTP) olarak adlandırılır. Bu malzemelerde takviye malzemesi olarak cam elyaf, matris elemanı olarak ta reçineler kullanılır. Bu üstün özelliklerden dolayı CTP' ler inşaat sektörüne hızlı girmiş ve birincil malzeme olarak kullanılma yönünde çalışmalar devam etmektedir.

## **BÖLÜM 3. CAM ELYAF TAKVİYELİ PLASTİK KOMPOZİTLER (CTP)**

Cam elyaf takviyeli plastikler malzemelerde, takviye malzemesi olarak cam elyaf bulunmakta ve bu takviye malzemesinin çevresinde hacimsel olarak daha fazla miktarda polyester, dolgu maddesi, boya ve kimyasal reaksiyon gerekli olan maddelerden oluşmuş bir matris bulunur. Cam elyaf takviye olarak mekanik özellikleri iyileştirir, matris ise deformasyon sırasındaki çatlak oluşumunu önleyici rol onar.

### **3.1. CTP'nin Tarihsel Gelişimi**

Tarihte cam elyafının ilk kez Fenike ve Mısırlılar tarafından kullanıldığı bilinmektedir. Elyaf, cam çubuklarının ısıtılması sonucunda yumuşatılarak akıtılması ile elde edilmekteydi. Kullanım alanı ise takviye amacıyla ve çanak, çömlek, amfora gibi ürünlerin sağlamlaştırılması için kullanılmaktaydı [34].

Günümüzde bilinen cam elyafın geliştirilmesi, 1930'lu yılların sonlarına doğru başarılıdır. 1940'lı yıllardan bu yana, farklı cam elyafı tipleri plastiklerin takviyesi için kullanılmaktadır. Bu şekilde, plastiklerin çekme, eğilme mukavemetleri ve rijitliği tanımlayan elastisite modülü gibi mekanik özellikleri iyileştirebilmektedir.

İkinci dünya savaşı yıllarında ülkeler yeni sentetik malzemelerin geliştirilmesi ve mevcut plastiklere yeni kullanım alanları bulunması konusuna yönelmiştir. Doğal kauçuk, alüminyum, pirinç ve bakır gibi kritik metallerin yerini alabilecek sentetik ikame malzemeleri bulmak ve uçakların hafifletilmesi sonucu manevra yeteneklerini arttırmak amaçlamaktaydı. Özellikle takviyeli plastikler savaş endüstrisine, uçak

çamından, motor parçasına, tıbbi malzemelerden, radar antenine kadar her türlü üründe üstün mekanik özelliklerinin sağladıkları avantajlarla hizmet vermişlerdir.

İkinci dünya savaşından sonra plastikler sivil ihtiyaçlara yönelmiştir. Özellikle sulama borularında, tekne gövdelerinde, ambalaj sanayi ve ev içi kullanımlarda plastik önemli bir malzeme oluşmuştur [35].

Yakın zamanda, plastik kompozit teknolojisinin gelişimiyle başta havacılık, otomotiv ve denizcilik olmak üzere pek çok ana sektörde vazgeçilmez bir malzeme oluşmuştur. Ancak inşaat sektöründe kullanımı göreceli olarak kısıtlı kalmıştır. CTP' nin bu sektördeki kullanımı sadece dekoratif amaçlı, taşıyıcı olmayan yapı elemanları ile sınırlanmaktadır.

İlk uygulamalar boru, tesisat ve bağlantı elemanlarında gerçekleşmiştir. Daha sonra yüksek mekanik özellikleri ve antikorozyon yapıları sayesinde cephe kaplama panellerinde, depolama tanklarında, prefabrike geçici konut elemanlarında, beton kalıplarında ve şehir mobilyalarında geniş bir kullanım alanı olmuştur.

1980' lerden bu yana malzemenin üretim tekniğinde gözlemlenen maliyet düşüşü ile CTP' nin binalarda yapısal yük taşıyan bir malzeme olarak kullanma fikri mümkün olmuştur. Ancak bu fikir klasik betonarme elemanlarında çeliğin yerini alacak yeni bir yapı malzemesi ya da takviye fibresi olmasından öteye gidememiştir. Bu tür uygulamalarda, betonun geleneksel bir yapı elemanı olması nedeniyle, CTP' nin bu malzeme ile birlikte kullanımı üstün niteliklerinin maalesef ön plana çıkmamasına ve yapı endüstrisinde yeterince bilinmemesine yol açmıştır. Böylece kullanımı toprak altı ve nemli ortam yapılarında yüksek korozyon dayanımı sağlayan CTP takviyeli çubuklar ile sınırlı kalmıştır. Ancak son yıllarda, çok sınırlı da olsa, CTP' nin kendi başına bir taşıyıcı yapı malzemesi olarak kullanımı, çatı makası ve köprü tabliye kirişleri olarak uygulamaları rapor edilmektedir [36].

Anlaşılmaktadır ki, CTP' nin inşaat sektöründe kullanımı büyük bir potansiyel gösterse de yapısal eleman olarak kullanımı henüz çok yeni bir konu olup, ciddi araştırma ve deneysel çalışmalara ihtiyaç göstermektedir [37].

### 3.2. CTP'nin Avantajları

- a) Mukavemet/ağırlık oranı avantajı ve sertlik,
- b) Sınırsız kalıplama boyutları,
- c) Kolay üretim,
- d) Çok sayıda üretim tekniği,
- e) Küçük sermaye yatırımı, ( el yatırma yöntemi)
- f) Düşük maliyetle az sayıda üretim olanağı, ( el yatırma yöntemi)
- g) Tasarım esnekliği,
- h) Diğer malzemelerle bağdaşma olanağı,
- i) Mükemmel su dayanımı,
- j) Çok sayıda kimyasal maddeye dayanım,
- k) Hava koşullarına dayanım,
- l) UV ışınlarına dayanım,
- m) Kendinden renklendirme olanağı,
- n) İstendiğinde yanmazlık,
- o) İsteğe bağlı olarak ışık geçirgen özellikte üretebilme olanağı,
- p) İstenilen mukavemette ve özellikte üretebilme kolaylığı,
- q) Çok iyi elektrik ve termal özellik,
- r) Farklı mekanik özellikleri elde etmek için farklı katmanlarda ve farklı kombinasyonlarda malzeme üretilebilir olma imkanı,
- s) Hacimsel fazda, CTP üretimi için metallerden daha az enerjiye ihtiyaç duyulur.

### 3.3. CTP Üretiminde Kullanılan Malzemeler

- a) Polyester reçineler,
- b) Hızlandırıcılar,
- c) Dolgu maddeleri,
- d) Boyalar,
- e) Katalizörler,
- f) Kalıp ayırıcılar,
- g) Takviye malzemeleri.

### 3.3.1. Polyester reçineler

Polyester, katman içindeki takviye liflerini bağlayıcı rol oynar. Önemli iki evre vardır; Birincisi, cam takviyenin ıslandığı sıvı veya yapışkan bir madde elde edilmesi, İkincisi, Sert ve dayanıklı ürün elde etmek için katılaşmanın meydana gelmesidir. Doymuş polyester reçineler, polietilen tereftalat terilen gibi termoplastik özellik gösteren ve enjeksiyon kalıplamada ve elyaf üretiminde kullanılan reçinelerdir. Doymamış polyester reçineler, uygun bir katalizör ile uzay ağı şebeke yapısı oluşturan termoset özellikli reçinelerdir. CTP üretiminde genellikle doymamış polyester reçine kullanılır. Bir atom, son elektron katlarında maksimum elektrona sahipse doymuş denir [38].

### 3.3.2. Hızlandırıcılar

Doymamış polyester reçinelerin donma ve sertleşmesi, serbest kök kaynağı olarak kullanılan peroksitler vasıtasıyla gerçekleşir. Bu serbest köklerin elde edilmesi için peroksit ısı veya bir başka enerji verilmesi gerekir. Soğukta veya az ısıda sertleşme temin etmek istendiğinde peroksit, serbest kökler halinde çözülmesini kolaylaştıran bir hızlandırıcı ilave edilir. Hızlandırıcı, katalizör ile direk etki etmemelidir. Patlama ve yangın tehlikesi yaratır. Özel bir kap gerektirmeden uzun süre saklanabilir [39].

### 3.3.3. Dolgu maddeleri

Maddesel, bitkisel, sentetik kökenli, toz, toprak, kristal halinde reçineye nazaran hareketsiz ve bitmiş malayani özellikler getiren ürünlerdir. Dolgu maddeleri sertleştirme prosesi esnasında veya sertleşmiş halde reçine sisteminin özelliklerini değiştirmek için kullanılır. Genellikle reçine sisteminin maliyetini düşürmek için kullanılır, bununla birlikte diğer özellikleri de değiştirir. Azami faydayı sağlamak için kalıplama prosesini ve son kullanım amacına göre doğru tip ve gerekli miktar dikkatlice seçilmelidir [39].

Bitmiş parçada aranan özelliklere göre dolgu maddesi seçilir. Fakat mekanik özellikleri ve görünüşü etkileyecek ikinci derecedeki reaksiyonlara dikkat etmek

gerekir. Dolguların boyama etkisi önemlidir. Boya yerinede kullanılırlar fakat bazı hallerde iyi renk vermezler.

### 3.3.4. Boyalar

Boyalar mineral veya organik kökenli ürünlerdir. Reçinenin ve jelkotun boyanmasında kullanılır.

Çeşitli boya tipleri

#### a) Maddesel boyalar

Genellikle metaloksitleridir. En tanınmış titan oksit (TiO) beyaz renk verir. Demir oksit siyah renk verir. Bazı ürünlerin ağırlaştırıcı etkisi de vardır.

Maddesel Boyaların Özellikleri

- I. Reçine içinde erimezler
- II. Parçaya donukluk verirler
- III. Işığa ve ultraviyole ışınlarına dayanırlar

#### b) Organik boyalar

Fiyatı yüksek olduğundan az kullanılır. Bazı ürünlerin zehirleyici etkisi vardır.

#### c) Sentetik boyalar

- I. Polyester reçine içinde erirler.
- II. Yarı saydamdırlar
- III. Ultraviyoleye dayanıksızdırlar.

### 3.3.5. Katalizörler

Polyester reçinenin polimerleşmesi, katalizör aracılığı ile zincirlerin ağ şeklinde birleşmesi ve reçinenin sıvı halden katı hale geçmesidir. Normal ısıda çalışıldığında bu reaksiyondan ısı çıkar [40].

Katalizör tabirinde yanlılık vardır, kimya da katalizör kendisi kimyasal olaya katılmayan, bu reaksiyonu kolaylaştıran ve sonuçta aynı kalan bir maddedir. Katalizör, doymamış polyester veya reaktif monomer zincirlerinin ağ şeklini almasını başlatır. Bunlar organik peroksitlerdir.

Doymamış polyesterin, stiren içinde çözülmüş şekline “polyester reçine “ denir [41]. Kopolimerizasyonu başlatmak için ihtiyaç bulunan enerjiyi sertleştiriciler verir. Bunlara (sertleştiricilere) peroksit bileşenler denir. Peroksit parçalanması, ısı ile veya kimyasal maddelerle oluşur. Peroksit parçalanması ısı ile meydana gelmişse sıcak sertleşme, kimyasal maddelerle meydana gelmiş ise soğuk sertleşme oluşur. Polyesteri sertleştirmek için kullanılan organik peroksitler katı, sıvı veya pasta halinde bulunurlar. Oksijenin varlığı nedeni ile organik peroksitler tehlikeli olabilirler [39].

### 3.3.6. Kalıp ayırıcılar

CTP ürününün kalıptan kolaylıkla çıkartılmasını sağlamak için kullanılır. Kalıp yüzeyine sürülen kalıp ayırıcılar, kalıbı parçadan izole eden koruyucu bir film teşkil eder.

### 3.3.7. Takviye malzemeleri

Takviye malzemeleri, reçine sistemlerinin mekanik özelliklerini arttırmak amacı ile kullanılırlar. Takviyeler içinde en çok kullanılan, cam elyafıdır. Çok yüksek mekanik mukavemete sahip olan karbon elyafının geliştirilmesi özellikle mukavemet ve hafifliğin önem kazandığı havacılık endüstrisinde yeni boyutlar geliştirmiştir.



Bir diğ er yeni uygulama aromatik poliyamid elyafı ( kevlar) dır. Bu tip elyafın kullanılması, cam elyafı takviyeye oranla % 30 civarında ağırlık tasarrufu sağlamaktadır [39].

### 3.3.7.1. Cam elyaf

Cam elyaflarının diğ er elyaflara kıyasla daha çok kullanım alanı bulabilmesinin bir sebebi de değ iş ik ihtiyaçlara cevap verebilecek çok sayıda çeş itlerinin bulunmasıdır. Kimyasal girdilerin kompozisyonlarına göre farklı cam elyaf türleri üretmek mümkün olmaktadır [42]. Bu çeş itlerin arasında, polyester ve epoksi reç ineler ile nispeten yüksek aderans gösteren ve yüksek mekanik mukavemet değerleri veren, bu yüzden de en çok kullanılmakta olan E tipi cam elyafının Türkiye’de de üretimi yapılmaktadır.Cam elyafı, genellikle alkalisiz düşük ‘E’ camının, 6-15 mikron ç aplarında devamlı proses ile ince lifler halinde çekilmiş türüdür [43]. Bu cam elyaf türlerinin en çok kullanılanları E tipi, S tipi ve C tipi cam elyaflarının ham maddesini oluşturan bileş enler ve mekanik özellikleri Tablo 3.1’de ve Tablo 3.2’de sunulmaktadır.

CTP kompozit’ in takviyesinde kullanılan E tipi cam elyafını elde etmek için, öncelikle istenilen özellikleri cam elyafına kazandıracak ham maddenin fırında yaklaşık 1550 °C sıcaklıkta eritilmesi gerekmektedir. Eriyik ham madde, platin radyum alaşımından yapılmış, elektrik enerjisi ile ısıtılarak 5 °C hassasiyet ile 1250 °C sıcaklıkta tutulan ve üzerinde 1-2 mm ç apında çok sayıda delik bulunan kovanlara doğru akmaya bırakılmaktadır. Kovan deliklerinden serbest akış a bırakılan cam eriyiğ i, kovan altında bulunan sarma aparatları yardımıyla, ‘‘kek’’adı verilen silindir üzerine 50-70 m/s gibi yüksek bir hızla çekilerek cam lifi demeti olarak sarılmaktadır. Sarım hızına bağ lı olarak, 6-20’si ç apında değ iş en cam elyafı elde edilmektedir [44]. Cam elyafı sarılırken, üzerlerine ‘‘bağ layıcı’’ adı verilen ve ileride kompozit içinde reç ine ile cam elyafı arasındaki aderansın kuvvetini belirleyen bir malzeme püskürtülerek kaplanmaktadır. Bu bağ layıcının cinsi, kompozit malzeme içinde cam elyafının mukavemetini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bu bağ layıcının içeriğ i, bir kaydırıcı (Lubricant), bir bağ layıcı (Coupling agent), bir film oluşturuç u ve sudan oluşmaktadır. Bu bileş enlerden ‘‘kaydırıcı’’cam elyafının

pamuklanmasını, kırılmasını önlemek ve liflerin aşınma dayanımı arttırmak, 'bağlayıcı' cam elyafının reçine ile aderansını sağlamak, 'film oluşturucu' ise işleme ve dokuma sırasında demet bütünlüğünü korumak için kullanılmaktadır [45].

Tablo 3.1 Bazı cam elyaf türleri ve kompozisyonları [46]

Madde	Cam elyaf tipine göre maddelerde kullanım yüzdesi (%)		
	E tipi	S tipi	C tipi
Silikondioksit	52-56	65	64-68
Alüminyumdioksit	12-16	25	3-5
Borikoksit	5-10		4-6
Sodyumoksit ve Potasyumoksit	0-2		7-10
Magnezyumoksit	0-5	10	2-4
Kalsiyumoksit	16-25		11-15
Baryumoksit			0-1
Titanyumoksit	0-1,5		
Demiroksit	0-0,8		0-0,8
Demir	0-1		

Tablo 3.2 Bazı cam elyaf türlerinin mekanik özellikleri [29]

Mekanik Özellikleri	E tipi	S tipi	C tipi
Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	2,56	2,48	2,62
Çekme Day.(GPa)	3,45	4,59	3,31
Elastisite Modülü (GPa)	72	86	-

Gerek termoset , gerekse termoplastik bağlayıcının takviye edilmesinde , kimyasal birleşmeyi en iyi sağlayabilmek için demet haline getirilmiş sürekli cam elyafı kullanılmalıdır. Süreksiz ve izolasyon amaçlı cam yünü veya cam pamuğu yüksek mukavemetli CTP kompozitleri için uygun değildir [44].

Cam elyafından takviye malzemeleri biçim bakımından da farklılık göstermektedir. Takviye amaçlı cam elyafları biçimlerine göre dört sınıfta ele alınmaktadır [41].

#### A. Keçe

5 cm ile 10 cm arası boylarda kırılmış veya kırılmamış devamlı cam elyafından yapılmıştır.  $300 \text{ g/m}^2$  ile  $450 \text{ g/m}^2$  arasında değişen yoğunluklarda bulunabilmektedir. El yatırması , devamlı levha ve sandviç levha üretim şekilleri için kullanılırlar. Kompozitte bulunması amaçlanan takviye miktarı, standart ağırlıklı cam elyaf keçelerinin üst üste yatırılması ile elde edilmektedir (Şekil 3.1) [46].



Şekil 3.1 Cam elyaf keçe

#### B. Fitol

Sürekli cam elyafı demetlerinin bobinler üzerine birbirine paralel ve bükümsüz olarak sarılması ile üretilmektedir. Tek yönlü takviyenin elde edildiği durumda düğümlü fitiller kullanılmaktadır. Bu ilmeklerin amacı profil doğrultusunda elde edilen mukavemete ek olarak yanall yüklerle karşı mukavemeti de arttırmaktır. Sürekli cam elyafı demetlerinin bükümlü olarak sarılmasından elde edilen ürün cam elyafı iplik olarak adlandırılmaktadır. İplikler genellikle dokunmuş kumaşların elde edilmesinde kullanılmaktadır (Şekil 3.2) [46].



Şekil 3.2 Sürekli cam elyaf fitil ve iplik

### C. Kumaş/dokuma

Devamlı cam elyafından bükümlü/bükümsüz iplik ile dokunarak üretilmektedir. Dokumalar, birim alan ağırlıkları olarak  $300 \text{ g/cm}^2$ ,  $500 \text{ g/cm}^2$  ve  $800 \text{ g/cm}^2$  gibi çeşitli türlerde bulunabilmektedir. Düzlemsel olarak birbirine dik iki yönde takviye elde edilmektedir. Dokumalar kullanılarak, cam elyaf keçelere nispeten daha üstün mekanik özelliklere sahip kompozit malzemeler elde etmek mümkün olmaktadır. Ancak, dokumalar tek başına kullanıldıklarında iki tabaka arasında tam bir bağlantı sağlanamamakta ve tabakalar arasında ayrışma gözlemlenmektedir. Ayrıca, dokumanın kullanıldığı kompozitlerde dış yüzeylere keçe konulmadığı takdirde, kompozitin yüzeyinde dokuma görüntüsü belirir. Bu sebeplerden dolayı, dokumalar iki keçe tabakası arasında kullanılmaktadır. Bu şekilde kompozit'in hem mekanik özellikleri artırılmakta, hem de polyster tüketimi azaltılmaktadır. Çünkü, 1 kg keçe için 2,5 kg polyster kullanılırken, 1 kg dokuma için 1,5 kg polyster kullanılmaktadır (Şekil 3.3) [46].



Şekil 3.3 Cam elyaf dokuma

#### D. Kırılmış cam elyafı

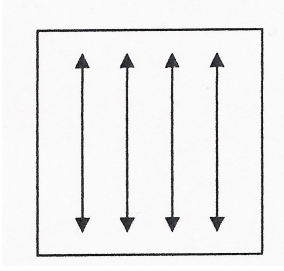
Kullanılan bağlayıcıya ve kullanım amacına bağlı olarak 3-6-12 mm uzunluğunda kırılmış cam elyaftan üretilmektedir. Çoğunlukla dolgu malzemesi ve gerilmelere karşı yüzey takviyesi amacı ile BMC (Hazır kalıplama hamuru) karışımında ve termoplastik takviyesinde kullanılmaktadırlar (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Cam elyaf kırılmış demetler

Kullanılan cam elyaf tipi, kompozit'in içinde elde edilen takviye yönlerini belirlemektedir (Şekil 3.5- Şekil 3.6- Şekil 3.7).

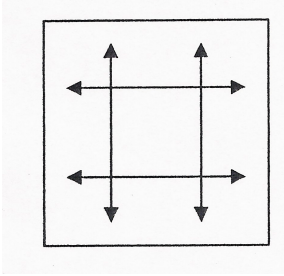
a)Tek yönlü takviye; Cam elyaf fitiller ve iplikler ile oluşturulmaktadır



Şekil 3.5 Tek yönlü cam elyafı tipinin şekli

b) İki yönlü takviye;

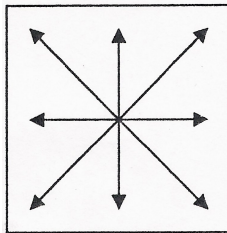
Cam elyaf dokuma ve kumaşlar ile oluşturulmaktadır



Şekil 3.6 İki yönlü cam elyafı tipinin şekli

c) Çok yönlü takviye;

Cam elyaf keçeler, kırılmış demetler ve hazır kalıplama bileşenleri ile oluşturulmaktadır



Şekil 3.7 Çok yönlü cam elyafı tipinin şekli

### 3.4. CTP Üretim Yöntemleri

CTP kalıplamasında kullanılan başlıca metotlar, işçilik maliyetleri, üretim prosesine gerekli ekipman yatırımı ve işçilik kalitesini gözeterek ve amaca göre kararlaştırılmaktadır. CTP kompozitin mekanik mukavemetini etkileyen faktörler, kullanılan takviye ve bağlayıcının cinsine, takviye/bağlayıcı oranına ve takviye yönüne göre değişmektedir.

Seçilen üretim yöntemi, oluşacak kompozitin mekanik özelliklerini de sınırlamaktadır. Örneğin; el yatırması ve püskürtme yöntemi gibi açık kalıplama yöntemleri ile en fazla % 30-40 cam elyaf takviye oranı elde edilirken, bu oran profil çekme gibi, sürekli cam elyaf fitilleri kullanılarak profil doğrultusunda yüksek mukavemet elde edilen kalıplama yönteminde % 70-80 'e ulaşabilmektedir [46].

#### 3.4.1. El yatırması yöntemi

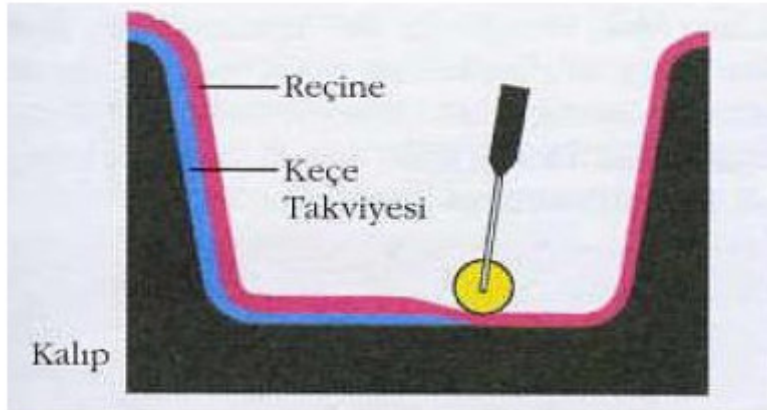
Bu yöntem geniş yüzeyli CTP kalıplaması için en ideal metottur. Kalıp ayırıcı (vaks) oluşturulduktan sonra jelkot uygulanır. Jelkot bir polyester reçine türü olup, özellikle yüzey düzgünlüğünü sağlamak ve yüzeyde cam elyafı görülmesini önlemek maksadıyla kalıp yüzeyine ince bir tabaka oluşturacak şekilde sürülerek veya püskürtülerek uygulanmaktadır. Jelkot tabakasının sertleşmesinden sonra, keçe veya dokuma tipi cam elyafı ve polyester bağlayıcı, fırça veya yün rulo ile uygulanmaktadır (Şekil 3.8). Düşük maliyetli bir kalıplama yöntemi olan el yatırması yöntemi ile en fazla % 25-40 oranında cam elyaf takviyesi gerçekleştirilebilmektedir. Yoğun bir üretim metodu olduğu için, üretim kapasitesi, emeğin yoğunluğuna, kalıp sayısına ve karmaşıklığına bağlıdır. Bir kalıptan günde ortalama 2 defa ürün almak mümkündür [31].

El yatırması yönteminde genellikle düşük maliyetli CTP kalıplar kullanılmaktadır. Kalıplama aşamasının tamamı elle yapıldığından sadece basit el aletlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Elyaf ve bağlayıcı karışımını sağlamak amacı ile el, fırça ve ruloları kullanılmaktadır. Ayrıca, bağlayıcı malzemenin katılaşmasını hızlandırmak için kullanılan katalist malzemelerin karışımının hazırlanabilmesi için varil veya tank gibi hacimlere ihtiyaç duyulmaktadır. Katalist malzeme olarak metiletilketon (MEKP) ve

%6'lık kobalt kullanılmaktadır. Katalistin reçine içindeki karışım oranı jelleşme süresini belirlemektedir. Bu süre önemlidir, çünkü reçine jelleşmesi gerçekleşmeden kalıplama işleminin tamamlanması gerekmektedir [31].

Kalıplamada kullanılan cam elyaf keçenin kesilmesi kolay olduğu için, basit makaslar kullanılmaktadır. Fakat sertleşen CTP' nin kesilmesi zordur ve kesme taşı ya da elmas uçlu döner bıçaklar kullanmak gerekmektedir.

Bu yöntemde kalıplama aşamasının tamamen elle yapılması sebebiyle ürün bünyesinde hava kabarcıkları oluşması ve kalitenin düşmesi riski bulunmaktadır. Malzeme bünyesinde oluşabilecek bu boşluklar kompozitin mukavemetinin düşmesine sebep olabilmektedir. Bu sebepten dolayı el yatırması yöntemi ile yapısal elemanlar kalıplanmamaktadır [47].



Şekil 3.8 El yatırması yönteminin genel gösterimi

### 3.4.2. Püskürtme yöntemi

El yatırması metodunun daha seri olarak uygulanmasını sağlayan bir açık kalıplama metodudur. Böylece, iç boşluk ve karışım oranı hataları azaltılmaktadır. Üretim sırasında kalıp üzerine polyester ve cam elyafı özel bir tabanca yardımı ile birlikte püskürtülmektedir. Püskürtme metodunda, sürekli fitil cam elyafı, püskürtme işlemi sırasında 15-50 mm uzunluğunda kesilerek kullanılmaktadır. Geniş yüzeylerde seri



üretim olanağı sağlamakta ve işçilik maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Püskürtme yöntemi ayrıca, malzeme tüketimini ve fireyi de azaltmaktadır.

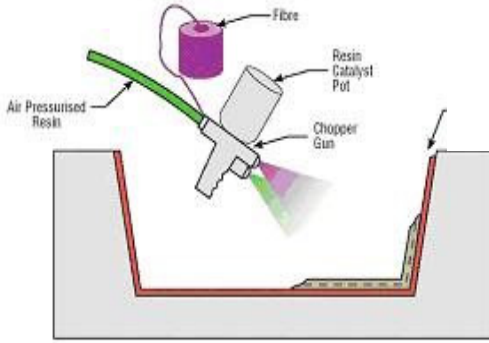
Kırılan firelerin fiyatı, el yatırması yönteminde kullanılan keçelerden yaklaşık %10-15 daha ucuz temin edilebilmektedir ve fire miktarı % 5 azalmaktadır. Bu yöntemle, reçine tüketimi yaklaşık % 20 azalmaktadır. Bu yöntemin el yatırmasına göre diğer önemli bir avantajı, kalıplama süresinin  $\frac{1}{4}$ ' e düşmesidir. Toplam olarak bakıldığında % 20-25' lik kazanç söz konusu olmaktadır. Bu yöntemde de el yatırması yöntemi gibi, katalist olarak MEKP/Kobalt kullanılmaktadır [39].

Püskürtme tabancası, basınçlı hava ile çalışan bir pompa sistemidir. Püskürtme tabancasının tetiğine basıldığında, biri reçineyi, diğeri katalisti hortum vasıtası ile aktaran iki adet pompa ve fitilleri eşit uzunlukta kırpan makine, eş zamanlı olarak devreye girmektedir. Tabanca ucundan yüksek hızla çıkan bu reçine elyaf karışımı, kalıba belli bir mesafeden püskürtülerek, yapışması sağlanır. Bu makinelerin 3-6 atm basınçta çalışan tipleri bulunmaktadır. Basınç için 600-1000 lt/dk hava debisi sağlayan bir kompresörün kullanılması gerekmektedir [39].

Püskürtme metodunda, stiren buharının atılması amacıyla kurulacak bir havalandırma sistemine ve basit bir konstrüksiyon üzerine gerilmiş şeffaf naylonla oluşturulan bir püskürtme odasına gereksinim duyulmaktadır. Ayrıca makine ile kalıp etrafında gezmek yerine, kalıbın üzerine konduğu kendi eksenini etrafında dönebilen bir platform oluşturulması da süreyi önemli ölçüde kısaltmaktadır. Bu yöntemde, el yatırması yönteminde olduğu gibi çoğunlukla CTP kalıplar kullanılmaktadır. Metodun uygulanması ile ilgili resimler Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da gösterilmektedir [48].



Şekil 3.9 Püskürtme yöntemi uygulama [49]



Şekil 3.10 Püskürtme yöntemi uygulama sistemi [49]

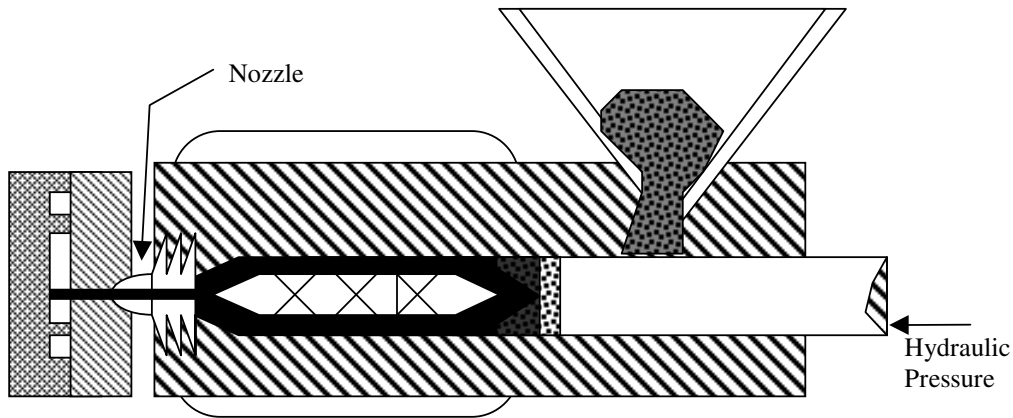
### 3.4.3. Reçine enjeksiyonu yöntemi

Geniş yüzeylerin kalıplanmasında el yatırması ve püskürtme yöntemlerinin hız ve ürün kalitesi olarak yetersiz kalması sebebiyle reçine enjeksiyonu yöntemi geliştirmiştir. Bu üretim metodunda, dişi ve erkek olmak üzere iki ayrı kalıp kullanılmak suretiyle, her iki yüzü düzgün ürünler elde edilmektedir. Reçine enjeksiyonu için üretilmiş olan özel keçe cam elyafı, kalıp üzerine yerleştirilmekte, ve kalıplar kapatılmaktadır. Önceden hazırlanmış olan bir kanal vasıtası ile basınç altında bağlayıcı, kalıp içine enjekte edilmektedir. Kalıpların yüksek basınca dayanabilecek ağır bir konstrüksiyon gerektirmemesi, enjeksiyon sırasında hava boşluklarının oluşmaması ve kalıp sızdırmazlığının sağlanabilmesi için düşük basınçlı bir pompa (1-4 atm basınç sağlayan) ile reçineyi kalıp içine aktarırken, diğer taraftan da vakum uygulayarak reçinenin kalıp içine yayılmasını sağlanması üretimin kalitesini oldukça arttırmaktadır. Özetle reçine enjeksiyonu metodu, el yatırması ve türevi yöntemlere göre oldukça seri ve ekonomik bir yöntem olmakta ve işçilik kalitesi çok yüksek ürün elde edilebilmektedir [48;50].

Parça boyutuna ve kullanılan cam elyafına bağlı olarak, 1.5 mm-20 mm arasında cidar kalınlığı ve % 23-% 68 arasında takviye sağlanabilmektedir. Çoğunlukla keçe ya da dokuma tipi cam elyaf takviyesi kullanılan RTM (Resin Transfer Moulding) yönteminde, el yatırması ile hazırlanmış, düşük maliyetli CTP kalıplar tercih edilmektedir. Kalıplama işlemi sırasında, takviye ve reçinenin karışımı

kolaylaştırmak ve üretim süresini azaltmak için düşük viskoziteli polyester reçineler kullanılmaktadır. Reçine enjeksiyonu yönteminde, kalıp maliyetlerinin düşük oluşu ve kullanılan ekipmanın nispeten basit ve ucuz oluşu ilk yatırım maliyetini düşürmektedir [48].

RTM yöntemini tercih eden sektörlerin başında, % 58 ile otomotiv sektörü gelmektedir. Bunu % 20 ile demiryolu, % 7 ile havacılık ve gemi inşa sektörleri takip etmektedir. Bu yöntemle, büyük boyutlu karmaşık parçalar, sandviç konstrüksiyon ürünler ve farklı bölgelerinde farklı mekanik özellikler ve farklı kalınlıklar isteyen parçalar tek seferde kalıplanabilmektedir. İnşaat sektöründe ısı yalıtımlı geniş cephe panelleri ve reklam panoları bu yöntem ile üretilmektedir. Yöntemin uygulanması ile ilgili bir resim Şekil 3.11’de verilmektedir [39].

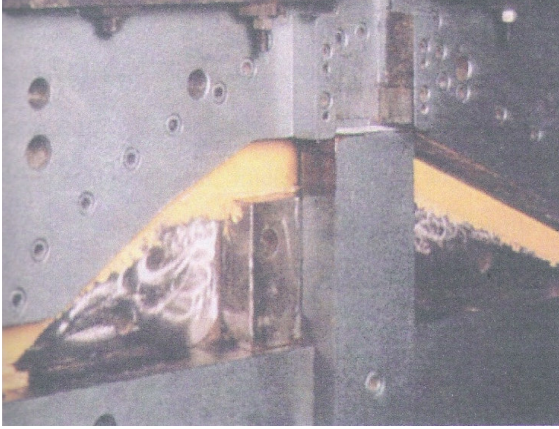


Şekil 3.11 Reçine enjeksiyonu uygulaması [49]

#### 3.4.4. Soğuk pres yöntemi

Seri ve iki yüzü düzgün ürün üretilen bir kalıplama yöntemidir. Bu yöntemde, dişi ve erkek olmak üzere iki kalıp kullanılmaktadır. Dişi ve erkek kalıpların arasında, ürün kalınlığı kadar bir boşluk kalması ve basınç uygulanması esnasında reçinenin kalıp içersinde yürüebilmesi için, hava tahliye deliklerinin bulunması gerekmektedir. Soğuk preste kalıbın dışarıdan ısıtılmasına gerek yoktur. İlk kalıplama sırasında meydana gelen egzotermik reaksiyon kalıp için ısıtarak

kalıplama süresinin kısaltmaktadır. Basıncın kalıp yüzeyine eşit ve homojen olarak yayılması için, genellikle ahşap, çelik ya da betondan yapılmış takviyeler gerekmektedir. Bu kalıplama metodu için uygulanan basınç genellikle  $10 \text{ N/cm}^2$  (1 atm) civarındadır [48]. Yöntemin uygulanması ile ilgili bir resim Şekil 3.12’de verilmektedir.



Şekil 3.12 Soğuk pres uygulanması

### 3.4.5. Elyaf sarma yöntemi

Bu yöntem genellikle boru ve silindirik tank gibi malzemelerin üretimi için kullanılan kalıplama metodudur. Elyaf sarma yönteminde, takviye olarak sürekli cam elyaf lifler, bağlayıcı olarak da, genellikle polyester veya epoksi reçineleri kullanılmaktadır. Bunların dışında özel amaçlı üretimlerde istenen özelliklere göre silikon, fenolik, düşük yoğunluklu hidrokarbonlar ve polimide reçineler de kullanılabilir.

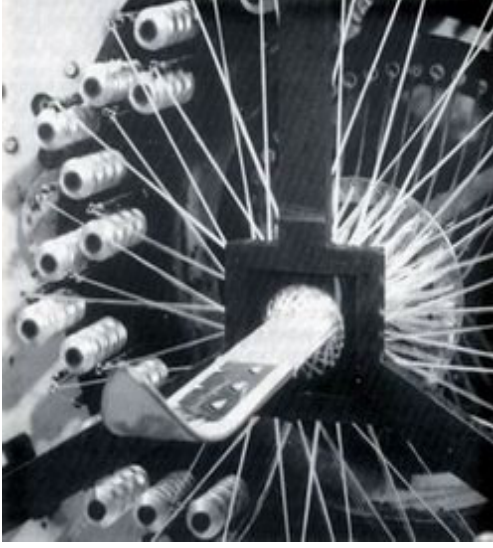
Sürekli cam elyafından fitillerin bağlayıcı malzeme banyosunda ıslatıldıktan sonra, dönen bir kalıp üzerine belirli açılarda sarılması şeklinde uygulanmaktadır. Sarımın, kompozitin maruz kalacağı öngörülen yükleri karşılayabilmesi için, cam elyafının farklı açılarda ve çok katlı olarak örülmesi mümkündür. Sarma makinesi ve kalıp, bu yöntemin en önemli ekipmanlarıdır. Sarım işleminde, elle kontrol edilebilen, bilgisayar kontrollü olanlara kadar değişen farklı birçok makine mevcuttur. 9 m çapa,

46 m uzunluğa sahip ürünler bu yöntemle kalıplanabilmektedir. Endüstriyel, hızlı üretim, yüksek mukavemet ve mükemmel kalite kontrolü elde edilmektedir. Ürünlerde % 60-75 oranında cam elyaf takviyesi sağlanabilmektedir. El ile kumanda edilen makineler, bilgisayar destekli otomatik kontrollü makinelere oranla çok daha ucuz olmakta ve 12 m uzunlukta, 30 cm-4 m çapında parçaların kalıplanmasına kolaylıkla olanak tanımaktadır [39].

Elyaf sarma yönteminde kalıplarda genellikle metal malzeme kullanılsa da, termoset kompozit, kalıplanmış termoplastik, şişirilebilir plastik ve özel uygulamalarda tercih edilen çözünebilir tuzlardan oluşan kalıplar da kullanılmaktadır. Ancak, çözünebilir kalıplar bir defaya mahsus kullanılabilir. Kalıp tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli hususlar, elyaf sarma işleminde oluşacak gerilimlere kalıbın dayanıklı olması, sertleşmiş ürünün kalıptan çıkarılması sırasında kalıbın ürün yüzeyine zarar vermeyecek şekilde imal edilebilmesidir [39].

Kalıplanan ürün, kalıpla birlikte sertleşmeye bırakıldığından, küçülebilir kalıp kullanımı önem kazanmaktadır. Çapı küçülebilir kalıpların başında şişme kalıplar gelmektedir. Kalıp kendi ekseninde dönen bir şaft vasıtasıyla döndürme mekanizmasına bağlıdır ve kendi ekseninde dönen kalıba, reçine ile ıslatılmış elyaflar istenilen açı ile sarılarak üretim gerçekleştirilmektedir [39].

İkinci bir yöntem, önceden bağlayıcı emdirilmiş ve yarı sertleştirilmiş cam elyafının (Prepreg) kalıp üzerine sarılmasıdır. İlk yöntem "Prepreg" kullanımına göre depolama ve maliyet açısından daha avantajlı olsa da "prepreg" sisteminde cam elyafının reçine ile homojen karışımı elde edebilmekte ve elyafın kalıp yüzeyinde kayması engellenmektedir. Bu yöntemde de kalıptan çıkan parçaların boyutlandırılması ve kenar kesimleri için kullanılan elmas uçlu döner bıçaklar, aşırı toz yaratmakta ve bu tozun tahliyesi için havalandırma sistemine ihtiyaç duyulmaktadır [51]. Elyaf sarma yönteminde kullanılan ekipmanın şematik gösterimi Şekil 3.13 'de sunulmaktadır.



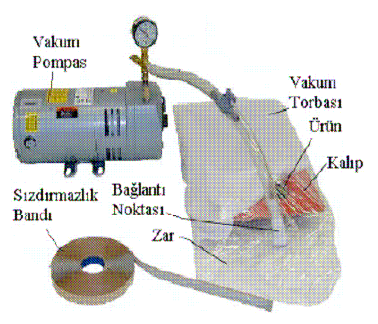
Şekil 3.13 Elyaf sarma yöntemi makine ekipmanları [49]

#### 3.4.6. Savurma döküm yöntemi

Bu yöntem de boru, tank ve direk gibi silindirik ürünlerin yapımında kullanılmaktadır. Elyaf sarma yönteminden farklı, cam elyafının sürekli olmaması ve parçacık şeklinde bağlayıcı ile birlikte püskürtülmesidir. Kalıbın santrifüj ile döndürülmesi ile meydana gelen merkez kaç kuvveti, kompozitin kalıp yüzeyine her iki yüze homojen olarak dağıtılmasını sağlamaktadır. Başlıca kullanım alanı, 5 m' ye kadar çaplı boruların kalıplanmasıdır. Polyester, vinil ester veya epoksi bağlayıcılar kullanarak üretim yapılabilmektedir. Bu yöntem ile elde edilen ürünün mukavemetini arttırmak için kum dolgulu polyester ile ayrı bir tabaka uygulanabilmektedir. Bu yöntem uygulanarak üretilen borularda hava kabarcığı bulunmamakta ve her iki yüzü düzgün ürün elde edilebilmektedir. Kalıbın dönüş hızı kalıp çapına bağlıdır. Yaklaşık 2 m çapında bir ürün için dakikada 180 devir yeterli olmaktadır. Kalıbın döndürülmesi, ürünün sertleşmesine kadar devam etmektedir.

### 3.4.7. Vakum bonding (Vakum Bagging)

Bu kalıplamada diğer yöntemlerden farklı olarak kullanılan ekipmanlar Şekil 3.14’de de gösterildiği gibi vakum pompası, vakum torbası ve sızdırmazlık bandıdır. Bu yöntemle üretilen kompozit malzeme (genellikle geniş sandviç yapılar) önce bir kalıba konur, ardından bir vakum torbası, en üst katman olarak yerleştirilir. Vakum torbası, içerideki havanın emilmesiyle yatırılan malzemenin üzerine 1 atmosferlik basınç uygular. Ardından, tüm bileşim bir fırına yerleştirilerek reçinenin kurlenmesi için ısıtılır. Bu yöntem sıklıkla elyaf sarma ve el Yatırma teknikleri ile birlikte olarak uygulanır. Vakum Bagging Yöntemi özellikle kompozit malzemelerin tamir işlemlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 3.14 Vakum bagging malzemeleri

### 3.4.8. Devamlı levha üretim yöntemi

Bu yöntem sadece iki yüzü düzgün oluklu ya da oluksuz şeffaf ya da opak levha üretimi için kullanılmaktadır. Takviye, bağlayıcı ve katalist malzeme karışımı iki film tabakası arasında sıkıştırılarak bağlanmaktadır. Daha sonra fırınlanarak, istenilen form elde edilmektedir. Ayrıca film olarak, polyester veya selofan kullanılmaktadır.

Bağlayıcı, ayırıcı film tabakası üzerine düzgün bir kalınlık oluşturacak şekilde yayılmakta ve üzerine cam elyaf takviyesi olarak keçe veya kırılmış demetler yayılmaktadır. Katmanlar rulolar arasından geçirilerek oluşabilecek hava kabarcıkları

engellenmekte ve sabit bir levha kalınlığı elde edilmektedir. Daha sonra kompozit kalıplardan ısıtılarak geçirilmek suretiyle istenilen profil şekli verilmektedir. Bu yöntemle dakikada 12 m'lik üretim hızı elde edilebilmektedir [39].

İşık geçiren levha üretimi için cam takviyesinin toz bağlayıcılı keçe olarak veya kırılmış demet olarak kullanılması ve polyester reçine ile eş değerde bir ışık kırılma indisine sahip olması gerekmektedir. Cam takviyesi olarak, özel hallerde dokunmuş cam elyafı da kullanılabilir. Bu tür uygulamalarda cam elyafı dokumasının önce polyester banyosundan geçirilip, bağlayıcı fazlasının sıyırılmasından sonra ayırıcı film tabakaları arasında sıkıştırılması tavsiye edilmektedir. Hava koşulları ile temas edecek levhaların takviye oranının % 30'dan yüksek olması gerekmektedir. Bu yöntemle üretilen yarı geçirgen bir levha Şekil 3.15'de gösterilmektedir [39].



Şekil 3.15 CTP şeffaf levha uygulaması [52]

#### 3.4.9. Hazır kalıp bileşimleri (HKB)

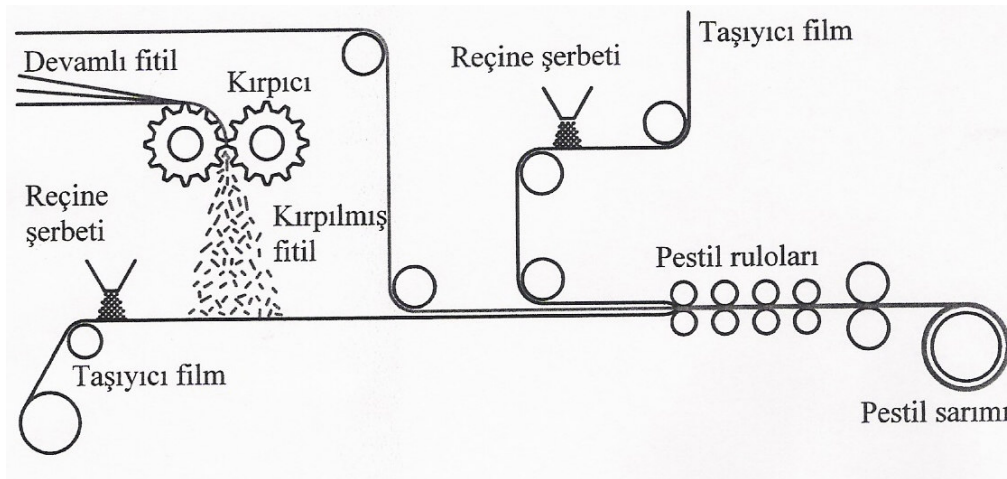
Ürün boyutu ve et kalınlığına göre, 3-6 dakikalık bir kalıplama süresi sağlayan çok hızlı ve seri bir kalıplama metodudur. HKB, bünyesinde cam elyafı, bağlayıcı, katkı ve dolgu malzemeleri içeren, hamur şeklinde, kalıplanmaya hazır bir kompozit malzemedir. HKB, 150-170 °C sıcaklıkta, 50-120 atm basınç altında çelik kalıplarda şekillendirilmektedir. Genellikle pestil ve hamur olmak üzere, iki şekilde mevcuttur. Pestil şeklinde HKB'lerde 25-50 mm uzunlukta, hamur şeklinde HKB'lerde 3-12



mm uzunlukta kırılmış cam elyaf takviye malzemesi kullanılmaktadır. HKB' lerde, pestil şeklinde olanlarda % 15-25 oranında takviye sağlanabilmektedir. Bunlara ek olarak, iki yönlü takviyesi olan, elyaf sarma yöntemi ile hazırlanmış, % 80 oranına kadar takviye ihtiva edebilen HKB' lerde üretilmektedir. HKB' lerde bağlayıcı olarak, yüksek reaksiyon veren ve kimyasal olarak viskozitesi yüksek, izoftalik veya ortoftalik polyeşter reçineler kullanılmaktadır [31].

Polyeşter bağlayıcı türleri sertleşme sırasında dolgusuz olarak % 5-6 arasında değişen hacimsel çekme özelliği göstermektedir. Bu çekme oranı yüksek dolgu maddesi içeren HKB'lerde % 0.5'e kadar düşebilmekte ve yüzey düzgünlüğü aranan uygulamalarda tercih edilebilmektedir.

HKB' lerde, ortam sıcaklığında aktif olmayan katalizörler kullanılmaktadır. Ekipman olarak 120-170 °C sıcaklıkta çalışan sıcak pres kalıplama makineleri kullanılmaktadır. İstendiği takdirde HKB'ler enjeksiyon yöntemi için de kullanılabilir. Üretim prosesi ve üretim düzeneği şematik olarak Şekil 3.16'da gösterilmektedir [53].



Şekil 3.16 HKB üretim prosesi ve ekipmanları

### 3.4.10. Preslenebilir takviyeli termoplastik

GMT, keçe türünde elyaf takviyesi içeren ve termoplastik reçineyle yapılmış plaka şeklinde, preslenebilir ve kalıplamaya hazır özel amaçlı takviye çeşididir. GMT'nin hazırlanması SMC' ye benzemektedir. Ekstruderden çekilen termoplastik levha üzerine, yumuşak haldeyken bir elyaf takviyesi yerleştirilir. Ardından, bu katmanların üzerine, GTM yumuşakken, bir diğer termoplastik levha yerleştirilerek soğuk hadde silindirlerinin arasından geçirilir. Son olarak, sertleşen plakalar kesilerek preslenir ve proses tamamlanmış olur.

Bu yöntemde, reçine olarak öncelikle polipropilen kullanılmakla birlikte, polyester, polybütilen ve polikarbonat gibi termoplastik reçine türleri de kullanılmaktadır. Termoplastik reçine kullanılarak üretilen kompozit levha ürünleri % 22-50 arasında cam elyafı içeren geniş bir çeşitlilik arz etmektedir. Takviye türleri kırılmış cam lifleri, iğnelenmiş sürekli keçeler ve tek yönlü keçelerdir. Bu yöntemde, kırılmış elyaflar karmaşık şekilli parçaların üretiminde, sürekli keçeler ise yüksek mukavemet gerektiren ürünlerde kullanılmaktadır. Ayrıca çok yüksek eğilme modülü veya sertlik istenirse tek yönlü takviyeler de kullanılmaktadır.

GMT Kalıplama Yönteminin avantajları; yüksek mukavemetli ve darbelere karşı dayanıklı ürünlerin yapılabilmesi, düşük spesifik ağırlık, kimyasallara karşı dayanım, çok amaçlı kullanılabilirlik, yüksek verimlilik, geri dönüşüme olanak sağlaması ve üretim maliyetinin uygun olmasıdır.

GMT Kalıplama Yönteminin dezavantajları ise; yatırım harcamaları SMC' de olduğu gibi yüksek ve benzer kısıtlamalar içermesi, kullanıcı sayısının az olması sonucu rakip malzemelere göre fiyat/performans oranının düşük kalması ve ısı dayanımlarının termoset reçinelerin kullanıldığı proseslerde olduğu kadar yüksek olmamasıdır.

Bu yöntemin uygulama alanlarının başında, tampon bağlantıları, araç panel taşıyıcıları, koltuk şaseleri, motor gürültü kalkanları, pil yatakları, ön modüller,

büyük hacimli malzeme taşıyan gemi konteynırları, römork hatları, havalandırma şaseleri, iç kapı panelleri ve tavan kaplamaları gelmektedir.

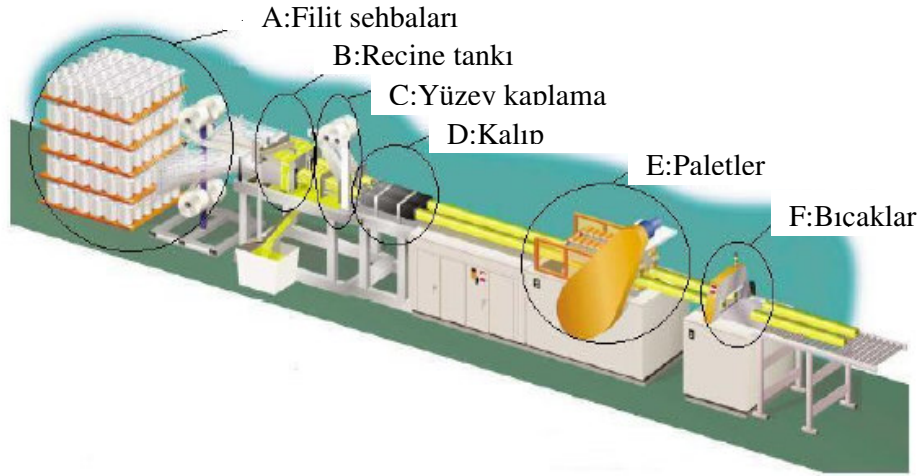
#### 3.4.11. Profil çekme yöntemi

Sürekli fitil cam elyafın bağlayıcı malzeme banyosundan geçirildikten sonra, istenilen profilde 120-150 C' ye ısıtılmış bir kalıp içinden çekilmesi yöntemidir. Elyaf takviyesi yönünde çok dayanıklı ve cam elyaf oranı %50-80 civarında profil ürünler elde edilebilmektedir. Üretilen profiller, yüksek mekanik özelliklerinin yanı sıra, çok kolay işlenebilmekte, hem mekanik olarak hem de yapıştırılarak birleştirilebilmektedir [51].

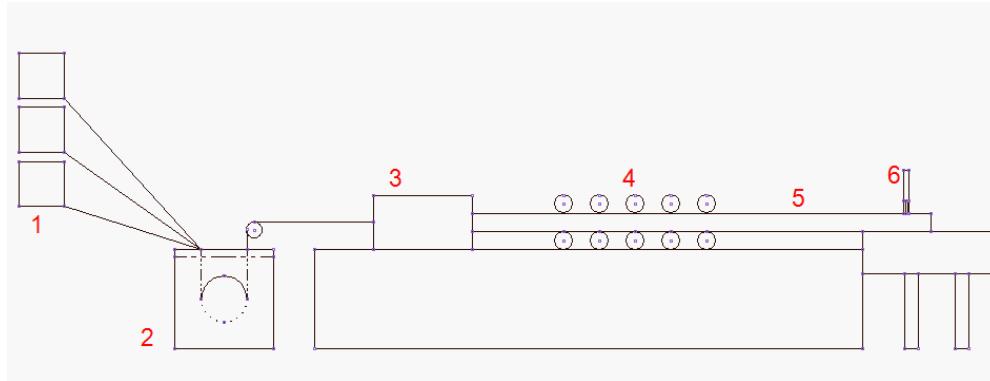
Profil çekme yönteminde kullanılan kalıplar genellikle 25 mikron kalınlığında krom kaplanmış yüksek karbonlu çelikten üretilmektedir. Kalıp uzunluğu, genellikle 90-110 cm arasında değişmekte, küçük kesit alanlı basit profiller için 60 cm, büyük kesitli karmaşık profiller için ise 150 cm uzunlukta tercih edilmektedir. Profil çekme yönteminde en önemli parametre, sıcaklık dağılımının kalıp boyunca homojen olmasıdır; zira oluşabilecek sıcaklık farklılıkları, profilde deformasyona yol açabilmektedir [48].

Bu yöntemde sıklıkla kullanılan bağlayıcılar, izoftalik polyester bağlayıcılarıdır. Ayrıca, ortoftalik, teraftalik polyester, vinilester ve termoplastik bağlayıcıların kullanımı da mümkündür. Bağlayıcılarda, iyi ıslanmayı sağlayabilecek düşük fiskoziye veya seyreltilebilme özelliği aranmaktadır. Bağlayıcılarda yangın dayanımı, dolgu maddesi olarak alüminyum hidroksit kullanılması ile iyileştirilmektedir.

Şekil 3.17'de ve Şekil 3.18'de profil çekme yönteminde proses akışı ve gerekli ekipman şematik olarak gösterilmektedir. Bu yöntemle üretilen, yapı sektöründe kullanılan bazı profiller Şekil 3.19'da örneklendirilmektedir.

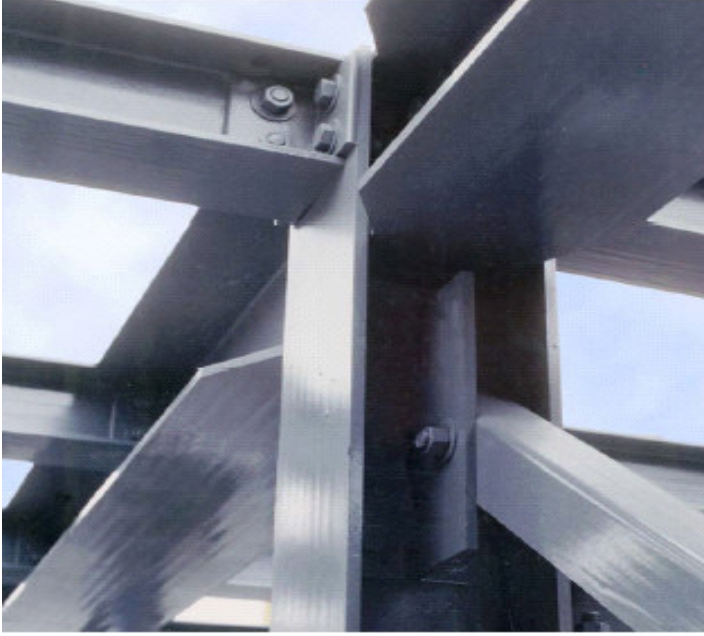


Şekil 3.17 Profil çekme yöntemini oluşturan ekipmanlar

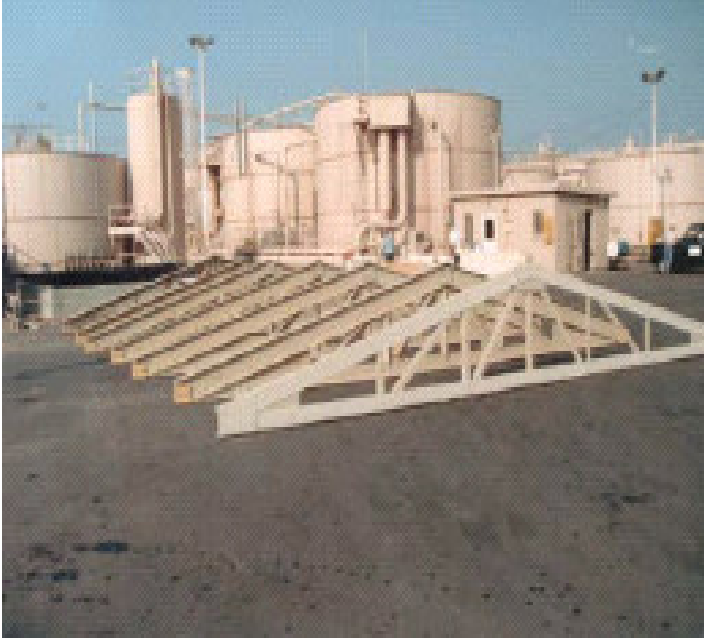


Şekil 3.18 Profil çekme yönteminde kullanılan makine şeması

1. Cam elyaf fitil
2. Reçine banyosu
3. Kalıp
4. Çekme sistemi
5. Profil
6. Kesme bıçağı



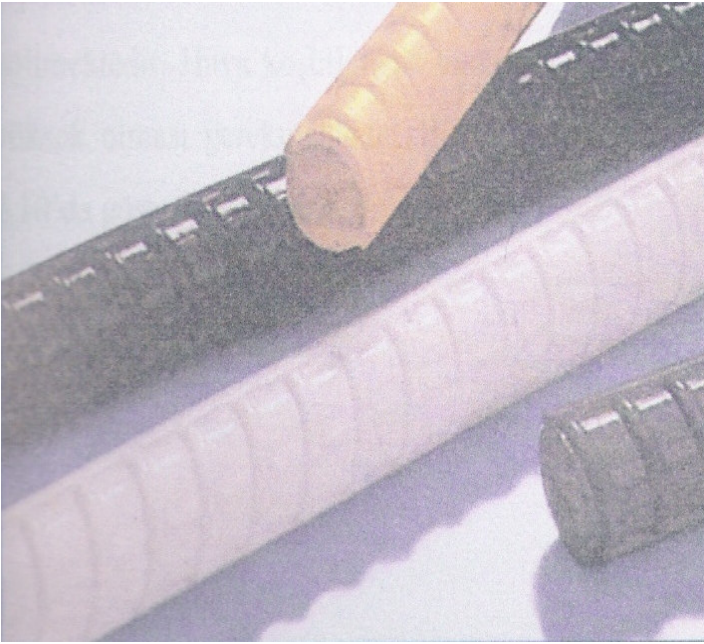
Şekil 3.19a Köprü ayağı ve kirişler [52]



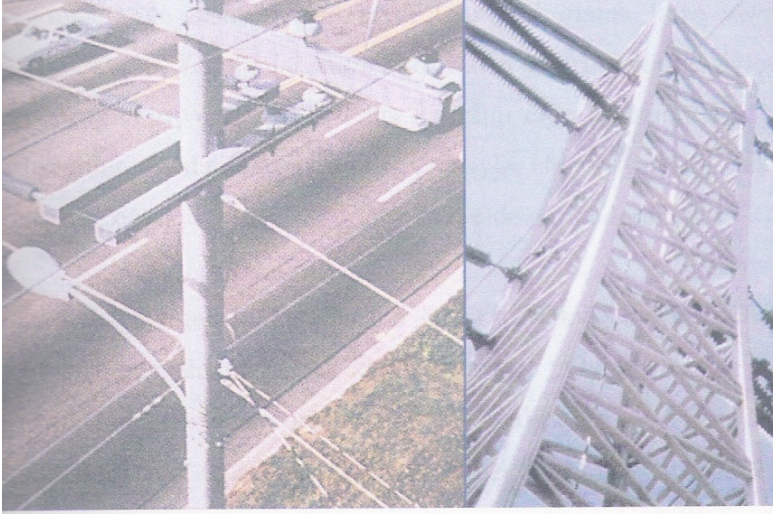
Şekil 3.19b Çatı makasları [52]



Şekil 3.19c Köprüler [52]



Şekil 3.19d Betonarme donatı çubukları [52]



Şekil 3.19e Yüksek gerilim hat direği [52]

#### 3.4.11.1. Pultruzyon (Profil çekme) yönteminin avantajları

1. Üretim, düşük iş gücü ile yapılabilir,
2. Karmaşık geometriye sahip şekiller bile, kolaylıkla üretilebilir,
3. Üretim kolaylığından dolayı, gün geçtikçe düşen maliyetleriyle, metaller ile sıkı bir yarış halindedirler,
4. Farklı mekanik özellikler elde etmek için, farklı elyaf katmanları ve kombinasyonları ile CTP üretilebilir,
5. Hacimsel bazda, polimer üretimi için metallerden daha az enerjiye ihtiyaç duyarlar,
6. Üretim hızı genel olarak 0.6m–1.2m/dak. olup, üretilen parça eşer uygun bir yapıya sahip ise 3m/dak. gibi yüksek bir hıza çıkabilir,
7. Ekonomik olması ve bir çok pazar tarafından kullanılması sayesinde, en hızlı ilerleme gösteren kompozit üretim yöntemidir,
8. Pultruzyon, yönlendirilmiş elyaf kullanılan bir prosestir. Elyafın büyük bir kısmı optimum çekme dayanımı elde edecek şekilde boyuna yerleştirilirken bir kısım elyaf ise istenen ürün özelliklerini sağlayacak şekilde farklı yönde düzenlenebilmesi,
9. Düşük işçilik gerektiren büyük ölçüde otomatikleştirilmiş gibi proses olması,
10. İşçilik maliyeti satış fiyatının %5-10'u arasında kalabilmesi,

11. Pultruzyon yönteminde, ekipman yatırım masraflarının diğer yüksek hacimde üretim yapılan yöntemlerle kıyaslandığında düşük olması,
12. Ayrıca, tüm bu unsurlar orta-yüksek hacimli uygulamalar için pultruzyon yöntemini ekonomik kılmaktadır.

#### **3.4.11.2. Pultruzyon (Profil çekme) yönteminin dezavantajları**

1. Pultruzyon prosesinde, elyafın büyük bölümü çekme dayanımı sağlayacak yönde yerleştirildiğinden, genellikle çapraz yönlerdeki mukavemetin düşüklüğü,
2. Genel olarak çapraz yönlerde elde edilen özellikler, gerçek çekme dayanımının %10-25 olması,
3. Pultruzyon ürünleri genellikle rekabet halinde oldukları malzemelerle aynı rijitlik değerlerine sahip olmaması,
4. Bu durum rakip malzemelerin rijitlik değerlerine ulaşmak için kesitte ya da cidar kalınlığında tasarım değişikliklerinin yapılmasını zorunlu kılmakta,
5. Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal özelliklerde olmaması, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesme dayanımı bulunmakta,
6. Malzemenin kalitesi, üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır. Fakat bu yöntemde standartlaşmış bir kalitenin olmaması,
7. Kompozitler kırılğan (gevrek) malzeme oldukları için, kolaylıkla zarar görürler, onarılmaları yeni problemler yaratabilmektedir.

#### **3.4.11.3. Pultruzyonla (Profil çekme) üretilen CTP malzemelerinin özellikleri**

1. Özgül ağırlığının az olmasından dolayı, geniş bir kullanım alanına sahiptirler,
2. Hafif olmalarından dolayı, elle ya da basit aletlerle uygulama yapılabilir,
3. Yine hafif olmasından dolayı, nakliye giderleri düşüktür,
4. Kolay kesilebilir ve işlenebilir,
5. Birleştirme işlemleri metallere olduğu gibi cıvata, vida v.b. başlama elemanı yerine, yapıştırma sayesinde parça sayılarında önemli azalmalar sağlar,
6. Metal ve seramiklere göre dayanım/yoğunluk oranı da yüksektir,



7. Yorulma ve darbe dayanımı yüksektir,
8. Yüksek korozyon direncine sahiptir,
9. Düşük ısı iletkenliğine sahiptir,
10. Kimyasallara karşı yüksek direnç gösterirler,
11. İyi elektrik yalıtkanlığına sahiptir,
12. Yüksek aşınma mukavemetine sahiptirler,
13. Uzun yıllar bakım ve boya gibi ek bir hizmete ihtiyaç duymazlar,
14. Elektromanyetik alan oluşturmaması nedeni ile radyo ve mikro dalga frekanslarını etkilemezler,
15. Isıya başlı uzamaları minimumdur,
16. Bazı plastiğin ışığı geçirmesi, yani saydamlık özelliklerinin de olması cam ile rekabet etmesini de sağlamaktadır.

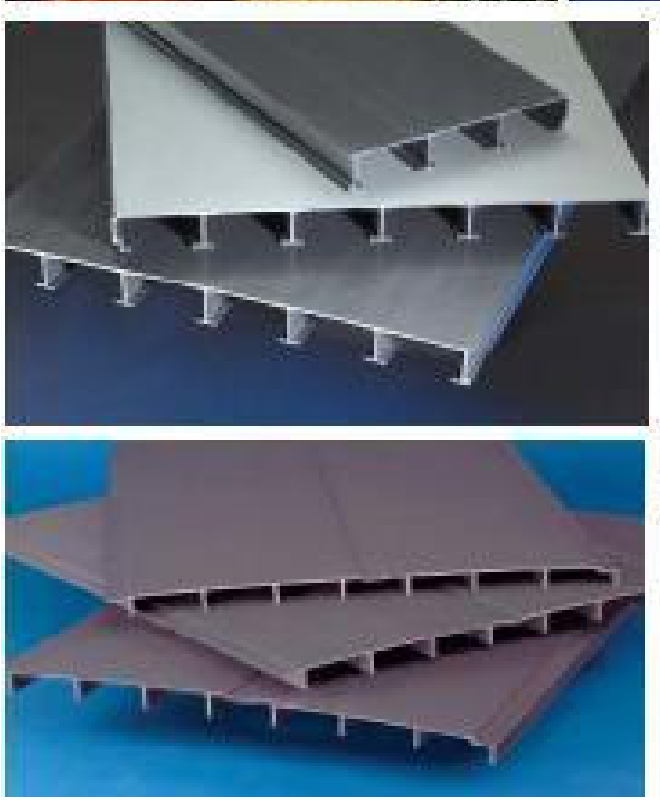
### **3.5. CTP' nin İnşaat Sektöründe Kullanım Uygulamaları**

Dünya' da yaklaşık olarak 4.7 milyon tonluk bir kullanım potansiyeline sahip olan CTP malzemenin inşaat sektöründe kullanımı, 954.000 tonu aşan bir miktarla toplam kullanımın % 20.2' sa mertebesindedir. Türkiye'de inşaat sektöründe CTP kullanımı ile ilgili bir istatistik bulunmamakla birlikte, bu oranın % 50 mertebesinde olduğu tahmin edilmektedir [54].

İnşaat sektöründe kullanılan CTP ürünler, el yatırması gibi basit kalıplama metotlardan, HKB ve profil çekme yöntemi gibi gelişmiş teknoloji gerektiren kalıplama metotlarına kadar birçok kalıplama metodu kullanılarak üretilmektedir. Cephe kaplama panellerinden, depolama tanklarına, prefabrike konutlardan köprülere, beton kalıplardan, şehir mobilyalarına kadar birçok CTP ürün, inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Anlaşıldığı üzere inşaat sektöründe % 20'lik bir payla, yüksek bir oran gibi gözükse de, kullanımlarının genelinde dekoratif yada yapısal olmayan elemanlarla sınırlı olduğu kabul edilmektedir [54]. Sektörde en çok kullanılan yapısal olmayan CTP kullanımları aşağıda sınıflandırılmaktadır.

### 3.5.1. Cephe kaplama panelleri

CTP malzemenin en yaygın olarak kullanıldığı alanlar başında gelmektedir. Cephe kaplama panelleri, tek cidarlı yapılabileceği gibi, çift cidarlı ve arasında ısı izolasyonu sağlayan poliüretan köpük veya cam elyafı şilte gibi malzemeler kullanılarak, izolasyonlu panel olarak da üretilmektedir. Kolay temizlene bilme avantajı sayesinde, CTP paneller, ameliyathane ve labaratuvar gibi steril ortamlarda hijyenik bir duvar kaplaması olarak da kullanım alanı bulmaktadır. CTP cephe kaplama panellerinin bir diğer önemli uygulaması, binalar arasında yaya geçişini sağlayan geçitlerin kaplama panelleridir. Şeffaf CTP levhalar çatı ışıklıklarında camın yerini almış ve kırılmaya karşı dayanıklılıklarıyla güvenli bir kullanım sağlamıştır. CTP paneller yalnızca estetik amaçlı değil, başta köprüler olmak üzere korozyona açık yapılarda, betonu korozyondan koruma amacı ile de kullanılabilmektedirler (Şekil 3.20) [39].



Şekil 3.20 Cephe Kaplamaları [52]

### 3.5.2. Prefabrik konutlar

Isı yalıtımını sandviç kontrüksiyon tekniği ile içinde barındıran birbirinden bağımsız panellerin çeşitli büyüklüklerde büfe, baraka, konut gibi ürünlerin üretimini içermektedir. Özellikle prefabrike yapı sistemine uygunluğu sebebiyle hazır banyo birimlerinin çok yaygın olarak kullanıldığı rapor edilmektedir [36]. Bu tür birimler, özellikle ıslak mekanların seri üretimine imkan sağlamakta, kolay montaj ve hafiflik özelliği ile inşaat hızını büyük oranda arttırmaktadır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 Ctp sistemle yapılan konut [52]

### 3.5.3. CTP beton kalıpları

Kaset döşeme, perde ve kolonların kalıplarında kullanılmaktadır. CTP kalıplar, kalıp bağlama ve sökme işlemlerini kolaylaştırmış ve bu kalıplar sayesinde betonun çok düzgün yüzeyli dökülmesi mümkün olabilmıştır. CTP kalıplar el yatırması, püskürtme ve reçine enjeksiyonu yöntemleri ile istenilen boyut ve şekilde seri bir şekilde üretilmektedir [54].

### 3.5.4. CTP borular

Endüstriyel inşaatта çok önemli bir yer tutmaktadır. Bunun başlıca nedeni, içme suyu, kimyasal maddeler, kanalizasyon, proses suyu gibi alışkanlıkların taşınmasındaki ihtiyaçların karşılanmasına en uygun koşullarda çözüm getiren üstün nitelikli ve uzun ömürlü bir malzeme olmasıdır. Gerek büyük çaplı (2500 mm' ye kadar), gerek küçük çaplı (50 mm'ye kadar) borular CTP malzeme kullanılarak yapılmaktadır. Her ne kadar, açık kalıplama metotları ile de CTP boru üretme olanağı bulunsa da, prosesin hızı nedeni ile genellikle “ elyaf sarma “ metodu kullanılmakta ve % 60-70 oranında cam elyafı takviyesi sağlanabilmektedir. Üretim metodu sayesinde, istenilen iç basınç dayanımına uygun olarak üretilebilmektedirler. CTP borular diğer ikame borularının tersine, rijit değil esnek olarak tasarlanmaktadır. Bu sayede, kendisini çevreleyen toprak ile homojen bir sistem oluşturup, dış yüklerin etkisini toprağa transfer edebilmektedir. Yapımında kullanılan bağlayıcı türüne (genellikle polyester veya epoksi) bağlı olarak, pek çok kimyasal maddeden etkilenmediğinden, her türlü korozif zeminde, bataklık ve deniz geçişlerinde ve bir çok kimyasal akışkanın nakli ve prosesinde vazgeçilmez bir malzeme olarak kabul edilmektedir. Uzun ve verimli hizmet ömürleri (50 yıl), düşük bakım giderleri ve bağlantı kolaylığı sayesinde sıklıkla tercih edilmektedir (Şekil 3.22) [54].



Şekil 3.22 Borular [52]

### 3.5.5. Somun

Son yıllarda CTP profillerle oluşturulan yapısal elemanlar CTP' nin inşaat sektöründe kullanımını bakımından yeni bir alan yaratmaktadır. CTP profillerin, somun cıvata ile birleştirilmesi veya epoksi türü bir yapıştırıcı ile yapıştırılması ile bağlantı noktaları oluşturulabilmektedir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23 Somun Cıvata [52]

### 3.5.6. Köprüler ve çatı makaslar

Özellikle korozif ortamlara dayanıklı yürüme yolları, köprüler ve çatı makası kontrüksiyonları denenmiş başlıca uygulamaları oluşturmaktadır [37]. CTP profiller, profil çekme metodu ile seri olarak üretilebilmektedir. Köprü taban tabliyeleri sandviç kontrüksiyon metodu ile üretilmekte, böylelikle yüklerin homojen olarak dağılması ve yüksek rijitlik sağlanmaktadır (Şekil 3.24).



Şekil 3.24 Çatı makasları [52]

### 3.5.7. Diğer uygulamalar

Bunların yanın da trafik işaretleri, merdivenler, platformlar, zemin kaplamaları, çatı kaplamaları, oluklar, cephe kaplamaları vb. gibi yerlerde geniş kullanım alanı bulmuştur.( Şekil 3.25- Şekil 3.26- Şekil 3.27- Şekil 3.28- Şekil 3.29- Şekil 3.30- Şekil 3.31- Şekil 3.32)



Şekil 3.25 Zemin Kaplamaları [52]



Şekil 3.26 Trafik levhaları [55]



Şekil 3.27 Kent Mobilyası [55]



Şekil 3.28 Platformlar [55]

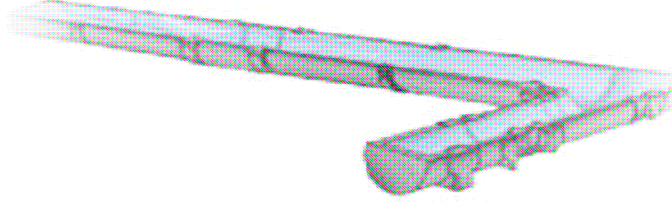


Şekil 3.29 Merdivenler [55]



Şekil 3.30 Çatı Kaplamaları [55]





Şekil 3.31 Oluklar [55]



Şekil 3.32 Yer kaplamaları [55]

CTP' ler geçmişten günümüze kadar sürekli gelişim içinde olmuştur. Görüldüğü üzere bugünkü geldiğimiz aşamada, büyük açıklıklı köprüler, çatı makasları, prefabrike konutlar, cephe kaplamaları, paneller, kuleler, merdivenler, platformlar, yüzme havuzları, istenilen ebatlarda profiller, beton kalıpları, köprü platformları ve ayakları, otoyol korkulukları, temel kazıkları gibi inşaat sektöründe bir çok alanda

birincil ve yardımcı malzeme elemanı olarak kullanılmaktadır. Günümüzdeki Ar-Ge çalışmaları hızla devam etmekte ve alternatif malzeme olma yönünde hızla ilerleme kaydetmektedir. CTP'lerin bu nedenle kullanım alanlarının yaygın olması ve araştırma konusu olmasının başlıca nedenleri; Mukavemet/ağırlık oranının yüksek olması, sertlik, hava koşullarına dayanım, kimyasal maddelere yüksek dayanım, sınırsız kalıplama kolaylığı, istenilen mukavemette üretilebilme imkanı, kolay işçilik ve korozyona karşı dayanım gibi özellikler sayılabilir. Bu özelliklerden en önemlilerinden bir tanesi istenilen mukavemette üretilebilme imkanını sunmasıdır. Bu günkü çalışmaların çoğu mekanik özellikleri iyileştirme yönündedir. Mekanik özellikleri en fazla etkileyen etken ise kompozit malzeme içerisindeki takviye elemanıdır. Takviye elemanının (cam elyaf) mekanik özellikleri ve malzeme içerisindeki oranı direkt olarak malzemenin mekanik özelliklerinin etkilemektedir. Bu etkilerin araştırılması için çeşitli elyaf hacim oranlarında olan malzemeler çekme deneyine tabi tutulmuştur. Bu malzemelerin elyaf hacim oranlarının değişimi ile elatisite modülünün, poisson oranının ve yüzde uzamalarının değişimi araştırılmıştır. Daha sonra bu malzemeler teorik olarak hesaplanmış sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın sonunda istenilen malzemenin mekanik özellikleri biliniyorsa, bu özelliklerdeki malzemeyi üretmek için elyaf hacim oranlarını değişiklik yaparak sonuca varabilmektir. Diğerleri ise deneysel çalışma ile teorik hesapların uygunluğu araştırıldı.

## BÖLÜM 4. METERİAL VE METOT

Malzemelerin dış kuvvetlere karşı gösterdiği tepkiye mekanik davranış, bu davranış şekline de malzemenin mekanik özelliği denir. Bu özellikler çeşitli deneysel yöntemlerle ve gözlemlerle belirlenir. Malzemeler dış kuvvetler karşısında önce şekli değiştirir. Dış kuvvetler belirli bir orana geldiğinde ise malzeme dayanımını yitirerek akar ve kırılır. Şekil değiştirmeler elastik veya plastik şekil değiştirme halindedir. Düşük gerilmeler altında şekil değiştirmeler elastik, yani tersinirdir. Malzemelerin şekil değişikliğine karşı dirençlerine elastik modül denir. Elastik modülü malzemenin gerilmesinin, malzemenin kesit alanına oranı şeklinde belirlenir. Bazı mekanik özellikler iç yapıya ve deney koşullarına bağlı değildir. Elastisite modülü bu tür bir özellik olup atomlar arası bağlar tarafından belirlenir. Malzemenin iç yapısında kalıcı değişim veya kırılma oluşturan herhangi bir gerilme sınırına mukavemet denir. Elastik modülünün bilinmesi dizayn edilecek yere göre malzeme seçimini kolaylaştırmaktadır. Bu çalışmada ise elyaf hacim oranının mekanik özelliklere etkisi araştırılmaktadır. Kompozitlerin mekanik özelliklerine direkt etki eden etkenlerden bir tanesinin elyaf hacim oranı olduğunu düşünülürse. Bu çalışma kompozit malzeme içerisine ne kadar oranda elyaf katarsak ne kadar elastisite modülü değişir bunun sonucu bulunacaktır.

Diğer bir özellik ise poisson oranıdır. Poisson oranı yanal şekil değiştirmenin aksel şekil değiştirmeye oranı olan bilinmektedir. Deneysel çalışmalar ile bulunan sonuçlardan bir tanesi ise yüzde uzamalardır. Yani malzemenin sünekliliğinin nasıl değiştiğini araştırmaktır. Kompozit malzemelerde mekanik özelliklere etki eden başlıca faktörleri şöyle sıralamak mümkündür. Bunlar;

1. Elyaf geometrisi ve doğrultusu,
2. Takviye elemanı türü ve özelliği,

3. Matris türü ve özelliği,
4. Uygulanan üretim tekniği,
5. Elyaf boy/çap oranı,
6. Matris-takviye elemanları arasında oluşan aderans,
7. Takviye elemanın hacim oranı.

Bu etkenler bütün kompozitlerde mekanik özelliklere etki ettiği gibi, kompozit bir malzeme olan CTP' lerde de mekanik özellikleri direkt olarak etkileyen nedenlerdir. İstenilen türde bir malzeme üretilebilmesi için bu etkenler göz önünde tutulması gerekmektedir. Bu çalışmamız da kompozit malzemenin özelliklerine etki eden faktörlerden olan, takviye elemanının hacim oranı incelenmiştir. Bunun için de, elyaf/hacim oranı farklı olan 9 malzemede toplam 90 numunede çekme deneyi yapılmıştır. Çekme deneyinde, malzemelerin Elastik modülleri, poisson oranları, yüzde uzamaları, maksimum çekme mukavemetleri elde edilmesi hedeflenmiştir. İkinci aşama olarak ta elyaf/hacim oranı farklı olan 9 malzemenin teorik hesapları yapılmıştır. Malzeme özellikleri (malzeme içerisindeki elyaf, reçine ve keçe yüzdeleri) üretici firma olan Esa Kimya Metal'den alınmıştır. Sonuç olarak ta farklı elyaf hacim oranındaki 9 malzemede bulunan bu değerler karşılaştırılacaktır.

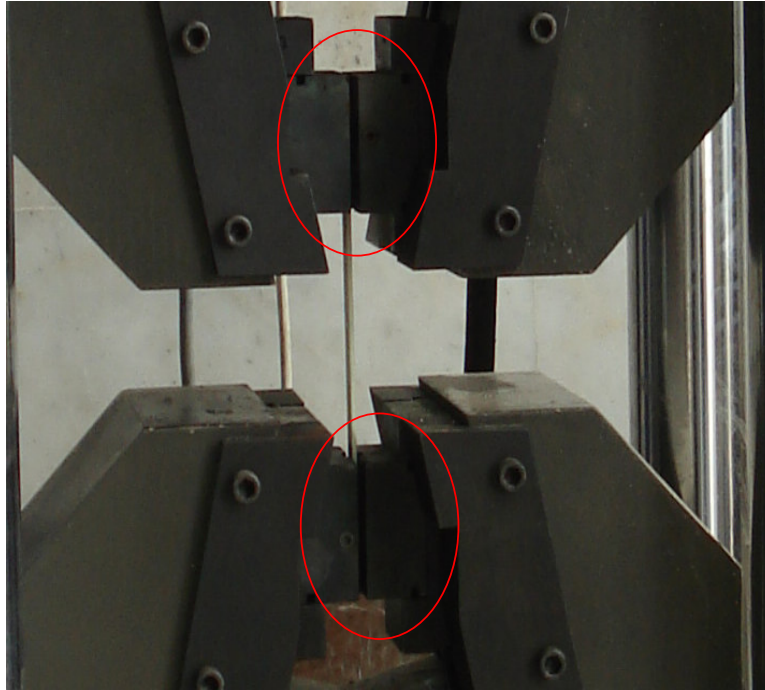
#### **4.1. Çekme Deneyi**

CTP malzemesinin, elastisite modülü ve poisson oranı belirlemek için çekme deneyleri yapılmaktadır. Elyaf hacim oranları farklı olan 9 malzeme Esa Kimya Metal'den temin edilmiş, ilgili TS' ler olan TS 3860, TS 1398-4 ve TS 1398-5 'e göre numuneler hazırlanmış ve hazırlanan bu numunelere çekme makinesinde belirli hızlarda çekme kuvveti uygulanmıştır. Elde edilen veriler bilgisayar ortamında excel programına aktarılarak gerekli hesaplamalar yapılmış ve grafikler çizilmiştir. Burada malzemelerin ayrı ayrı elastisite modülleri, poisson oranları, yüzde uzamaları, maksimum çekme mukavemetleri bulunmuştur. Tez çalışmasında sadece lif doğrultusuna paralel yönde deneyler yapılmıştır.

#### 4.1.1. Çekme deneyinde kullanılan makine ve ekipmanlar

##### 4.1.1.1. Çekme makinesi

Çekme deneyi için 40 ton çekme kapasitesine sahip, hidrolik yüklemeli ve bilgisayar donanımlı çekme makinesi kullanılmıştır. Hem manuel hem de otomatik yükleme yapabilme, deney grafiklerini çizebilme ve deney sonuçlarını rapor şeklinde sunabilme düzeneğine sahiptir. Makinenin deney parçasını tutucu çeneleri deney parçalarının eksenine, istenildiği anda kuvvet yönünde ayarlamaya uygun şekilde tasarlanmıştır. Çene yüzeyleri deney parçalarının kaymayacak şekilde pürüzlü olarak üretilmiş ve çeneler ve kendiliğinden sıkışma özelliğine sahiptir. Ayrıca makine çeneleri deney parçalarının kalınlığına ve malzemenin yapısına göre değiştirilebilmektedir. Çekme makinesi çene düzeneği ve tipleri Şekil 4.1' de görülmektedir.



Şekil 4.1 Çekme makinesi çeneleri ve düzeneği

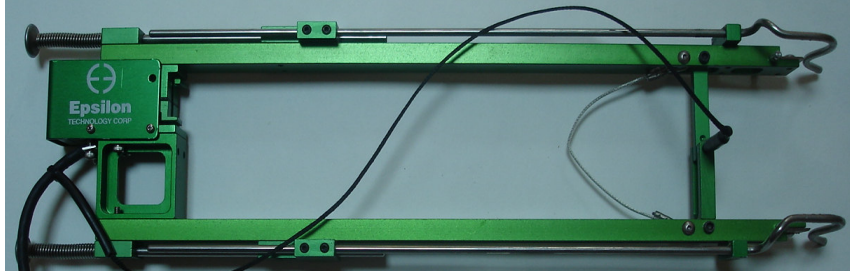
Çekme makinesi ve bilgisayar donanımı Şekil 4.2' de görülmektedir.



Şekil 4.2 Çekme makinesi ve donanımı

#### 4.1.1.2. Extansometre (Uzama Ölçer)

Çekme deneyinde, numunelerdeki boy uzamaları daha hassas bir şekilde ölçülebilmesi için kullanılmıştır. Extansometre bir ucu bilgisayara monte edilir, diğer ucu ise deney yapılacak numuneye takılır. Extansometre'nin baş kısmı yuvarlak kesitli ve dikdörtgen kesitli numunelere monte edilebilecek şekilde değiştirilebilmektedir. Numunede 50 mm'lik kısımda boy değişimini ölçer. Bu ara kısım pim yardımı ile sabitlendikten sonra numuneye takılır ve pim çıkartılır. Şekil 4.3' de çekme deneyinde kullanılan Extansometre görülmektedir.

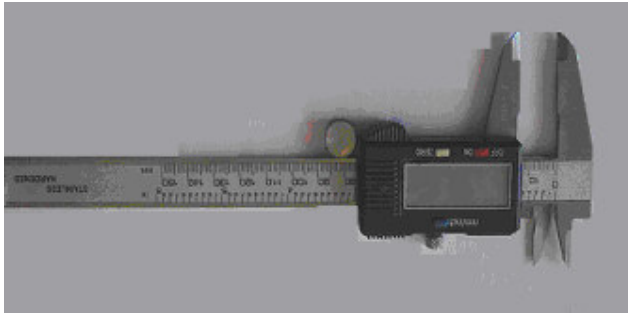


Şekil 4.3 Extasometre

0,01 mm hassasiyetle ölçüm yapılır ve her 0,01 mm uzamaya denk gelen yük miktarı ile birlikte bilgisayar ortamına aktarmaktadır. Extansometre deney hızından bağımsız ve % 1 ve daha iyi doğrulukta ölçüm yapar.

#### 4.1.1.3. Kumpas

Deney sonuçlarının doğru olabilmesi için öncelikle gerekli ölçümlerin doğru olması gerekmektedir. Bunun için deneylerimizde dijital kumpas kullanılmıştır. Dijital kumpas deneyde kullanılan kalınlık ve genişliği hassas olarak ölçülmesini sağlamıştır. 0,01 mm ölçüm hassasiyetine sahiptir. Elde edilen değerler kullanıldıktan sonra tekrar sıfırlanarak ölçüm yapılabilmektedir. Çalışmamızda ki deneylerde kullanılan dijital kumpas Şekil 4.4’de görülmektedir.



Şekil 4.4 Dijital Kumpas

#### 4.1.2. Çekme deney numunelerinin hazırlanması

Çekme deneyinde kullanılacak numuneleri elde etmek için ülkemizde kompozit malzeme üretimi yapan Esa Kimya Metal Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. firmasından çeşitli boyutlarda ve çeşitli elyaf hacim oranı olan CTP profilleri temin edilmiştir. Çeşitli kesit ve elyaf/hacim özelliklerine sahip CTP profilleri Şekil 4.5’ de görülmektedir.



Şekil 4.5 CTP profilleri

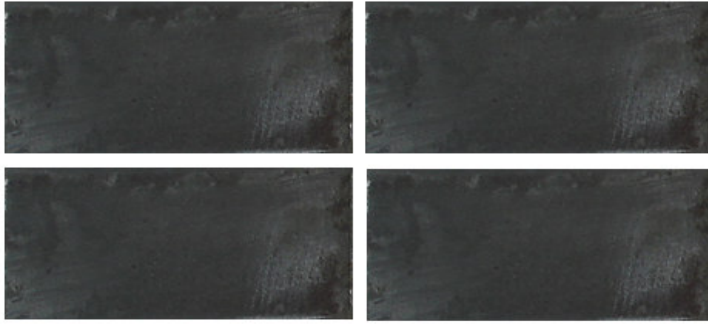
Fabrikadan elde edilen profiller laboratuvar ortamında muhafaza edilmiştir. CTP profillerinden deney şartlarına uygun şekilde TS 3860 ‘ belirtilen ebatlarda 25x250 mm boyutlarında parçalar kesilerek hazırlanmıştır. Kesilen numunelerinde kalınlıkların eşit olmasına ve malzemelerin kesimi esnasında zarar görmemesine dikkat edilmiştir. Numunenin kesilen kısımları ve yüzeyleri pürüzsüz hale getirmek için zımparalanmıştır. Profillerden kesilen parçalar Şekil 4.6’ da görülmektedir



Şekil 4.6 Profillerden Kesilmiş CTP numune



Deney esnasında numunelerin alt ve üst kısmından çeneler tutmakta ve çekme esnasında bu çeneler malzemenin baş kısmına basınç uygulamaktadır. Bu basınç nedeniyle malzemenin baş kısımlarında ezilmeler olmakta ve bunun sonucunda da deney sonuçlarında hata oluşmaktadır. Bu hataları önlemek amacı ile, numune ebatlarına uygun 1 mm kalınlığında 25X50 mm ebatlarında çelik levhalar hazırlanmıştır (Şekil 4.7). Deney esnasında sıyrımının önlenmesi için çelik levhalar çentiklenmiş numunelerin baş kısımları ise ince zımparalar ile zımparalanarak pürüzlü hale getirilmiştir. Böylece numune ile çelik başlık arasında aderans artırılmıştır.



Şekil 4.7 Bir numune için hazırlanmış 4 adet metal başlık

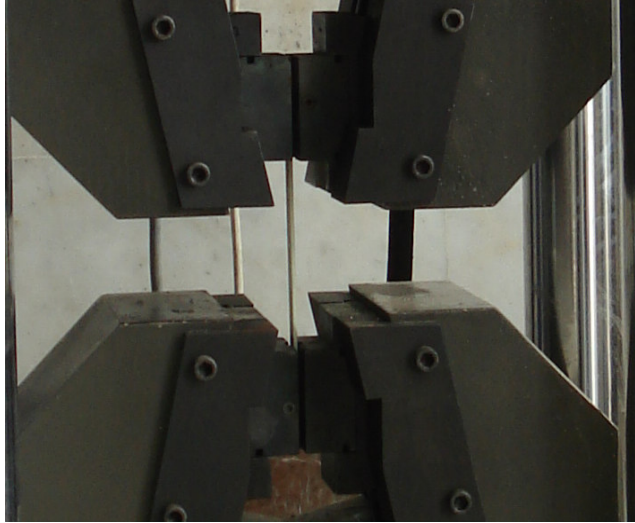
Çekme deneyi yapılacak her numune için iki ucuna toplam 4 adet çelik başlık hazırlanmıştır. Başlığın yapıştırılması için çift bileşenli epoksi yapıştırıcı kullanılmıştır. Sertleştirici ve yapıştırıcılar yarı yarıya olmak üzere bir kaptaki karıştırılmış ve 15 dakika dinlendirilmiştir. Daha sonra başlık ve numuneler temiz olması için silindikten sonra epoksi metal başlık ve numunenin baş kısmına iyice sürülmüş, boşluk kalmamasına dikkat edilmiştir. Yapıştırma işleminden sonra her bir numune mungeneler ile sıkıştırılarak kurumaya bırakılmıştır. Hava şartlarına göre ortalama bir hafta süre içerisinde bu şekilde kaldıktan sonra kuruyan numuneler mungeneden çıkartılarak temizlenmiştir. . Bu işlemler bütün numuneler için ayrı ayrı yapılmıştır. Şekil 4.8'de başlıkları yapıştırılmış çekme deneyine hazır bir numune örneği sunulmuştur.



Şekil 4.8 Metal başlık yapıştırılmış numuneler

#### 4.1.3. Çekme deneyinin yapılışı

Hazırlanan numunelerin yüzeyleri ile makinenin çene kısımlarına gelecek metal kısımları temizlendikten sonra bütün malzemeler guruplandırılmış ve numaralandırılmıştır. CTP malzemelerine uygun çeneler takılmış ve Extansometre çalışır hale getirilmiştir. Makinenin gerekli ayarları yapıldıktan sonra deney yapılacak parçanın boyutları kumpasla hassas biçimde ölçülmüş ve bu değerler çekme deneyi için açılan bilgisayar programına girilmiştir. İlk boy olarak ta Extansometrenin açıklığı olan 50 mm girilmiştir. Çekme deneylerinde çekme makinesinin yükleme hızları maksimum 2 mm/dak olacak şekilde yapılmıştır.



Şekil 4.9 Makine çenelerine sıkıştırılmış numune

Numune çenelere dik bir şekilde yerleştirildikten sonra, tam yerleşmenin sağlanarak sıyrılmasının önlenmesi için numuneye manuel yükleme kolu ile ilk yükleme yapılmıştır. Şekil 4.9’da çeneler yerleştirilmiş bir numune görülmektedir. Bilgisayara bağlı Extansometre deney numunesinin tam orta bölgesine gelecek şekilde yerleştirildikten sonra, sabitleme pimi çıkartılmıştır. Numunenin diğer tarafına ise poisson oranını belirlemek için komparatör saati takılmıştır ve komparatör saatini sabitlemek için çok az yapıştırıcı sürülmüştür (Şekil 4.10). Makine otomatik yüklemeye alınmış, uzama sıfırlanarak, yükleme hızı belirlendikten sonra çekme deneyi yapmaya hazır hale gelmiştir.



Şekil 4.10 Çekme deneyi düzeneği

Deney düzeneği tamamlandıktan sonra yükleme başlatılmıştır. Deney numunelerin kopmasına kadar devam etmiştir. Deney sonunda veriler bilgisayar ortamında kaydedilmiş, gerekli grafikler bilgisayara çizdirilmiştir. Çekme deneyi sonrası Şekil 4.11’ de görülmektedir.



Şekil 4.11 Çekme deneyinin sonlanması

Deney bitiminde ilgili veriler kaydedilerek Excel ortamına aktarılmış ve burada elastisite modülü, poisson oranları, yüzde uzamaları bulunmuştur ve diğer hesaplamalar yapılmış ve gerekli grafikler çizilmiştir. Bütün numunelerde aynı işlemler tekrarlanmış ve aynı hesaplamalar yapılmıştır. Deney sonrası numunelerin kopma şekilleri Şekil 4.12’ de görülmektedir.



Şekil 4.12 Çekme deneyi yapılmış numuneler

Ayrıca çekme deneyleri gerçekleştirilirken aynı zamanda numunelerin poisson oranları da ölçülmüştür. Poisson deneyleri ile ilgili bilgiler 4.2 ‘poisson oranı deneyi’ kısmında verilmiştir.

## 4.2. Poisson Oranı Deneyi

### 4.2.1. Poisson oranı deneyinde kullanılan makine ve ekipmanlar

Poisson oranında kullanılan ekipmanlar çekme deneyinde kullanılan makine ve ekipmanlardır. Bu ekipmanlar çekme deneyinde anlatılmış ve tanıtılmıştır. Bunlardan farklı olarak komparatör saati kullanılmıştır.

#### 4.2.1.1. Komparatör saati

Komparatör saati, numunedeki yanal boy değişimini ölçmede kullanılan ekipmanlardan bir tanesidir. Uç kısmından malzemeye yan kısmına takıldı ve kaymaması için kısa sürede yapışabilen yapıştırıcı ile malzemeye yapıştırıldı. Daha sonra saat sıfırlandı ve deney başladığında saatteki yanal boy değıştirmeler her 500 kgf ‘da bir malzeme kopana kadar yazıldı. Komparatör saati Şekil 4.13’de görülmektedir.



Şekil 4.13 Komparatör saati

#### 4.2.2. Poisson Oranı Deneyinin Yapılışı

Deneyde kullanılacak numuneler çekme deneyinde kullanılan numunelerin aynısıdır. Poisson deneyi çekme deneyi ile bir bütün halinde yapılmıştır. Numuneler dik bir şekilde çeneler yerleştirilmiştir. Daha sonra numunelerinin bir tarafına Extansometre takılırken diğer tarafına ise Komparatör saati takılmıştır. Komparatör saatinin kaymaması için saatin uç kısımları hafif şekilde numuneye yapıştırıldıktan sonra gerekli verile çekme deneyi programına girilir. Burada numunenin boyundaki uzama 50 mm' lik Extansometre açıklığı ile numunenin enindeki daralma ise komparatör saati ile ölçülmüştür. Deney öncesi düzenek Şekil 4.14' de gösterilmiştir.



Şekil 4.14 Poisson deneyi öncesi oluşturulan düzenek

Bütün veriler girildikten ve gerekli ayarlamalar çekme deneyinde olduğu gibi yapıldıktan sonra yükleme başlatılmıştır. Deney yapmaya hazır halde olan düzenek Şekil 4.15' de görülmektedir.



Şekil 4.15 Extansometre ve komparatörün numuneye montajı

Çekme deneyi başlatıldıktan sonra numune boyundaki uzama ve enindeki daralma değerleri her 500 kgf çekme kuvvetinde değerler kaydedilmiştir. Bu kayıt işlemleri numunenin kopmasına kadar devam etmiştir. Deney sonrasında kopmuş bir numune Şekil 4.16'da görülmektedir.



Şekil 4.16 Poisson deneyi sonrası

Her 500 kgf de kaydedilen değerler excel ortamına aktarılmış ve gerekli sonuçlar ve grafikler elde edilmiştir. Bütün bu işlemler her numune için ayrı ayrı yapılarak sonuçlar hassas bir şekilde bulunmuştur. Yapılan deneylerin sonuçları grafikler ve tablolar halinde Bۆlüm 7’de sunulmuştur.



## BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar da bölüm 4 açıklandığı üzere hazırlanan numuneler ayrı ayrı teste tabi tutulmuştur. Daha sonraki aşamada deney sonucunda bilgisayar ortamına aktarılan veriler kullanılarak bütün numuneler için ayrı ayrı grafikler oluşturulmuştur. Bu çalışma çekme deneyi ekseni oluşturulmuştur. Çekme deneyi sonucunda malzemenin elastisite modülü, poisson oranı ve yüzde uzamaları bulunmuştur.

### 5.1. Çekme Deneyi

Lif doğrultusuna paralel çekme deneyi için hazırlanan CTP numunelerinin yapıştırma işlemleri tamamlandıktan sonra çekme deneyi uygulanmış ve çeşitli sonuçlar elde edilmiştir. Toplam 90 adet lif doğrultusuna paralel deney numunesi hazırlanmıştır. Her bir numuneye çekme kuvveti uygulanarak elde edilen veriler bilgisayar ortamına kaydedilmiştir. Çekme makinesine ait bilgisayar programı, verileri işleyerek deney sonuçlarını ve deney grafiklerini oluşturmuştur. Fakat daha hassas sonuçlar elde etmek için her deney için kayıtlar text formatında kayıt edilmiş ve daha sonra bu kayıtlar Excel formatında işlenerek daha hassas sonuçlar bulunmuştur.

Deney sonrasında verilerin işlenmesi sonucunda 90 adet numune için formül 5.1 kullanılarak elastisite modülleri (E), formül 5.2 kullanılarak çekme gerilmeleri ve formül 5.3 kullanılarak yüzde uzamaları hesaplanmıştır.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (5.1)$$

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (5.2)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (5.3)$$

Burada;

$E$  = Elastisite Modülü (KN/mm<sup>2</sup>)

$\sigma$  = Gerilme (KN/mm<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  = Şekil Değişirme Oranı

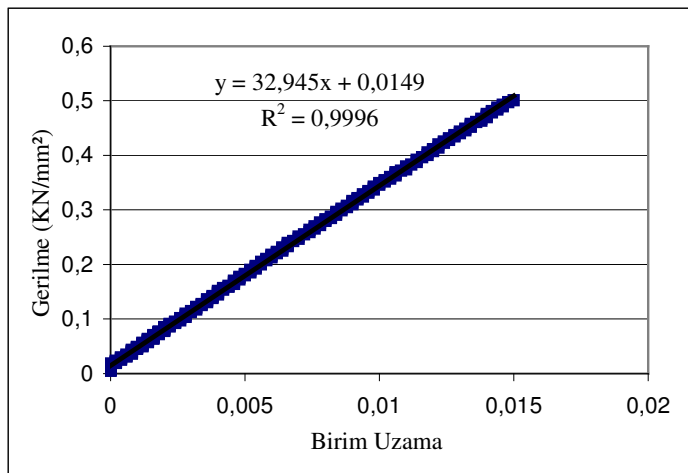
$P$  = Yük (N)

$A$  = Kesit Alanı (mm<sup>2</sup>)

$\Delta l$  = Boy Değişimi (mm)

$l$  = İlk Boy (mm)

Her numune hesaplamalar yapılmış ve elastisite modüllerinin elde edildiği grafikler oluşturulmuştur daha sonra bütün veriler tablo halinde sunulmuştur. Gerilme-Şekil değişirme grafiklerinde eğilim çizgileri oluşturulmuş ve korelasyon katsayısı ile denklemleri belirtilmiştir. Elastisite modülü ile ilgili oluşturulan grafikler Şekil 5.1' de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Lif doğrultusuna paralel tek numuneye ait çekme deneyi grafiği

### 5.1.1. Çekme deneyi numune bilgileri

Deney elyaf hacim oranları farklı olan 9 malzeme üzerinde yapılmıştır. Her bir malzemeden 10'ar adet numune hazırlanmış ve toplam 90 adet deney yapılmıştır. Tablo 5.1'de her bir malzemeye ürün kotu verilmiş, malzemenin boyutları, ürünün bir metresinin ağırlığı ve malzeme içindeki toplam elyaf, keçe, reçine yüzde oranları verilmiştir.

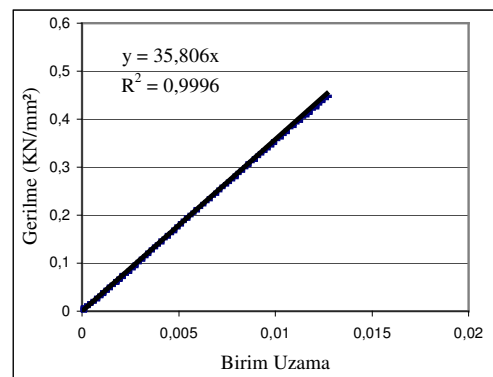
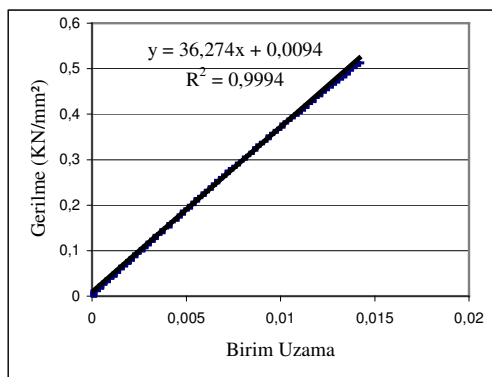
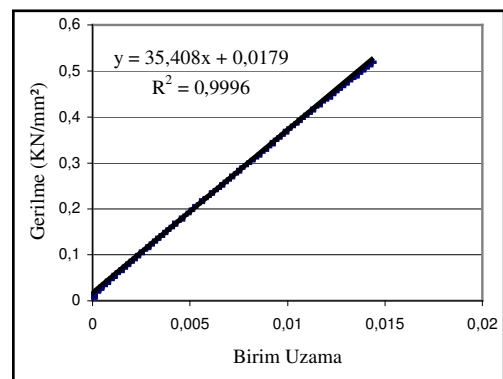
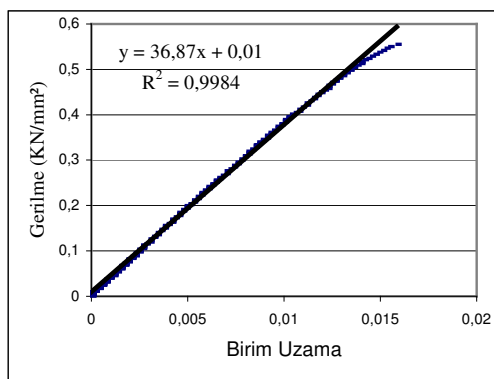
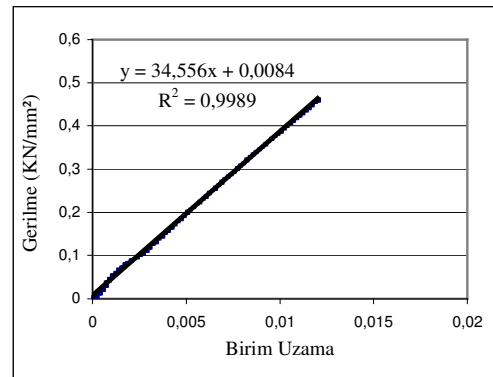
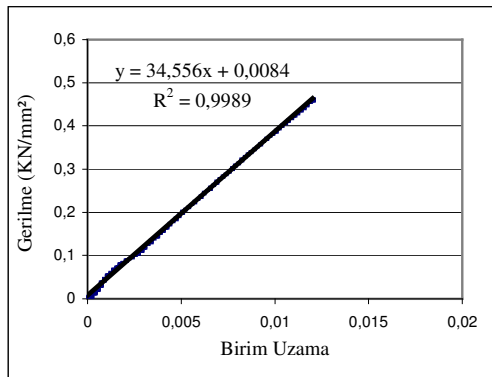
Tablo 5.1 Deneyde kullanılan malzemeler, malzemelerin içinde bulunan elyaf-keçe-reçine yüzdeleri  
Ve malzemelerin 1 m sinin ağırlığı

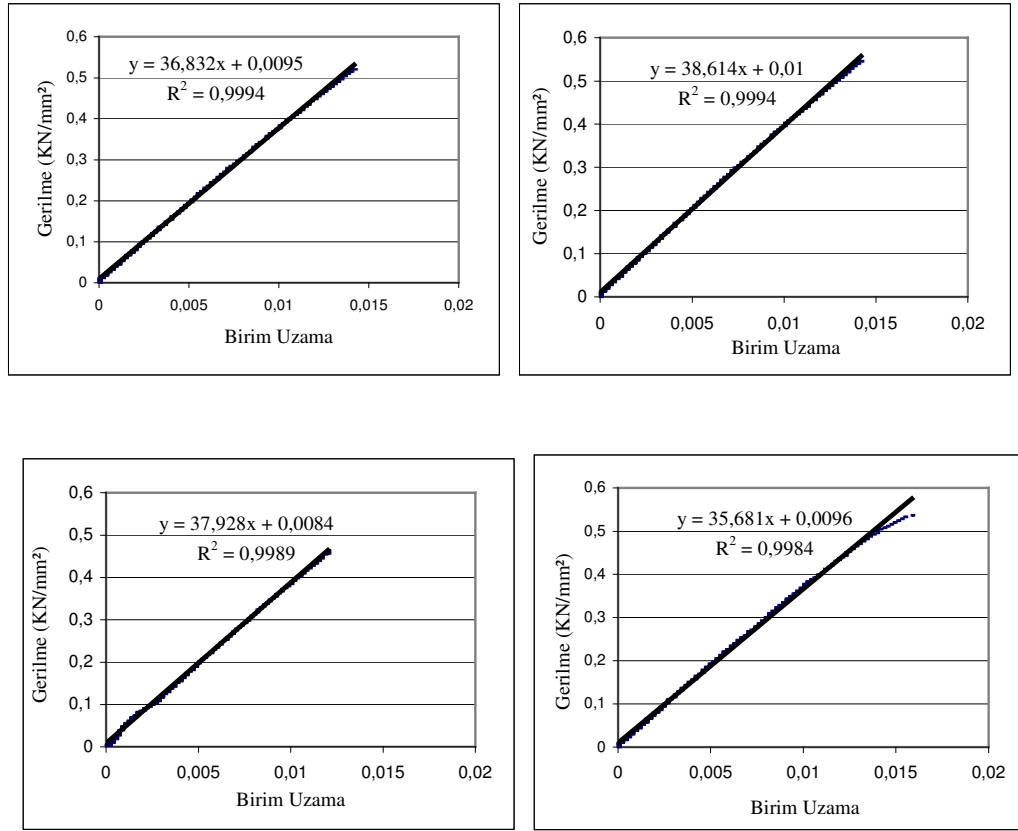
Kot No	Malzeme	Toplam ağırlık (Kg/m)	% Elyaf	% Keçe	% Reçine
A	50*3 (Lama)	260,00	59,00	12,70	28,30
B	74*74*6	3000,00	60,80	7,20	32,00
C	150*4,5*3	844,66	56,62	11,12	32,26
D	45*45*5	1432,00	56,65	8,38	34,97
E	45*45*3	951,33	52,66	11,90	35,44
F	80*30*3	700,00	44,30	13,00	42,70
G	74*40*4	1580,00	47,89	9,19	42,92
H	70*26*3,5	1332,00	47,20	9,30	43,50
I	150*4,5*3	819,16	43,82	12,22	43,96

Yukarıda belirtilen şekilde life paralel yöndeki çekme deneylerindeki tüm numuneler, Şekil 5.1' de belirtilen örnek numunede olduğu gibi grafik çizilerek aşağıda verilmiştir. Çekme deneyi yapılan tüm numunelere ait grafikler ve o malzemeden elde edilen sonuçlar tablo halinde verilmiştir.

#### 5.1.1.1. A Kot numaralı malzemenin deney sonuçları

Tablo 5.1'de özellikleri belirtilen 50x3 (Lama) mm boyutlarındaki A kot numaralı malzemelerde toplam 10 adet deney yapılmıştır. Bu malzemeye ait Gerilme-Şekil değiştirme grafikleri Şekil 5.2'de verilmiştir. Malzemeye ait kesit alanı, yüzde uzamaları, elastik modülleri, maksimum çekme ve kolerasyon katsayıları ve bu verilere ait ortalamalar Tablo 5.2'de verilmiştir.





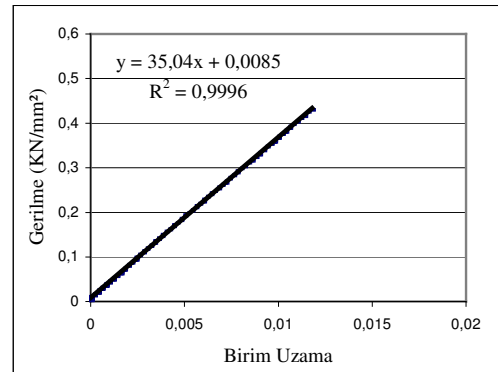
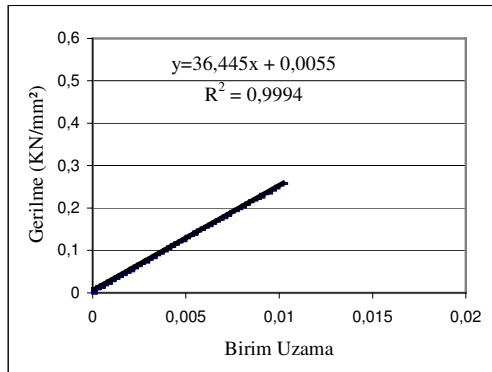
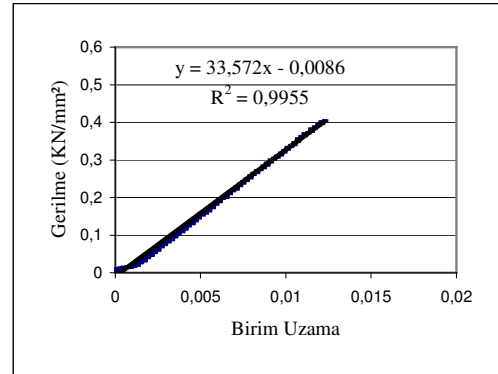
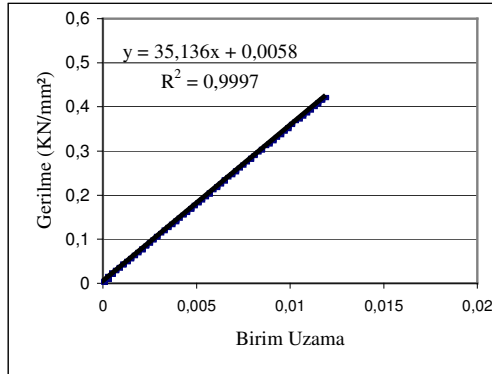
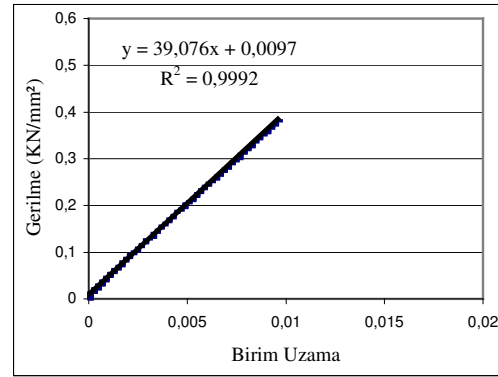
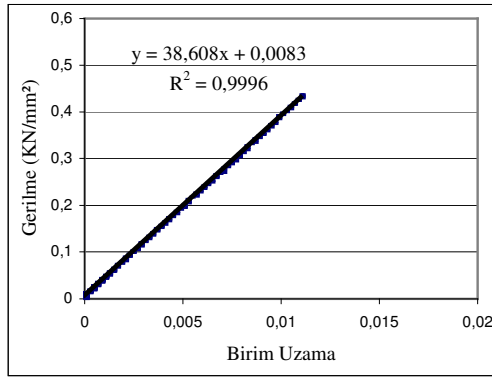
Şekil 5.2 A Kot numaralı malzemenin Gerilme-Şekil değiştirme grafiği

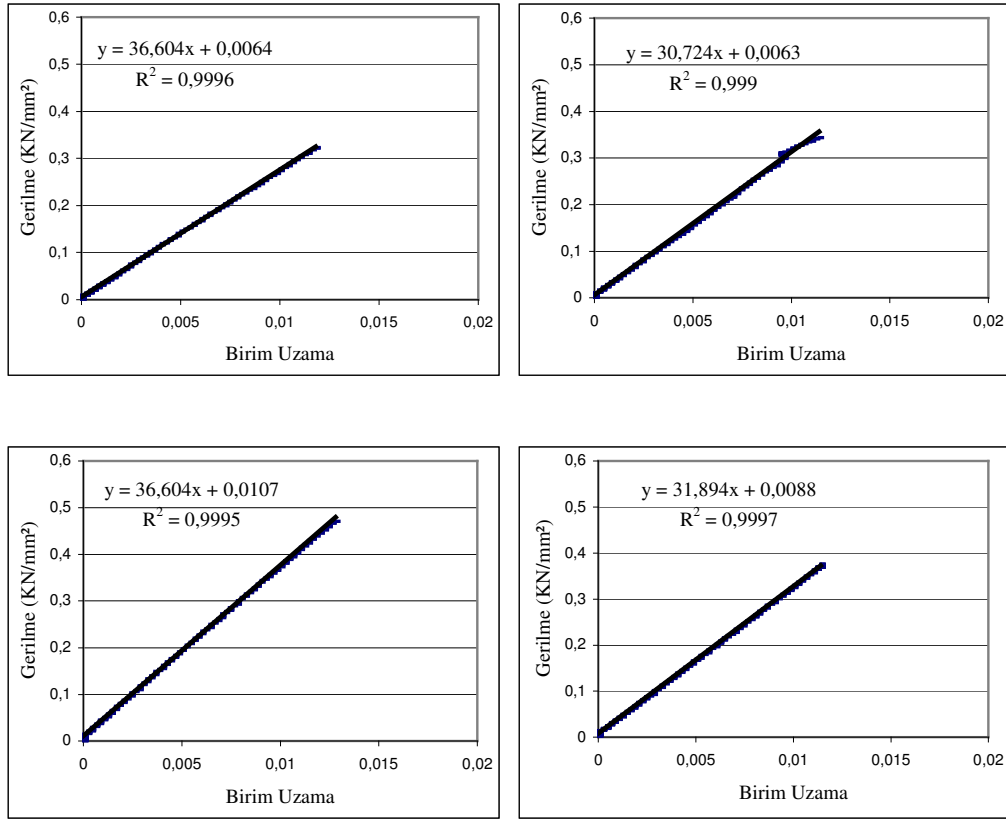
Tablo 5.2 A Kot numaralı malzemelerle ilgili deney sonuçları

Nunune No	Kesit Alanı (mm)	Lo (mm)	L1 (mm)	DL ( L-Lo ) ( mm )	Uzama (%)	Elastisite Modülü (KN/mm <sup>2</sup> )	Max.Çekme Gerilmesi (KN/mm <sup>2</sup> )	Korelasyon Katsayısı
1	73,56	50	50,8	0,8	0,016	35,481	0,4051	0,9975
2	71,34	50	50,2	0,2	0,004	34,566	0,4477	0,9984
3	72,65	50	50,9	0,9	0,018	36,87	0,4702	0,9984
4	74,52	50	51,5	1,5	0,03	35,408	0,4738	0,9996
5	73,01	50	50,6	0,6	0,012	36,274	0,4643	0,9994
6	72,35	50	50,8	0,8	0,016	35,806	0,4544	0,9996
7	73,4	50	50,6	0,6	0,012	36,832	0,4708	0,9994
8	71,3	50	50,1	0,1	0,002	38,614	0,4995	0,9994
9	74,75	50	50,3	0,3	0,006	37,928	0,4631	0,9989
10	70,85	50	51,01	1,01	0,0202	35,681	0,4733	0,9984
Ortalama				0,681	0,01362	36,346	0,4622	0,9989
Sapma				0,4193235	0,00838	1,2334594	0,0243	0,0007024
Varyans				0,1758322	7,03329	1,521422	0,0005	2,83E-07

### 5.1.1.2. B Kot numaralı malzemenin deney sonuçları

Tablo 5.1’de özellikleri belirtilen 74x74x6 mm boyutlarındaki B kot numaralı malzemelerde toplam 10 adet deney yapılmıştır. Bu malzemeye ait Gerilme-Şekil değiştirme grafikleri Şekil 5.3’de verilmiştir. Malzemeye ait kesit alanı, yüzde uzamaları, elastik modülleri, maksimum çekme ve kolerasyon katsayıları ve bu verilere ait ortalamalar Tablo 5.3’de verilmiştir.





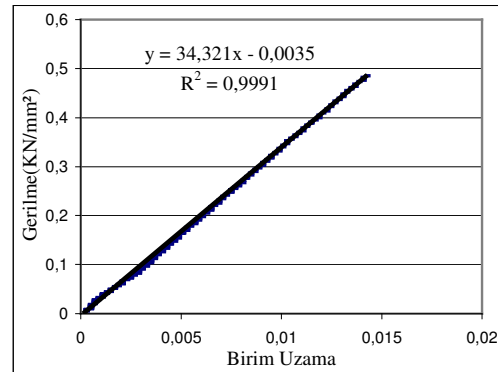
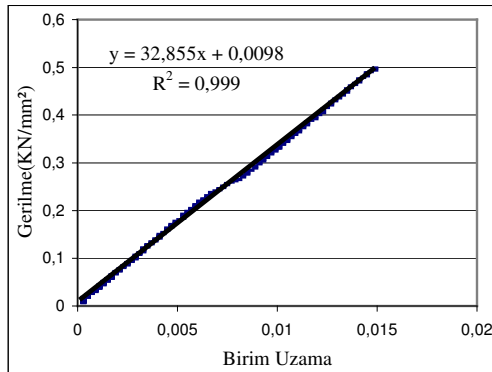
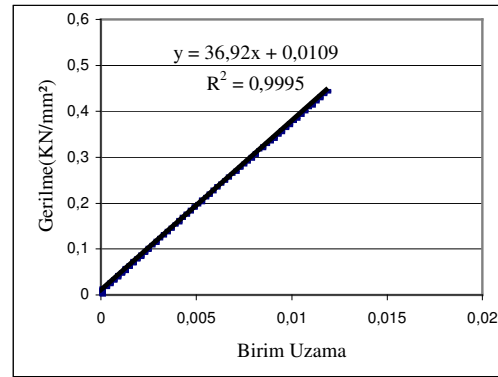
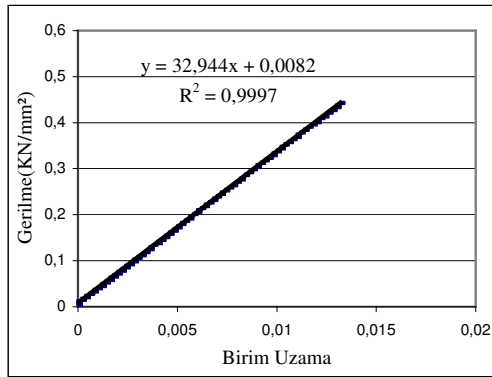
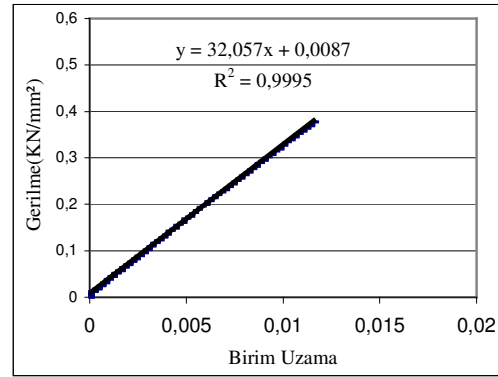
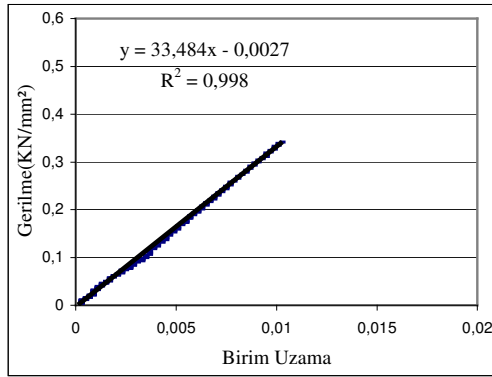
Şekil 5.3 B Kot numaralı malzemenin Gerilme-Şekil değiştirme grafiği

Tablo 5.3 B Kot numaralı malzemelerle ilgili deney sonuçları

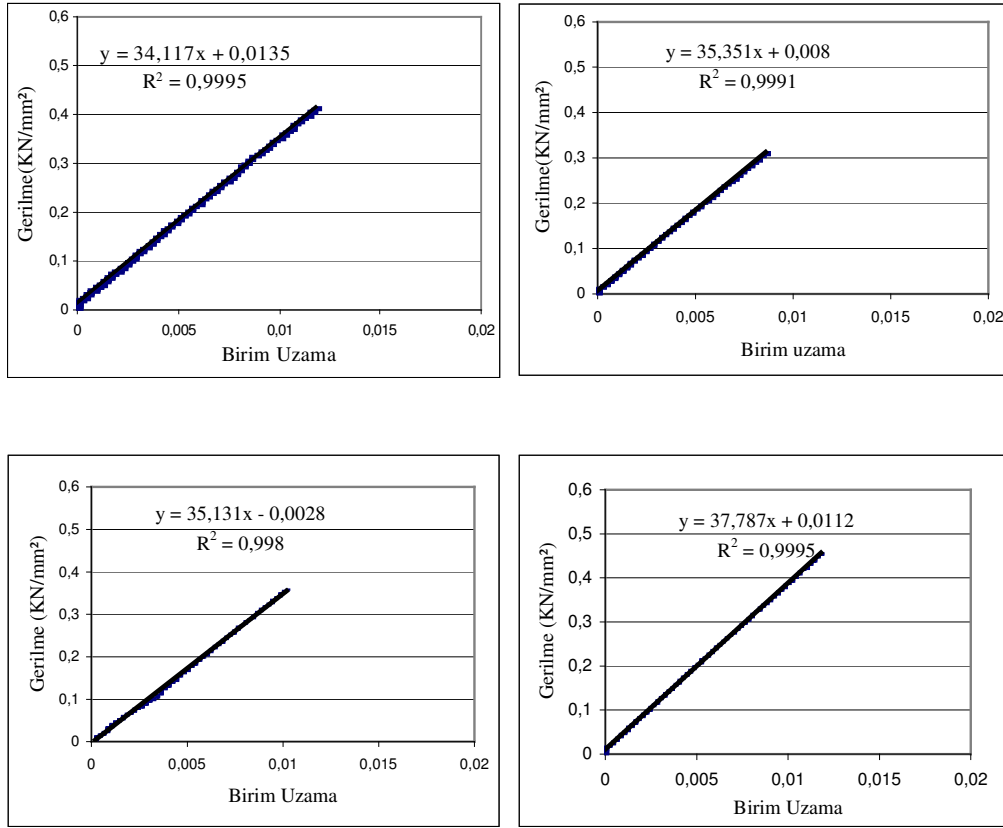
Numune No	Kesit Alanı (mm)	Lo (mm)	L1 (mm)	DL ( L-Lo) ( mm )	Uzama (%)	Elastisite Modülü (KN/mm²)	Max.Çekme Gerilmesi (KN/mm²)	Korelasyon Katsayısı
1	145,08	50	51,2	1,2	0,024	38,608	0,3098	0,9996
2	135	50	51,3	1,3	0,026	39,076	0,4284	0,9992
3	143,84	50	50,6	0,6	0,012	35,136	0,3562	0,9997
4	135,89	50	50,6	0,6	0,012	33,572	0,4005	0,9955
5	136,59	50	51,2	1,2	0,024	36,445	0,2569	0,9994
6	148,58	50	51,5	1,5	0,03	35,04	0,3255	0,9996
7	147,52	50	50,2	0,2	0,004	30,724	0,3084	0,9996
8	142,35	50	50,6	0,6	0,012	36,604	0,3341	0,999
9	151,28	50	50,9	0,9	0,018	31,894	0,3404	0,9995
10	148,94	50	51,7	1,7	0,034	35,421	0,3824	0,9997
Ortalama				1,38	0,0196	35,252	0,3443	0,99909
Sapma				0,9997778	0,01999	2,663022	0,0498	0,0012827
Varyans				0,9995556	0,00039	7,091686	0,0024	1,80E-06

### 5.1.1.3. C Kot numaralı malzemenin deney sonuçları

Tablo 5.1’de özellikleri belirtilen 150x4,5x3 mm boyutlarındaki C kot numaralı malzemelerde toplam 10 adet deney yapılmıştır. Bu malzemeye ait Gerilme-Şekil değiştirme grafikleri Şekil 5.4’de verilmiştir. Malzemeye ait kesit alanı, yüzde uzamaları, elastik modülleri, maksimum çekme ve kolerasyon katsayıları ve bu verilere ait ortalamalar Tablo 5.4’de verilmiştir.







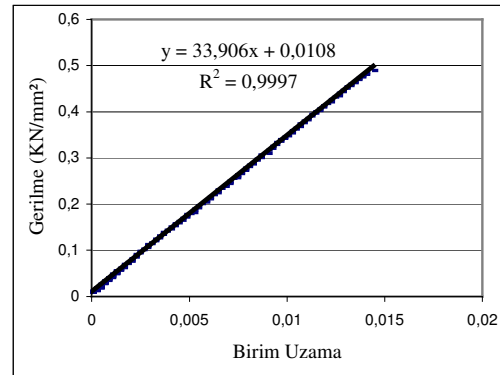
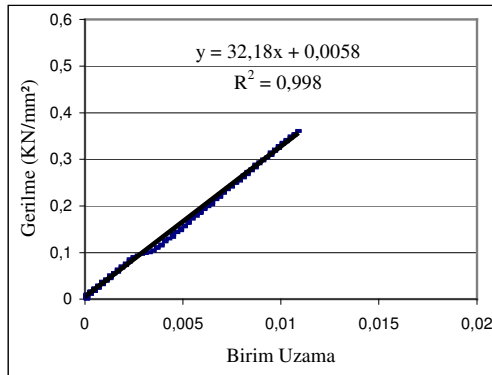
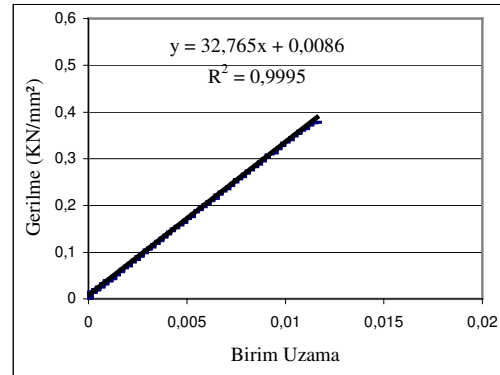
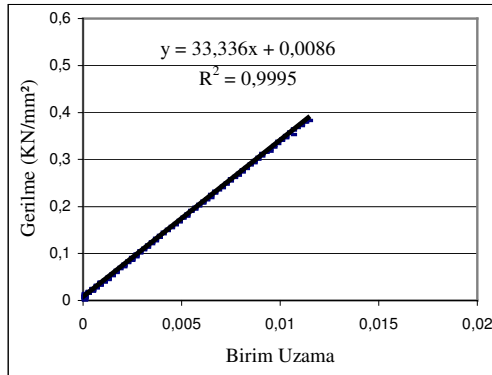
Şekil 5.4 C Kot numaralı malzemenin Gerilme-Şekil değiştirme grafiği

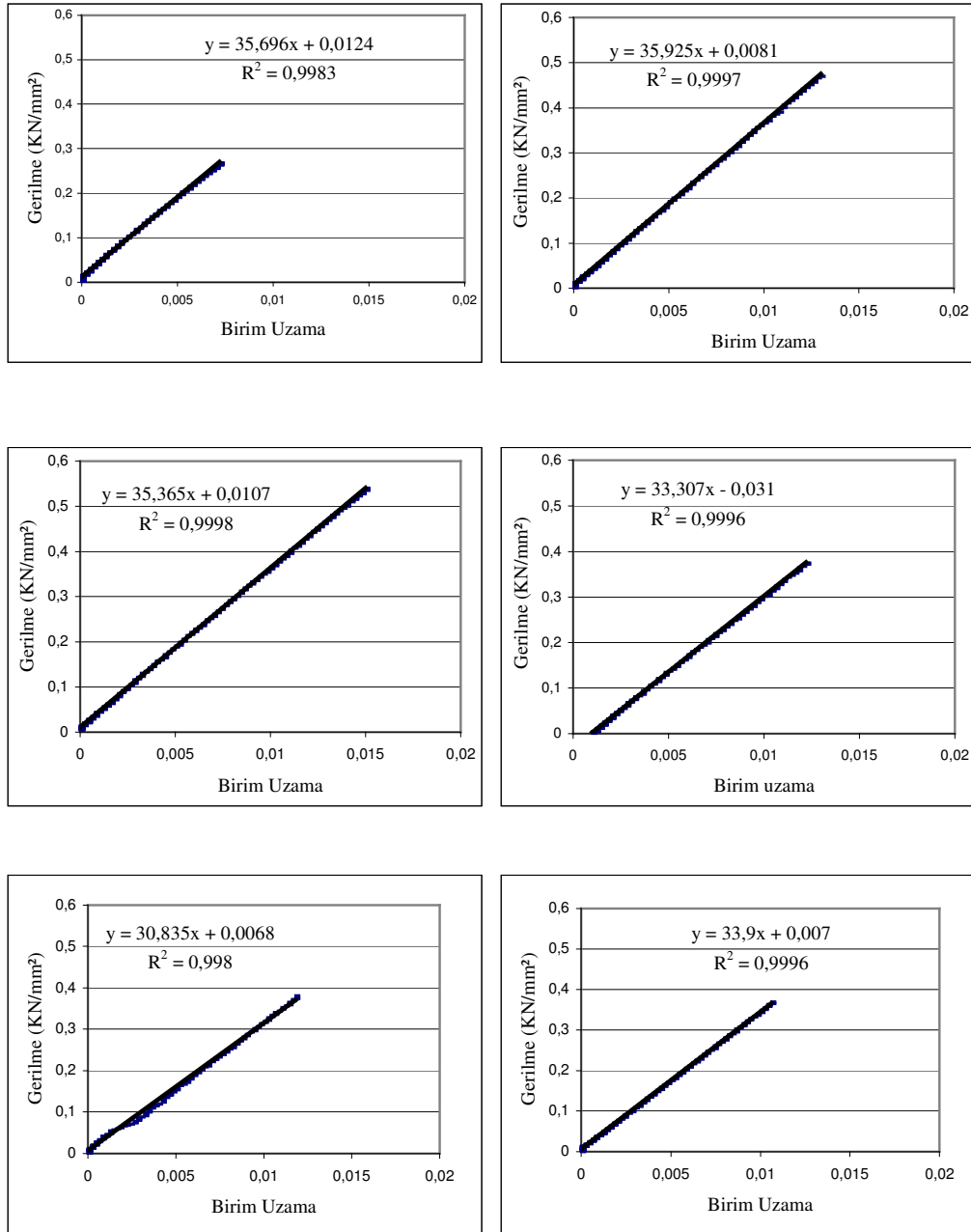
Tablo 5.4 C Kot numaralı malzemelerle ilgili deney sonuçları

Numune No	Kesit Alanı (mm)	Lo (mm)	L1 (mm)	DL ( L-Lo) ( mm )	Uzama (%)	Elastisite Modülü (KN/mm²)	Max.Çekme Gerilmesi (KN/mm²)	Korelasyon Katsayısı
1	69,85	50	53,3	3,3	0,066	33,484	0,417	0,998
2	69,53	50	51,3	1,3	0,026	32,057	0,458	0,9995
3	70,01	50	50,8	0,8	0,016	32,944	0,505	0,9997
4	68,89	50	50,7	0,7	0,014	36,92	0,503	0,9995
5	69,36	50	51,5	1,5	0,03	32,855	0,495	0,999
6	71,52	50	50,9	0,9	0,018	34,321	0,464	0,9991
7	69,25	50	50,7	0,7	0,014	34,117	0,470	0,9995
8	69,66	50	50,7	0,7	0,014	35,351	0,496	0,9991
9	70,01	50	50,4	0,4	0,008	35,131	0,491	0,998
10	69,89	50	51,2	1,2	0,024	37,787	0,503	0,9995
Ortalama				350,17	0,023	34,4967	0,480	0,99909
Sapma				1103,5755	0,016499	1,8284607	0,028	0,0006173
Varyans				1217878,8	0,000272	3,3432687	0,000	2,64E-07

#### 5.1.1.4. D Kot numaralı malzemenin deney sonuçları

Tablo 5.1’de özellikleri belirtilen 45x45x5 mm boyutlarındaki D kot numaralı malzemelerde toplam 10 adet deney yapılmıştır. Bu malzemeye ait Gerilme-Şekil değiştirme grafikleri Şekil 5.5’de verilmiştir. Malzemeye ait kesit alanı, yüzde uzamaları, elastik modülleri, maksimum çekme ve kolerasyon katsayıları ve bu verilere ait ortalamalar Tablo 5.5’de verilmiştir.





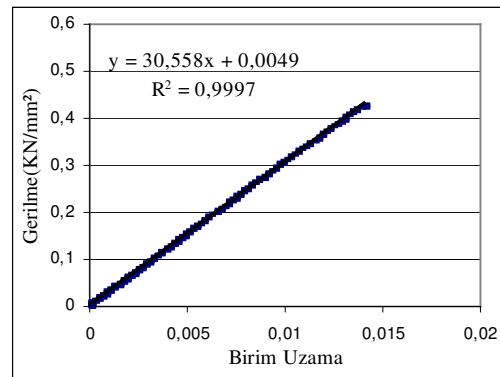
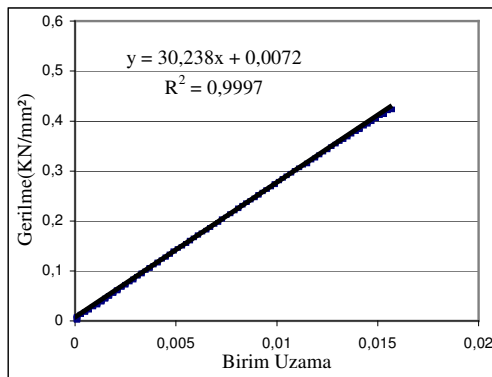
Şekil 5.5 D Kot numaralı malzemenin Gerilme-Şekil değıştirme grafiği

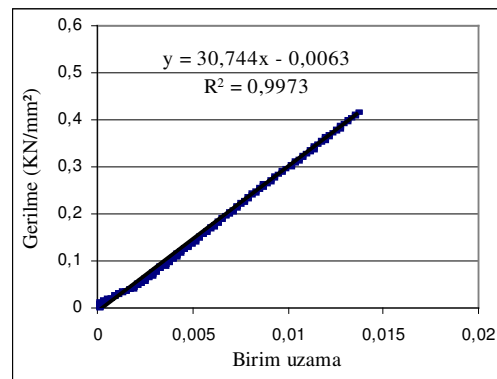
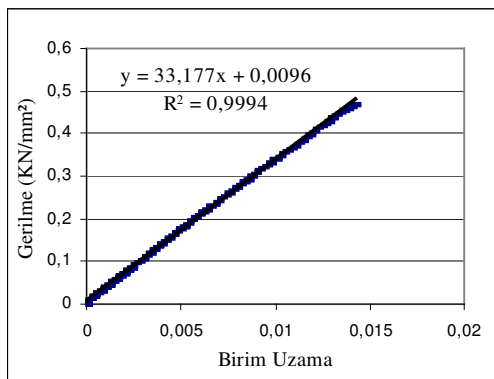
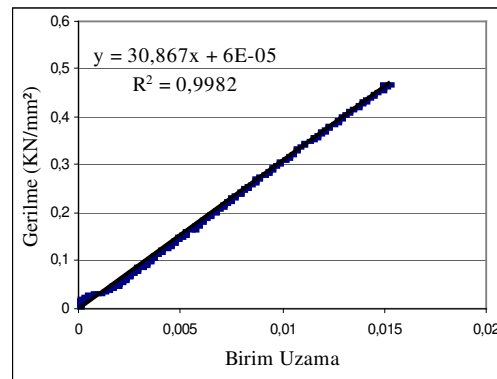
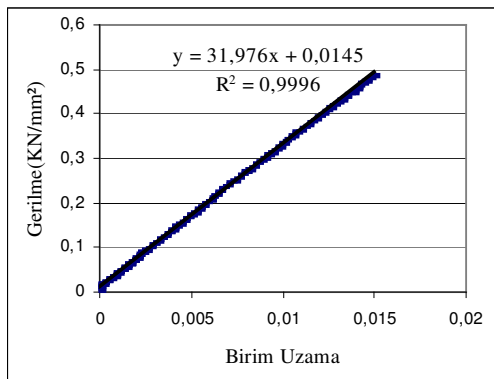
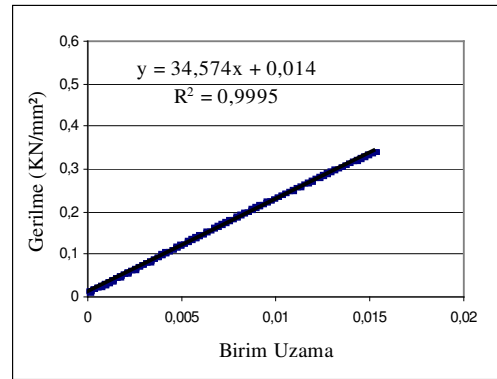
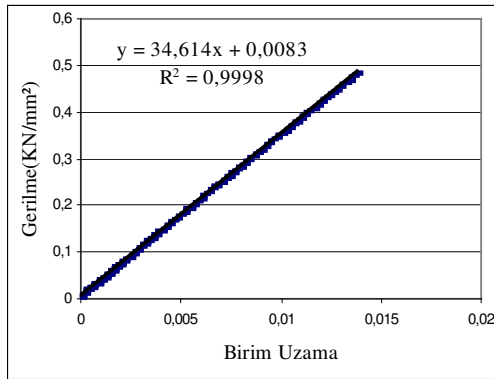
Tablo 5.5 D Kot numaralı malzemelerle ilgili deney sonuçları

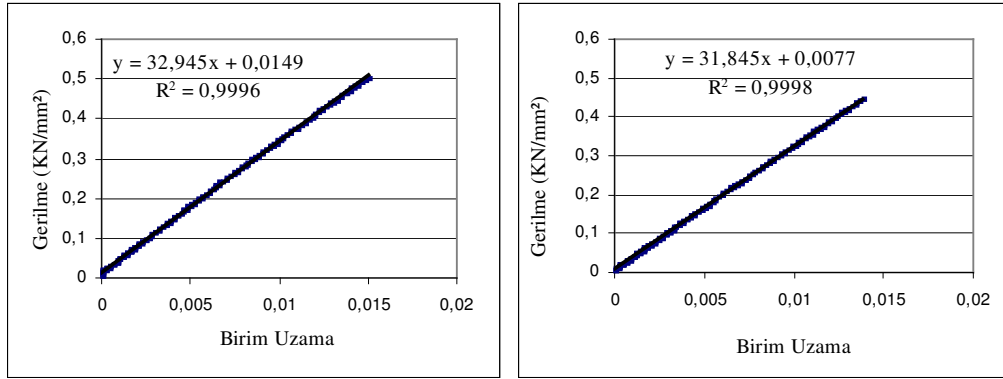
Numune No	Kesit Alanı (mm)	Lo (mm)	L1 (mm)	DL ( L-Lo) ( mm )	Uzama (%)	Elastisite Modülü (KN/mm <sup>2</sup> )	Max.Çekme Gerilmesi (KN/mm <sup>2</sup> )	Korelasyon Katsayısı
1	127,77	50	51,1	1,1	0,022	33,336	0,3774	0,9995
2	125,25	50	51,5	1,5	0,03	32,765	0,3609	0,995
3	121,74	50	50,7	0,7	0,014	32,18	0,4058	0,998
4	127,26	50	50,4	0,4	0,008	33,906	0,2670	0,9997
5	125,41	50	51,9	1,9	0,038	35,696	0,4229	0,9983
6	125	50	50,8	0,8	0,016	35,925	0,4880	0,9998
7	129,54	50	50,6	0,6	0,012	35,365	0,3406	0,9996
8	125,46	50	51,5	1,5	0,03	33,307	0,3680	0,998
9	128,01	50	52,5	2,5	0,05	30,835	0,3629	0,9996
10	125,32	50	51,1	1,1	0,022	33,9	0,4293	0,9997
Ortalama				1	0,0242	33,7215	0,3823	0,99872
Sapma				0,7	0,0129	1,6146714	0,0593	0,0015017
Varyans				0,4	0,00016	2,6071638	0,0035	2,255E-06

### 5.1.1.5. E Kot numaralı malzemenin deney sonuçları

Tablo 5.1’de özellikleri belirtilen 45x45x3 mm boyutlarındaki E kot numaralı malzemelerde toplam 10 adet deney yapılmıştır. Bu malzemeye ait Gerilme-Şekil değiştirme grafikleri Şekil 5.6’da verilmiştir. Malzemeye ait kesit alanı, yüzde uzamaları, elastik modülleri, maksimum çekme ve kolerasyon katsayıları ve bu verilere ait ortalamalar Tablo 5.6’da verilmiştir.







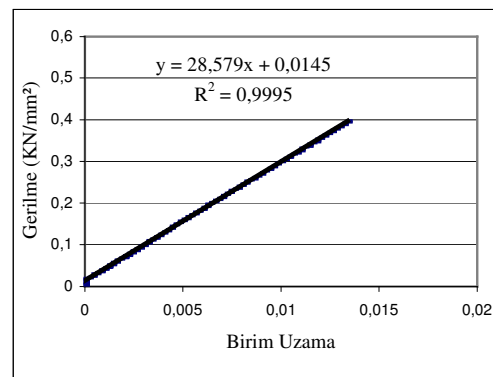
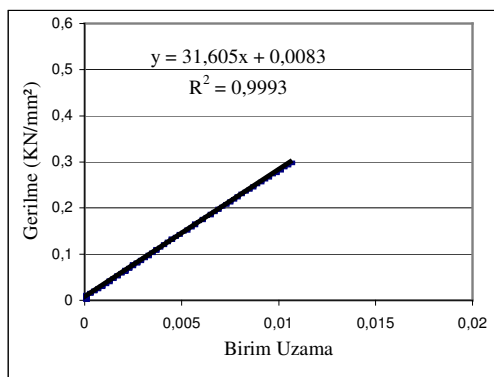
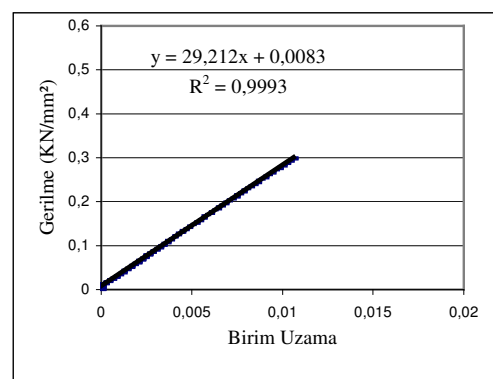
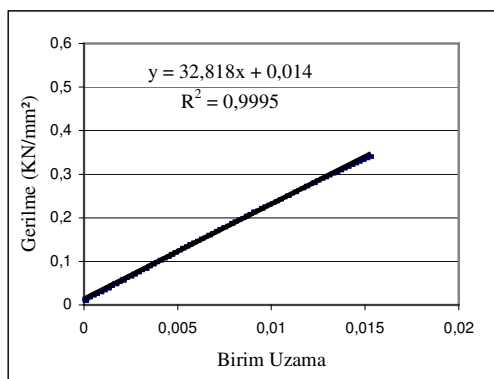
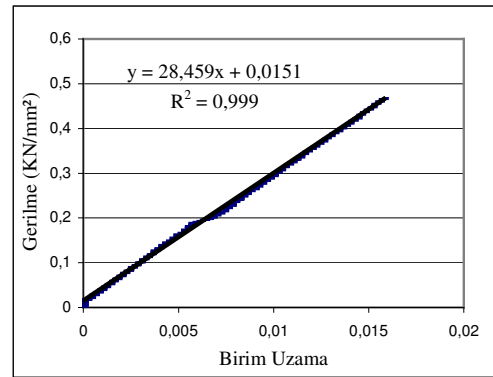
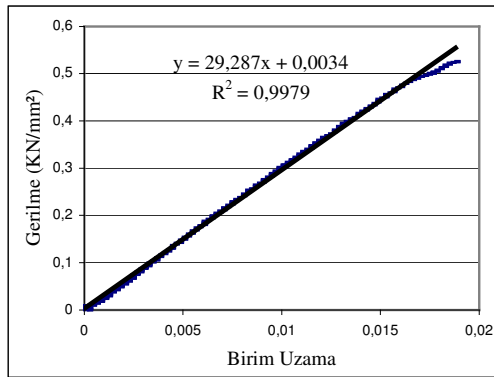
Şekil 5.6 E Kot numaralı malzemenin Gerilme-Şekil değiştirme grafiği

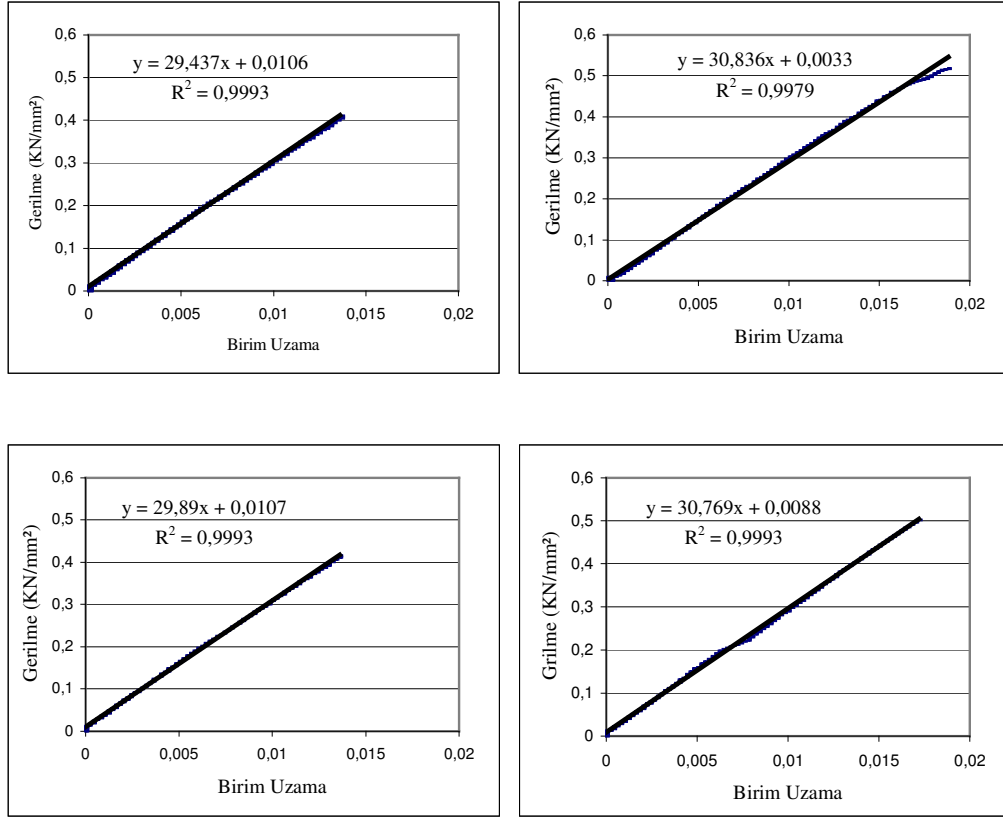
Tablo 5.6 E Kot numaralı malzemelerle ilgili deney sonuçları

Numune No	Kesit Alanı (mm)	Lo (mm)	L1 (mm)	DL ( L-Lo ) ( mm )	Uzama (%)	Elastisite Modülü (KN/mm <sup>2</sup> )	Max.Çekme Gerilmesi (KN/mm <sup>2</sup> )	Korelasyon Katsayısı
1	69,05	50	52,5	2,5	0,05	30,238	0,4344	0,9997
2	70,53	50	51,3	1,3	0,026	30,558	0,4235	0,9997
3	68,01	50	50,9	0,9	0,018	34,614	0,4908	0,9998
4	69,80	50	52,5	2,5	0,05	34,574	0,4616	0,9995
5	69,36	50	51,1	1,1	0,022	31,976	0,4815	0,9996
6	70,52	50	50,8	0,8	0,016	30,867	0,3851	0,9982
7	69,30	50	51,4	1,4	0,028	33,177	0,4626	0,9994
8	69,52	50	50,7	0,7	0,014	30,744	0,4144	0,9973
9	70,05	50	50,2	0,2	0,004	32,945	0,4518	0,9996
10	69,92	50	51,5	1,5	0,03	31,845	0,4389	0,9998
Ortalama				1,29	0,0258	32,1538	0,4444	0,99926
Sapma				0,7415449	0,01483	1,6183021	0,0319	0,0008329
Varyans				0,5498889	0,00021	2,6189017	0,0010	7,54E-07

### 5.1.1.6. F Kot numaralı malzemenin deney sonuçları

Tablo 5.1’de özellikleri belirtilen 80x30x3 mm boyutlarındaki F kot numaralı malzemelerde toplam 10 adet deney yapılmıştır. Bu malzemeye ait Gerilme-Şekil değiştirme grafikleri Şekil 5.7’de verilmiştir. Malzemeye ait kesit alanı, yüzde uzamaları, elastik modülleri, maksimum çekme ve kolerasyon katsayıları ve bu verilere ait ortalamalar Tablo 5.7’de da verilmiştir.





Şekil 5.7 F Kot numaralı malzemenin Gerilme-Şekil değiştirme grafiği

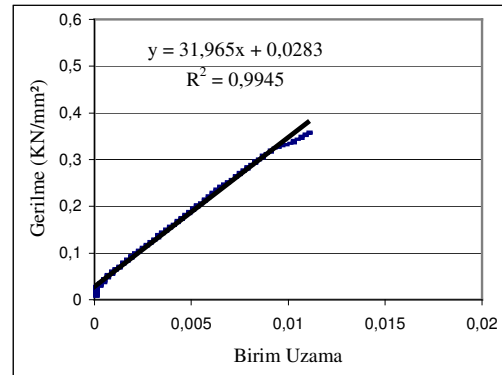
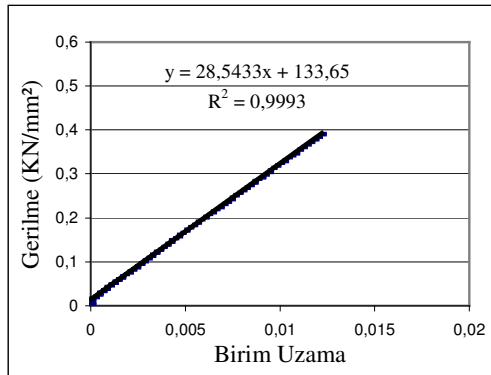


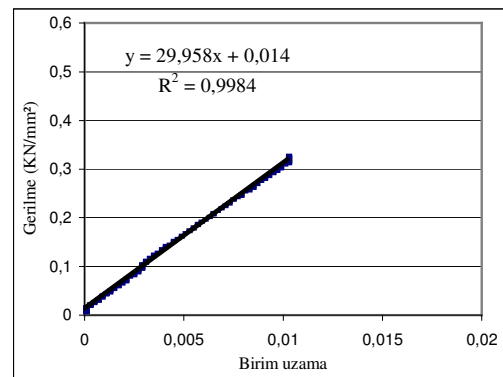
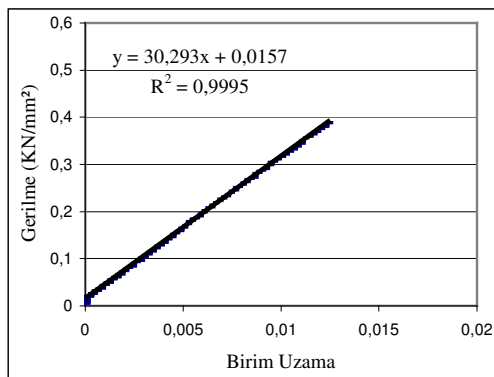
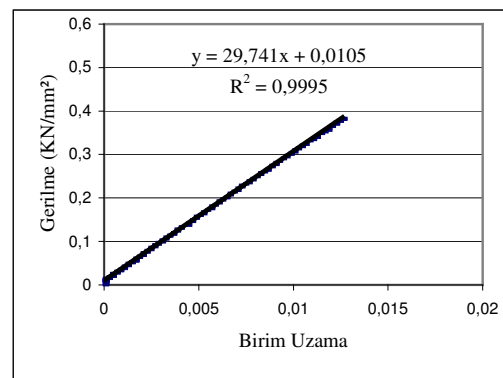
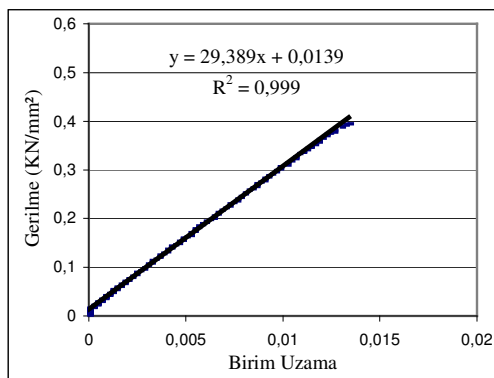
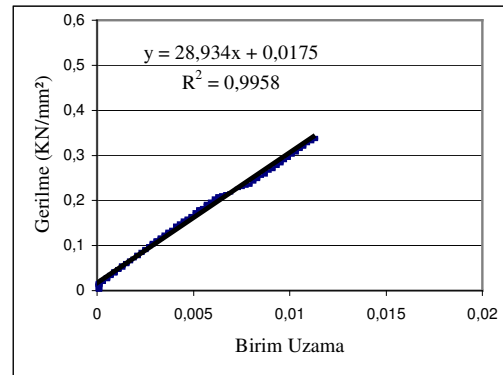
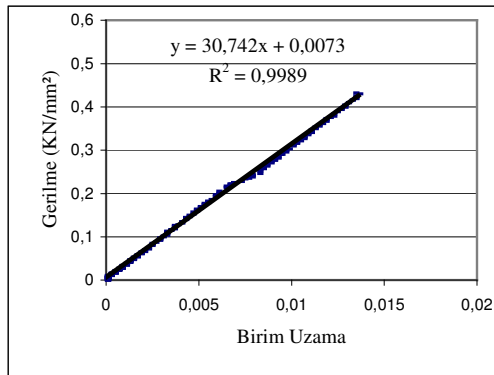
Tablo 5.7 F Kot numaralı malzemelerle ilgili deney sonuçları

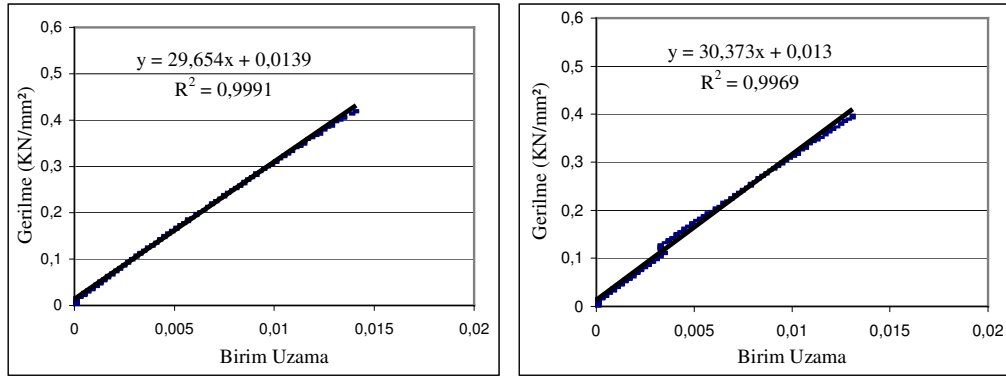
Nunune No	Kesit Alanı (mm)	Lo (mm)	L1 (mm)	DL ( L-Lo ) ( mm )	Uzama (%)	Elastisite Modülü (KN/mm <sup>2</sup> )	Max.Çekme Gerilmesi (KN/mm <sup>2</sup> )	Korelasyon Katsayısı
1	72,23	50	50,9	0,9	0,018	29,287	0,4565	<b>0,9979</b>
2	71,85	50	50,7	0,7	0,014	28,459	0,4531	0,999
3	70,12	50	50,8	0,8	0,016	32,818	0,3973	0,9995
4	73,56	50	51,2	1,2	0,024	29,212	0,4608	0,9993
5	72,23	50	50,7	0,7	0,014	31,605	0,3739	0,9993
6	71,68	50	51,9	1,9	0,038	28,579	0,3920	0,9995
7	74,54	50	52	2	0,04	29,437	0,3807	0,9993
8	75,85	50	51,5	1,5	0,03	30,836	0,4437	0,9979
9	75,21	50	52,7	2,7	0,054	29,89	0,4353	0,9993
10	73,28	50	52,9	2,9	0,058	30,769	0,3953	0,9993
Ortalama				1,53	0,0306	30,0892	0,4189	<b>0,99903</b>
Sapma				0,8179242	0,01635	1,397623	0,0340	0,0006111
Varyans				0,669	0,00026	1,953349	0,0011	2,43E-07

### 5.1.1.7. G Kot numaralı malzemenin deney sonuçları

Tablo 5.1’de özellikleri belirtilen 74x40x4 mm boyutlarındaki G kot numaralı malzemelerde toplam 11 adet deney yapılmıştır. Bu malzemeye ait Gerilme-Şekil değiştirme grafikleri Şekil 5.8’de verilmiştir. Malzemeye ait kesit alanı, yüzde uzamaları, elastik modülleri, maksimum çekme ve kolerasyon katsayıları ve bu verilere ait ortalamalar Tablo 5.8’de verilmiştir.







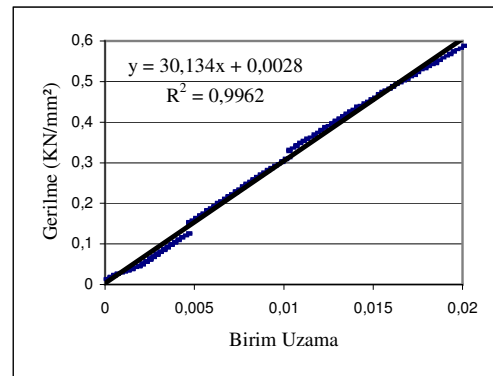
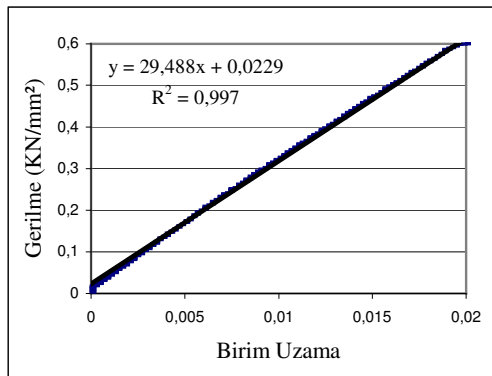
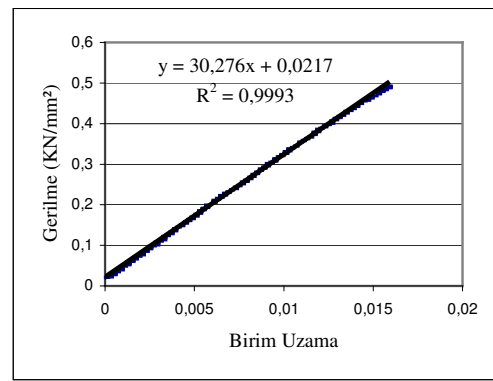
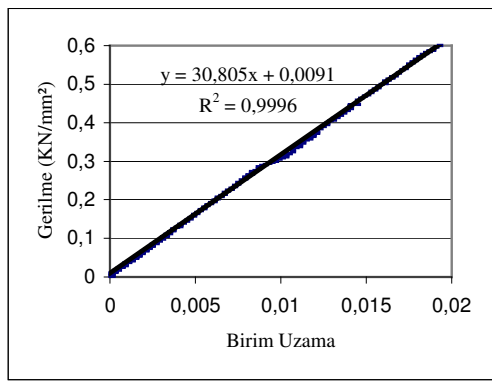
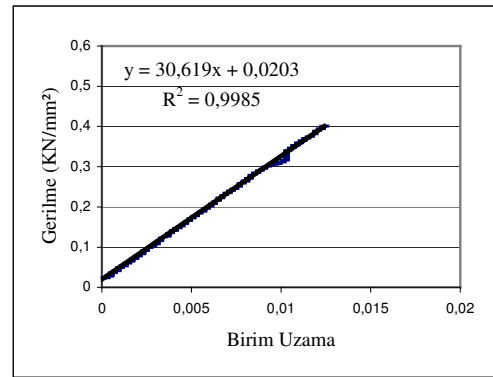
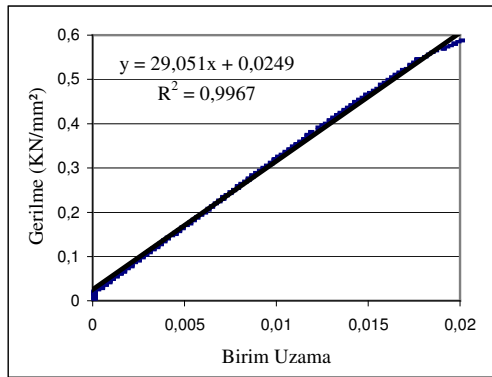
Şekil 5.8 G Kot numaralı malzemenin Gerilme-Şekil değiştirme grafiği

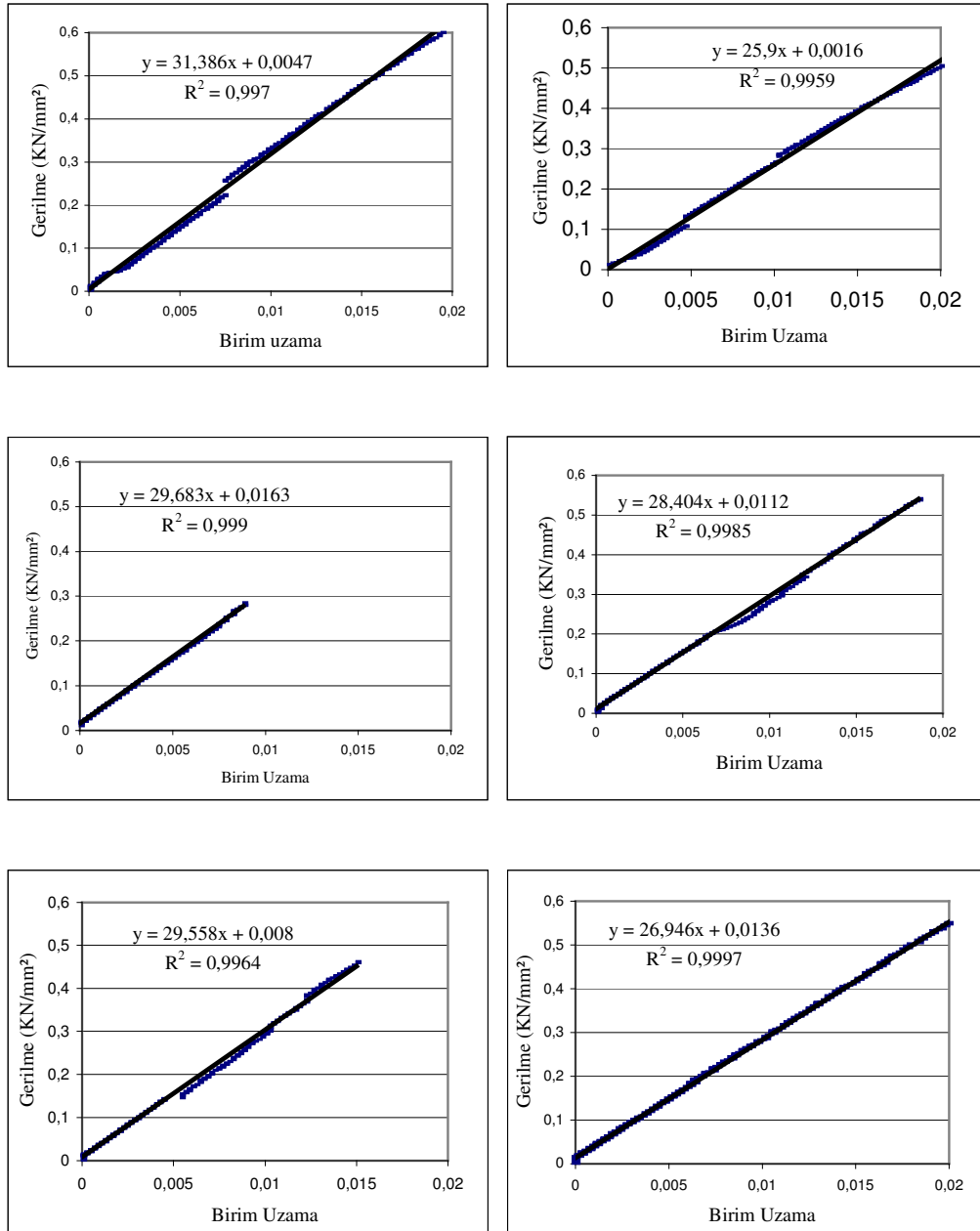
Tablo 5.8 G Kot numaralı malzemelerle ilgili deney sonuçları

Numune No	Kesit Alanı (mm)	Lo (mm)	L1 (mm)	DL ( L-Lo ) ( mm )	Uzama (%)	Elastisite Modülü (KN/mm <sup>2</sup> )	Max.Çekme Gerilmesi (KN/mm <sup>2</sup> )	Korelasyon Katsayısı
1	86,55	50	51,6	1,6	0,032	28,5434	0,3916	0,9993
2	100	50	51,1	1,1	0,022	31,9654	0,3585	0,9945
3	88	50	51,5	1,5	0,03	30,5954	0,3206	0,9973
4	89	50	50,9	0,9	0,018	28,8273	0,3397	0,9957
5	100	50	51,4	1,4	0,028	29,3893	0,3944	0,999
6	100	50	51,9	1,9	0,038	30,7128	0,3826	0,9995
7	85,75	50	51,7	1,8	0,036	30,2928	0,3878	0,9995
8	100	50	51,6	1,6	0,032	29,9577	0,3284	0,9984
9	102	50	51,6	1,6	0,032	29,6832	0,4201	0,9991
10	92,82	50	52,5	2,5	0,05	30,831	0,3977	0,9969
Ortalama				1	0,0318	30,20333636	0,3721	0,99794
Sapma				0,7	0,00876	1,052990123	0,0333	0,00177401
Varyans				0,4	0,00017	1,108788199	0,0011	3,14711E-06

### 5.1.1.8. H Kot numaralı malzemenin deney sonuçları

Tablo 5.1'de özellikleri belirtilen 70x26x3,5 mm boyutlarındaki H kot numaralı malzemelerde toplam 10 adet deney yapılmıştır. Bu malzemeye ait Gerilme-Şekil değiştirme grafikleri Şekil 5.9'da verilmiştir. Malzemeye ait kesit alanı, yüzde uzamaları, elastik modülleri, maksimum çekme ve kolerasyon katsayıları ve bu verilere ait ortalamalar Tablo 5.9'da verilmiştir.





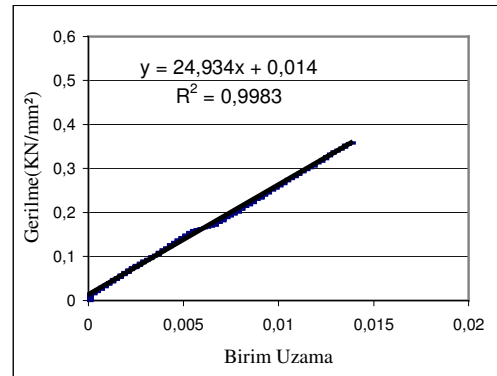
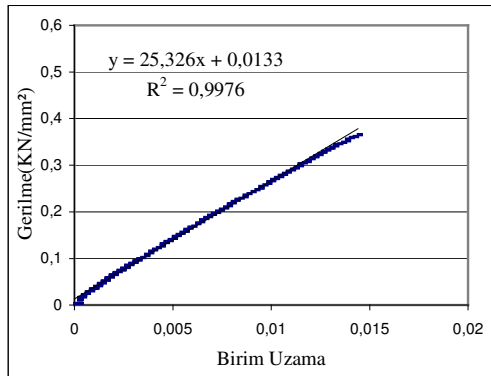
Şekil 5.9 H Kot numaralı malzemenin Gerilme-Şekil değıştirme grafiği

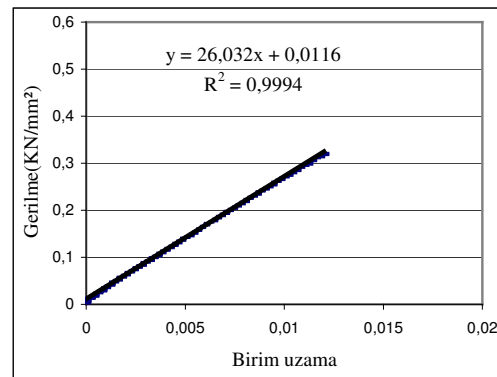
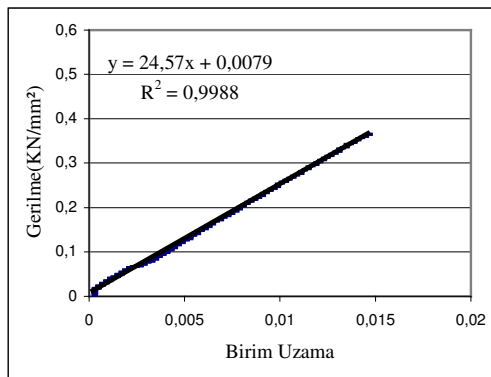
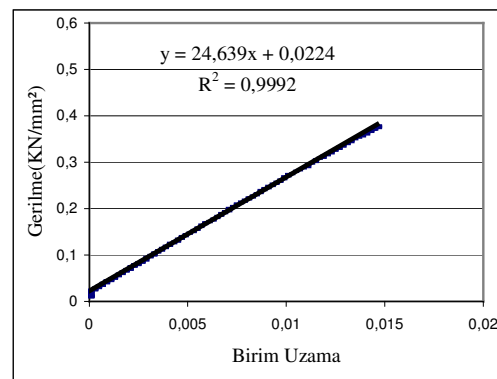
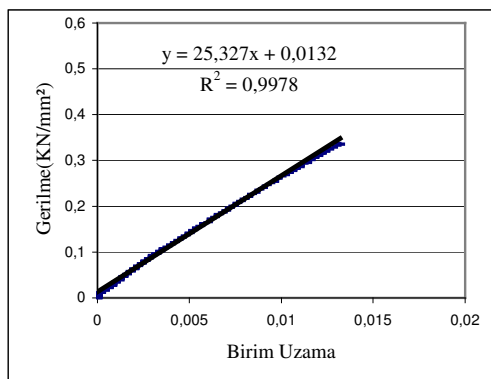
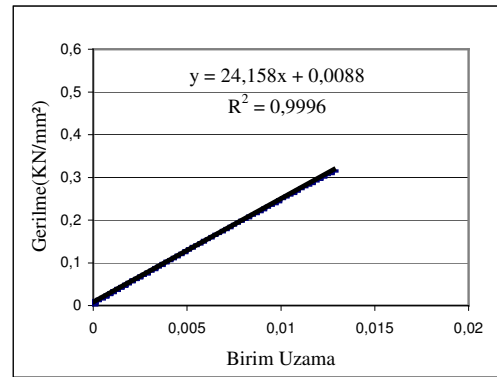
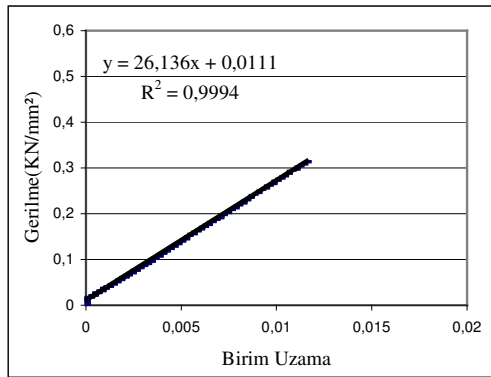
Tablo 5.9 H Kot numaralı malzemelerle ilgili deney sonuçları

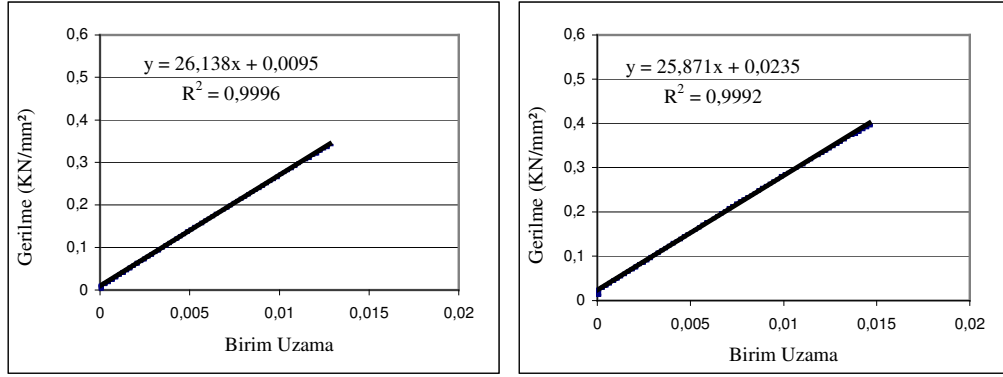
Nunune No	Kesit Alanı (mm)	Lo (mm)	L1 (mm)	DL ( L-Lo) ( mm )	Uzama (%)	Elastisite Modülü (KN/mm <sup>2</sup> )	Max.Çekme Gerilmesi (KN/mm <sup>2</sup> )	Korelasyon Katsayısı
1	86,55	50	51,9	1,9	0,038	29,0227	0,5592	0,9977
2	97,5	50	51,1	1,1	0,022	30,6191	0,4946	0,9985
3	95,18	50	51,7	1,7	0,034	30,8046	0,4749	0,9995
4	87,89	50	52,4	2,4	0,048	30,2761	0,5621	0,9993
5	96,2	50	50,4	0,4	0,008	29,4884	0,3533	0,9997
6	87,47	50	51,9	1,9	0,038	30,1431	0,6063	0,9962
7	94,6	50	50,9	0,9	0,018	28,3546	0,6449	0,9983
8	97,17	50	51,4	1,4	0,028	29,5487	0,4541	0,9964
9	97,27	50	52,9	2,9	0,058	26,946	0,4747	0,9997
10	96,2	50	52,5	2,5	0,05	31,3884	0,4829	0,9971
Ortalama				1,71	0,0342	29,65917	0,5107	0,99824
Sapma				0,7766738	0,01553	1,305890805	0,0841	0,001340978
Varyans				0,6032222	0,00024	1,705350796	0,0070	1,79822E-06

### 5.1.1.9. I Kot numaralı malzemenin deney sonuçları

Tablo 5.1’de özellikleri belirtilen 150x4,5x3 (yeşil) mm boyutlarındaki I kot numaralı malzemelerde toplam 10 adet deney yapılmıştır. Bu malzemeye ait Gerilme-Şekil değiştirme grafikleri Şekil 5.10’da verilmiştir. Malzemeye ait Kesit alanı, yüzde uzamaları, Elastik modülleri, Maksimum çekme ve kolerasyon katsayıları ve bu verilere ait ortalamalar Tablo 5.10’da verilmiştir.







Şekil 5.10 I Kot numaralı malzemenin Gerilme-Şekil değıştirme grafiği

Tablo 5.10 I Kot numaralı malzemelerle ilgili deney sonuçları

Nunune No	Kesit Alanı (mm)	Lo (mm)	L1 (mm)	DL ( L-Lo) ( mm )	Uzama (%)	Elastisite Modülü (KN/mm <sup>2</sup> )	Max.Çekme Gerilmesi (KN/mm <sup>2</sup> )	Korelasyon Katsayısı
1	75,56	50	51,9	1,9	0,038	25,326	0,3176	0,9976
2	73,85	50	51,7	1,7	0,034	24,934	0,3163	0,9983
3	71,12	50	51,6	1,6	0,032	26,136	0,2864	0,9994
4	73,42	50	51,6	1,6	0,032	24,158	0,2828	0,9996
5	73,20	50	51,8	1,8	0,036	25,327	0,3260	0,9978
6	74,60	50	52,5	2,3	0,046	24,639	0,2926	0,9992
7	74,47	50	51,7	1,7	0,034	24,57	0,3046	0,9988
8	75,01	50	51,5	1,5	0,03	26,032	0,3195	0,9994
9	74,21	50	51,7	1,6	0,032	26,138	0,3155	0,9996
10	73,20	50	51,4	1,9	0,038	25,871	0,3054	0,9992
Ortalama				0,75	0,0352	25,3131	0,3067	0,99889
Sapma				0,2460804	0,00468	0,7203884	0,0149	0,00074
Varyans				0,0605556	2,42222	0,5189594	0,0002	3,85E-07



## 5.2. Poisson Oranı Deneyi

Tüm poisson oranı deneyi numunelerinde olduğu gibi bir numuneye ait verilerin bulunduğu Tablo 5.11' deki verilere göre aksel boy değişimi ( $\epsilon_x$ ) yanal boy değişimine ( $\epsilon_y$ ) oranlanmıştır. Belirtilen yanal ve aksel şekil değiştirme oranları ile poisson oranı değerleri Formül (5.4), (5.5) ve (5.6) kullanılarak bulunmuştur.

$$\epsilon_y = \frac{\Delta y}{L_y} \quad (5.4)$$

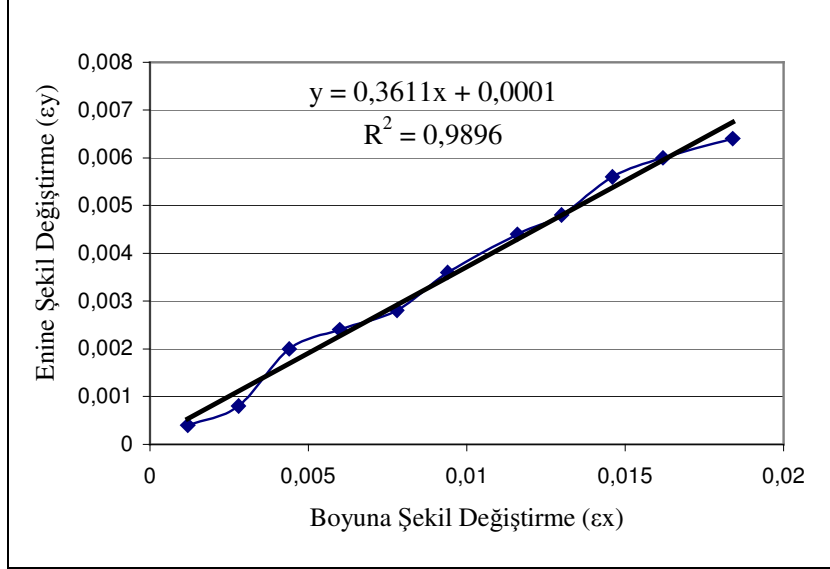
$$\epsilon_x = \frac{\Delta x}{L_x} \quad (5.5)$$

$$\nu = \frac{\epsilon_x}{\epsilon_y} \quad (5.6)$$

Tablo 5.11 Bir numuneye ait Poisson Deneyi sonuçları

Eksel Kuvvet (tonf)	$\Delta y$ (mm)	$L_y$ (mm)	$\Delta x$ (mm)	$L_x$ (mm)	( $\epsilon_y$ )	( $\epsilon_x$ )	Poisson Oranı ( $\nu$ )
0	0	50	0	25	0	0	0,33333
0,5	0,6	50	0,01	25	0,0012	0,0004	0,28571
1	0,14	50	0,02	25	0,0028	0,0008	0,45454
1,5	0,22	50	0,05	25	0,0044	0,002	0,4
2	0,30	50	0,06	25	0,006	0,0024	0,35897
2,5	0,39	50	0,07	25	0,0078	0,0028	0,38297
3	0,47	50	0,09	25	0,0094	0,0036	0,37931
3,5	0,58	50	0,12	25	0,0116	0,0044	0,36923
4	0,65	50	0,12	25	0,013	0,0048	0,38356
4,5	0,73	50	0,14	25	0,0146	0,0056	0,37037
5	0,81	50	0,15	25	0,162	0,006	0,34782
5,5	0,92	50	0,15	25	0,184	0,0064	0,33333

Grafik olarak Şekil 5.11' de ifade edilen oranlamada y denklemindeki 0,3611' lik kısım o numuneye ait poisson oranını ifade eder.  $R^2$  değeri ise deney esnasındaki okumaların birbirine uyumunu ifade eder.



Şekil 5.11 Tek numuneye ait Poisson Deneyi grafiği

### 5.2.1. Poisson oranı deneyinin sonuçları

Yukarıda belirtilen şekilde poisson oranı deneylerindeki 9 farklı malzemede ki tüm numuneler örnek numunede olduğu gibi deney verilerinin bulunduğu grafikler çizilmiştir. Çekme deneyinde malzemenin elastisite modülünün yanında aynı zamanda poisson oranı da bulunmuştur.

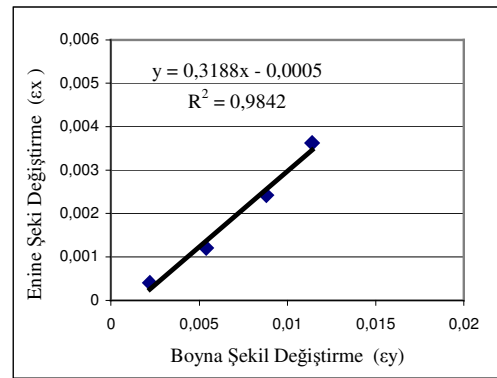
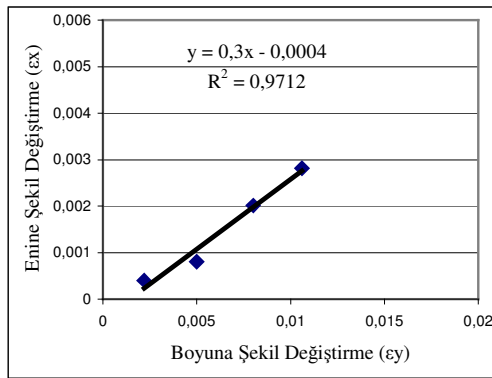
Tablo 5.12'de her bir malzemeye ürün kotu verilmiş, malzemenin boyutları, ürünün bir metresinin ağırlığı ve malzeme içindeki toplam elyaf, keçe, reçine yüzde oranları verilmiştir.

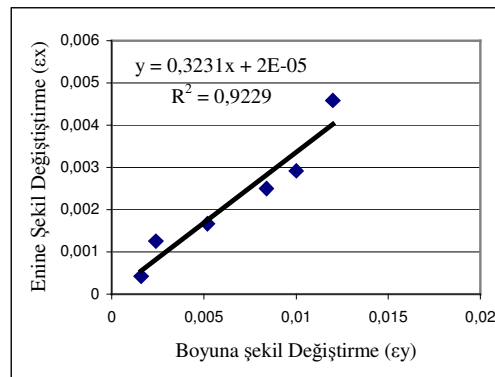
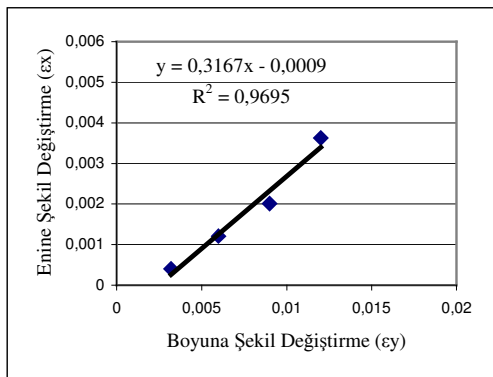
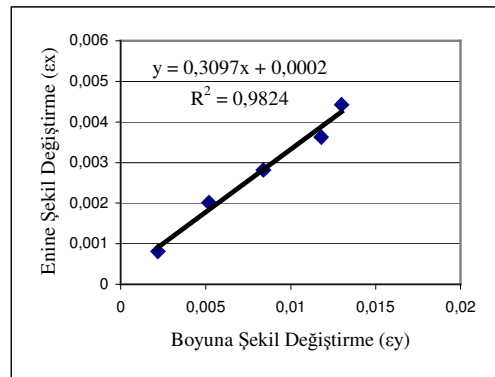
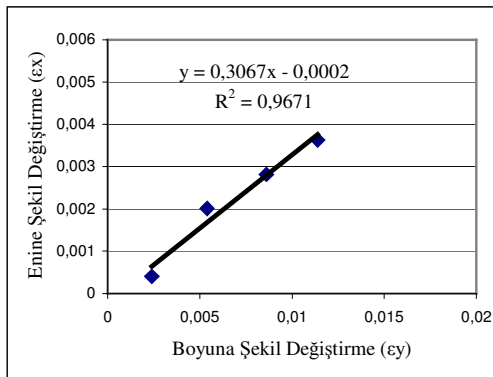
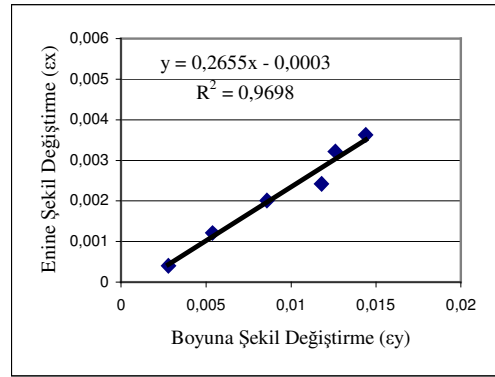
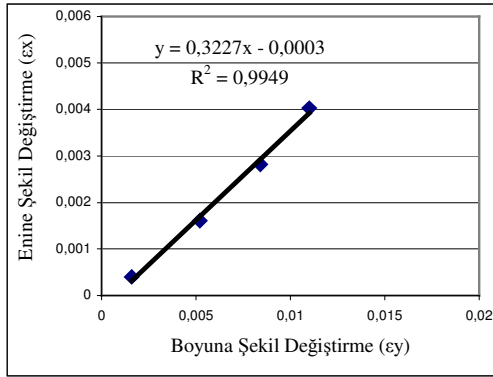
Tablo 5.12 Denedeyde kullanılan malzemeler,malzemelerin içinde bulunan elyaf-keçe-reçine yüzdeleri  
Ve malzemelerin 1 m sinin ağırlığı

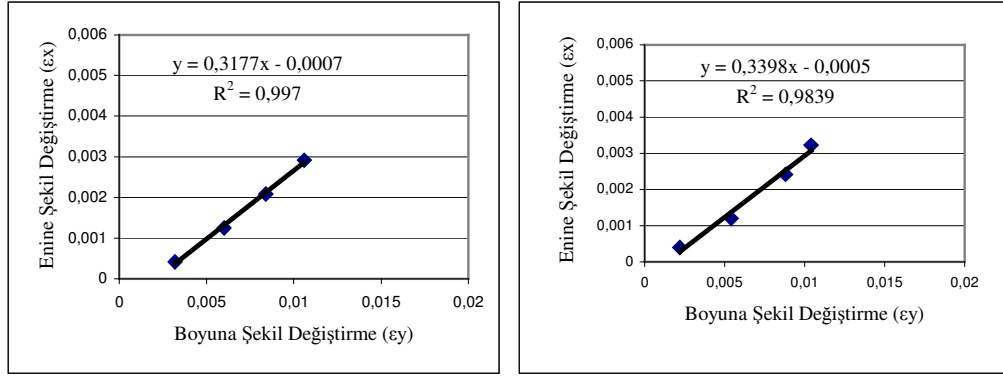
Kot No	Malzeme	Toplam ağırlık (Kg/m)	% Elyaf	% Keçe	% Reçine
A	50x3	260,00	59,00	12,70	28,30
B	74x74x6	3000,00	60,80	7,20	32,00
C	150x4,5x3	844,66	56,62	11,12	32,26
D	45x45x5	1432,00	56,65	8,38	34,97
E	45x45x3	951,33	52,66	11,90	35,44
F	80x30x3	700,00	44,30	13,00	42,70
G	74x40x4	1580,00	47,89	9,19	42,92
H	70x26x3,5	1332,00	47,20	9,30	43,50
I	150x4,5x3	819,16	43,82	12,22	43,96

### 5.2.1.1. A Kot numaralı malzemenin poisson oranı deney sonuçları

Tablo 5.12’de özellikleri belirtilen 50x3 (Lama) mm ebatlarındaki A kot numaralı malzemelerden toplam 10 adet deney yapılmıştır. Bu malzemeye poisson oranı grafikleri Şekil 5.12’de verilmiştir. Malzemeye ait poisson oranı verileri ve bu verilerin ortalamalar Tablo 5.13’de verilmiştir.







Şekil 5.12 A Kot numaralı malzemenin Poisson Deneyi grafiği

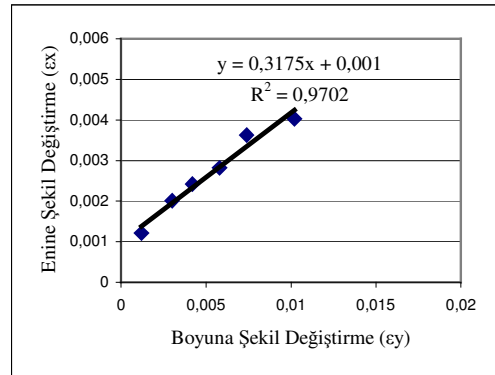
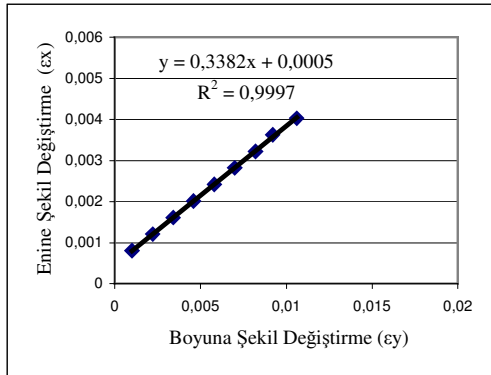
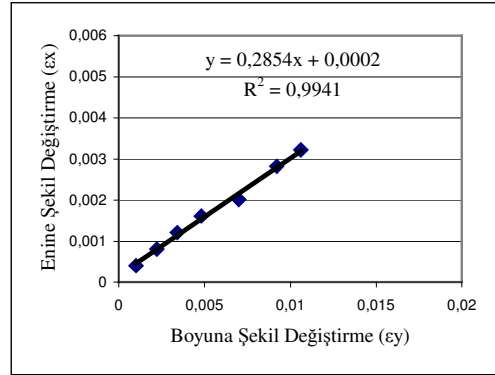
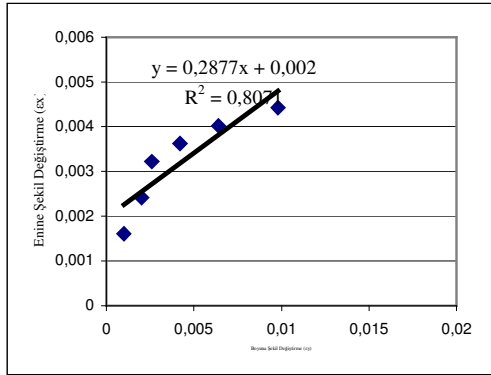
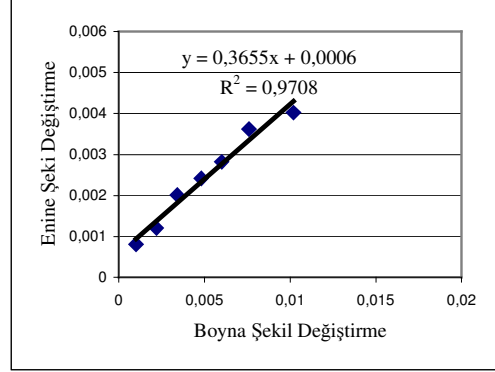
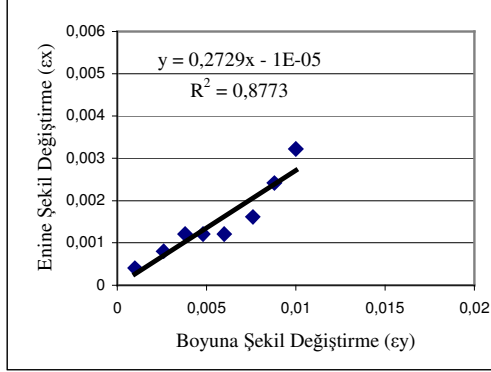
Tablo 5.13 A Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi sonuçları

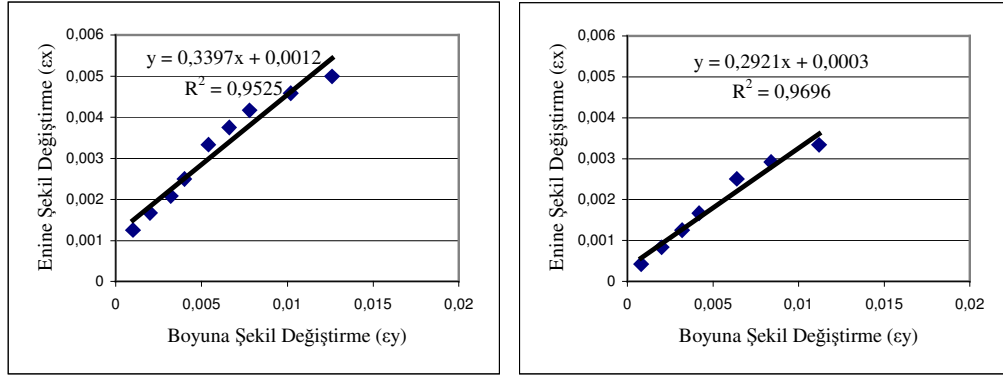
Numune No	Poisson Oranı
1	0,3
2	0,3188
3	0,3227
4	0,2655
5	0,3067
6	0,3097
7	0,3167
8	0,3231
9	0,3177
10	0,3298
Ortalama	0,31107
Standart Sapma	0,01821581
Varyasyon Katsayısı	0,00033182

### 5.2.1.2. B Kot numaralı malzemenin poisson oranı deney sonuçları

Tablo 5.12’de özellikleri belirtilen 74x74x6 mm boyutlarındaki B kot numaralı malzemelerde toplam 10 adet deney yapılmıştır. Bu malzemeye Poisson oranı

grafikleri Şekil 5.13’de verilmiştir. Malzemeye ait poisson oranı verileri ve bu verilerin ortalamalar Tablo 5.14’de verilmiştir.





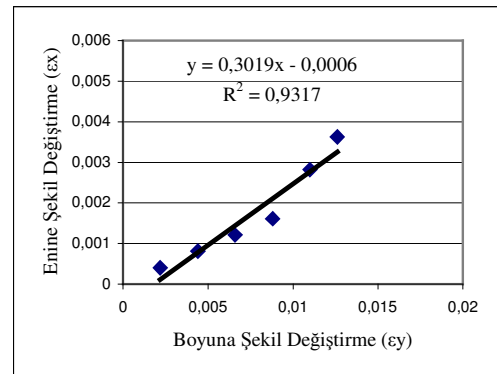
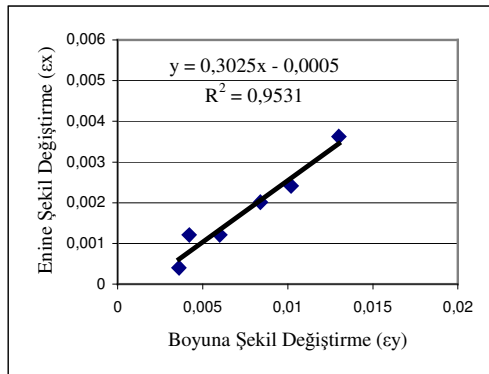
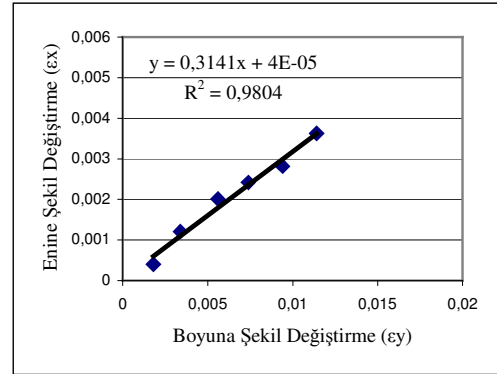
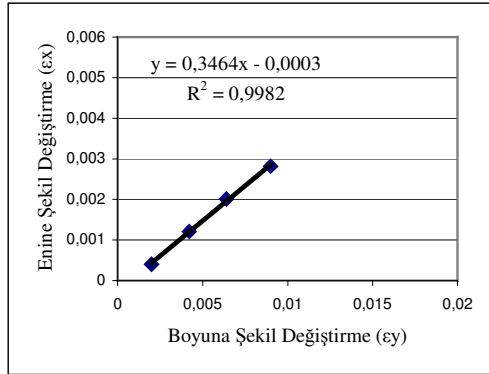
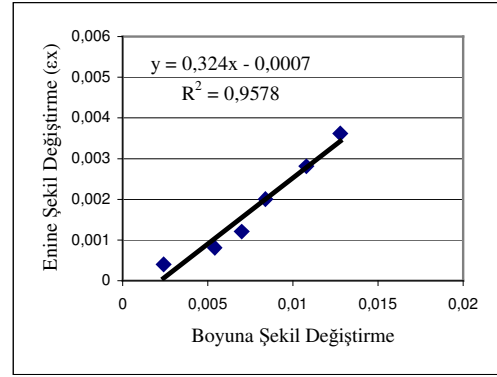
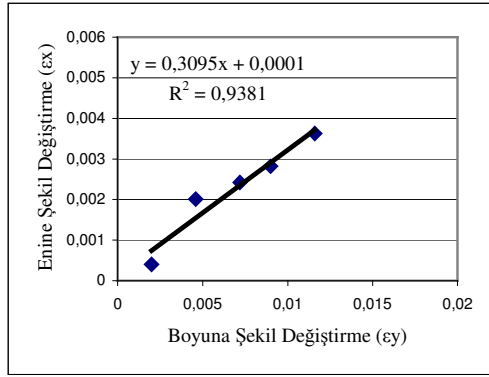
Şekil 5.13 B Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi grafiği

Tablo 5.14 B Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi sonuçları

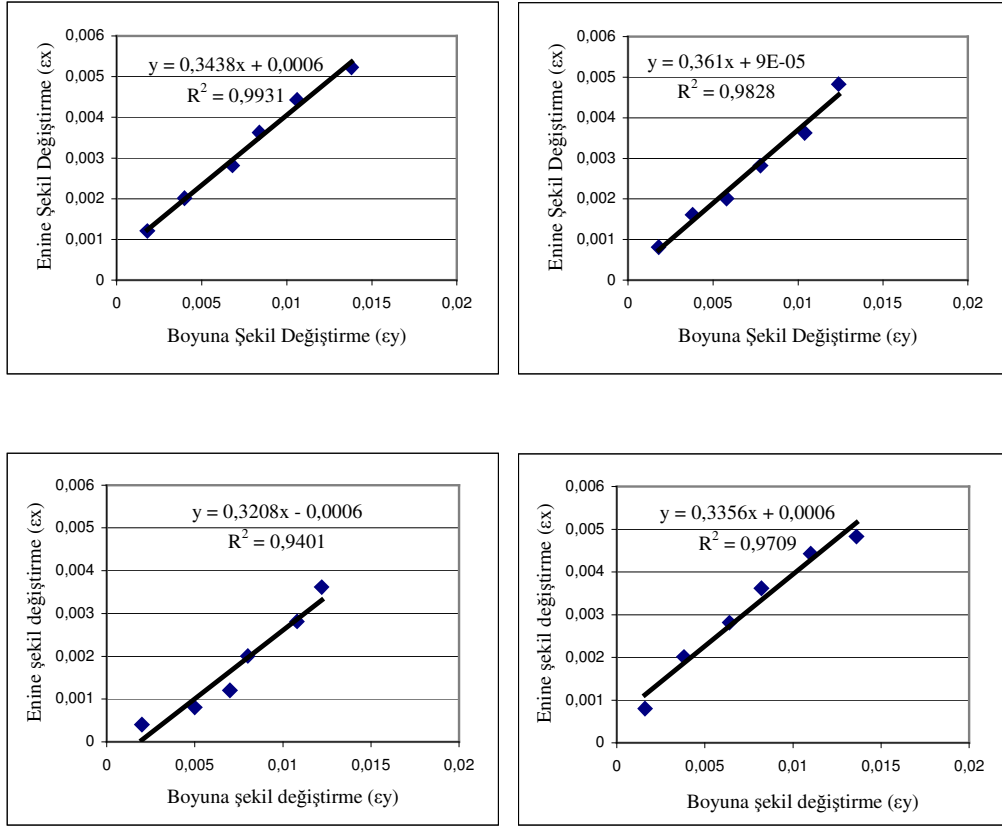
Numune No	Poisson Oranı
1	0,2729
2	0,3655
3	0,3382
4	0,3175
5	0,2877
6	0,2854
7	0,3886
8	0,2711
9	0,3397
10	0,2921
Ortalama	0,31587
Standart Sapma	0,040769952
Varyasyon Katsayısı %	0,001662189

### 5.2.1.3. C Kot numaralı malzemenin poisson oranı deney sonuçları

Tablo 5.12 de özellikleri belirtilen 150x4,5x3 mm boyutlarındaki C kot numaralı malzemelerde toplam 10 adet deney yapılmıştır. Bu malzemeye poisson oranı grafikleri Şekil 5.14’de verilmiştir. Malzemeye ait poisson oranı verileri ve bu verilerin ortalamalar Tablo 5.15’de verilmiştir.







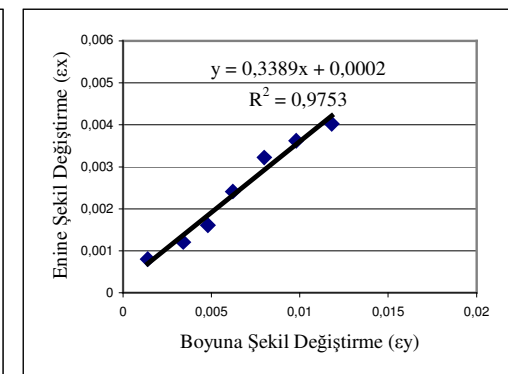
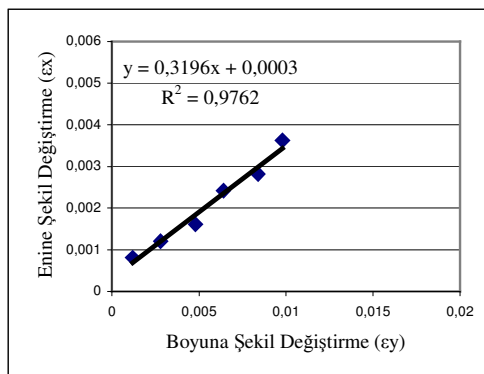
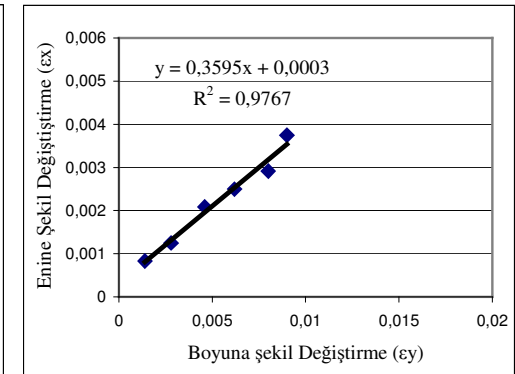
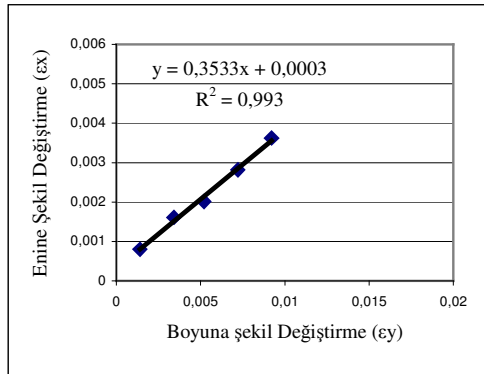
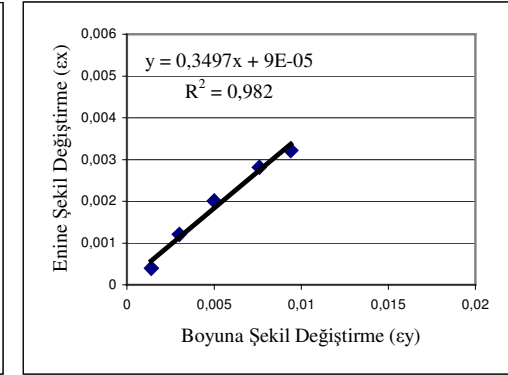
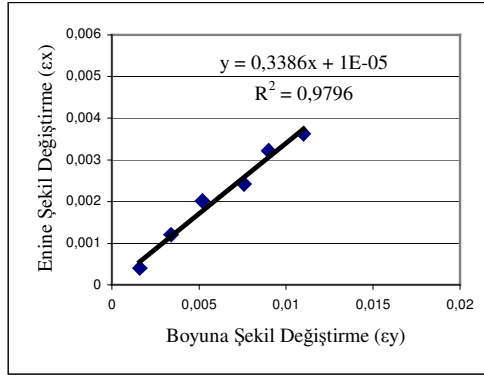
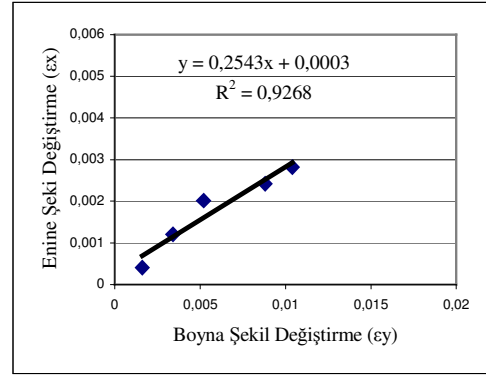
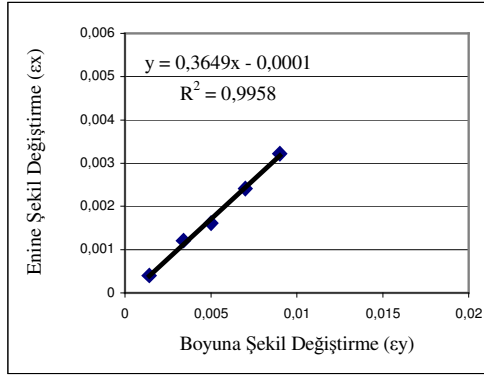
Şekil 5.14 C Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi grafiği

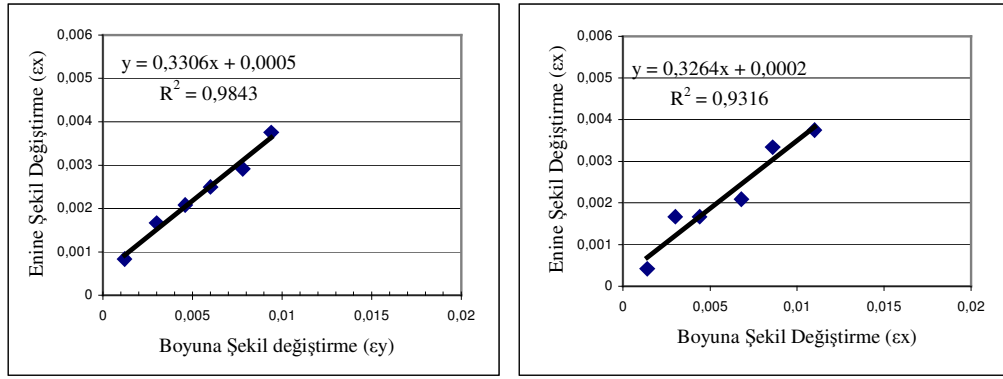
Tablo 5.15 C Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi sonuçları

Numune No	Poisson Oranı
1	0,3095
2	0,324
3	0,3464
4	0,3141
5	0,3025
6	0,3019
7	0,3438
8	0,361
9	0,3208
10	0,3356
Ortalama	0,32596
Standart Sapma	0,020077915
Varyasyon Katsayısı %	0,000403123

#### 5.2.1.4. D Kot numaralı malzemenin poisson oranı deney sonuçları

Tablo 5.12’de özellikleri belirtilen 45x45x5 mm boyutlarındaki D kot numaralı malzemelerde toplam 10 adet deney yapılmıştır. Bu malzemeye Poisson oranı grafikleri Şekil 5.15’de verilmiştir. Malzemeye ait poisson oranı verileri ve bu verilerin ortalamalar Tablo 5.16’da verilmiştir.





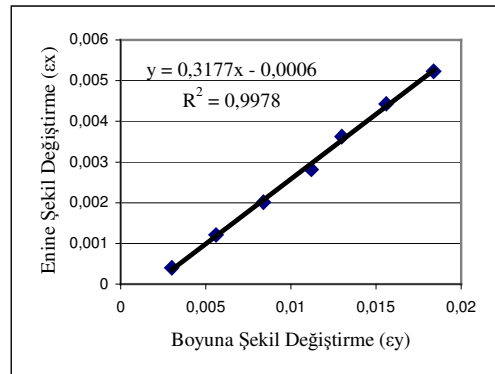
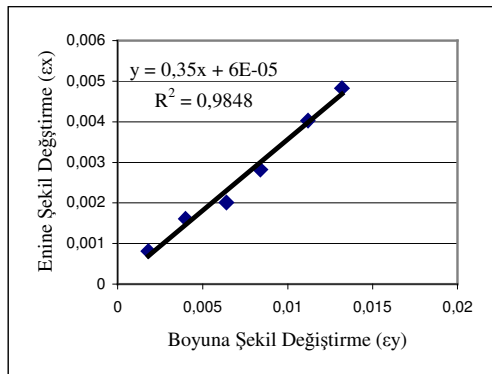
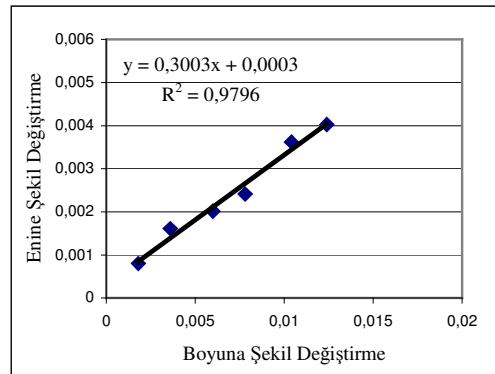
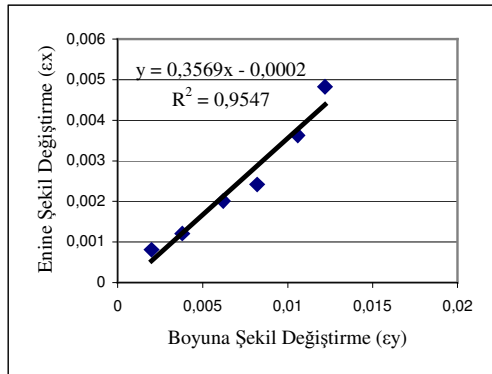
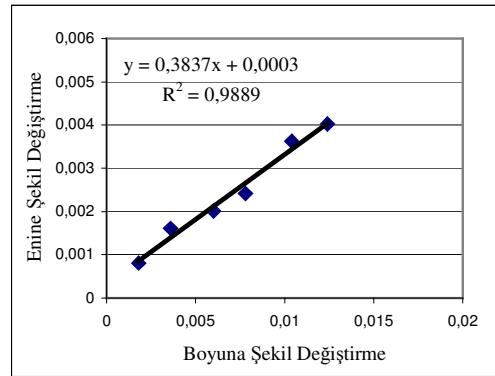
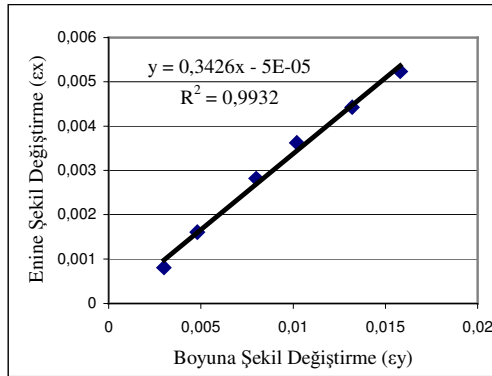
Şekil 5.15 D Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi grafiği

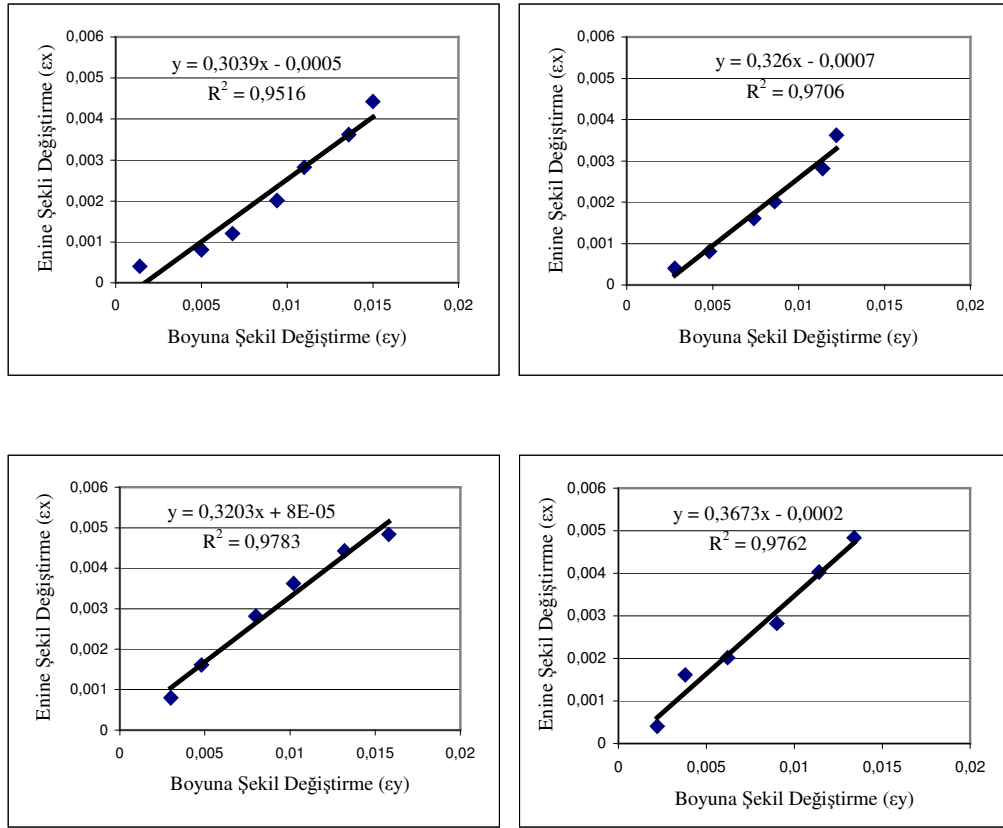
Tablo 5.16 D Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi sonuçları

Numune No	Poisson Oranı
1	0,3649
2	0,2543
3	0,3386
4	0,3497
5	0,3196
6	0,3389
7	0,3533
8	0,3595
9	0,3306
10	0,3264
Ortalama	0,333481818
Standart Sapma	0,029828303
Varyasyon Katsayısı %	0,000889728

### 5.2.1.5. E Kot numaralı malzemenin poisson oranı deney sonuçları

Tablo 5.12’ de özellikleri belirtilen 45x45x3 mm boyutlarındaki E kot numaralı malzemelerde toplam 10 adet deney yapılmıştır. Bu malzemeye poisson oranı grafikleri Şekil 5.16’da verilmiştir. Malzemeye ait poisson oranı verileri ve bu verilerin ortalamalar Tablo 5.17’de verilmiştir.





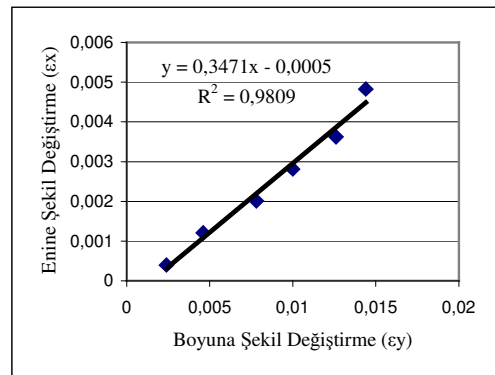
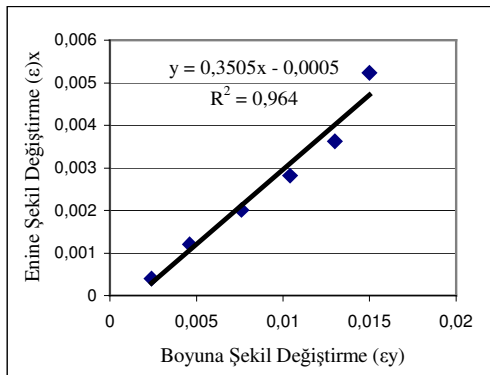
Şekil 5.16 E Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi grafiği

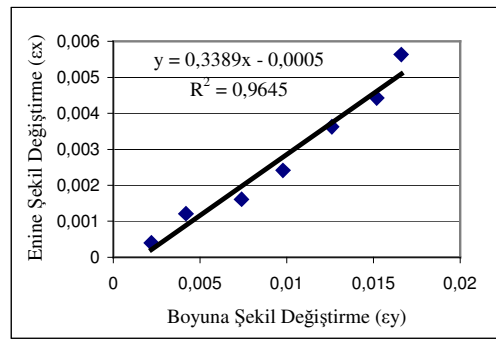
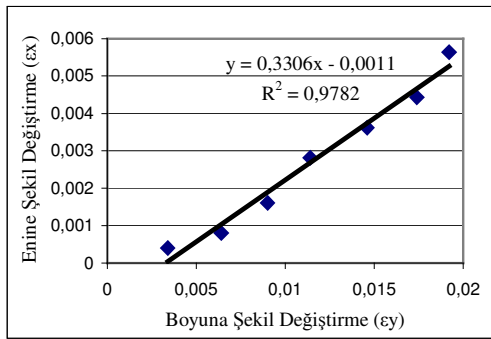
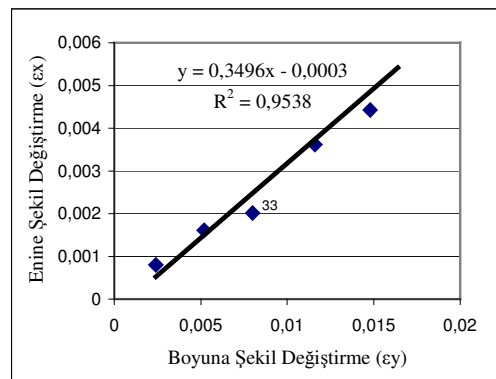
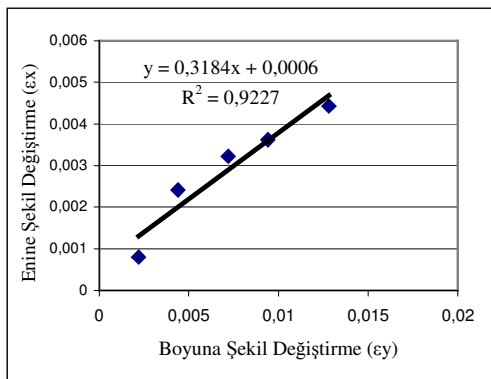
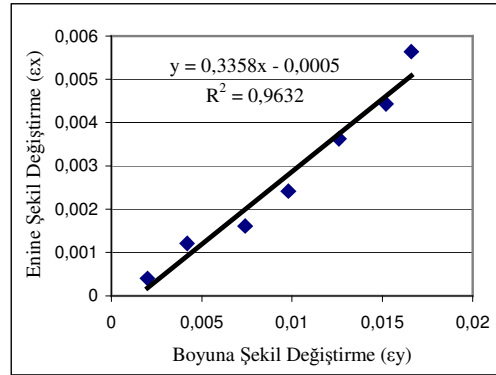
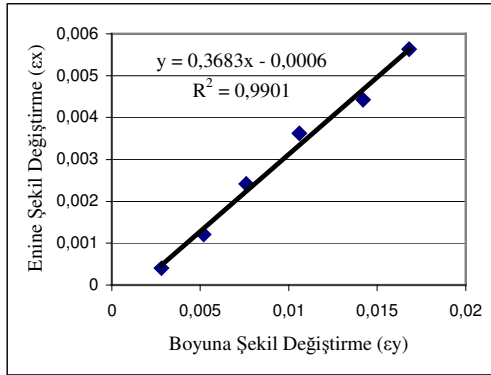
Tablo 5.17 E Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi sonuçları

Numune No	Poisson Oranı
1	0,3426
2	0,3837
3	0,3769
4	0,3003
5	0,35
6	0,3177
7	0,3039
8	0,326
9	0,3203
10	0,3673
11	
Ortalama	0,33887
Standart Sapma	0,029947
Varyasyon Katsayısı %	0,000897

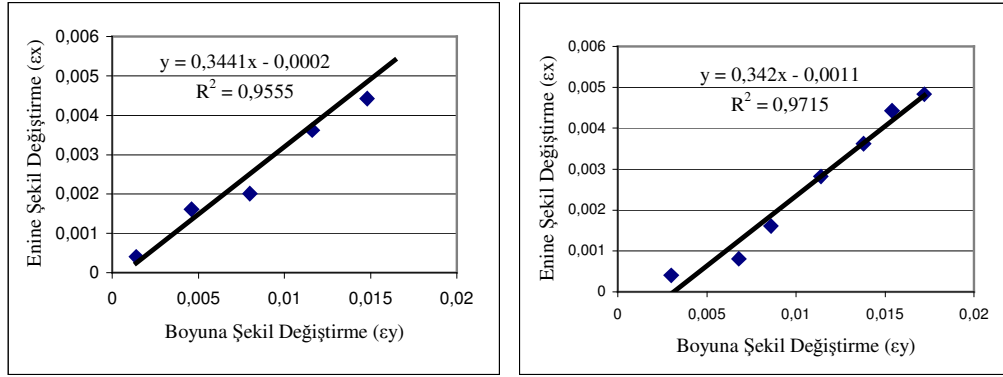
### 5.2.1.6. F Kot numaralı malzemenin poisson oranı deney sonuçları

Tablo 5.12’ de özellikleri belirtilen 80x30x3 mm boyutlarındaki F kot numaralı malzemelerde toplam 10 adet deney yapılmıştır. Bu malzemeye poisson oranı grafikleri Şekil 5.17’de verilmiştir. Malzemeye ait poisson oranı verileri ve bu verilerin ortalamalar Tablo 5.18’de verilmiştir.









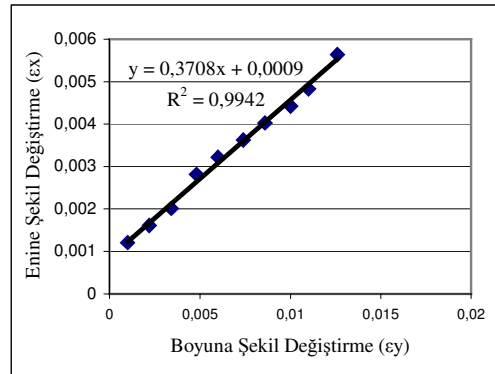
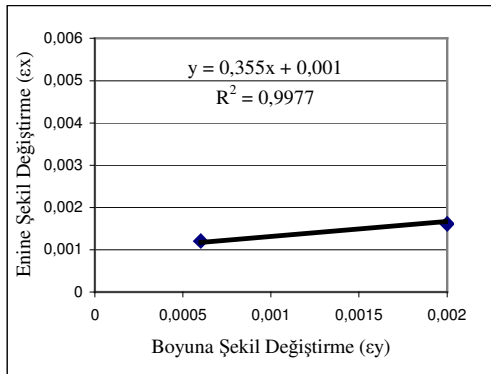
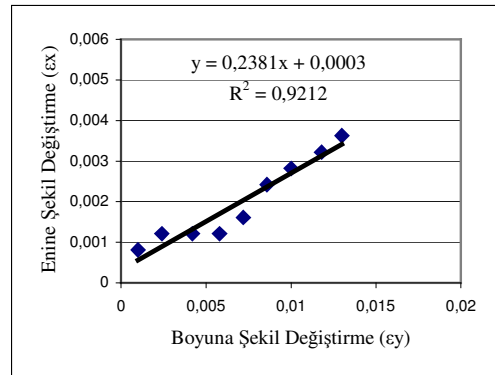
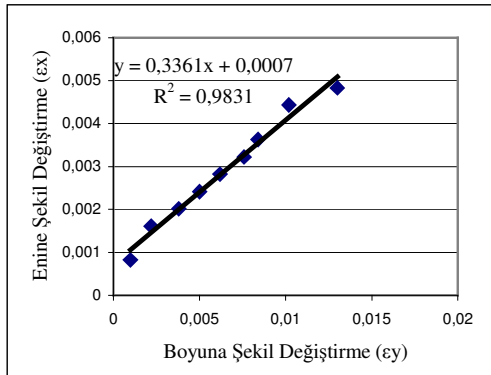
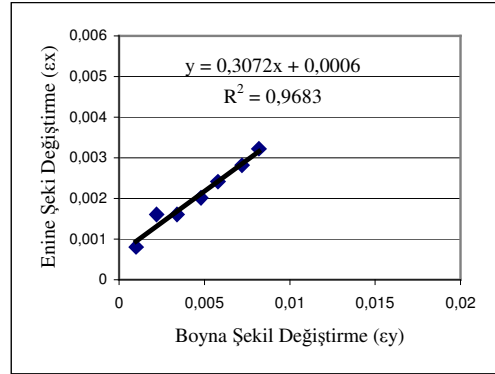
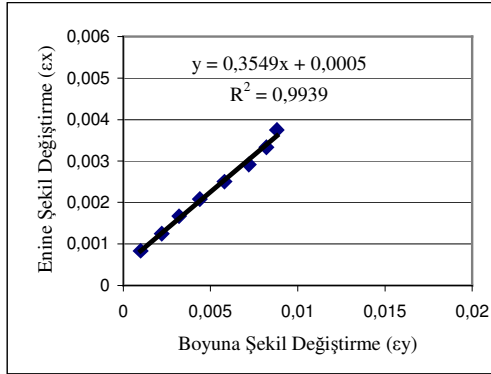
Şekil 5.17 F Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi grafiği

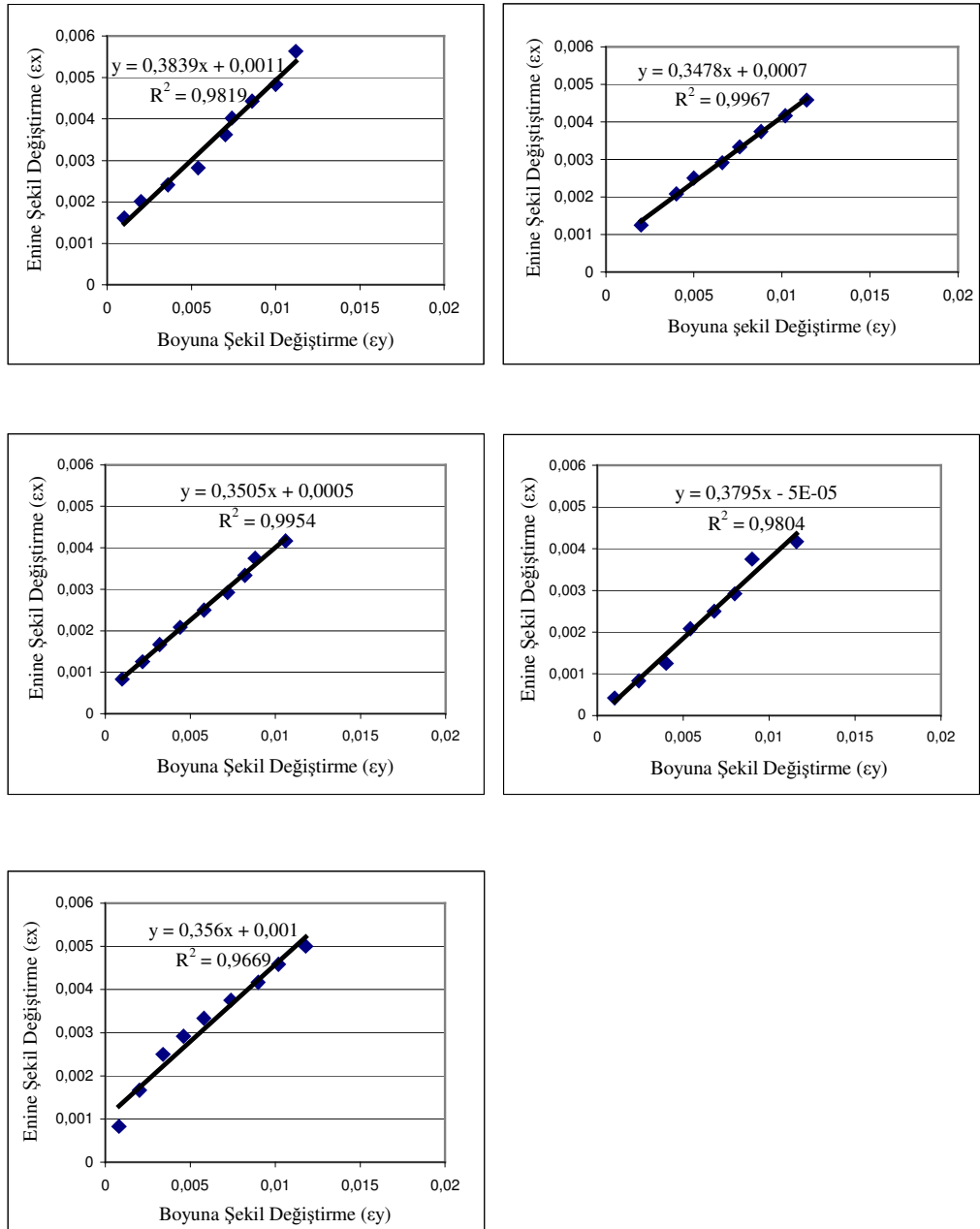
Tablo 5.18 F Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi sonuçları

Numune No	Poisson Oranı
1	0,3683
2	0,3358
3	0,3505
4	0,3471
5	0,3184
6	0,3496
7	0,3306
8	0,3389
9	0,3441
10	0,342
Ortalama	0,34253
Standart Sapma	0,01326
Varyasyon Katsayısı %	0,000176031

### 5.2.1.7. G Kot numaralı malzemenin poisson oranı deney sonuçları

Tablo 5.12’ de özellikleri belirtilen 74x40x4 mm boyutlarındaki G kot numaralı malzemelerde toplam 11 adet deney yapılmıştır. Bu malzemeye poisson oranı grafikleri Şekil 5.18’de verilmiştir. Malzemeye ait poisson oranı verileri ve bu verilerin ortalamalar Tablo 5.19’da verilmiştir.





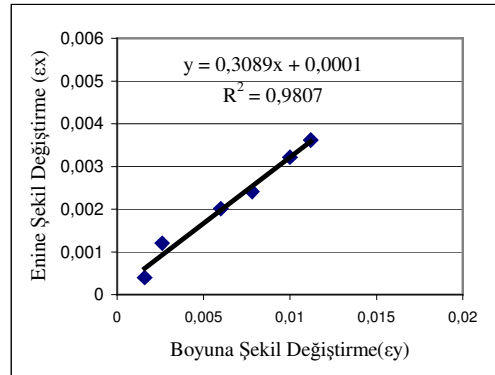
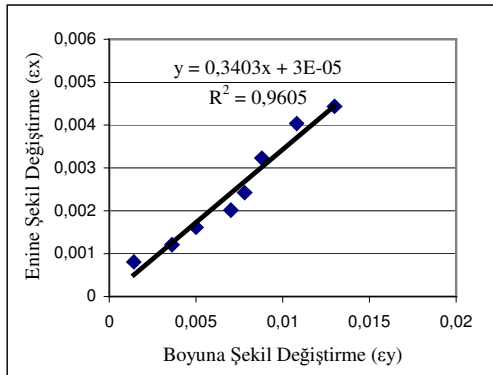
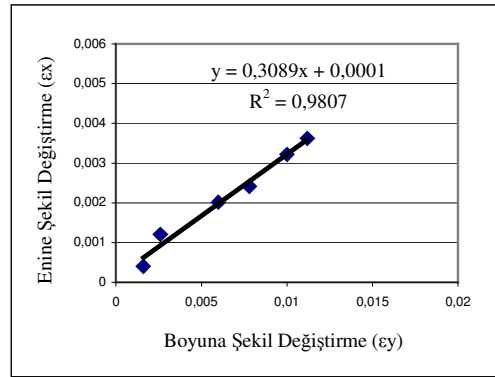
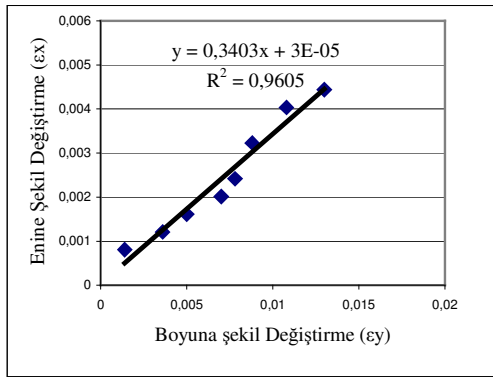
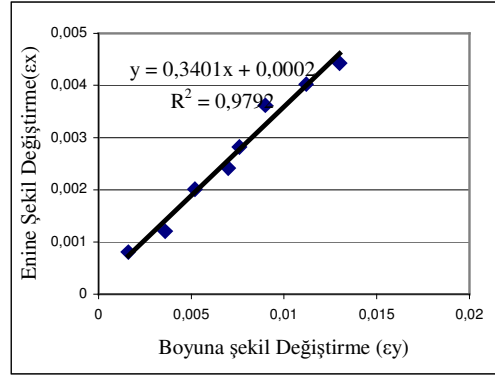
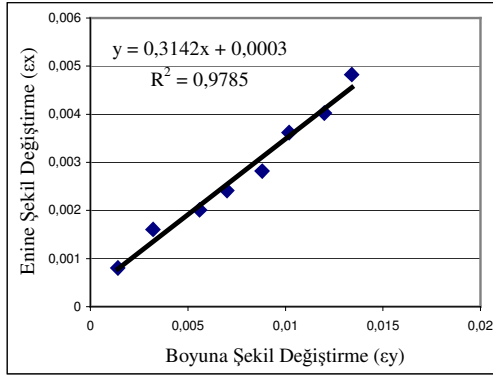
Şekil 5.18 G Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi grafiği

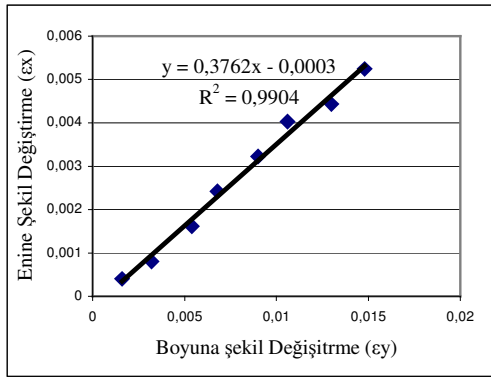
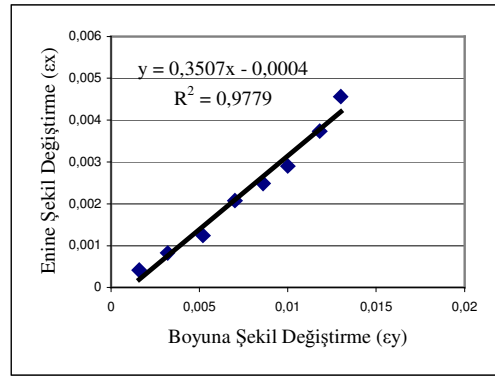
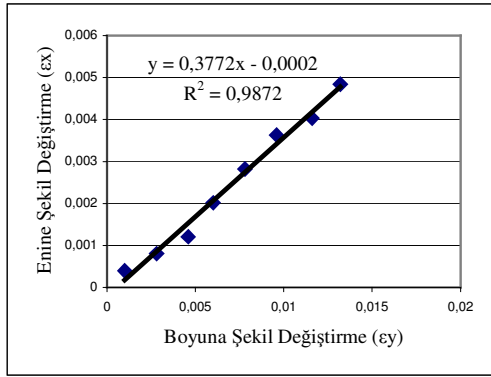
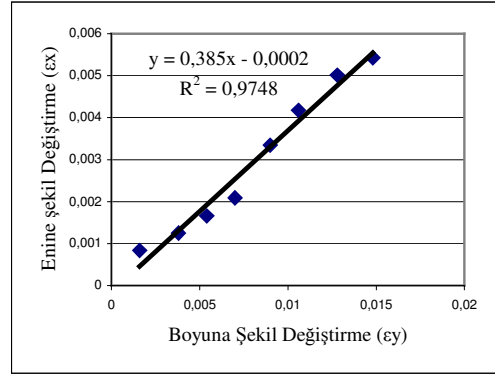
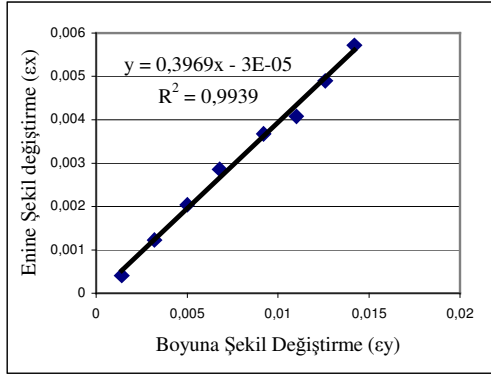
Tablo 5.19 G Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi sonuçları

Numune No	Poisson Oranı
1	0,3549
2	0,3072
3	0,3361
4	0,2381
5	0,355
6	0,3708
7	0,3839
8	0,3478
9	0,3505
10	0,3795
11	0,356
Ortalama	0,343618182
Standart Sapma	0,040793206
Varyasyon Katsayısı %	0,001664086

#### 5.2.1.8. H Kot numaralı malzemenin poisson oranı deney sonuçları

Tablo 5.12' de özellikleri belirtilen 70x26x3,5 mm boyutlarındaki H kot numaralı malzemelerde toplam 10 adet deney yapılmıştır. Bu malzemeye poisson oranı grafikleri Şekil 5.19'da verilmiştir. Malzemeye ait poisson oranı verileri ve bu verilerin ortalamalar Tablo 5.20'de verilmiştir.





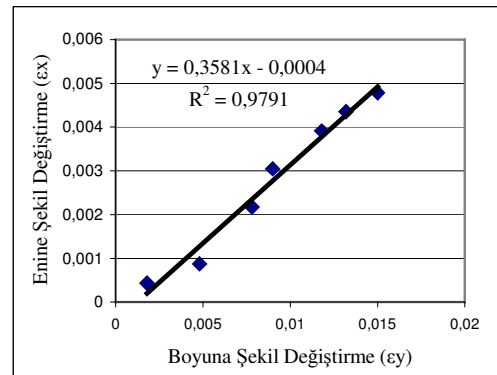
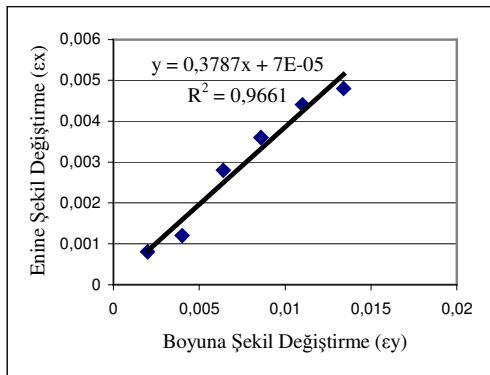
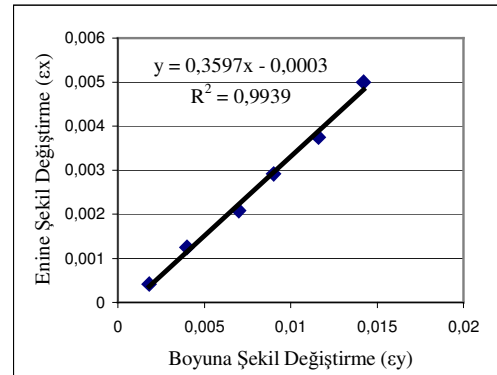
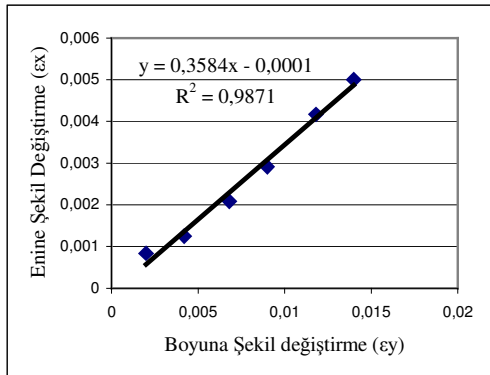
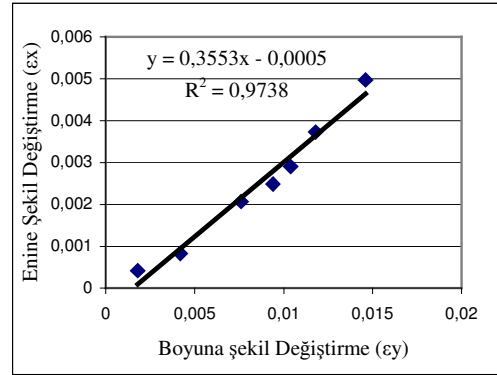
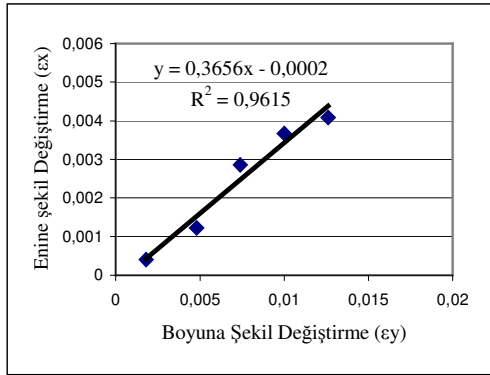
Şekil 5.19 H Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi grafiği

Tablo 5.20 H Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi sonuçları

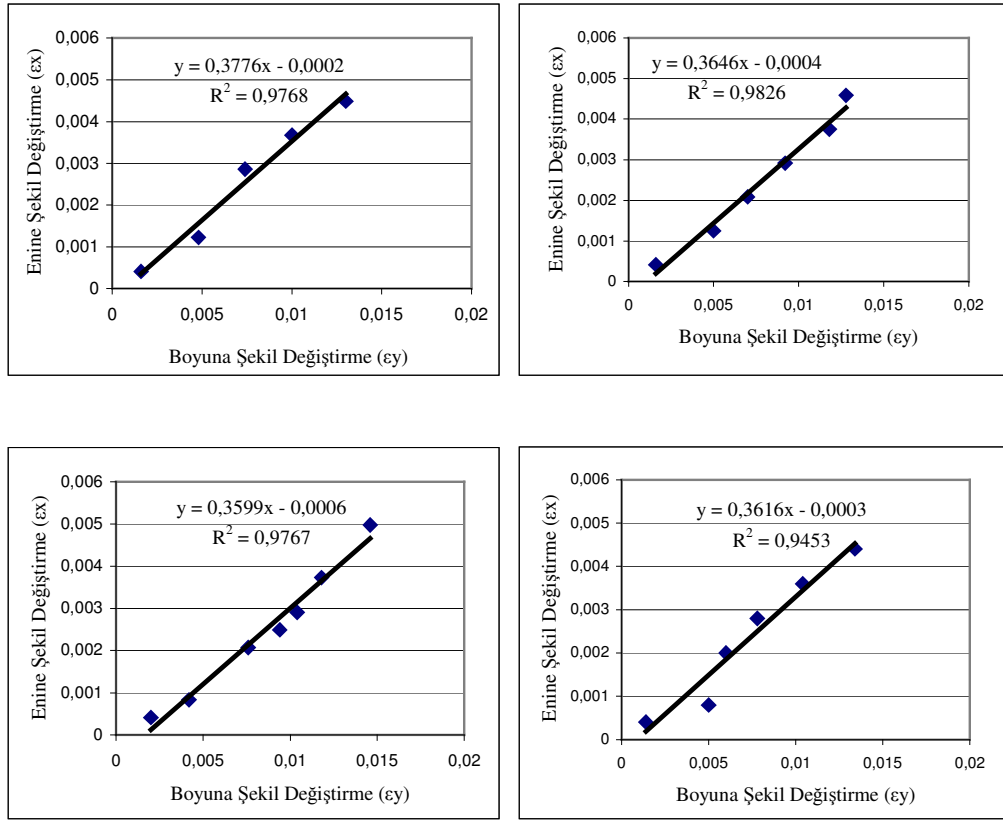
Numune No	Poisson Oranı
1	0,3142
2	0,3401
3	0,3403
4	0,3089
5	0,3403
6	0,3089
7	0,3969
8	0,385
9	0,3772
10	0,3507
11	0,3762
Ortalama	0,348972727
Standart Sapma	0,031282618
Varyasyon Katsayısı %	0,000978602

### 5.2.1.9. I Kot numaralı malzemenin poisson oranı deney sonuçları

Tablo 5.12' de özellikleri belirtilen 150x4,5x3 (Yeşil) mm boyutlarındaki I kot numaralı malzemelerde toplam 10 adet deney yapılmıştır. Bu malzemeye poisson oranı grafikleri Şekil 5.20'de verilmiştir. Malzemeye ait poisson oranı verileri ve bu verilerin ortalamalar Tablo 5.21'de verilmiştir.







Şekil 5.20 I Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi grafiği

Tablo 5.21 I Kot numaralı malzemenin Poisson Oranı deneyi sonuçları

Numune No	Poisson Oranı
1	0,3656
2	0,3553
3	0,3584
4	0,3597
5	0,3787
6	0,3581
7	0,3776
8	0,3646
9	0,3599
10	0,3616
Ortalama	0,36395
Standart Sapma	0,00807
Varyasyon Katsayısı %	6,52072E-05

## BÖLÜM 6. TEORİK HESAPLAR

Liflerle donatılı kompozitin bir kuvvet etkisi altında kalması halinde, çok bileşenli bu malzeme genel olarak homojen kabul edilse de kuvvetin bileşenler üzerindeki etkisi farklı olmakta ve bileşenlerin davranışı ile kendi aralarındaki ilişki kompozitin dayanımla ilgili özelliklerini belirlemektedir. Kompozit özellikleri üzerinde bir çok etken etkili olmaktadır. Ancak bunlardan bazıları şunlardır.

1. Lif'in mekanik özellikleri,
2. Matris'in mekanik özellikleri,
3. Bileşenlerin hacim oranları,
4. Özellikle dağılı fazı veya donatı fazını oluşturan malzemenin biçimi ve boyutlar,
5. Matris ile donatı fazı arasındaki aderans,
6. Donatı fazının matris içene yerleştiriliş şekli ve buna bağlı olarak aldığı konum.

Teorik hesapta önce mikro mekanik analiz yapılarak malzeme içerisindeki her tabakanın kendi içerisindeki mekanik özellikleri bulunmaktadır. İkinci aşamada ise makro mekanik analiz yapılmaktadır. Makro mekanik analizde ise mikro mekanik analizde bulunan her tabakanın mekanik özellikleri kullanılmaktadır. Burada her tabakanın kalınlığı da dikkate alınarak malzemenin mekanik özellikleri bulunacaktır. Teorik hesaplar da yukarıda saydığımız kompozit malzemenin özelliklerine etki eden 6 maddeden 4.ve 5. madde dikkate alınmamakta, diğer 1. 2. 3. ve 6. madde dikkate alınarak hesap yapılmaktadır.

## 6.1. Teorik Hesaplama

Teorik hesaplamalarda ilk olarak mikro mekanik analiz yapılır. Mikro mekanik analizde malzemede bulunan tabakalar kendi içerisindeki elyaf ve reçinenin mekanik özellikleri ve hacimsel değerleri kullanılarak o tabakanın mekanik özellikleri ayrı ayrı bulunur. İkinci aşamada ise makro mekanik analiz yöntemi kullanılır. Makro mekanik analizde ise malzemedeki tabakaların mekanik özellikleri ve tabaka kalınlıkları kullanılarak malzemenin mekanik özellikleri bulunur. Malzemeye temel olarak, iki çekme bir kesme kuvveti etki ettiği için, burada 3\*3'lük bir matris kullanılarak mekanik özellikler bulunur.

### 6.1.1. Mikro mekanik analiz

Mikro mekanik hesaplarda, her tabakanın mekanik özellikleri ayrı ayrı bulunur. Burada katmanlarda bulunan malzemelerin mekanik özellikleri kullanılır. Sırasıyla lif' in elastisite modülleri, tabaka içerisindeki hacmi, kayma modülü, poisson oranı;  $E_f$ ,  $V_f$ ,  $G_f$ ,  $\nu_f$  dir . Matris elastisite modülleri, tabaka içerisindeki hacmi, kayma modülü, poisson oranı;  $E_m$ ,  $V_m$ ,  $G_m$ ,  $\nu_m$  dir.

ilk olarak her tabakada kendi içerisindeki elyaf ve matrisin hacim yüzdelerini ve elastisite modüllerini kullanarak o katmanın x ve y yönündeki elastisite modülü bulunur.

Tabakadaki lif dağılımı tek yönlü ise;

$$E_x = E_f V_f + E_m (1 - V_f) \quad (6.1)$$

$$E_y = \frac{E_f E_m}{V_f E_m + (1 - V_f) E_f} \quad (6.2)$$

ikinci aşamada, her tabakanın kendi içerisindeki elyafın hacim yüzdesi, elyaf ve matrisin kayma modülleri kullanılarak, o katmanın kayma modülü bulunur.

$$G_{xy} = \frac{G_f G_m}{(V_f G_m + (1 - V_f) G_f)} \quad (6.3)$$

Üçüncü aşamada her tabakanın kendi içerisindeki elyafın hacim yüzdesi, elyaf ve matrisin poisson oranları kullanarak o katmanın poisson oranı bulunur.

$$\nu_{xy} = \nu_f V_f + \nu_m (1 - V_f) \quad (6.4)$$

Tabakadaki lif dağılımı çift yönlü ise;

Tabakadaki lif dağılımı çift yönlü ise yukarıdaki 6.1 ve 6.2 bağıntıları kullanılarak  $E_x$  ve  $E_y$  bulunur. Bulunan bu değerler aşağıdaki bağıntıda yerine konur ve tabakanın elastisite modülü (Bağıntı 6.5) ve kayma modülü (Bağıntı 6.6) bulunur.

$$\bar{E} = \frac{3}{8} E_x + \frac{5}{8} E_y \quad (6.5)$$

$$\bar{G} = \frac{1}{8} E_x + \frac{1}{4} E_y \quad (6.6)$$

Tabakanın elastisite modülü ve kesme dayanımı bulunduktan sonra aşağıdaki bağıntıda yerlerine konur ve tabakanın poisson oranı bulunur.

$$\bar{\nu} = \frac{\bar{E}}{2\bar{G}} - 1 \quad (6.7)$$

Bu değerler malzemedeki bütün tabakalar için ayrı ayrı hesaplanarak bulunur.

### 6.1.2. Makro mekanik analiz

Makro mekanik, kompozitteki elemanların bir bütün olarak ele alınıp tek bir malzemeymiş gibi incelenmesidir. Makro mekanik hesaplarda kullanılan temel veriler, mikro mekanik ile hesaplanan değerlerdir. Fakat, mikro mekanik değerlere ek olarak malzemenin ayrı ayrı kalınlıkları da bilinmelidir. Makro mekanik hesaplar,

matris yöntemi ile çözülür. Bir malzemeye temel olarak, iki çekme bir kesme kuvveti etki etmektedir. Bu durumdan dolayı 3\*3'lük bir matris kullanılmaktadır.

$$A = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma Q_{11} & \Sigma Q_{12} & 0 \\ \Sigma Q_{21} & \Sigma Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \Sigma Q_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (6.8)$$

$$\Sigma Q_{11} = \sum_{k=1}^N \left( \frac{E_x}{1 - \nu_{xy} \nu_{yx}} \right)_k * t_k \quad (6.9)$$

$$\Sigma Q_{22} = \sum_{k=1}^N \left( \frac{E_y}{1 - \nu_{xy} \nu_{yx}} \right)_k * t_k \quad (6.10)$$

$$\Sigma Q_{12} = \sum_{k=1}^N \left( \frac{E_x * \nu_{yx}}{1 - \nu_{xy} \nu_{yx}} \right)_k * t_k \quad (6.11)$$

$$\Sigma Q_{33} = \sum_{k=1}^N (G_{xy})_k * t_k \quad (6.12)$$

Yukarıdaki formüller kullanılarak bulunan değerler, A matrisinde yerine konur. İkinci işlem olarak A matrisinin tersi alınır.

$$\bar{A} = S = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & 0 \\ S_{21} & S_{22} & 0 \\ 0 & 0 & S_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} \text{ veya } \bar{\varepsilon} = \bar{S} \bar{\sigma} \quad (6.13)$$

Matris tersi alındıktan sonra, bulunan S değerlerinden yararlanılarak, kompozit malzemenin mekanik özellikleri aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanır.

$$E_x = \frac{1}{S_{11} * \Sigma t} \quad (6.14)$$

$$E_y = \frac{1}{S_{22} * \Sigma t} \quad (6.15)$$

$$G_{xy} = \frac{1}{S_{33} * \Sigma t} \quad (6.16)$$

$$v_{xy} = -(S_{12} * E_x * \Sigma t) \quad (6.17)$$

Toplam 9 farklı malzeme üzerinde deney yapılmıştır. Teorik hesaplamalarda sadece bir malzeme üzerinde acık hesap yapıldıktan sonra diğer malzemelerin sadece sonuçları verilecektir. Burada acık hesabını yapacağımız malzeme 70x26x3,5 mm ebatlarındaki malzemedir. Esa Kimya Metal' den alınan değerler malzemenin içerisindeki elyaf, keçe ve reçine yüzdeleridir. Bu değerler Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1 Numunenin ağırlığı ve içerisinde bulunan elyaf, keçe ve reçinenin yüzdeleri

Ürün Adı	Ağırlık (gr/m)	% Elyaf	% Keçe	%Reçine
70*26*3,5 mm Kutu Profil	1322	47,20	9,30	43,5

## 6.2. Örnek Bir Malzeme Hesabı

İlk olarak malzemenin 1 metresinin ağırlığında ne kadar elyaf, reçine ve keçe bulunduğu ayrı ayrı hesaplandı.

$$\text{Elyaf} = 1322 * 0,4720 = 623,984 \text{ gr}$$

$$\text{Keçe} = 1320 * 0,0930 = 122,946 \text{ gr}$$

$$\text{Reçine} = 1320 * 0,435 = 575,070 \text{ gr}$$

Bu aşamada bu değerler hacim cinsine çevrildi. Buradaki elyaf özgül ağırlığı 3. bölümde Tablo 3.2 den, reçinenin özgül ağırlığı ise 2.bölüm Bablo 2.1'den alınmıştır.

$$\text{Elyaf} = 623,984 \text{ kg} \Rightarrow \frac{623,68}{2,56} = 243,74 \text{ mm}^3$$

$$\text{Keçe} = 122,946 \text{ kg} \Rightarrow \frac{122,946}{2,56} = 48,02 \text{ mm}^3$$

$$\text{Reçine} = 575,070 \text{ kg} \Rightarrow \frac{6575,070}{1,24} = 460,05 \text{ mm}^3$$

Daha sonra malzemenin 1 metresinin toplam hacmi bulunmuş buradan da yukarıdaki değerler kullanılarak elyaf, keçe ve reçineni hacim cinsinden değerleri bulunmuştur.

Toplam (1 metresinin) hacim = 751,8255313 mm<sup>3</sup>

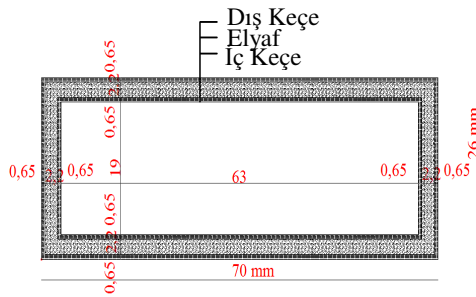
Toplam hacmin içinde yüzde olarak dağıtırsak;

$$\text{Elyaf} = 243,74375 = \frac{(243,74375 * 100)}{751,8255313} = 32,42 = \%32,42$$

$$\text{Keçe} = 48,025781 = \frac{(48,02578 * 100)}{751,8255313} = 6,38 = \%6,38$$

$$\text{Reçine} = 460,056 = \frac{(460,056 * 100)}{751,8255313} = 61,19 = \%61,19$$

Malzememizin 3,5 mm' lik et kalınlığında, en dışta 0,65 mm' si dış keçe, orta da 2,2 mm' si elyaf kısmı, en içte ise 0,65 mm' lik iç keçe tabakaları bulunmaktadır. Detaylar Şekil 6.1'de görülmektedir.



Şekil 6.1 Malzeme detayı

Mikro mekanik hesapların yapılabilmesi için her tabakadaki elyaf ve reçine yüzdelerinin bilinmesi gerekmektedir. Bunun için yukarıda bulunan yüzdeleri



kullanarak malzemenin 1 metresinin içerisinde bulunan elyaf, keçe ve reçinenin hacmi bulunmuştur. Tablo 6.2'de görülmektedir

Tablo 6.2 1metrelik malzemede tabakaların hacimleri

Dış keçe(0,65 mm)	Elyaf(2,2 mm)	İç keçe(0,65 mm)	Toplam hacim
123110 mm <sup>3</sup>	391600 mm <sup>3</sup>	108290 mm <sup>3</sup>	623000 mm <sup>3</sup>

$$\text{Elyaf} = \% 32,42 = 623000 * 0,3242 = 201978,2 \text{ mm}^3$$

$$\text{Keçe} = \% 6,38 = 623000 * 0,0638 = 39796,55 \text{ mm}^3$$

$$\text{Reçine} = \% 61,19 = 623000 * 0,6119 = 381225,3 \text{ mm}^3$$

Buradan her katmanın içindeki elyaf ve reçine yüzdesi bulunarak aşağıdaki tabloya yerleştirilmiştir (Tablo 6.3).

Tablo 6.3 Tabakalardaki malzemelerin yüzde dağılımları

0,65 mm'lik dış keçe		2,2 mm'lik elyaf kısmı		0,65 mm'lik iç keçe		Toplam hacim
123110 mm <sup>3</sup>		391600 mm <sup>3</sup>		108290 mm <sup>3</sup>		623000 mm <sup>3</sup>
keçe	reçine	elyaf	reçine	keçe	reçine	
21172,6	101937,34	201978,2	189621,815	18623,89	89666,11	
% 17,19	%82,80	%51,57	%48,42	%17,19	%82,80	

Tablo 6.4 Kutuyu oluşturan malzemeler ve hacim oranları

Malzeme	Dış keçe	Orta kısım (elyaf)	İç keçe
Lif hacim oranı ( $V_f$ )	17,19	51,57	17,19
Matris	82,80	48,42	82,80
Tabaka kalınlığı (mm)	0,65	2,2	0,65

Tablo 6.4’de deney yapılan numunelerdeki her tabaka için elyaf hacim oranları ve o tabakaya ait et kalınlığı verilmiştir. Tabakadaki et kalınlıkları Esa Kimya Metal’ den alınan değerlerdir. Tablo 6.5’de deneyde kullanılan numunelerdeki matriks ve takviye elemanlarının mekanik özellikleri verilmiştir. Bu değerler üretici firmadan alınmıştır.

Tablo 6.5 Kompoziti oluşturan malzemelerin özellikleri

Malzeme	Elastisite modülü	Kayma modülü	Poisson oranı	Özgül ağırlığı
E-Camı	72	29	0,25	2,56
Matris	3,5	1,6	0,35	1,24

### Mikromekanik analiz

Malzememiz dış keçe, orta tabaka ve iç keçe olmak üzere 3 tabakadan oluşmaktadır. Burada 3 tabaka için ayrı ayrı mekanik özellikleri bulunmuştur.

### Orta tabaka ( elyaf)

Orta tabakadaki veriler Tablo 6.4 ve Tablo 6.5’ ten alınmış. Tek yönlü olarak hesaplanmıştır.

$$E_x = E_f V_f + E_m (1 - V_f) \quad (6.1)$$

$$E_x = 72 * 0,5157 + 3,5(1 - 0,5157) = 38,66 \text{ KN/mm}^2$$

$$E_y = \frac{E_f E_m}{V_f E_m + (1 - V_f) E_f} \quad (6.2)$$

$$E_y = \frac{72 * 3,5}{0,5157 * 3,5 + (1 - 0,5157)}$$

$$G_{xy} = \frac{G_f G_m}{(V_f G_m + (1 - V_f) G_f)} \quad (6.3)$$

$$G_{xy} = \frac{29 * 1,6}{(0,5157 * 1,6 + (1 - 0,5157) * 29)} = 3,10 \text{ KN/mm}^2$$

$$\nu_{xy} = \nu_f V_f + \nu_m (1 - V_f) \quad (6.4)$$

$$\nu_{xy} = 0,25 * 0,5157 + 0,35 * (1 - 0,5157) = 0,29$$

İç keçe-Dış keçe

İç keçe çift yönlü olarak hesaplanmış, veriler Tablo 6.4 ve Tablo 6.5' den alınmıştır. Buradaki değerler formüllerde yerine konularak bu tabakadaki elastisite modülü, kayma modülü ve poisson oranı bulunmuştur..

$$E_x = E_f V_f + E_m (1 - V_f) \quad (6.1)$$

$$E_x = 72 * 0,1719 + 3,5(1 - 0,1719) = 15,21 \text{ KN/mm}^2$$

$$E_y = \frac{E_f E_m}{V_f E_m + (1 - V_f) E_f} \quad (6.2)$$

$$E_y = \frac{72 * 3,5}{0,1719 * 3,5 + (1 - 0,1719) * 72} = 4,18 \text{ KN/mm}^2$$

$$\bar{E} = \frac{3}{8}E_x + \frac{5}{8}E_y \quad (6.5)$$

$$\bar{E} = \frac{3}{8}11,99 + \frac{5}{8}3,968 = 8,31 \text{ KN/mm}^2$$

$$\bar{G} = \frac{1}{8}E_x + \frac{1}{4}E_y \quad (6.6)$$

$$\bar{G} = \frac{1}{8}11,99 + \frac{1}{4}3,968 = 2,94 \text{ KN/mm}^2$$

$$\bar{\nu} = \frac{\bar{E}}{2\bar{G}} - 1 \quad (6.7)$$

$$\bar{\nu} = \frac{6,978}{2 * 2,491} - 1 = 0,411$$

Makromekanik analiz

Mikro mekanik analizdeki sonuçlar ve Tablo 6,4'deki tabaka kalınlıkları kullanılarak malzemenin mekanik özellikleri bulunmuştur. İlk olarak A matrisindeki değerler hesaplandı ve bu değerler matriste yerine kondu.

$$A = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma Q_{11} & \Sigma Q_{12} & 0 \\ \Sigma Q_{21} & \Sigma Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \Sigma Q_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (6.8)$$

$$\Sigma Q_{11} = \sum_{k=1}^N \left( \frac{E_x}{1 - \nu_{xy}\nu_{yx}} \right)_k * t_k \quad (6.9)$$

$$\Sigma Q_{11} = \left( \frac{38,66}{1-0,29*0,29} \right) * 2,2 + \left( \frac{8,317}{1-0,41*0,41} \right) * 0,65 + \left( \frac{8,317}{1-0,41*0,41} \right) * 0,65 = 106,398$$

$$\Sigma Q_{12} = \sum_{k=1}^N \left( \frac{E_y * \nu_{yx}}{1 - \nu_{xy} \nu_{yx}} \right)_k * t_k \quad (6.11)$$

$$\Sigma Q_{12} = \left( \frac{6,841*0,29}{1-0,29*0,29} \right) * 2,2 + \left( \frac{8,317*0,41}{1-0,41*0,41} \right) * 0,65 + \left( \frac{8,317*0,41}{1-0,41*0,41} \right) * 0,65 = 10,287$$

$$\Sigma Q_{12} = \Sigma Q_{21}$$

$$\Sigma Q_{22} = \sum_{k=1}^N \left( \frac{E_y}{1 - \nu_{xy} \nu_{yx}} \right)_k * t_k \quad (6.10)$$

$$\Sigma Q_{22} = \left( \frac{6,841}{1-0,29*0,29} \right) * 2,2 + \left( \frac{8,317*0,41}{1-0,41*0,41} \right) * 0,65 + \left( \frac{8,317*0,41}{1-0,41*0,41} \right) * 0,65 = 29,536$$

$$\Sigma Q_{33} = \sum_{k=1}^N (G_{xy})_k * t_k \quad (6.12)$$

$$\Sigma Q_{33} = (3,107) * 2,2 + (2,946) * 0,65 + (2,946) * 0,65 = 10,665$$

$$A = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 106,398 & 10,287 & 0 \\ 10,287 & 29,536 & 0 \\ 0 & 0 & 10,665 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}$$

A matrisindeki değerler bulunarak yerine konmuştur. A matrisinin tersi alınmak suretiyle bulunan S değerleri kullanılarak malzemenin mekanik özellikleri bulunacaktır.

$$\bar{A} = S = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & 0 \\ S_{21} & S_{22} & 0 \\ 0 & 0 & S_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}$$

$$\bar{A}^{-1} = \frac{1}{\det(A)} * E_k(A)$$

Burada A matrisinin tersi alınacaktır. Buradaki bilinmeyen değerler  $E_k(A)$  değeri ve  $\det(A)$  değeri bulunarak formülde yerine konmuştur. Daha sonraki aşamada ise  $A^{-1}$  bulunmuş. Buradaki S değerleri sayesinde de malzemenin x ve y' de elastisite modülü, poisson oranı ve kayma modülü bulunmuştur.

$$A_{11} = (-1)^{1+1} \begin{bmatrix} 29,536 & 0 \\ 0 & 10,665 \end{bmatrix} = 29,536 * 10,665 = 315,01$$

$$A_{12} = (-1)^{1+2} \begin{bmatrix} 10,287 & 0 \\ 0 & 10,665 \end{bmatrix} = -10,287 * 10,665 = -109,72$$

$$A_{13} = (-1)^{1+3} \begin{bmatrix} 10,287 & 20,536 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} = 0$$

$$A_{21} = (-1)^{2+1} \begin{bmatrix} 10,287 & 0 \\ 0 & 10,665 \end{bmatrix} = -10,287 * 10,665 = -109,72$$

$$A_{22} = (-1)^{2+2} \begin{bmatrix} 106,398 & 0 \\ 0 & 10,665 \end{bmatrix} = 106,398 * 10,665 = 1134,73$$

$$A_{23} = (-1)^{2+3} \begin{bmatrix} 106,398 & 10,287 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} = 0$$

$$A_{31} = (-1)^{3+1} \begin{bmatrix} 10,287 & 0 \\ 20,536 & 0 \end{bmatrix} = 0$$

$$A_{32} = (-1)^{3+2} \begin{bmatrix} 106,398 & 0 \\ 10,287 & 0 \end{bmatrix} = 0$$

$$A_{33} = (-1)^{3+3} \begin{bmatrix} 106,398 & 10,287 \\ 10,287 & 20,536 \end{bmatrix} = 106,398 * 20,536 - 10,287 * 10,287 = 3036,82$$

$$E_k(A) = \begin{bmatrix} 315,01 & -109,72 & 0 \\ -109,72 & 1134,73 & 0 \\ 0 & 0 & 3036,82 \end{bmatrix}$$

$$\det(A) = \begin{bmatrix} 106,398 & 10,287 & 0 \\ 10,287 & 29,536 & 0 \\ 0 & 0 & 10,665 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 106,398 & 10,287 \\ 10,287 & 29,536 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\det(A) = 106,398 * 29,536 * 10,665 + 10,287 * 0 * 0 + 0 * 10,287 * 0 - 0 * 29,536 * 0 - 0 * 0 * 106,398 - 10,665 * 10,287 * 10,287 = 32387,74507$$

$$A^{-1} = \frac{1}{\det(A)} * E_k(A) = \begin{bmatrix} \frac{315,01}{32387,74507} & \frac{-109,72}{32387,74507} & 0 \\ \frac{-109,72}{32387,74507} & \frac{1134,73}{32387,74507} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{3036,82}{32387,74507} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0,009726228 & -0,003387731 & 0 \\ -0,003387731 & 0,035036023 & 0 \\ 0 & 0 & 0,093732493 \end{bmatrix}$$

### 6.3. Teorik Hesap Sonuçları

$$E_x = \frac{1}{S_{11} * \Sigma t} = \frac{1}{0,009726228 * 3,5} = 29,375 \text{ KN/mm}^2$$

$$E_y = \frac{1}{S_{22} * \Sigma t} = \frac{1}{0,035036023 * 3,5} = 8,154 \text{ KN/mm}^2$$

$$G_{xy} = \frac{1}{S_{33} * \Sigma t} = \frac{1}{0,093732493 * 3,5} = 3,44 \text{ KN/mm}^2$$

$$\bar{v} = -(S_{12} * E_x * \Sigma t) = -(0,009726228 * 29,375 * 3,5) = 0,348$$

Malzemeler ilgili veriler Esa Kimya Metal' den alınarak hesaplar yapılmıştır. Malzemelerin 1 metresinin ağırlığı, malzemelerin içerisindeki elyaf, keçe ve reçine oranları, malzemelerdeki tabaka kalınlıkları buradan alınan değerler direkt olarak hesaba katılmıştır. Buradaki oranlar ağırlık cinsinden oranlardır (Tablo 6.6).

Tablo 6.6 Deneyde kullanılan malzemeler, malzemenin içinden bulunan elyaf-keçe-reçine ağırlık cinsinden yüzdeleri ve malzemenin 1 m metresinin ağırlığı

Kot No	Malzeme (mm)	Toplam ağırlık (Kg/m)	% Elyaf	% Keçe	% Reçine
A	50*3 (Lama)	260,00	59,00	12,70	28,30
B	74*74*6	3000,00	60,80	7,20	32,00
C	150*4,5*3	844,66	56,62	11,12	32,26
D	45*45*5	1432,00	56,65	8,38	34,97
E	45*45*3	951,33	52,66	11,90	35,44
F	80*30*3	700,00	44,30	13,00	42,70
G	74*40*4	1580,00	47,89	9,19	42,92
H	70*26*3,5	1332,00	47,20	9,30	43,50
I	150*4,5*3	819,16	43,82	12,22	43,96



Burada yukarıda Bölüm 6.2' de hesaplanan yöntemlerle hesaplamalar yapılmış ve malzeme içerisindeki hacim cinsinden elyaf, keçe ve reçine yüzdeleri bulunmuştur. 9 farklı malzeme için değerler Tablo 6.7' de sunulmuştur.

Tablo 6.7 Malzemelerin Hacim cinsinden yüzdeleri

Kot No	Malzeme (mm)	% Elyaf	% Keçe	% Reçine
A	50*3 (Lama)	45,50	9,79	44,70
B	74*74*6	45,53	5,39	49,07
C	150*4,5*3	42,31	8,31	49,37
D	45*45*5	41,45	6,13	52,41
E	45*45*3	38,39	8,67	52,92
F	80*30*3	30,60	8,98	60,41
G	74*40*4	33,03	6,33	60,62
H	70*26*3,5	32,42	6,38	61,19
I	150*4,5*3	29,99	8,36	61,63

Bütün malzemeler için değerler Tablo 6.8'de sunulmuştur.

Tablo 6.8 Malzemelerin içindeki katmanlarda olan Elyaf-Reçine oranlar (Hacim Cinsinden)

Kot No	Malzeme (mm)	Orta Kısım		İç Keçe		Dış Keçe	
		% Elyaf	% Reçine	% Elyaf	% Reçine	% Elyaf	% Reçine
A	50*3	82,44	17,56	21,86	78,14	21,86	78,14
B	74*74*6	80,34	19,66	12,44	87,56	12,44	87,56
C	150*4,5*3	75,32	24,68	18,96	81,04	18,96	81,04
D	45*45*5	56,02	43,98	23,58	76,42	23,58	76,42
E	45*45*3	67,76	32,24	20,02	79,98	20,02	79,98
F	80*30*3	54,53	45,47	20,46	79,54	20,46	79,54
G	74*40*4	48,93	51,08	19,50	80,50	19,50	80,50
H	70*26*3,5	51,57	48,43	17,20	82,80	17,20	82,80
I	150*4,5*3	53,40	46,60	19,08	80,92	19,08	80,92

Malzemelerdeki tabaka kalınlıkları Esa Kimya Metal' den alınan değerlerdir. Bu değerlerde Tablo 6.9' da aynı şekilde sunulmuştur. Hesaplamalarda bu değerler kullanılmıştır.

Tablo 6.9 Malzemelerde tabaka kalınlığı

Kot No	Malzeme (mm)	Orta Kısım	İç Keçe	Dış Keçe
A	50*3 (Lama)	1,7	0,65	0,65
B	74*74*6	3,4	1,3	1,3
C	150*4,5*3	1,7	0,65	0,65
D	45*45*5	3,7	0,65	0,65
E	45*45*3	1,7	0,65	0,65
F	80*30*3	1,7	0,65	0,65
G	74*40*4	2,7	0,65	0,65
H	70*26*3,5	2,2	0,65	0,65
I	150*4,5*3 (Yeşil)	1,7	0,65	0,65

Elyaf hacim oranları değişik 9 farklı malzemenin mekanik özellikleri Bölüm 6.2’ de ki gibi hesaplanarak çıkan bütün değerler Tablo 6.10’da belirtilmiştir. Hepsini için açık hesap yapmak çok yer alacağından sadece yukarıda örnek olarak bir tanesini hesaplanmış ve çalışmaya konmuştur. Diğer 9 malzemede aynı yöntemle hesaplanmış ve tabloya yerleştirilmiştir. Buradaki  $E_x$  değeri malzemenin x yönündeki elastisite modülünü,  $E_y$  değeri y yönündeki elastisite modülünü,  $G_{xy}$  malzemenin kayma modülünü ve  $V_{xy}$  ise malzemenin poisson oranını belirtmektedir (Tablo 6.10). Çalışmanın bundan sonraki sonuç bölümünde bu değerler yorumlanmıştır.

Tablo 6.10 Teorik hesap sonuç tablosu

Kot No	Malzeme (mm)	% Elyaf+Keç	% Reçine	$E_x$ (KN/mm <sup>2</sup> )	$E_y$ (KN/mm <sup>2</sup> )	$G_{xy}$ (KN/mm <sup>2</sup> )	$V_{xy}$
A	50*3 (Lama)	55,30	44,70	41,73	16,66	6,28	0,30
B	74*74*6	50,93	49,07	38,18	12,30	4,69	0,30
C	150*4,5*3	50,63	49,37	37,09	11,78	4,34	0,32
D	45*45*5	47,59	52,41	35,94	8,99	3,33	0,33
E	45*45*3	47,08	52,92	34,27	10,48	3,78	0,34
F	80*30*3	39,59	60,41	29,03	9,01	3,15	0,35
G	74*40*4	39,38	60,62	29,53	8,04	2,90	0,35
H	70*26*3,5	38,91	61,19	29,37	8,15	3,44	0,34
I	150*4,5*3	38,37	61,63	28,40	8,71	3,06	0,35

## **BÖLÜM 7. BULGULAR**

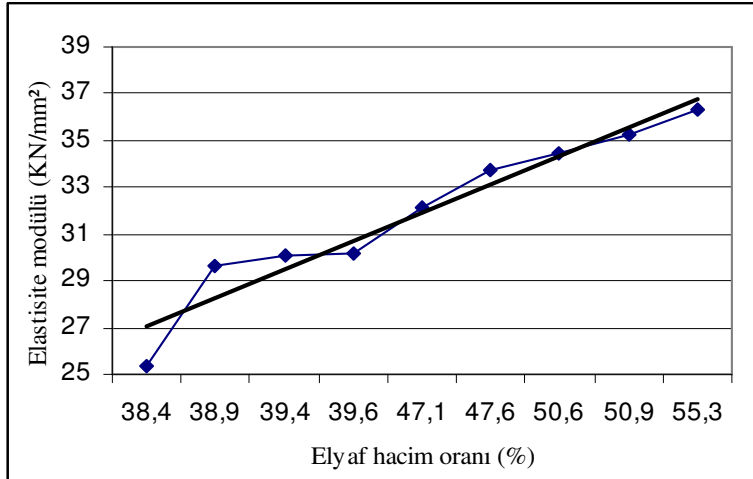
CTP sektöründe her geçen gün mevcut malzemelerin iyileştirilmesi için sayısız deney ve çalışmalar yapılmaktadır. Bu malzemeyi ön plana çıkaran özelliklerden bir tanesi, istenilen özelliklerde üretilebilme imkanı sunmasıdır. CTP' lerin mukavemetini değiştirmek için, içerisindeki elyaf hacim oranlarının değiştirmek, en etkili yöntemlerden bir tanesidir. Bu çalışmada elde edilmek istenen ise, elyaf hacim oranlarının malzemenin mekanik özelliklerine etkisinin araştırılmasıdır. Bu amaçla 9 farklı malzeme deney yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Daha sonra teorik hesaplarla yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan bir tanesi CTP' lerde cam elyaf oranının malzeme mukavemetine etkisi. İkincisi ise deneysel sonuçlarla bulunan değerlerle teorik hesaplar sonucu bulunan değerlerin uygunluğu.

### **7.1.Deneysel Çalışma Sonuçları**

Elyaf hacim oranları ile malzemenin elastisite modülünün değişimi, poisson oranlarının değişimi ve % uzamalar incelenmiştir. Deneyde kullanılan numunelerin elyaf hacim oranları % 38,37 ile % 55,30 arasında değişmektedir. Tablo 7.1' de deney sonucunda malzemelerin elastisite modülleri verilmiştir. Şekil 7.1' de elyaf hacim oranları ile elastisite modülünün değişimi görülmektedir.

Tablo 7.1 Deneysel çalışma sonucunda çıkan elastisite modülleri

Kot No	Malzeme (mm)	% Elyaf+Keçe	% Reçine	E-Modülü (KN/mm <sup>2</sup> ) (Deneysel çalışma)
A	50*3	55,30	44,70	36,346
B	74*74*6	50,93	49,07	35,252
C	150*4,5*3	50,63	49,37	34,496
D	45*45*5	47,59	52,41	33,721
E	45*45*3	47,08	52,92	32,153
F	80*30*3	39,59	60,41	30,089
G	74*40*4	39,38	60,62	30,203
H	70*26*3,5	38,91	61,19	29,659
I	150*4,5*3	38,37	61,63	25,313

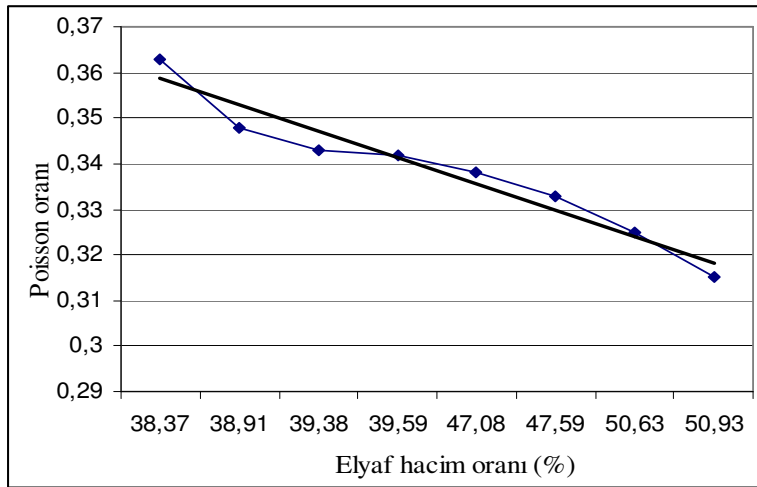


Şekil 7.1 Elyaf hacim oranı-elastisite modülünün değişimi

Diğer bir deneysel çalışma ise poisson oranlarının belirlenmesidir. Çekme deneyinde yanal daralmayı ölçmek için komparatör saati takılarak poisson oranları hesaplanmıştır. Malzeme içerisindeki cam elyaf arttıkça malzemenin poisson oranı da azaldığı görülmüştür. (Tablo 7.2). Şekil 7.2’de ise elyaf hacim oranının değişimi ile poisson oranlarının değişimi görülmektedir.

Tablo 7.2 Deneysel çalışma sonucunda çıkan poisson oranı sonuçları

Kot No	Malzeme	% Elyaf+Keçe	% Reçine	Poisson Oranı (Deneysel çalışma)
A	50*3	55,30	44,70	0,310
B	74*74*6	50,93	49,07	0,315
C	150*4,5*3	50,63	49,37	0,325
D	45*45*5	47,59	52,41	0,333
E	45*45*3	47,08	52,92	0,338
F	80*30*3	39,59	60,41	0,342
G	74*40*4	39,38	60,62	0,343
H	70*26*3,5	38,91	61,19	0,348
I	150*4,5*3	38,37	61,63	0,363

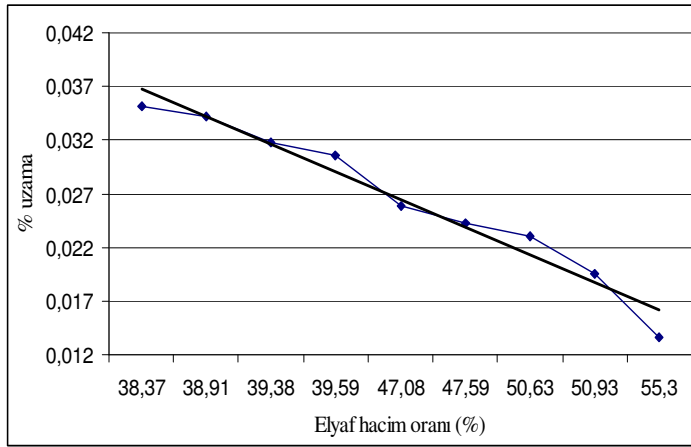


Şekil 7.2 Elyaf hacim oranlarının değişimi ile poisson oranlarının değişimi

Deney sonucunda aynı zaman da yüzde uzamalarda bulunmuştur. Deneysel çalışmalarda sonuçları bilgisayar ortamından aktarılmıştır. Bu değerler tablo halinde sunulmuştur. Bu değerler neticesinde malzeme içerisindeki cam elyaf oranı arttıkça poisson oranına paralel olarak malzemenin sünekliliğinin azaldığı gözlenmiştir (Tablo 7.3). Sonuç olarak, CTP malzeme içerisinde Cam elyaf oranı arttıkça malzemenin mukavemeti artarken, sünekliliği azalmaktadır. Şekil 7.3' te elyaf hacim oranları ile % uzamaların değişimi görülmektedir.

Tablo 7.3 Deneysel çalışmalar sonucunda çıkan yüzde uzamalar

Kot No	Malzeme (mm)	% Elyaf + Keçe	% Reçine	% uzama
A	50*3 (Lama)	55,30	44,70	0,0136
B	74*74*6	50,93	49,07	0,0196
C	150*4,5*3	50,63	49,37	0,0230
D	45*45*5	47,59	52,41	0,0242
E	45*45*3	47,08	52,92	0,0258
F	80*30*3	39,59	60,41	0,0306
G	74*40*4	39,38	60,62	0,0318
H	70*26*3,5	38,91	61,19	0,0342
I	150*4,5*3 (Yeşil)	38,37	61,63	0,0352



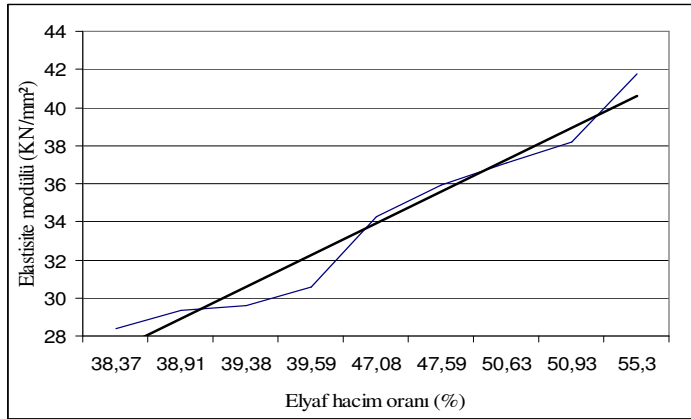
Şekil 7.3 Elyaf hacim oranları-% uzama ilişkisi

## 7.2. Teorik Hesap Sonuçları

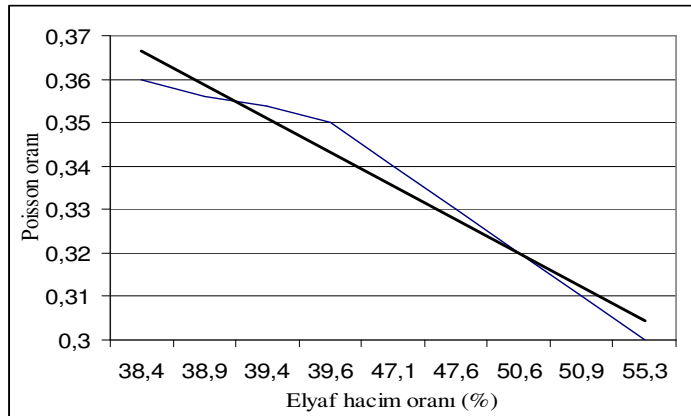
Teorik hesaplar üretici firma olan Esa Kimya Metal'den alınan veriler doğrultusunda yapılmıştır. Üretici firmadan alınan malzemelerin içerisindeki elyaf, keçe ve reçine oranları ağırlık cinsinden alındı yüzde hacim cinsine çevrildi. 9 farklı malzeme için ayrı ayrı hesaplar yapıldı ve değerler tablolar halinde sunuldu. Tablo 7.4'de teorik hesaplar sonucunda elde edilen bütün veriler görülmektedir. Şekil 7.4'de elyaf hacim oranları elastisite modül ilişkisi görülmektedir. Şekil 7.5'de elyaf hacim oranları poisson oranı ilişkisi görülmektedir.

Tablo 7.4 Teorik hesaplar sonunda bulunan değerler

Kot No	Malzeme (mm)	% Elyaf	% Reçine	$E_x$ (KN/mm <sup>2</sup> )	$E_y$ (KN/mm <sup>2</sup> )	$G_{xy}$ (KN/mm <sup>2</sup> )	$V_{xy}$
A	50*3	55,30	44,70	41,73	16,66	6,28	0,30
B	74*74*6	50,93	49,07	38,18	12,30	4,69	0,30
C	150*4,5*3	50,63	49,37	37,09	11,78	4,34	0,32
D	45*45*5	47,59	52,41	35,94	8,99	3,33	0,33
E	45*45*3	47,08	52,92	34,27	10,48	3,78	0,34
F	80*30*3	39,59	60,41	30,53	9,01	3,15	0,35
G	74*40*4	39,38	60,62	29,62	8,04	2,90	0,35
H	70*26*3,5	38,91	61,19	29,37	8,15	2,94	0,34
I	150*4,5*3	38,37	61,63	28,40	8,71	3,06	0,35



Şekil 7.4 Elyaf hacim oranları-Elastisite modülü ilişkisi



Şekil 7.5 Elyaf hacim oranları-poisson oranları ilişkisi



## BÖLÜM 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

CTP' ler inşaat sektörüne hızla girmiş ve birincil malzeme olarak kullanılma yönünde hızla gelişme kaydedilmiştir. Bu çalışmalar genellikle mekanik özellikleri iyileştirme yönündedir. CTP' lerde mekanik özellikleri etkileyen etkenler, takviye elemanının mekanik özellikleri, üretim yöntemleri, matris ve takviye elemanları arasında ki aderans ve elyaf hacim oranlarıdır. Bu çalışmada ise, mekanik özellikleri etkileyen etkenlerden elyaf hacim oranı araştırılmıştır. Bunun için elyaf hacim oranları farklı olan 9 malzemede toplam 90 adet deney numune üzerinde yapılmıştır. Deneysel çalışmalar, çekme deneyi eksenslidir. Çekme deneyinde malzemelerin elastisite modülleri, poisson oranları, yüzde uzamaları, maksimum çekme mukavemetleri bulunmuştur. Daha sonraki aşama da ise bu 9 malzemelerin mekanik özellikleri teorik hesaplarla bulunmuştur. bu çalışma iki aşamalı olarak yapılmıştır. Birinci aşaması deneysel çalışmalarla, elyaf hacim oranlarının malzeme mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. İkinci aşamada ise aynı numunelerde teorik hesaplarla mekanik özellikler bulunmuş ve deneysel çalışma ile teorik hesapların uygunluğu araştırılmıştır.

Bu çalışma sonucunda;

1. Elyaf hacim oranı arttıkça malzemenin elastisite modülü arttığı görülmüştür. Elyaf hacim oranları % 51,8 arttığında elastisite modülü % 43,5 oranında artmaktadır.
2. Elyaf hacim oranı arttıkça malzemenin poisson oranının azaldığı görülmüştür. Elyaf hacim oranları % 51,8 arttığında malzemenin poisson oranının % 17 azaldığı görülmüştür.
3. Malzeme içerisindeki cam elyaf arttıkça sünekliliğin azaldığı görülmüştür.

5. Deneysel sonuçlar, teorik hesaplarla bulunan değerlerden daha düşük çıkmıştır. Bu farklılığın nedeni, çekme dayanımının mikro yapıya oldukça duyarlı olmasıdır.
6. CTP malzeme içerisinde elyaf hacim oranı arttıkça malzemenin mukavemeti artarken, sünekliliği azalmaktadır.
7. Deneysel çalışmalarla teorik hesapların bir birine yakın değerler olması için, lif yönlenmelerinin düzgün olmaması, elyaf-matris arasındaki oluşan bağın iyi olmaması, elyafın matris içerisinde üniform dağılımaması, cam elyafının mekanik özelliklerinin üniform olmaması, iç yapıda süreksiz elyafın olmaması, plastiğin sertleşmesi sırasındaki iç gerilmelerin olması gibi nedenleri iyileştirdiğimizde mümkün olacaktır.
8. Tek doğrultu sürekli elyaf takviyeli ve polyeester esaslı kompozit malzemeler çekme mukavemeti elyaf yönüne çok duyarlıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] Akkurt,S.,”Plastik malzeme bilgisi”, İ.T.Ü. Makine Fakültesi, İstanbul, 1991
- [2] Erkan, M., Çelik Yapılar Ders Notları, Düzce, 2000
- [3] Holmes, M. and JUST, D.J., GRP in Sutstructural Engineering, Applied Science Publishers Ltd., New York, 1983
- [4] [www.turkcadcam.net/rapor/kompozit-malzemeler/index.html](http://www.turkcadcam.net/rapor/kompozit-malzemeler/index.html)
- [5] Şahin, Y., Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Yayın Evi, Ankara, 2000
- [6] Mallick, P.K., Composite Engineering Handbook, Marcel Dekker, New York, 1997
- [7] Eurocomp, Structural Design of Polymer Composites - EUROCOMP Design Code and Handbook, Edited by Clarke, J. L.,Chapman and Hall, London, 1996
- [8] [www.fiberline.com](http://www.fiberline.com)
- [9] Song H.W and DU X.W.,Off-axis crushing of GFRP Tubes, Composites science and Tecnology,62, 2065-2073, 2002
- [10] Philıppıdıs T.P.and Vassılopoulos A.P., Complex State Effect on Fatigue Life of GRP Laminates Part I Experimental, International Journal of Fatigue, 24, 813-823, 2002
- [11] Philıppıdıs T.P.and Vassılopoulos A.P., Complex State Effect on Fatigue Life of GRP Laminates Part II Theoretical Formulation, International Journal of Fatigue, 24, 825-830, 2002
- [12] Ochola R.O.,Marcus K., Nurıck G.N., Franz. T., Mechanical Behaviour of Glass and Carbon Fibre Reinforced Composites at Varying Strain Rates, Composite Structures, 2003
- [13] SARIBIYIK M., Use of Analytical Method Determination of Material properties of Pultruded GRP Box Sected, SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5/1, 85-88, 2001

- [14] Spagnoli A., elghazouli A.Y., and Chryssanthopoulos M.K., Numerical Simulation of Glass-reinforced Plastic Cylinders Under Axial Compression, *Marine Structures*, 14, 353-374, 2001
- [15] Callister ,W.D.,”Materials Science and Engineering”, Second edition, John Wiley ve Sons Inc., Singapore, 1990
- [16] Aran,A., “Elyaf takviyeli Karma Malzemeler” İ.T.Ü. Rektörlük Ofset Atölyesi, İstanbul,1990
- [17] Judge,J.F.,”The Coming Revolution”, *Airline Management and Marketing*, September, 1996
- [18] Broutman, L.J., Krock, R.H., “Modern Compozite Materials”, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts.
- [19] Reinhart,T.j. and Clements L.L,”Introduction to Composites, 27-34, (Dostal C.A., Composites,”engineered Materials Handbook, Vol.1,8) 1989
- [20] Akıncı.A.,” Polimer Matriksli Kompozitlerde Katkı Malzemelerinin Yapı ve Özelliklere etkisi”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sakarya,2004
- [21] Kovan, V., “ Plastik Malzeme Türleri ve Bunların Fiziksel Özelliklerini Belirlenmesi için Kullanılan Deney ve Yöntemleri”, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Makine Mühendisliği, Denizli, 2002
- [22] Yüksel, M., “Malzeme Bilgisi”, MMO yayınları, ISBN, Ankara, 2001
- [23] Bahadır,S. Ve Zheng,Y., “Mechanical and Tribological Behaviour of Polyester Reinforced Whit Short Glass Fbers”, *Wear*,1990
- [24] Kuş,A.,Karahan,M. Ve Telli,S.,”Kevlar Lifleriyle Takviyeli Kompozit Malzemelerde, Lif-Matriks Arabirim Özelliklerinin İncelenmesi” , 6.Denizli Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 1995
- [25] Ülkü, S. Ve Korkmaz,B.,”Farklı Kompozisyonlardaki Polyesterlerin Mekanik Özelliklerinin-Yapıya Bağlı Olarak- Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi”,1. Balıkesir Kongresi Bildiriler Kitabı, 1988
- [26] Karam,G.,”Effect of Fiber Volume on Tensile Properties of Real Unidirectional Fibre- Reinforced Composites”,1991
- [27] Ünal, A.,” Cam Takviyeli Kompozit Malzemelerde Kırılma tokluğuna Cam Hacim Oranı ve Deney Parçası Boyutlarının etkisi”, 3. Deniz Malzeme Sempozyumu, 1989

- [28] Ünal,A., “ Farklı Türde Fiber Destekli CTP Malzemelerde Elastiklik Modülünün Yöne Bağlı Olarak Değişimi”,2. Balıkesir Mühendislik Sempozyumu,1989
- [29] Yüksel, M., Çakmakçı,A.T.,“Plastik Türlerinin Deneysel Yollarla Belirlenmesi”, Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi 3. Mühendislik Haftası Bildirileri, 1998
- [30] Baykara,T.,”İleri Malzemeler, Ulusal Bilim ve Teknolojiler Politikaları İçin Degerlendirmeler”,Tübütak Marmara Araştırma Merkezi, Malzeme ve Kimya Teknolojileri Araştırma Enstitüsü,Gebze, Mart 1998
- [31] Wright,R.E.,” Reinforcet Plastics and Compozites Chartes 2, Harper C.A.,”Modern Plastic Handbook,2000
- [32] ASM İnternational,”Composite Engineered Materials Handbook”, Volume 1, Metals, Ohio, USA
- [33] Hull,D., “Anintroduction to Composite Meterials”, Cambridge Üiversity Pres,Combridge,1992
- [34] Watson J.C and Raghupathı N.,” Glass Fibers”1989
- [35] Anonim,”Plastics World”,4,1993
- [36] Burgoyne,C.J.,” Advanced Compozites in Civil Engineering in Europe”,strutural Engineering İnferntional, 4, 1999
- [37] Turvey,G.J.,”Analysis of Pultruded Glass Reinforced Plastic Beams with Semi-rigit end Connectionas”,composite Structures,1997
- Hikmet, Y.,”Plastikler Dünyası”, MMO Yayın no:142,264, Şubat, 1992
- [38]
- [39] Mısıroğlu, M., “Cam Malzemelerde Cam Elyaf Takviyenin Mekanik Özelliklere Etkisi”,Sakarya Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi,Sakarya, 1996
- [40] Yıldız Treyler San.,” Plastik Maddeler” Yıldız Treyler San.Ltd.Şti.,İstanbul, 1985
- [41] Şişecam,“CTP Teknolojisi”, Cam Elyaf Sanayi A.Ş.,İstanbul,1985
- [42] Miller,D.M.,” Glass Fiber”,Engineered Meterials Hadbook,V.,1998
- [43] Şişecam,” Cam Elyaf Sanayi A.Ş., Bülten, 4, 1996a
- [44] Brady,G.S. and Clouser,R.,”Meterials Handbook”,12. Edition, 1979
- [45] Şişecam,” Cam Elyaf Sanayi A.Ş., Bülten,1,1998

- [46] Arıkan,A.T.,” CTP Malzemelerinin Yapısal Strüktürlerde Kullanılmasına Yönelik Sorunların ve Strüktürel Davranışın İrdelenmesi”, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi,Gebze,2004
- [47] Şişecam,” El Yatırması Yöntemi ile CTP Kalıplama”, CTP Rehberi 2,1992b
- [48] Hull,J.L.,”Processing of Termosets, Chapdter 6, Harper C.A.,Modern Plastik Handbook,2000
- [49] [www.camelyaf.com.tr](http://www.camelyaf.com.tr)
- [50] Şişecam,” Cam Elyaf Sanayi A.Ş.,Bülten”,1,1997a
- [51] Şişecam,” Cam Elyaf Sanayi A.Ş.,Bülten”,7,1996b
- [52] [www.esakimya.com.tr](http://www.esakimya.com.tr)
- [53] Şişecam,” Cam Elyaf Sanayi A.Ş.,Bülten”,8,1997b
- [54] Şişecam,” Cam Elyaf Sanayi A.Ş.,Bülten”,3, 2000
- [55] [www.armaplast.com.tr](http://www.armaplast.com.tr)
- [56] Yüksel, M.,” Malzeme Bilgisi” MMO Denizli Şubesi Yayınları, ISBN-975-395-288-0,343 s.,Denizli,1998
- [57] Karian,it.G.,” Handbook of Polypropylane and Polypropylane Composites”, Marcel Dekker İnc., New York,1999
- [58] Yaşar,İ.,” Südrekli Cam Elyaf takviyeli ve Polyester Matriksli Kompozit Malzemelerde Elyaf Hacim Oranı ve Elyaf Yönlenmesinin Mekanik ve Tribolojik Özelliklere Etkisi”, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Trabzon,1996
- [59] Watson,J.C.and Raghupath.N.,”Glas Fibers” , Engineered Materials Handbook, Vol.,1989
- [60] Ersoy, H.Y.,”Kompozit Malzeme”,Literatür Yayıncılık, İstanbul, 2001
- [61] Öztürk,O., Ctp Profillerle Depreme Dayanıklı Yapı Modellemeleri ve Analizleri, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sakarya , 2006
- [62] TS 3860 “Plastikler Cam Lifle Pekiştirilmiş Malzemelerde Çekme Özelliklerinin Tayini”, Ankara, 1982

- [63] TS 1398-4 “Plastikler-Çekme Özelliklerinin Tayini-Bölüm 4: İzotropik ve Ortotropik Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitler İçin Deney Şartları”, Ankara, 1997.
- [64] TS 1398-5 “Plastikler - Çekme Özelliklerinin Tayini Bölüm 5 : Tek Yönlü Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitler İçin Deney Şartları”, Ankara, 1997.
- [65] ASTM 3039

## ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Aydıncık/MERSİN de dünya ya geldi. Okul hayatına 1986 yılında Aydıncık İlköğretim okuluna başladı. Aynı okuldan 1991 yılında başarı ile mezun oldu. 1991 yılında Gülnar İ.H. Lisesine başladı. Ortaokul ve Lise eğitimimi aynı okuldan 1999 yılında başarı ile mezun oldu. Bir yıl dersane ye devam etti. 2000 yılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi bölümüne başladı. 2004 yılında aynı okuldan mezun oldu. 2005 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yapı Ana Bilim Dalında Master'a başladı. Okul hayatı süresince çeşitli şirketlerde çalıştı. Gökent İnşaat.A.Ş.de şantiye şefliği yaptı. Kaplan İnşaat'ta çalıştı. Ekim-2005 yılında Eyüp Belediyesinde Zabıta Müdürlüğünde göreve başladı. Aynı yerde Zabıta Memuru olarak görev yapmaktadır.