AĞAÇ BURULMA NUMUNELERİ KULLANILARAK TRANSVERS İZOTROP KOMPOZİTLERİN KAYMA MODÜLLERİNİN KOORDİNAT BAĞIMLI FONKSİYONEL İFADELERİNİN DENEYSEL TAYİNİ

Emre ULUDOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARALIK 2005
ANKARA

Emre ULUDOĞAN tarafından hazırlanan AĞAÇ BURULMA NUMUNELERİ KULLANILARAK TRANSVERS İZOTROP KOMPOZİTLERİN KAYMA MODÜLLERİNİN KOORDİNAT BAĞIMLI FONKSİYONEL İFADELERİNİN DENEYSEL TAYİNİ adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

.....

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : _____

Üye : _____

Üye : _____

Üye : _____

Üye : _____

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

AĞAÇ BURULMA NUMUNELERİ KULLANILARAK TRANSVERS İZOTROP KOMPOZİTLERİN KAYMA MODÜLLERİNİN KOORDİNAT BAĞIMLI FONKSİYONEL İFADELERİNİN DENEYSEL TAYİNİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Emre ULUDOĞAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Aralık 2005

ÖZET

Tez çalışmasında, malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan ana testlerden biri olan burulma deneyleri yapılmıştır. Deneyler iki ana test grubundan oluşmaktadır. Numuneler daire kesitli olup, içi dolu ve içi boşaltılmış kalın tüp şeklindedirler. İlk grup deneyler ile transvers izotrop fiber kompozit malzeme olarak dikkate alınan ağaç numunelerin ortalama kayma modül (G) değerleri τ - γ grafiklerinden elde edilmiştir. İkinci grup deneyler geyçli olarak yapılmıştır. AMR ve TDG adlı iki datalogger'ın kullanılması ile r, θ ve z koordinatlarına göre G değişimleri tayin edilmeye çalışılmıştır. Bunun için r, θ ve z koordinat eksenleri boyunca fiber yönü olarak 0^0 ve buna 45^0 de belirlenen doğrultular kullanılmıştır. Belirli koordinat noktalarına yapıştırılan geyçlerden alınan kaymaya ait birim deformasyon datası kullanılmıştır. Her yapıştırılan geyç için bir τ - γ grafiği çizilmiştir. r, θ, z doğrultularında kayma modülü değişimleri parabolik ve üstel denklemlerle tanımlanmışlardır. Böylece kayma modülü fonksiyonları $f_1 = G(r)$, $f_2 = G(\theta)$ ve $f_3 = G(z)$ görülmüştür.

Bilim Kodu : **914**
Anahtar Kelimeler :**Burulma Deneyi, Kayma Modülü, Ağaç Numune, Fiber Kompozit**
Sayfa Adedi : **246**
Tez Yöneticisi : **Yrd. Doç. Dr. Ezgi GÜNAY**

COORDINATE DEPENDENT EXPERIMENTAL DETERMINATION OF SHEAR MODULUS FOR TRANSVERSLY ISOTROPIC COMPOSITES BY USING WOOD TORSION SPECIMENS

(M.Sc. Thesis)

Emre ULUDOĞAN

GAZI UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

December 2005

ABSTRACT

In this master thesis, the torsion experiments in which the main experiments tests in order to declare the mechanical elastic constants were done. The experiments were generated into two test groups. Experimental speciments have the circular cross sectional areas in which they are in the from of solid and thick tubular shapes. By the first group of experiments and considering that the wood specimens and assumed to be transversely izotropic fiber composite material, the average shear modulus data (G) were obtained from the τ - γ graphics. The experiments were done into two parts the help of as, with gauges and without gauges. In the second group of experiments; with the help of two dataloggers AMR and TDG, the variations of G were tried to be determined with respect to r, θ, and z coordinates. In order to do this, through the r, θ, and z coordinate axes, the directions of fibers at 0^0 and 45^0 angles to it are used. The unit deformation information belonging to the shear deformation data were obtained from the gauges which are attached to the definite coordinate points from each gauge, τ - γ graphics is plotted. The variations of shear modulus along the r, θ, and z directions were defined in terms of parabolic and exponential equations. By this way, shear modulus functions $f_1 = G(r)$, $f_2 = G(\theta)$ and $f_3 = G(z)$ were seen.

Science Code : 914
Key Words : Torsion experiment, Shear Modulus, Wood specimen, Fiber composite
Page Number : 246
Adviser : Asst. Prof. Dr. Ezgi GÜNAY

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren tez hocam Y. Doç. Dr. Ezgi GÜNAY'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Tezimin yürütülmesi, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (06/2003-21) kapsamında desteklenmiştir. Ayrıca Makine Mühendisliği Bölümüne, laboratuar imkanlarını bizlere sunduğu için teşekkürlerimi sunuyorum.

Projenin yürütülmesi esnasında teknik bilgi ve cihaz desteklerinden dolayı TDG şirketinden Elektronik mühendisi Okan DEMİREL 'e teşekkür ederim.

Burulma numunelerinin hazırlanması aşamasında bana yardımcı olan Y. Müh. Cihan SİVRİ ve Makine Mühendisliği teknisyeni Kadir Yılmaz'a teşekkür ederim.

Deney esnasında dataların yazılmasında bana yardımcı olan Makine Mühendisliği öğrencilerinden Yasin SARIKAVAK, Dilek ENGİN KOÇAK ve Ş. Tayfun KAYA 'ya teşekkürlerimi sunarım.

Manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli eşim Serpil ULUDOĞAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET…….. iii

ABSTRACT.....iv

TEŞEKKÜR.....v

İÇİNDEKİLER vi

ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xvii

RESİMLERİN LİSTESİ xxix

SİMGELER VE KISALTMALAR.....xxx

1. GİRİŞ……. 1

2. KOMPOZİT MALZEMELERİN YAPI ve ÖZELLİKLERİ.....3

2.1. Doğal Kompozit Ağacın Genel Özellikleri 9

2.2. Doğal Kompozit Olarak Ağacın Mekanik Özellikleri.....11

2.3. Ağaçtan Elde Edilen Malzemelerde Emniyet Gerilmesi.....14

3. BURULMA TEORİSİ 16

3.1. İzotrop Malzemelerde Genel Burulma İfadeleri.....16

3.1.1. Burulma momenti ve silindirik bir çubuğun deformasyonu 16

3.1.2. Burulma gerilmelerinin tayini 18

3.1.3. İçi boş dairesel kesitlerin burulması.....22

3.1.4. İzotrop malzemede G, E ve ν büyüklükleri arasındaki ilişki.....23

3.1.5. Gerilme ve genleme dönüşümlerinde mohr dairesinin kullanımı.....25

3.2. Fiber Kompozit Malzemelerde Burulma İfadeleri 27

Sayfa

4. STRAIN GAUGE İLE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ.....29

4.1. Genel Tanımlama 29

4.1.1. Gerinim (strain).....29

4.1.2. Gerinim pulu (strain gauge) 29

4.2. Burulmada Gerinim Ölçümü 30

5. BURULMA DENEYLERİ 35

5.1. Giriş 35

5.2. Deney Düzeneğinin Hazırlanması 36

5.3. Burulma Numuneleri Üzerinde Lif Yönüne Bağlı Kayma Modülü Ölçüm Deneyleri 43

5.3.1. İçi dolu ve boş büyük numunelere ait grafikler 44

5.3.2. İçi dolu ve boş küçük numunelere ait grafikler.....53

5.3.3. Geyçli Deneylere Ait Numunelerin Grafikleri.....57

5.4. Deneyler Sonucu Elde Edilen Verilere Bağlı Kayma Modülü Değerleri.....69

6. KESTANE, GÜRGEN ve ÇAM NUMUNELERİ ÜZERİNE LİF YÖNÜ DOĞRULTUSUNDA YAPILAN ÖLÇÜMLERE GÖRE r - θ - z YÖNLERİNE BAĞLI KAYMA MODÜLLERİ 74

6.1. z - Yönü Grafikleri 89

6.2. r-Yönü Grafikleri.....92

6.3. θ-Yönü Grafikleri 93

7. DOĞAL TRANSVERS İZOTROP FİBER KOMPOZİT OLAN ÇAM NUMUNELERİN r - θ - z KOORDİNAT BAĞIMLI KAYMA MODÜLLERİNİN FONKSİYONEL TAYİNİ İÇİN GEYÇLER YARDIMI İLE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR 96

7.1. Belirli Koordinatlarda Yapıştırılmış Geyçler Kullanarak Hazırlanmış Olan Çam Numuneler ile Yapılan Deneylerin Aşamaları ve Anlatım Esasları 96

Sayfa

7.2. Deneysel Değerlerin Toplanıp, Hesaplanarak Analiz Edildiği Veri Toplama Tablosunun Anlatımı 99
7.3. Deneysel Değerler Sonucu Elde Edilen G-Kayma Modülü Değer Çizelgeleri ve Bu Değerlere Bağlı r-θ-z Grafikleri 101
7.3.1. Üç yönlü (tri axial) üç grup geyç yapıştırılarak yapılan deneyler 101
7.3.2. Lif doğrultularına göre 0^0 ve 45^0 açı ile dizilmiş geyçlerle yapılan deneyler 119
7.3.3. Lif doğrultularına göre 45^0 açı ile ağaç tüpün iç ve dış yüzeylerine dizilmiş geyçlerle yapılan deneyler 159
7.3.4. Numunenin gerilme yoğunlaşması beklenen başlangıç ve bitiş bölgelerinde lif doğrultularına 45^0 açı ile ağaç tüpün iç ve dış yüzeylerine dizilmiş geyçlerle yapılan deneyler 196
8. SONUÇLAR 214
8.1. Birinci Grup Geyçsiz Deneyler 214
8.2. Birinci Grup Geyçli Deneyler 215
8.3. İkinci Grup Geyçli Deneyler 216
KAYNAKLAR 218
EK-1 GEYÇ BAĞLANTILARI VE ÖZELLİKLERİ 220
EK-2 DENEY DÜZENEĞİ DONANIMI VE YAZILIMI 225
EK-3 KAYMA MODÜLÜ ÖLÇÜM DENYLERİNİN İSTATİSTİKSEL SONUÇLARI 230
EK-4 KOMPOZİT, PLASTİK ve DİĞER MALZEMELERE AİT TABLO DEĞERLERİ 241
ÖZGEÇMİŞ. 246

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Çeşitli ağaçlar üzerinde yapılan araştırmalar sonucu ortaya çıkmış yaklaşık elastisite ve kayma modülü değerleri.....15

Çizelge 5.2. Geyçli ve geyçsiz içi boş büyük çam numunelerine ait deneyler sonucu elde edilen kayma modülü değerleri 69

Çizelge 5.3. Geyçli ve geyçsiz içi dolu büyük çam numunelerine ait deneyler sonucu elde edilen kayma modülleri 70

Çizelge 5.4. İçi boş büyük gürgen numunelerine ait deneyler sonucu elde edilen kayma modülleri 71

Çizelge 5.5. İçi dolu büyük gürgen numunelerine ait deneyler sonucu elde edilen kayma modülleri 71

Çizelge 5.6. Geyçli ve geyçsiz içi boş büyük kestane numunelerine ait deneyler sonucu elde edilen kayma modülleri 71

Çizelge 5.7. Geyçli içi dolu küçük demir numunelerine ait deneyler sonucu elde edilen kayma modülleri.....72

Çizelge 5.8. İçi dolu büyük kestane numunelerine ait deneyler sonucu elde edilen kayma modülleri 72

Çizelge 5.9. İçi boş büyük meşe numunelerine ait deneyler sonucu elde edilen kayma modülleri.....73

Çizelge 5.10. İçi dolu büyük kestane numunelerine ait (lif yönünün tersine yükleme yapılmış) deneyler sonucu elde edilen kayma modülleri.....73

Çizelge 6.1. İçi boş büyük burulma numunelerine ait deneyler sonucunda eld edilen kayma modülü değerleri 75

Çizelge 6.2. TDG Veri Toplama cihazı ile ALMEMO 2590-9 cihazının aynı numune üzerinden elde ettiği değerlere bağlı kayma modülü değerleri.....76

Çizelge 6.3. Burulma deneyi sonuçlarına göre Kayma Modülünün hesaplandığı Excel formülasyon çizelgesi örneği 78

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 6.4. Deney AD3-a-KBB-6G'ye ait geyç yapıştırma koordinatları ve kayma modülü sonuçları 88

Çizelge 6.5. Deney AD3-b-KBB-6G'ye ait geyç yapıştırma koordinatları ve kayma modülü sonuçları 88

Çizelge 6.6. Deney AD3-c-KBB-6G'ye ait geyç yapıştırma koordinatları ve kayma modülü sonuçları 88

Çizelge 6.7. Deney AD3-d-KBB-6G'ye ait geyç yapıştırma koordinatları ve kayma modülü sonuçları 89

Çizelge 7.1. İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri 102

Çizelge 7.2. İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri 103

Çizelge 7.3. İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 90^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri 104

Çizelge 7.4. İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 - 45^0 ve 90^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait AMR cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri 105

Çizelge 7.5. İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 - 45^0 ve 90^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait eğim deklemlerine ait çizelgeler 106

Çizelge 7.6. AD5-a-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi 107

Çizelge 7.6. (Devam) AD5-a-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi 108

Çizelge 7.7. İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 - 45^0 ve 90^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait TDG ve AMR cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri 109

Çizelge 7.8. İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 - 45^0 ve 90^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait eğim deklemlerine ait çizelgeler 111

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 7.9. AD5-b-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi 112

Çizelge 7.9. (Devam) AD5-b-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi 113

Çizelge 7.10 İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 - 45^0 ve 90^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait TDG ve AMR cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri..... 114

Çizelge 7.11. İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 - 45^0 ve 90^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait eğim deklemlerine ait çizelgeler 116

Çizelge 7.12. AD5-c-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi 117

Çizelge 7.12. (Devam) AD5-c-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi 118

Çizelge 7.13. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri..... 120

Çizelge 7.14. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri..... 121

Çizelge 7.15. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri..... 122

Çizelge 7.16. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait TDG ve AMR cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri 123

Çizelge 7.17. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait eğim deklemleri çizelgeleri.... 125

Çizelge 7.18. AD6-a-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi..... 126

Çizelge 7.18. (Devam) AD6-a-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi..... 127

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 7.19. AD6-a-ÇBB numunesinde dış yüzeye çevresel olarak dizilmiş G1-G2-G3 geyçlerine ait deneysel değerler 128

Çizelge 7.20. AD6-a-ÇBB numunesinde iç yüzeye çevresel olarak dizilmiş G4-G5-G6 geyçlerine ait deneysel değerler 129

Çizelge 7.21. AD6-a-ÇBB numunesinde aynı yarıçap doğrultusunda dış ve iç yüzeylere ait belirtilen koordinat noktalarından alınan γ-kayma genlemeleri dağılım çizelgeleri 130

Çizelge 7.22. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 ve 45^0 yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait TDG ve AMR cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri 133

Çizelge 7.23. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 ve 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlerin eğim deklemlerine ait çizelgeler 135

Çizelge 7.24. AD6-b-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi 136

Çizelge 7.24. (Devam) AD6-b-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi 137

Çizelge 7.25 AD6-b-ÇBB numunesinde dış yüzeye çevresel olarak dizilmiş G1-G2-G3 geyçlerine ait deneysel değerler 138

Çizelge 7.26 AD6-b-ÇBB numunesinde iç yüzeye çevresel olarak dizilmiş G4-G5-G6 geyçlerine ait deneysel değerler 139

Çizelge 7.27. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait TDG ve AMR cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri 141

Çizelge 7.28. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait eğim deklemlerine ait çizelgeler 143

Çizelge 7.29. AD6-c-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi 144

Çizelge 7.29. (Devam) AD6-c-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi 145

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 7.30. AD6-c-ÇBB numunesinde dış yüzeye çevresel olarak dizilmiş G1-G2-G3 geyçlerine ait deneysel değerler 146

Çizelge 7.31. AD6-c-ÇBB numunesinde iç yüzeye çevresel olarak dizilmiş G4-G5-G6 geyçlerine ait deneysel değerler 147

Çizelge 7.32. AD6-c-ÇBB numunesinde aynı yarıçap doğrultusunda dış ve iç yüzeylere ait belirtilen koordinat noktalarından alınan γ-kayma genlemeleri dağılım çizelgeleri 148

Çizelge 7.33. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait TDG ve AMR cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri 151

Çizelge 7.34. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlerin eğim deklemlerine ait çizelgeler..... 153

Çizelge 7.35. AD6-d-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi..... 154

Çizelge 7.35. (Devam) AD6-d-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi..... 155

Çizelge 7.36. AD6-d-ÇBB numunesinde dış yüzeye çevresel olarak dizilmiş G1-G2-G3 geyçlerine ait deneysel değerler 156

Çizelge 7.37. AD6-d-ÇBB numunesinde iç yüzeye çevresel olarak dizilmiş G4-G5-G6 geyçlerine ait deneysel değerler 157

Çizelge 7.38. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri 160

Çizelge 7.39 İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri 161

Çizelge 7.40. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri 162

Çizelge 7.41. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 2 iç – 4 dış geyçlere ait TDG ve AMR cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri 163

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 7.42. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 2 iç – 4 dış geyçlere ait eğim deklemlerine ait çizelgeler 165

Çizelge 7.43. AD7-a-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi 166

Çizelge 7.43. (Devam) AD7-a-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi 167

Çizelge 7.44. AD7-a-ÇBB numunesinde dış yüzeye lif doğrultusu boyunca belirli aralıklarla dizilmiş olan G1-G2-G3-G4 geyçlerine ait deneysel değerler 168

Çizelge 7.45. AD7-a-ÇBB numunesinde aynı yarıçap doğrultusunda dış ve iç yüzeylere ait belirtilen koordinat noktalarından alınan γ-kayma genlemeleri dağılım çizelgeleri 169

Çizelge 7.46. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri 171

Çizelge 7.47. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlerin eğim deklemlerine ait çizelgeler 172

Çizelge 7.48. AD7-b-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi 173

Çizelge 7.48. (Devam) AD7-b-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi 174

Çizelge 7.49. AD7-b-ÇBB numunesinde dış yüzeye çevresel olarak dizilmiş G1-G2-G3 geyçlerine ait deneysel değerler 175

Çizelge 7.50. AD7-b-ÇBB numunesinde iç yüzeye çevresel olarak dizilmiş G4-G5-G6 geyçlerine ait deneysel değerler 176

Çizelge 7.51. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri 178

Çizelge 7.52. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlerin eğim deklemlerine ait çizelgeler 179

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 7.53. AD7-c-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi 180

Çizelge 7.53. (Devam) AD7-c-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi 181

Çizelge 7.54. AD7-c-ÇBB numunesinde dış yüzeye çevresel olarak dizilmiş G1-G2-G3 geyçlerine ait deneysel değerler 182

Çizelge 7.55. AD7-c-ÇBB numunesinde iç yüzeye çevresel olarak dizilmiş G4-G5-G6 geyçlerine ait deneysel değerler 183

Çizelge 7.56. AD7-c-ÇBB numunesinde aynı yarıçap doğrultusunda dış ve iç yüzeylere ait belirtilen koordinat noktalarından alınan γ-kayma genlemeleri dağılım çizelgeleri 184

Çizelge7.57. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri 187

Çizelge 7.58. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlerin eğim deklemlerine ait çizelgeler 188

Çizelge 7.59. AD7-d-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi 189

Çizelge 7.59. (Devam) AD7-d-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi 190

Çizelge 7.60. AD7-d-ÇBB numunesinde dış yüzeye çevresel olarak dizilmiş G1-G2-G3 geyçlerine ait deneysel değerler 191

Çizelge 7.61. AD7-d-ÇBB numunesinde iç yüzeye çevresel olarak dizilmiş G4-G5-G6 geyçlerine ait deneysel değerler 192

Çizelge 7.62. AD7-d-ÇBB numunesinde aynı yarıçap doğrultusunda dış ve iç yüzeylere ait belirtilen koordinat noktalarından alınan γ-kayma genlemeleri dağılım çizelgeleri 193

Çizelge 7.63. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri 196

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 7.64. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlerin eğim deklemlerine ait çizelgeler 197

Çizelge 7.65. AD9-a-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi 198

Çizelge 7.65. (Devam) AD9-a-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi 199

Çizelge 7.66. AD9-a-ÇBB numunesinde dış yüzeye çevresel olarak dizilmiş G1-G2-G3 geyçlerine ait deneysel değerler 200

Çizelge 7.67. AD9-a-ÇBB numunesinde iç yüzeye çevresel olarak dizilmiş G4-G5-G6 geyçlerine ait deneysel değerler 201

Çizelge 7.68. AD9-a-ÇBB numunesinde aynı yarıçap doğrultusunda dış ve iç yüzeylere ait belirtilen koordinat noktalarından alınan γ-kayma genlemeleri dağılım çizelgeleri 202

Çizelge 7.69. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri 205

Çizelge 7.70. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlerin eğim deklemlerine ait çizelgeler 206

Çizelge 7.71. AD9-b-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi 207

Çizelge 7.71. (Devam) AD9-b-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi 208

Çizelge 7.72. AD9-b-ÇBB numunesinde dış yüzeye çevresel olarak dizilmiş G1-G2-G3 geyçlerine ait deneysel değerler 209

Çizelge 7.73. AD9-b-ÇBB numunesinde iç yüzeye çevresel olarak dizilmiş G4-G5-G6 geyçlerine ait deneysel değerler 210

Çizelge 7.74. AD9-b-ÇBB numunesinde aynı yarıçap doğrultusunda dış ve iç yüzeylere ait belirtilen koordinat noktalarından alınan γ-kayma genlemeleri dağılım çizelgeleri 211

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Takviyeli kompozit malzemelerin oluşum ilkeleri ; 4

Şekil 2.2. Doğal kompozit olarak ağaç (a)Ağacın kesiti (beyaz çam) (b)Ağaç dayanımına tane etkisi 5

Şekil 2.3. Kontraplak 6

Şekil 2.4. İçi dolu kereste ile kontraplak malzeme 7

Şekil 2.5. Fiber takviyeli kompozit malzeme 8

Şekil 2.6. Tipik cam takviyeli polimer kompozit malzemelere takviye elemanlarının etkisi (8) 9

Şekil 2.7. Ağacın üç eksende mekanik özellikleri 13

Şekil 2.8. Ağaçta gerilme- deformasyon eğrisi 14

Şekil 3.1. Burulmaya bağlı deformasyon 17

Şekil 3.2. Kesit alan boyunca burulma gerilmelerinin doğrusal değişimi (6) 18

Şekil 3.3. Burulma durumunda içi dolu ve boş millerde gerilme dağılımı 22

Şekil 3.4. τ Kayma gerilmesine maruz kalmış birim kalınlıkta kare bir eleman ve bu şekle karşılık gelen asal çekme ve basma gerilmeleri 24

Şekil 3.5. Asal gerilmelerin Mohr dairesi üzerinde gösterimi 25

Şekil 3.6. Asal genlemelerin Mohr dairesi üzerinde gösterimi 26

Şekil 3.7. Kompozit silindir ve asal yönlerin gösterimi 28

Şekil 4.1. Gerinim Tanımı 29

Şekil 4.2. Wheatstone Köprüsü 31

Şekil 5.1. Büyük, içi boş çam numunelere ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği 45

Şekil 5.2. Büyük, içi dolu çam numunelere ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği 46

Şekil 5.3. Büyük, içi dolu gürgen numunelere ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği 47

Şekil 5.4. Büyük, içi boş gürgen numunelere ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği 48

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.5. Büyük, içi dolu meşe numunelere ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği 49

Şekil 5.6. Büyük, içi boş meşe numunelere ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği 50

Şekil 5.7. Büyük, içi dolu kestane numunelere ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği 51

Şekil 5.8. Büyük, içi dolu kestane numunelere ait (lif yönünün tersinde yükleme yapılan numunelerin) τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği 52

Şekil 5.9. Büyük, içi boş kestane numunelere ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği 53

Şekil 5.10. İçi dolu ve boş, küçük çam numunelerine ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri 55

Şekil 5.11. İçi dolu ve boş, küçük gürgen numunelere ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği 55

Şekil 5.12. İçi dolu ve boş, küçük kestane numunelere ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği 56

Şekil 5.13. İçi dolu, küçük demir numunelere ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği 56

Şekil 5.14. D-14 numaralı deneyde iki geyçli içi boş büyük çam numunesinin birinci ve ikinci geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri 57

Şekil 5.15. D-15 numaralı deneyde bir geyçli içi dolu büyük çam numunesinin teknik resmi ve birinci geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) 58

Şekil 5.16. D-20 numaralı deneyde üç geyçli içi boş büyük çam numunesinin teknik resmi ve birinci - ikinci -üçüncü geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri 59

Şekil 5.17. D-21 numaralı deneyde iki geyçli içi boş büyük kestane numunesinin teknik resmi ve birinci - ikinci geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri 60

Şekil 5.18. D-42 numaralı deneyde lif yönünde yükleme yapılan iki geyçli içi boş büyük çam numunesinin teknik resmi ile birinci, ikinci ve üçüncü geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri 61

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.19. D-42 numaralı deneyde lif yönünün tersine yükleme yapılan iki geyçli içi boş büyük çam numunesinin teknik resmi ile birinci, ikinci ve üçüncü geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri 62

Şekil 5.20. 43 numaralı deneyde lif yönünde yükleme yapılan iki geyçli içi boş büyük çam numunesinin teknik resmi ile birinci ve ikinci geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri 63

Şekil 5.21. D-43 numaralı deneyde lif yönünün tersine yükleme yapılan iki geyçli içi boş büyük çam numunesinin teknik resmi ile birinci ve ikinci geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri 64

Şekil 5.22. D-44 numaralı deneyde lif yönünde yükleme yapılan iki geyçli içi boş büyük çam numunesinin teknik resmi ile birinci ve ikinci geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri 65

Şekil 5.23. D-44 numaralı deneyde lif yönünün tersine yükleme yapılan iki geyçli içi boş büyük çam numunesinin teknik resmi ile birinci ve ikinci geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri 66

Şekil 5.24. D-45 numaralı deneyde lif yönünde yükleme yapılan iki geyçli içi boş büyük çam numunesinin teknik resmi ile birinci ve ikinci geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri 67

Şekil 5.25. D-45 numaralı deneyde lif yönünün tersine yükleme yapılan iki geyçli içi boş büyük çam numunesinin teknik resmi ile birinci ve ikinci geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri 68

Şekil 5.26. 42, 43, 44, 45 numaralı deneylerde kullanılan 6 geyçli, içi boş büyük çam numunesi ve yatay eksenle 45°'lik açı yapan 6 adet geycin konumları 70

Şekil 6.1. Deney numunesi üzerinde yönlerin gösterimi 74

Şekil 6.2. Çam, kayın, gürgen ve kestaneden yapılmış, burulma deneyi numunesi teknik resmi 74

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.3. Burulma deneyi sonuçlarının izlendiği TDG'ye ait yazılım grafiği 77

Şekil 6.4. AD1-a-KBB-4G numaralı deneye ait büyük boş kestane numunesinin teknik resmi ve geyçlerinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri 79

Şekil 6.5. AD2-a-GBB-5G numaralı deneye ait büyük boş gürgen numunesinin teknik resmi ve geyçlerinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad)grafikleri 80

Şekil 6.6. AD3-a-KBB-6G numaralı deneye ait büyük boş kestane numunesinin teknik resmi ve geyçlerinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri 81

Şekil 6.7. AD3-b-KBB-6G numaralı deneye ait büyük boş kestane numunesinin teknik resmi ve geyçlerinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri 82

Şekil 6.8. AD3-c-KBB-6G numaralı deneye ait büyük boş kestane numunesinin teknik resmi ve geyçlerinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri 83

Şekil 6.9. AD3-d-KBB-6G numaralı deneye ait büyük boş kestane numunesinin teknik resmi ve geyçlerinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri 84

Şekil 6.10. AD3-e-KBB-6G numaralı deneye ait büyük boş kestane numunesinin teknik resmi ve TDG veri toplama cihazı ile geyçlerinden okunan değerlerin τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri 85

Şekil 6.11. AD3-e-KBB-6G numaralı deneye ait büyük boş kestane numunesinin teknik resmi ve ALMEMO 2590-9 veri toplama cihazı ile geyçlerinden okunan değerlerin τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri 86

Şekil 6.12. AD4-a-ÇBB-6G numaralı deneye ait büyük boş çam numunesinin geyçlerinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri 87

Şekil 6.13. AD1-a numaralı deneye ait geyçlerden lif yönü boyunca okunan değerler ile hesaplanan G (kayma modülü) – z (lif yönü) grafiği 89

Şekil 6.14. AD2-a numaralı deneye ait geyçlerden lif yönü boyunca okunan değerler ile hesaplanan G (kayma modülü) – z (lif yönü) grafiği 90

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.15. AD3-a-b numaralı deneylere ait geyçlerden dış yüzey boyunca okunan değerler ile hesaplanan G (kayma modülü) – z (lif yönü) grafiği 91

Şekil 6.16. AD3-a-b-c numaralı deneylere ait geyçlerden iç yüzey boyunca okunan değerler ile hesaplanan G (kayma modülü) – z (lif yönü) grafiği 91

Şekil 6.17. AD1-a numaralı deneye ait geyçlerden iç yüzeyden dış yüzeye doğru elde edilen değerler ile hesaplanan G (kayma modülü) – r (yarıçap) grafiği 92

Şekil 6.18. AD2-a numaralı deneye ait geyçlerden iç yüzeyden dış yüzeye doğru elde edilen değerler ile hesaplanan G (kayma modülü) – r (yarıçap) grafiği 93

Şekil 6.19. AD3-a-b numaralı deneylerde dış yüzeye dairesel olarak yerleştirilen geyçlerdenelde edilen değerler ile hesaplanan G (kayma-modülü) – θ (çevresel açı) grafiği 94

Şekil 6.20. AD3-c-d numaralı deneylerde dış yüzeye dairesel olarak yerleştirilen geyçlerden elde edilen değerler ile hesaplanan G (kayma-modülü) – θ (çevresel açı) grafiği 95

Şekil 7.1. AD5 numaralı deney grubuna ait geyç yerleşiminin şekilsel gösterimi 101

Şekil 7.2. Numune dış yüzeyine lif doğrultuları boyunca 0^0 açı yapacak şekilde belli aralıklarla yapıştırılmış geyçlerden alınan birim deformasyon bilgilerine ait grafikler 102

Şekil 7.3. Numune dış yüzeyine lif doğrultuları boyunca 45^0 açı yapacak şekilde belli aralıklarla yapıştırılmış geyçlerden alınan birim deformasyon bilgilerine ait grafikler 103

Şekil 7.4. Numune dış yüzeyine lif doğrultuları boyunca 90^0 açı yapacak şekilde belli aralıklarla yapıştırılmış geyçlerden alınan birim deformasyon bilgilerine ait grafikler 104

Şekil 7.5. İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 - 45^0 ve 90^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait şekilsel gösterim 105

Şekil 7.6. AD5-a-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait AMR cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği 106

Şekil **Sayfa**

Şekil 7.7. İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 - 45^0 ve 90^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait şekilsel gösterim 109

Şekil 7.8. AD5-b-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği 110

Şekil 7.9. AD5-b-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait AMR cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği 110

Şekil 7.10. İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 - 45^0 ve 90^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait şekilsel gösterim 114

Şekil 7.11. AD5-c-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği 115

Şekil 7.12. AD5-c-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait AMR cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği 115

Şekil 7.13. AD6 numaralı deney grubuna ait geyç yerleşiminin şekilsel gösterimi 119

Şekil 7.14. Numune dış yüzeyine lif doğrultuları boyunca 45^0 açı yapacak şekilde belli aralıklarla yapıştırılmış geyçlerden alınan birim deformasyon bilgilerine ait grafikler 120

Şekil 7.15. Numune dış yüzeyine lif doğrultuları boyunca 45^0 açı yapacak şekilde belli aralıklarla yapıştırılmış geyçlerden alınan birim deformasyon bilgilerine ait grafikler 121

Şekil 7.16. Numune dış yüzeyine lif doğrultuları boyunca 45^0 açı yapacak şekilde belli aralıklarla yapıştırılmış geyçlerden alınan birim deformasyon bilgilerine ait grafikler 122

Şekil 7.17. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait şekilsel gösterim 123

Şekil 7.18. AD6-a-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği 124

Şekil 7.19. AD6-a-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait AMR cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği 124

Şekil 7.20. AD6-a-ÇBB numunesi üzerinde bulunan G1-G2-G3 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği 128

Şekil **Sayfa**

Şekil 7.21. AD6-a-ÇBB numunesi iç yüzeyinde bulunan G4-G5-G6 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği 129

Şekil 7.22. AD6-a-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylerinde bulunan geyçlere ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği 130

Şekil 7.23. AD6-a-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusundaki grafik ve grafiğin yaklaşık denklem ifadeleri 131

Şekil 7.24. AD6-a-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusundaki grafiklerin toplamı 132

Şekil 7.25. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 ve 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait şekilsel gösterim 133

Şekil 7.26. AD6-b-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği 134

Şekil 7.27. AD6-c-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait AMR cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği 134

Şekil 7.28. AD6-b-ÇBB numunesi üzerinde bulunan G1-G2-G3 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği 138

Şekil 7.29. AD6-b-ÇBB numunesi iç yüzeyinde bulunan G4-G5-G6 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği 139

Şekil 7.30. AD6-b-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylerinde bulunan geyçlere ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği 140

Şekil 7.31. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait şekilsel gösterim 141

Şekil 7.32. AD6-c-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği 142

Şekil 7.33. AD6-c-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait AMR cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği 142

Şekil **Sayfa**

Şekil 7.34. AD6-c-ÇBB numunesi üzerinde bulunan G1-G2-G3 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği 146

Şekil 7.35. AD6-c-ÇBB numunesi iç yüzeyinde bulunan G4-G5-G6 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği 147

Şekil 7.36. AD6-c-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylerinde bulunan geyçlere ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği 148

Şekil 7.37. AD6-c-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusundaki grafik ve grafiğin yaklaşık denklem ifadeleri 149

Şekil 7.38. AD6-c-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusundaki grafiklerin toplamı 150

Şekil 7.39. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait şekilsel gösterim 151

Şekil 7.40. AD6-d-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği 152

Şekil 7.41. AD6-c-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait AMR cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği 152

Şekil 7.42. AD6-d-ÇBB numunesi üzerinde bulunan G1-G2-G3 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği 156

Şekil 7.43. AD6-d-ÇBB numunesi iç yüzeyinde bulunan G4-G5-G6 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ – koordinat değerine bağlı değişim grafiği 157

Şekil 7.44. AD6-d-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylerinde bulunan geyçlere ait G-kayma modülünün θ – koordinat değerine bağlı değişim grafiği 158

Şekil 7.45. AD7 numaralı deney grubuna ait geyç yerleşiminin şekilsel gösterimi 159

Şekil 7.46. Numune dış yüzeyine lif doğrultuları boyunca 45^0 açı yapacak şekilde belli aralıklarla yapıştırılmış geyçlerden alınan birim deformasyon bilgilerine ait grafikler 160

Şekil **Sayfa**

Şekil 7.47. Numune dış yüzeyine lif doğrultuları boyunca 45^0 açı yapacak şekilde belli aralıklarla yapıştırılmış geyçlerden alınan birim deformasyon bilgilerine ait grafikler 161

Şekil 7.48. Numune dış yüzeyine lif doğrultuları boyunca 45^0 açı yapacak şekilde belli aralıklarla yapıştırılmış geyçlerden alınan birim deformasyon bilgilerine ait grafikler 162

Şekil 7.49. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 2 iç – 4 dış geyçlere ait şekilsel gösterim 163

Şekil 7.50. AD7-a-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği 164

Şekil 7.51. AD7-a-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait AMR cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği 164

Şekil 7.52. AD7-a-ÇBB numunesi üzerinde bulunan G1-G2-G3-G4 geyçlerine ait G-kayma modülünün Z– lif yönü koordinat değerine bağlı değişim grafiği 168

Şekil 7.53. AD7-a-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusundaki grafik ve grafiğin yaklaşık denklem ifadeleri 169

Şekil 7.54. AD7-a-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusundaki grafiklerin toplamı 170

Şekil 7.55. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait şekilsel gösterim 171

Şekil 7.56. AD7-b-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği 172

Şekil 7.57. AD7-b-ÇBB numunesi üzerinde bulunan G1-G2-G3 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği 175

Şekil 7.58. AD7-b-ÇBB numunesi iç yüzeyinde bulunan G4-G5-G6 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ – koordinat değerine bağlı değişim grafiği 176

Şekil 7.59. AD7-b-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylerinde bulunan geyçlere ait G-kayma modülünün θ – koordinat değerine bağlı değişim grafiği 177

Şekil **Sayfa**

Şekil 7.60. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait şekilsel gösterim.....178

Şekil 7.61. AD7-c-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği.....179

Şekil 7.62. AD7-c-ÇBB numunesi üzerinde bulunan G1-G2-G3 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği.....182

Şekil 7.63. AD7-c-ÇBB numunesi iç yüzeyinde bulunan G4-G5-G6 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği 183

Şekil 7.64. AD7-c-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylerinde bulunan geyçlere ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği 184

Şekil 7.65. AD7-c-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusundaki grafik ve grafiğin yaklaşık denklem ifadeleri 185

Şekil 7.66. AD7-c-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusuna bağlı grafiklerin toplamı.....186

Şekil 7.67. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait şekilsel gösterim.....187

Şekil 7.68. AD7-d-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği.....188

Şekil 7.69. AD7-d-ÇBB numunesi üzerinde bulunan G1-G2-G3 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği.....191

Şekil 7.70. AD7-d-ÇBB numunesi iç yüzeyinde bulunan G4-G5-G6 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği 192

Şekil 7.71. AD7-d-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylerinde bulunan geyçlere ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği 193

Şekil 7.72. AD7-d-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusundaki grafik ve grafiğin yaklaşık denklem ifadeleri 194

Şekil **Sayfa**

Şekil 7.73. AD7-d-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusuna bağlı grafiklerin toplamı 195

Şekil 7.74. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait şekilsel gösterim 196

Şekil 7.75. AD9-a-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği 197

Şekil 7.76. AD9-a-ÇBB numunesi üzerinde bulunan G1-G2-G3 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği 200

Şekil 7.77. AD9-a-ÇBB numunesi iç yüzeyinde bulunan G4-G5-G6 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği 201

Şekil 7.78. AD9-a-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylerinde bulunan geyçlere ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği 202

Şekil 7.79. AD9-a-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusundaki grafik ve grafiğin yaklaşık denklem ifadeleri 203

Şekil 7.80. AD9-a-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusuna bağlı grafiklerin toplamı 204

Şekil 7.81. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait şekilsel gösterim 205

Şekil 7.82. AD9-b-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği 206

Şekil 7.83. AD9-b-ÇBB numunesi üzerinde bulunan G1-G2-G3 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği 209

Şekil 7.84. AD9-b-ÇBB numunesi iç yüzeyinde bulunan G4-G5-G6 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği 210

Şekil 7.85. AD9-b-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylerinde bulunan geyçlere ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği 211

Şekil **Sayfa**

Şekil 7.86. AD9-b-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusundaki grafik ve grafiğin yaklaşık denklem ifadeleri 212

Şekil 7.87. AD9-b-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusuna bağlı grafiklerin toplamı..... 213

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 3.1. Ağaç bir şaftın burulmaya bağlı deformasyonu 18

Resim 5.1. Burulma deney cihazı 36

Resim 5.2. Geyçsiz içi dolu büyük çam numuneleri 38

Resim 5.3. Yükleme sonucu lifleri ayrılan büyük içi boş çam numunesi 38

Resim 5.4. Yükleme sonucu lifleri ayrılan büyük içi boş gürgen numunesi 39

Resim 5.5. Yükleme sonucu lifleri ayrılan büyük içi boş çam numuneleri 39

Resim 5.6. Numunenin ortasına birbirine dik açıyla yerleştirilmiş iki geyçli büyük çam numunesi 40

Resim 5.7. Numunenin ortasına ve tork uygulanan uç kısmına yerleştirilen iki geyçli büyük çam numunesi 40

Resim 5.8. Sekiz kanallı veri toplama cihazı genel görünümü 42

Resim 5.9. Geyçli büyük kestane numunesi geyç ile veri cihazı irtibatını sağlayan kablo 42

Resim 5.10. Veri toplama cihazı ve cihazın bilgisayarla irtibatını sağlayan aparat 42

Resim 5.11. Geyçli numune deney düzeneği 43

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklama**
σ	Çekme Mukavemeti, N/mm^2
σ_s	Akma Sınırı, N/mm^2
$\sigma_{0,2}$	0,2 Uzama Sınırı, N/mm^2
E	Elastiklik Modülü, N/mm^2
δ	Kopma Uzaması, %
Ψ	Kopma Büzülmesi, %
d_0	Numune Kesitinin Çapı, mm
τ	Kayma Gerilmesi, N/mm^2
τ_s	Geyçsiz numune kayma Gerilmesi, N/mm^2
A	Elemanın Dik Kesit Alanı, mm^2
F_{allow}	Müsaade edilebilir Yük Miktarı, N
F.S.	Güvenlik Faktörü
F_{fail}	Kaldırılamayacak Yük Miktarı, N
G	Kayma Modülü, Pa
G_s	Geyçsiz numune kayma Modülü, Pa
G_{1b}	Grafik üzerinde ilk eğim bölgesi kayma modülü
GF	Gage faktörü (genellikle 2 olur)
GAIN	Kanal kazanç değeri
γ	Kayma Gerinimi, radyan
γ_s	Geyçsiz numune kayma Gerinimi, radyan
φ	Burulma Açısı, radyan
M_b	Burulma Momenti, Nmm
I_p	Polar veya Kutupsal Atalet Momenti, mm^4
W_p	Polar Mukavemet Momenti, mm^3

Simgeler	**Açıklama**
ε	Gerinim (Birim şekil değiştirme)
Vo	CODA yazılımında okunan değer, volt
Vi	Köprü ikaz gerilimi (5 yada 10 volt)

Kısaltmalar	**Açıklama**
ÇKB	Küçük içi boş çam numune
ÇKD	Küçük içi dolu çam numune
GKB	Küçük içi boş gürgen numune
GKD	Küçük içi boş gürgen numune
KKB	Küçük içi boş kestane numune
KKD	Küçük içi dolu kestane numune
DKD	Küçük içi dolu demir numune
ÇBB	Büyük içi boş çam
ÇBD	Büyük içi dolu çam
GBD	Büyük içi dolu gürgen
GBB	Büyük içi boş gürgen
MBD	Büyük içi dolu meşe numune
MBB	Büyük içi boş meşe numune
KBD	Büyük içi dolu kestane numune
KBB	Büyük içi boş kestane numune
ÇBD-1-1G	Bir geyçli büyük içi dolu çam numune
D1	Bir numaralı deney

1. GİRİŞ

Malzemeler üzerindeki araştırmalar üniversitelerde, farklı enstitülerde, çeşitli sanayi kuruluşlarının araştırma laboratuarlarında sürekli olarak yapılmaktadır. Bu kuruluşlarda araştırmacıların yaptığı çalışmalar çeşitli malzemeler hakkındaki bilgilerimizin bugün ki seviyeye gelmesini sağlamıştır. Örneğin, herhangi bir endüstriyel faaliyette tasarım ve üretim yaparken seçeceğimiz malzemenin değişik ısıl işlem ve yüklemeler altındaki davranışlarını bilmek doğru malzemenin seçiminde önemli yer tutar. Doğru malzeme seçimi ise, üretimini ve tasarımını yaptığımız makine, yedek parça veya herhangi bir yapının erken aşınmasını önleyecek, kullanım ömrünün artmasını sağlayacaktır. Malzemenin göstereceği davranışı belirlemek için, özel olarak üretilmiş numuneler kopmaya veya belirli bir şekil değişimine ulaşıncaya kadar yüklerin tesirine bırakılarak, yükleme miktarları ve sonuçları ölçülür. Yapılan muayenenin sonucu olarak homojen veya kompozit malzemeden oluşan parçanın tümünün ortalama değeri hakkında fikir verebilmektedir.

Bu tez çalışmasında üniversitemizin laboratuar imkanlarını 06/2003-21 kodlu araştırma projesi kapsamında kullanarak doğal kompozit olan ağaç malzemelerin burulma deneyleri sonucunda göstereceği mekanik davranışları incelenmiştir. Tez çalışması bölümlerinde transvers izotrop ağaç malzemelerin yapı ve özellikleri, burulma deneyine ait ana ifadeler, deney prosedürleri, numune boyutlandırılması anlatılmıştır. Deneyler iki grupta incelenecektir. Birinci grup deneyler ile ortalama kayma modülü değerlerinin çam, meşe, gürgen ve kestane ağaç numuneler üzerinde belirlenmesi sağlanmıştır. Bu grup deneyler geyçli ve geyçsiz numunelerin testlerini ve sonuçlarını içermektedir. İkinci grupta ise deney numunesi üzerine çevresel (θ), eksenel (z) ve yarıçap (r) değişimleri boyunca yerleştirilen üç grup geyçlerin yardımı ile elde edilen τ - γ grafiklerin elde edilişleri sağlanmıştır. Bu test grubunda kullanılmış olan ağaçlar 5 adet çam, 2 adet kestane, 1 adet meşe ve 1 adet gürgendir.

Geyçler, numunenin lifleri üzerine belli açılarla yapıştırılarak, belli koordinatlardan birim deformasyon bilgileri, ölçüm cihazları ile (AMR,TDG) burulma deneyi

sırasında kaydedilmiştir. Yerleştirme açıları sırasıyla lif yönü 0^0 kabul edilmek şartıyla, lif yönüne 45^0 açılarla yerleştirilmesi ile 0^0 ve 45^0 dir. Koordinata bağımlı olarak (r,θ,z) elde edilen $\tau - \gamma$ grafikleri yardımı ile her deney grafiğinden her geyç için bir G değeri bulunmak suretiyle, G değişimleri görülebilir hale gelmiştir. G değişimleri r, θ, z'ye bağlı çizilerek bunların oluşturdukları eğrilerin denklemleri de excel programı ile belirlenmiştir.

Deneylere ait çizelgeler, grafikler ve G kayma modüllerinin oluşturduğu eğri grafikleri yine çizelgeler halinde bu çalışmada verilmektedir. Özet olarak aşağıdaki test grupları bu çalışmada görülmektedir.

1. İçi dolu, geyçsiz numunelere ait deneyler
2. İçi dolu, geyçli numunelere ait deneyler
    a. Ortalama deneyler
    b. r, θ, z'ye bağlı deneyler
3. İçi boş, geyçli numunelere ait deneyler
    a. Ortalama deneyler
    b. r, θ, z'ye bağlı deneyler

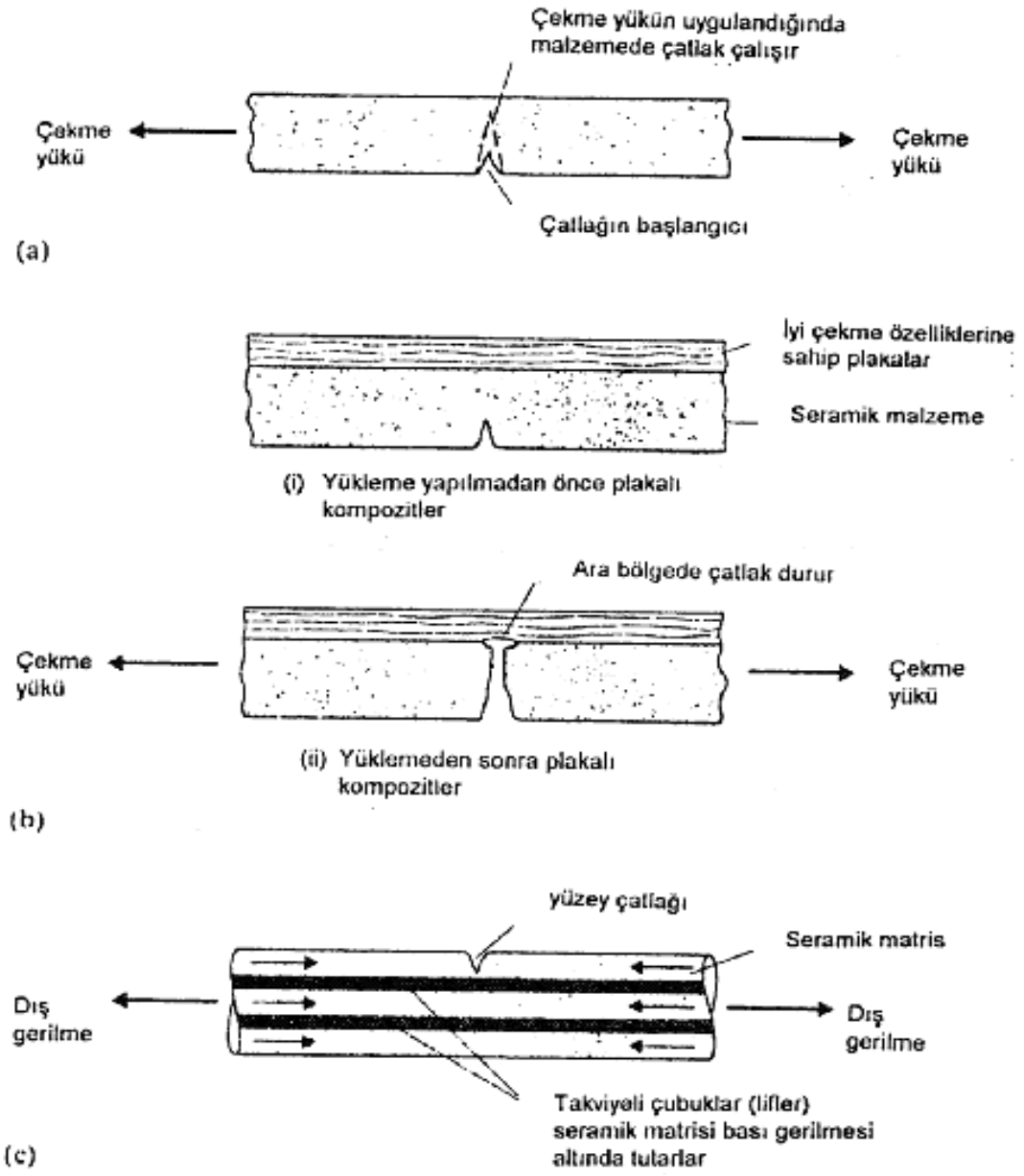
2. KOMPOZİT MALZEMELERİN YAPI ve ÖZELLİKLERİ

Cam, beton gibi seramik malzemeler ile seramik olmayan ağaç malzemelerin (çok az uzama gösterir) sorunlarından birisi bunların çekme yükü altında kırılgan olmalarıdır ve Şekil 2.1(a)'da görüldüğü gibi çatlak oluşumu ve yayınımına sebep olur. Kompozit malzemelerin kullanımı ile bu tür malzemelerde çatlak oluşumu ve yayınım sorunu kısmi olarak halledilir. Bu konuda iki çeşit uygulama vardır.

1. Şekil 2.1(b)'de görülen kaplama tekniği kullanarak ;
2. Baskı gerilimi altında tutulan seramik matrislerin takviye için içten takviyeli lifli kompozit yapıların kullanılmasıyla;

Böylece Şekil 2.1(c)'de görüldüğü gibi dış çatlak oluşmaz.

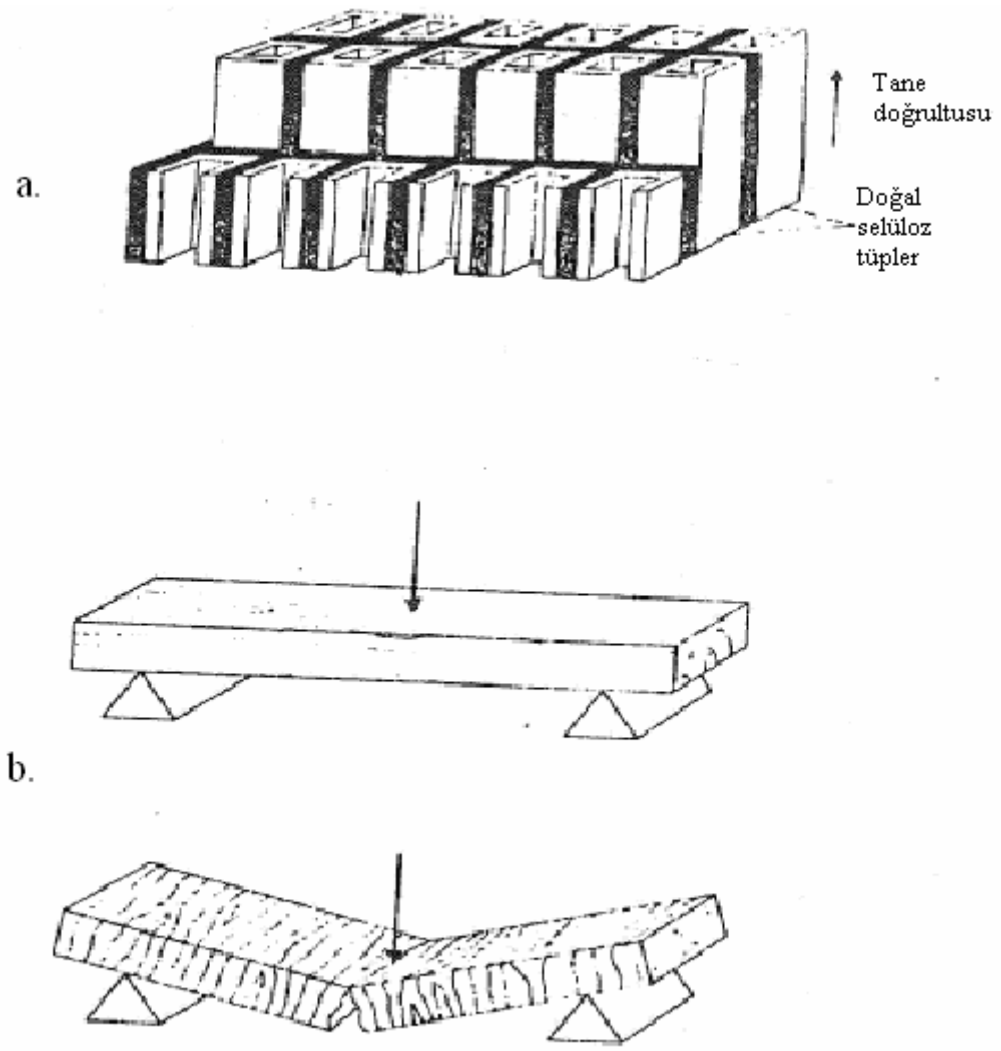
Kompozit malzemelerin oluşturulması için bağımsız ve birbirine benzemeyen iki malzeme, matris yapı içinde takviye edici malzemeler ile birleştirilir. Malzemelerin birleştirilmesi ve takviyesi için öyle malzemeler seçilir ki, mekanik özellikleri birbirini tamamlar. Eksiklikler ise büyük ölçüde birbirini yok eder. Özel durumlarda, kompozit matris içinde birden fazla takviye edici malzeme bulunabilir (1).



Şekil 2.1. Takviyeli kompozit malzemelerin oluşum ilkeleri ;
(a) Takviyesiz seramik alzemede çatlak yayınımı
(b)Gerilim altındaki, tabakalı kompozit malzemelerin davranışı
(c)Lif takviyeli kompozit malzeme

Metal alaşımlar kompozit malzemeler kadar vasıflı değildir. Kompozit malzemeler sert, katı durumda daha yumuşak, matris içinde ise dayanıklı parçacıklar olabilir ve tek bir homojen sıvıdan türetilebilirler. Kompozit malzemeler bileşim parçaları içinde daima ayrıdır ve fark edilebilirler.

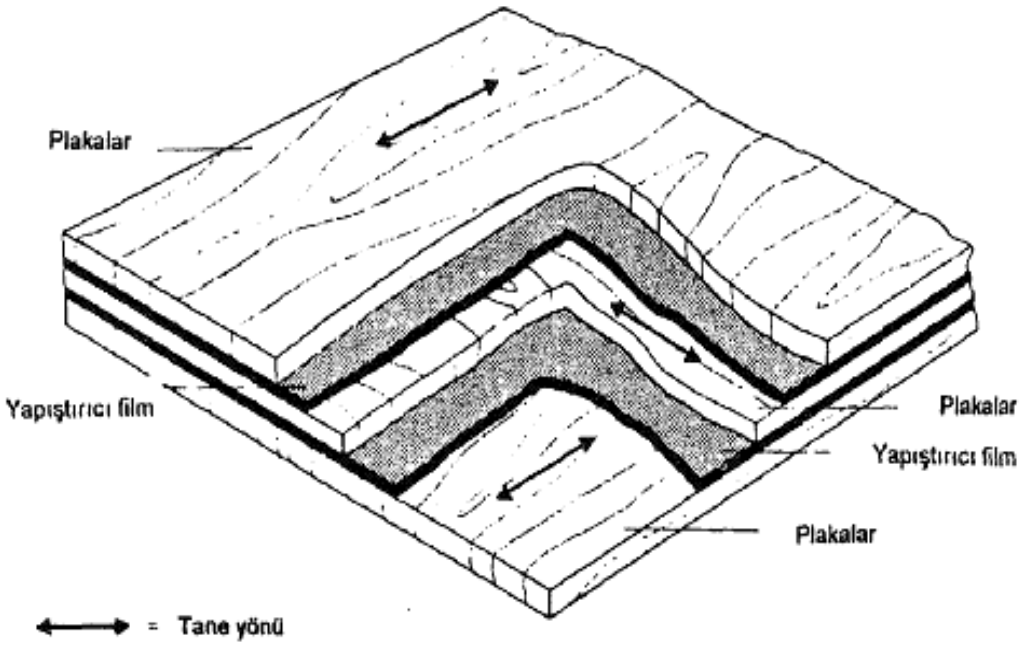
Kompozit malzemelerdeki takviye çeşitli şekillerde olabilir. Örneğin; cam içindeki takviyeli polyesterler liflerle, takviyeli betonlar çelik çubuklarla, sade betonda doğal kum tanecikleriyle sermet ve çimento karbitleri ise parçacıklar ile takviye edilirler.



Şekil 2.2. Doğal kompozit olarak ağaç (a)Ağacın kesiti (beyaz çam) (b)Ağaç dayanımına tane etkisi

Malzeme, selüloz odacıklarının birbirlerine birleştirilmesi doğal olarak oluşan *odun özü* olarak da bilinen polimerlerle birlikte oluşur. Takviyeli malzemelerde lifler paraleldir ve malzemenin dayanımı da liflerin yayınım doğrultusuyla ilgilidir. Şekil 2.2'de uygulanan yükün tane yapısının yayınımının çapraz olması durumunda, doğal

ahşabın çok dayanıklı olduğu görülmektedir (1). Bu durumda, yük takviye ile karşılanır. Bununla birlikte, Şekil 2.2'de görüldüğü gibi yük tane yapısına paralel uygulandığında ağaç nispeten kolayca kırılır. Odun özü bağlayıcı hattı nispeten zayıf olduğundan böyle olmaktadır. Bu durumda ise yük sadece bağlayıcılar tarafından taşınmaktadır. İnsanlar tarafından yapılan kompozit malzemelerden kontraplak ile bu sorunlar aşılabilir. Kontraplakta doğal ürünlerdeki dayanımın yönü istenen şekilde düzenlenebilir (1). Şekil 2.3'de ince ağaç plakaların kuvvetli sentetik yapıştırıcılar ile nasıl biraraya getirildiği görülmektedir. İnce plakalardan kontraplak yapılırken her plakada tane yapısının birbirine zıt yönde yerleştirilmesine dikkat edilmelidir. Aynı zamanda, yapıştırma sırasında plakalar arasında boşluk oluşması önlenmelidir. Yapıştırmada homojenlik ve düzgün yapı hidrolik preslerde ısı ve basınçla sağlanır. Neticede elde edilen malzeme tüm doğrultularda aynı dayanıma sahiptir. Şekil 2.4'de görüldüğü gibi tek eksenli yükleme yapıldığında, çift sayıdaki kontraplak içi dolu bir kerestenin dayanımının yarısına sahiptir. Uygulamada tek numaralı kontraplaklar dış tabakaların aynı doğrultuda yayınım gösterdiği bir tane yapısı ile kullanılırlar (1).



Şekil 2.3. Kontraplak

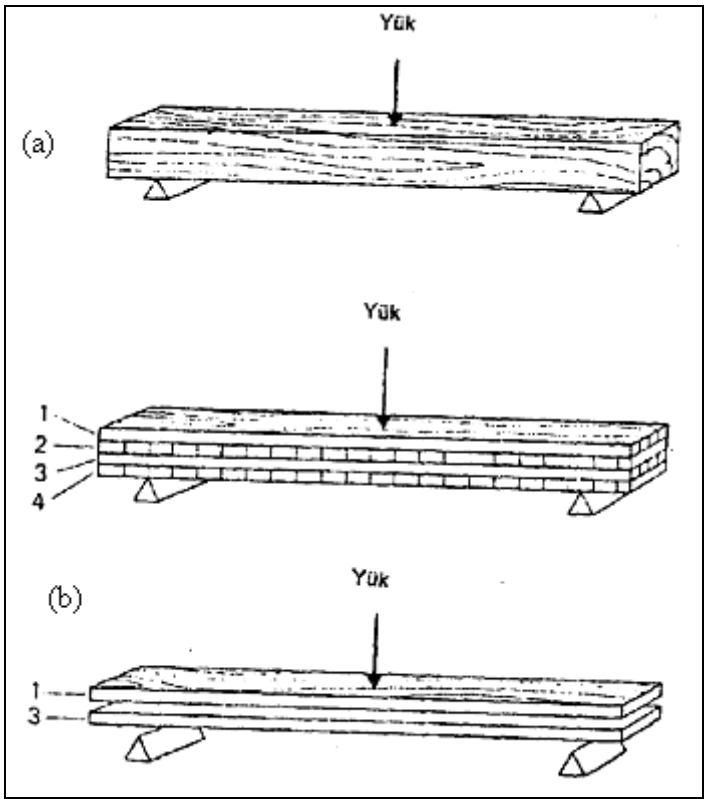
Kompozit malzemelerdeki takviye elemanların etkileri, Şekil 2.5'de görü1düğü gibi takviye liflerinin veya çelik çubukların paralel olduğu durumlarda kolayca hesaplanabilir. Kompozit malzeme içindeki her elemanın uygulanan yükü paylaştığı varsayılır. Böylece:

Toplam yük = Matris üzerindeki yük + takviye elemanları üzerindeki yük

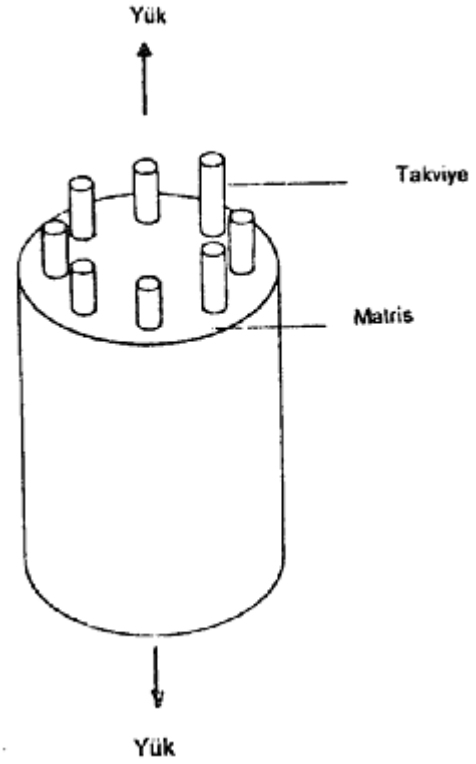
Böylece, gerilim = (Yük) / (alan) veya (yük) = (gerilim) x (alan)

Yukarıdaki ifadenin açıklaması aşağıdaki gibi yazılabilir.

Toplam yük = (Matris üzerindeki gerilim x matris alanı) + (Takviye elemanı üzerindeki gerilim x takviye elemanının kesit alanı)(8).



Şekil 2.4. İçi dolu kereste ile kontraplak malzemenin, tek eksende yüklenmelerinin karşılaştırılması (a) İçi dolu kereste (tek eksende yükü %100 desteklemekte) (b)Kontraplak



Şekil 2.5. Fiber takviyeli kompozit malzeme

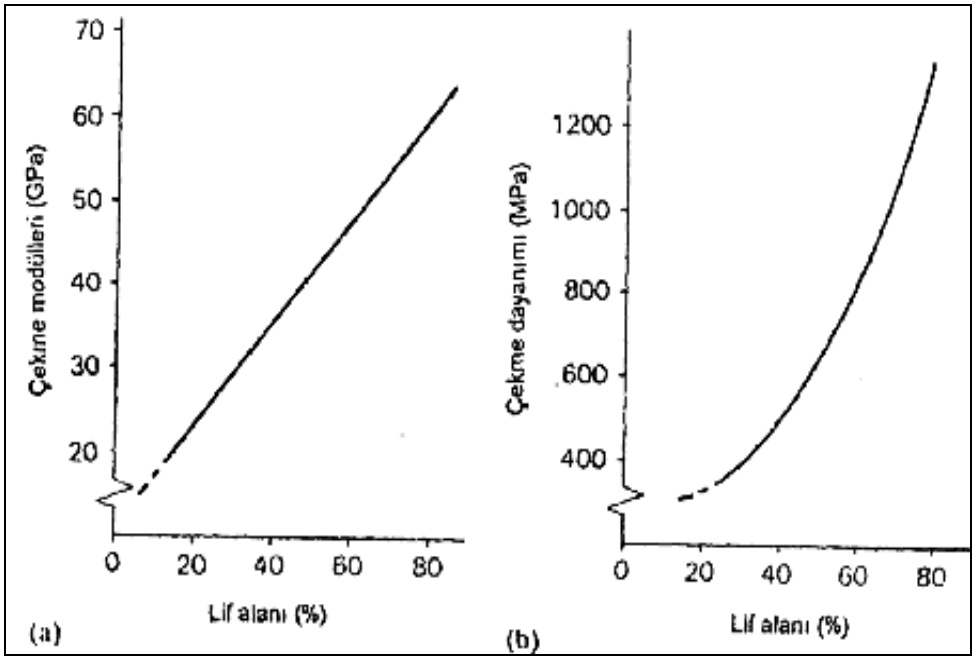
Kompozit malzemenin gerilimi = (Matrisin gerilimi x matris kesit alanı) + (takviye el. gerilimi) x (takviye el. kesit alanı)

Takviye elemanı ile matris sıkı şekilde birleştirildiğinde, kayma oluşmaz. Kompozit malzemelerde herhangibir uzama ve daralma matrise ve takviye elemanına eşit şekilde uygulanır. Böylece:

Kompozit malzemedeki gerinim = matristeki gerinim = takviye elemanındaki gerinim

Çekme modülü = gerilim / gerinim

Şekil 2.6(a)'da takviye elemanı alanının çekme modülüne göre grafiği ve Şekil 2.6(b)'de ise kompozit malzemenin çekme dayanımının, takviye elemanının kısmi alanına göre grafiği çizilmiştir (2).



Şekil 2.6. Tipik cam takviyeli polimer kompozit malzemelere takviye elemanlarının etkisi (8)

2.1. Doğal Kompozit Ağacın Genel Özellikleri

Ağaç türleri, doğada çok değişik ve çok sayıdadır. Tüm ağaç çeşitleri botanik yönden iki sınıfa ayrılmaktadır.

İğne Yapraklı ağaçlar (Gymnosperme)
Yapraklı ağaçlar (Dicotyledone)

Türü ne olursa ağacın kimyasal bileşimi selüloz, linyin ve az miktarda diğer maddelerden oluşur. Bileşimin %60'ı selüloz, %28'i linyin ve % 12'si diğer maddelerdir. Selüloz ağacın liflerini meydana getirir. Lifler, içi boş borular şeklinde olup boyları 1-6 mm, çapları ise boylarının 1/100'ü mertebesindedir. Linyin bu borucukların dış cidarını teşkil eder. Lifleri birbirine bağlayan madde ise pektin adını alır. Herhangi bir ağaç kesitinden ahşap malzemenin iç bünyesi incelenirse çok heterojen bir görüntü ortaya çıkar. Böyle bir enkesitte iki ana kısım ayırt edilir.

1. Halis ağaç (Öz odun)
2. Obiye (Aubier) (Diri odun)

Halis ağaç koyu renkli olup malzemenin sert kısmını oluşturur. Obiye ise, ortada bulunan halis ağaç kısmının etrafında yer alıp açık renkli ve yumuşaktır. Ağaçtaki yıllık halkalar bu bölümde bulunmaktadır. Aslında bir ağaçta yeni lifler, kabuk ile halis ağaç arasında ürerler. İlkbaharda üreyenlere ağacın *ilkbahar ağacı* kısmı, yazın üreyenlere de *yaz ağacı* kısmi denir. Bu iki kısım, enkesitte birbirinden, genellikle kesin olarak ayırt edilebilir. İlkbahar ağacı açık renk ve boşluklu kısımları, yaz ağacı ise koyu renk ve sık lifli kısımları içerirler(5).

Yukarıda çok değişik ve heterojen bir iç yapıya sahip olduğunu belirttiğimiz malzemede, ayrıca, doğal bazı kusurlar da bulunmaktadır. Bu kusurların en önemlilerini şöyle özetleyebiliriz:

Budaklar : En kolay tanımı ile budak, ağacın gövdesinden dışarıya doğru büyüyen dalların, kesilmeleri neticesinde, gövdede kalan en kesitlerdir. Lif doğrultusunu değiştirmesi nedeni ile sakıncalıdır. Bunlardan zararsız olanlarına *beyaz budak*, zararlı olanlarına da siyah *budak* ve *çürük budak* denir.

Lif Eğikliği : Liflerin ağaç eksenine paralel olmaması demektedir. Ağacın büyüme veya kesim tarzı nedeni ile meydana gelir.

Enkesit Düzensizliği : Ağaçta meydana gelen *oluklu gövde teşekkülü* ve *enksantrik büyüme* kusurlarıdır. Oluklu gövde teşekkülünde yıllık halkaların girintili çıkıntılı oluşu, eksantrik büyümede ise gövde merkezinin kenara kayması söz konusudur.
Çatlaklar : Ağaç enkesitinde görülen çatlaklar ve nedenleri oldukça değişiktir. En zararlı çatlak *çevre çatlakları* olup enkesitin dışından merkezine doğrudur. Bundan başka, merkezden dışarıya doğru olan *ön çatlakları*, yıllık halkalar boyunca halka şekilli *halka çatlakları* ve ağaç gövdesinin altında, aşağıdan yukarıya doğru meydana gelen don çatlakları da mevcuttur.

Lif Kıvrığı : Liflerin, ağaç eksenine göre helezoni bir doğrultu izlemesidir.

Rutubet : Ahşabın içinde iki türlü su vardır. Bunlardan biri *özsu*, diğeri ise *serbest su* dur. Ahşabın rutubetini serbest su meydan getirir. Yeni kesilen ağaçta rutubet, genellikle, % 45-50 dir; ormanda bekletilerek, bu rutubet %20-30'a kadar indirilebilir ki buna *orman kurusu rutubeti* denir. Ormandan sonra çatı altında uzun müddet bekletilmek suretiyle rutubet %10-18'e düşebilir; buna da *hava kurusu rutubeti* denir. Ahşabın kapalı bir yerde bekletilerek rutubetini daha da azaltmak mümkündür. Böylece rutubet % 5-10 mertebesine, yani, *oda kurusu rutubeti* ne düşebilir. Malzemenin tam kuru hale gelebilmesi için onun 100-105 ºC de, ağırlığı sabit kalana kadar saklanması gerekir. Ahşapta rutubet, aşağıdaki formüle göre tanımlanır:

$$(\%)\ \text{olarak rutubet} = \frac{\text{Yaş ağırlık} - \text{Kuru ağırlık}}{\text{Kuru ağırlık}} \times 100 \qquad [2.1]$$

2.2. Doğal Kompozit Olarak Ağacın Mekanik Özellikleri

Doğal ve heterojen bir malzeme olan ağacın deneylerle belirlenen başlıca mekanik özellikleri şunlardır:

Basınç, Çekme, Eğilme, Dinamik eğilme(şok) dir.

Bunlardan başka yorulma, makaslama gibi mukavemet özellikleri de deneylerle etüd edilmektedir.

Yukarıda saydığımız mekanik özellikler, malzemenin iç bünye yapısı ve rutubetine bağlı olarak geniş ölçüde değişir(5). Mukavemet değerlerini en çok etkileyen bünye faktörleri de şunlardır:

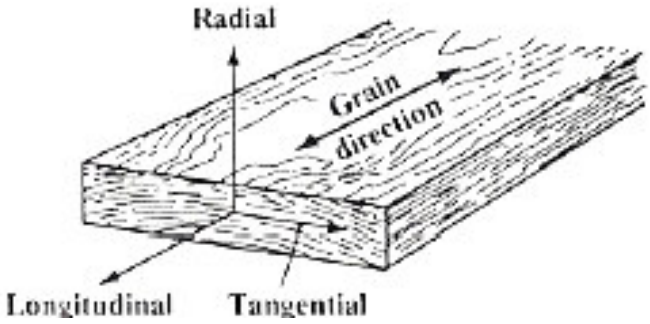
***Lif Doğrultusu* :** Bilhassa basınç mukavemetini geniş ölçüde etkiler. Basınç kuvvetinin liflere paralel doğrultuda bulunması en yüksek basınç mukavemetini, dik doğrultuda bulunması ise en düşük basınç mukavemetini doğurur.

Rutubet : Bütün mukavemet değerlerini etkiler. Mukavemet değerleri ile rutubet daima ters orantılı olarak değişir.

Özgül Ağırlık : Genellikle, ağacın özgül ağırlığı arttıkça mekanik özellikleri de daha iyi duruma gelir. Bu husus bilhassa reçineli ağaçlarda çok daha fazla kendini gösterir.

Yıllık Halkalar : Halkaların genişliğinin mukavemet değerlerine etkisi vardır. Eğilme mukavemetinde, kuvvetin doğrultusunun yıllık halkalara göre durumu, *radyal ve teğet* olması hali, oldukça farklı sonuçlar doğurmaktadır. Yüklemenin yıllık halkalara teğet bulunması en düşük eğilme mukavemetini vermektedir.

Ağaç malzemelerin en önemli özelliklerini, rutubet karşısında gösterdikleri fazla deformasyonlar ve mukavemet düşmesi, ısı ve ses tutuculuk değerlerinin yüksekliği, mikroorganizma etkisi ile bozulmaları, atmosferik ve kimyasal etkilere karşı dayanımları, lif yönlerine göre mukavemet değerlerindeki farklılık ve yine lifli dokuları nedeniyle diğer malzemelerden çok daha değişik bir gerilme-deformasyon eğrisine sahip olmaları şeklinde özetlemek mümkündür. Ağaç ortotropik (düz yapı gösteren) bir maddedir. Mekanik özellikleri benzersiz ve birbirine dik üç eksen yönünde bağımsızdır. Bu eksenler aşağıdaki figürde belirtilmiştir (3).

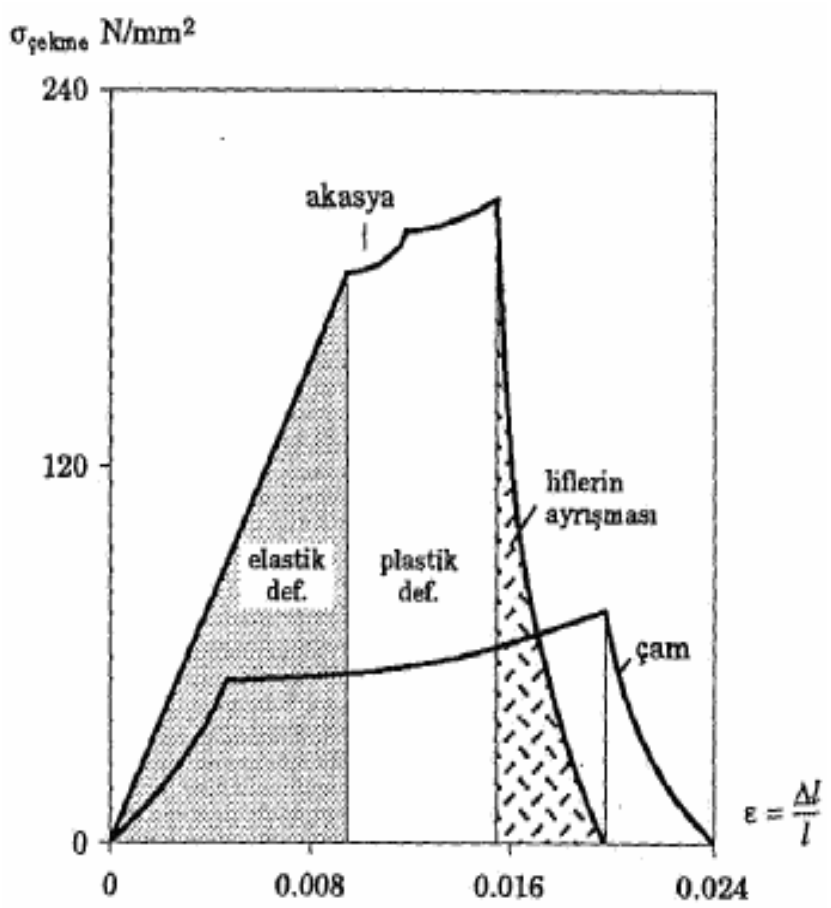


Şekil 2.7. Ağacın üç eksende mekanik özellikleri

Ağaç, lifli ve boşluklu dokusu nedeniyle hafif ve mukavemet değerleri yüksek bir malzemedir. Ancak, organik bir malzeme olması emniyet gerilmelerinin maksimum mukavemetleri yanında oldukça düşük alınmasına neden olmaktadır. Ahşaba çeşitli açılarda etkiyen gerilmeler (σ_α) için liflere göre farklı değerler bulmak mümkündür.

Ayrıca ağacın gerilme deformasyon eğrisi, liflerin ayrışmasının bir süreyi gerektirmesi nedeniyle diğer malzemelerden çok farklıdır. Bu nedenle ahşap bir malzemenin metaller gibi ani çökme ve kırılmaya uğraması söz konusu değildir.

Ağaçtan üretilmiş suni ahşap malzemelerin özellikleri genellikle ahşabın özelliklerine benzer. Ancak üretim amaçlarına uygun olarak geliştirilen bu tür homojen ve izotrop malzemeler, doğal ahşapta görüldüğü gibi lif yönlerine bağlı olarak değişen değerler göstermezler. Ayrıca, istenilen özellikleri sağlayabilmek için özel üretim imkanlarına sahiptirler.



Şekil 2.8. Ağaçta gerilme- deformasyon eğrisi (1)

2.3. Ağaçtan Elde Edilen Malzemelerde Emniyet Gerilmesi

Ağaçtan elde edilen malzeme bünyesinin anizotrop olduğu, mukavemetinin bünyedeki hatalarla geniş ölçüde etkilendiğini belirtmiştik. O halde, bünye, her ağaç türünde, hatta aynı türün farklı iklimlerde yetişenlerinde bile değişik olmaktadır. Bu sebepten, kesilen herhangi bir ağacın başka bir bölgede kesileninden elde edilen mukavemet değerleri, aynı cins ağacın başka bir bölgede kesileninden elde edilen malzemedeki mukavemetlerden farklı olmaktadır.O kadar ki, genellikle, aynı ağaç gövdesinin değişik seviyelerde bulunan mukavemet değerleri bile farklılık göstermektedir.

Kuvvet doğrultusu ile liflerin doğrultusunun "α" açısı yapması halinde emniyet gerilmesi,

$$\sigma_{bem\alpha} = \sigma_{bem//} - (\sigma_{bem//} - \sigma_{bem1}) \times \sin\alpha \qquad [2.2]$$

formülü ile hesaplanır.

Ağaç malzemede elastisite ve kayma modülleri, ağaç türüne göre değişmelerine karşın, kalite sınıflarından etkilenmez. Bunlara ilişkin değerler Çizelge 2.1.'de görülmektedir.

Çizelge 2.1. Çeşitli ağaçlar üzerinde yapılan araştırmalar sonucu ortaya çıkmış yaklaşık elastisite ve kayma modülü değerleri

Ahşap Malzeme Türü	Elastisite Modülü (Kg/cm²)		Kayma Modülü (Kg/cm²)
	Liflere paralel E1	Liflere dik E2	
İğne Yapraklı	100 000	3 000	5 000
Meşe, Kayın	125 000	6 000	10 000

3. BURULMA TEORİSİ

Mühendislikte yaygın olarak rastlanılan şekil değişimi türlerinden biri de burulmadır. Burada içi boş veya dolu bir kesit kendi ekseni boyunca burulma etkisine maruz kalması sonucu şekil değişimine uğrar. Bu şekilde zorlanan elemanlara çubuk denir. Bu tür yüklemeler örnek olarak, makinelerde ve transport sistemlerinde, havacılıkta, yapı elemanlarında vb. gibi yerlerde kullanılan güç iletici mil yapılarda kullanılır.

Burulmaya maruz elemanlarda burulma momenti verilmişken buna dayanacak boyutun hesaplanması, veya boyut verilmişken kesitin taşıyabileceği burulma momentinin bulunması konunun esasını teşkil eder. Burulmada yükleme sonuçlarının incelenmesi, deformasyon dağılımlarının matematiksel ve fiziksel anlamda tanımlamalarına dayanır.

Burulma teorisinde malzemeyi iki gruba ayırarak inceleyebiliriz. Bunlar aşağıda belirtilmiştir.

a-) Homojen malzeme ve burulma deneyleri
b-) Kompozit malzeme ve burulma deneyleri

Biz teorik hesaplamalarımızı homojen malzemeyi ve fiber kompozit malzemeyi esas alarak inceleme yapacağız. Deneylerimizde ise yanal izotrop (transvers) doğal kompozit malzeme olan ağaçtan yapılmış çeşitli burulma numunelerini kullanacağız.

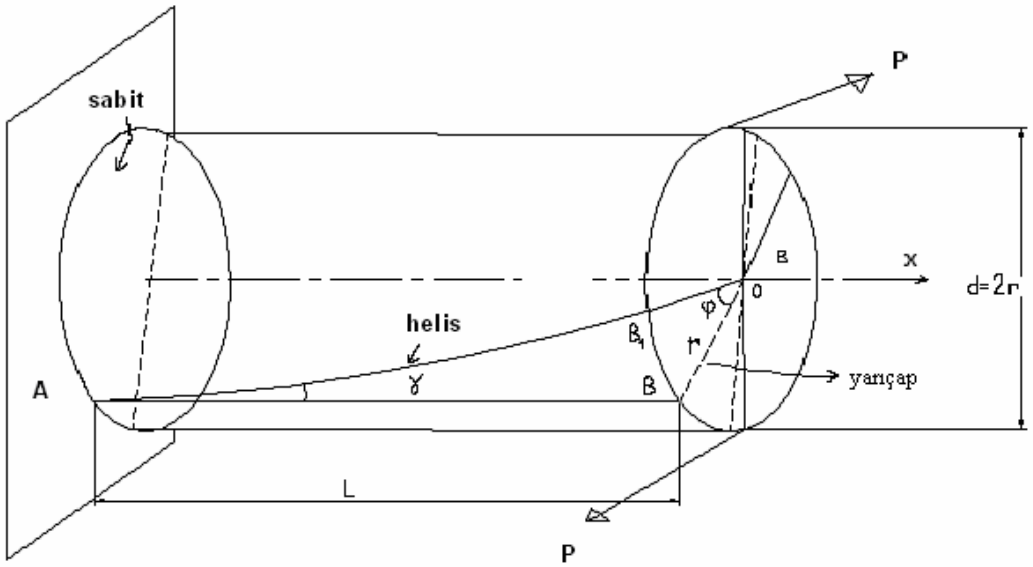
3.1. İzotrop Malzemelerde Genel Burulma İfadeleri

3.1.1. Burulma momenti ve silindirik bir çubuğun deformasyonu

Yarıçapı r olan, silindirik ve yatay bir çubuğun bir ucu sabit tutularak, diğer ucuna bir kuvvet çiftinin tesir ettiğini kabul edelim. Bu kuvvet çiftinin meydana getirdiği $M_b = M_t = P.d$ momentine *burulma* veya *torsiyon momenti* denir.

Daire kesitli homojen çubukların burulmasına ait aşağıdaki hipotezler kabul edilir:

1) Çubuk, üniform kesitli ve her koordinat noktasında aynı ν, G ve E elastik sabitlerine sahip homojen bir malzemeden yapılmıştır.
2) Şekil değiştirmeler aynı düzlemsel kesitte elastik sınırlar içinde kalmaktadır.
3) Eksene dik kesitler burulmadan sonra da düzlem kalırlar.
4) Eksene dik kesitler rijit bir levha gibi, çubuk ekseni etrafında döner.
5) Eksene dik kesitlerin dönme açıları, x ekseninin lineer bir fonksiyonudur (2).



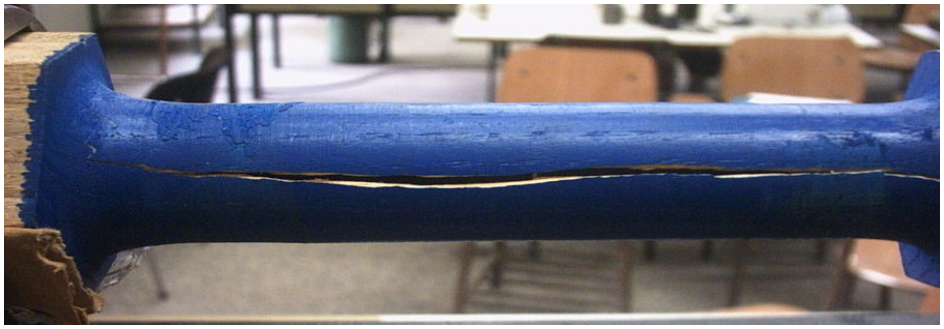
Şekil 3.1. Burulmaya bağlı deformasyon

Silindir üzerindeki (AB) doğrusu, burulduktan sonra (AB_1) helis eğrisi halini alır. Çünkü daire kesitlerin, burulma esnasındaki dönüş miktarları lineer olarak değişir. Burulma açısı A sabit yüzeyinde sıfırdan başlayarak doğrusal olarak artar ve B yüzeyinde maksimum değerine erişir. Bu durumda:

$$\overline{BB_1} = \gamma.L = \varphi.r \qquad [3.1]$$

olur.

Burada γ , φ sırasıyla, kayma açısı (radyan) veya kayma deformasyonu ve yanal yüzeyin burulma açısı (radyan)'dır (6).

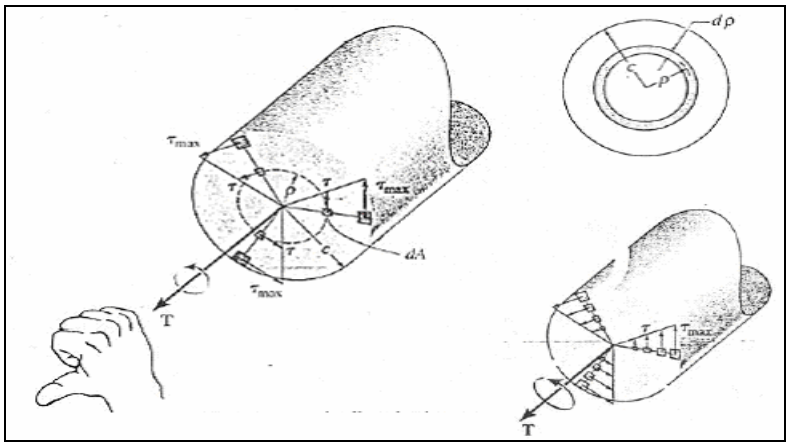


Resim 3.1. Ağaç bir şaftın burulmaya bağlı deformasyonu

3.1.2. Burulma gerilmelerinin tayini

M_t burulma momenti, dikkate alınan eksene dik düzlemi döndürerek o kesit düzlemi içerisinde bir kayma gerilmesi meydana getirirler. Burulma deformasyonları, dikkate alınan kesitin daire çevresinde maksimum, merkezinde ise sıfırdır. Yani dönme en fazla silindirik yüzeyin üzerinde olup, merkezde yani çubuk ekseninde sıfır olur. Bu deformasyonların meydana getirdiği kayma gerilmeleri de deformasyonla orantılı olup dış çevre yüzeyinde maksimuma ulaşır. Lineer olarak azalarak çubuk ekseninde sıfır olur.

Kayma gerilmesi formülünün çıkarımı için O merkezine mesafesi ρ, kalınlığı dρ ve alanı dF olan bir daire halkasını dikkate alalım. Bu durumda τ kayma gerilme diyagramı şekilde verildiği gibi olur.



Şekil 3.2. Kesit alan boyunca burulma gerilmelerinin doğrusal değişimi (6)

Benzer üçgenlerden :

$\tau_{max} / \tau = r / \rho$ veya $\tau = \tau_{max}\, \rho / r$ [3.2]

yazılabilir.

Diğer taraftan ΣT = 0 denge denklemini yazalım. Diğer bir deyişle kesite etki eden net burulma momentleri (T_t) ile, kesitte meydana gelen τ kayma gerilmelerinin oluşturduğu kuvvetlerin asal eksene göre momentlerinin cebirsel toplamı sıfırdır. Dolayısıyla;

$$\sum T = T_t - \int (\tau . dF)\rho = 0$$

$$T_t = \int_0^r \tau . dF . \rho = \int_0^r \frac{\tau_{max}\rho}{r} dF . \rho = \frac{\tau_{max}}{r} \int_0^r \rho^2 . dF \qquad [3.3]$$

olacaktır. Burada;

$J = \int_0^r \rho^2 dF$ daire kesitin polar veya kutupsal atalet momentidir. O halde;

$$T_t = \frac{\tau_{max} . J}{r} \qquad [3.4]$$

$$\tau_{max} = \frac{T_t . r}{J} \qquad [3.5]$$

Burada; $W_p = J / r$ alınarak;

$$T_t = W_p \,.\, \tau_{max} \qquad [3.6]$$

$$\tau_{max} = T_t / W_p \leq \tau_{em} \qquad [3.7]$$

emniyet gerilmesi W_p geometrik faktör cinsinden bulunacaktır.

Herhangi bir dF kesitinde meydana gelen gerilme ise ;

$$\tau = T_t \rho / J \qquad [3.8]$$

olacaktır.

τ_{max} ve τ hesabına ait formüller basit eğilmede normal gerilmelerin tayinine ait formüllere benzemektedir. Kesit daire olduğu için;

$$J = \frac{\pi.r^4}{2} = \frac{\pi.d^4}{32} \qquad [3.9]$$

$$W_p = \frac{J}{r} = \frac{\pi.r^3}{2} = \frac{\pi.d^3}{16} \qquad [3.10]$$

d = 2r'dir. Böylece;

$$\tau_{max} = \tau_{em} \quad \text{için} \quad W_p = T_t / \tau_{em} \qquad [3.11]$$

Eş. 3.10 ve Eş. 3.11 denklemleri birbirlerine eşitlenerek daire çapı, emniyet gerilmesi cinsinden Eş. 3.12'deki gibi bulunur.

$$d = \sqrt[3]{\frac{16M_t}{\pi.\tau_{em}}} \approx \sqrt[3]{\frac{M_t}{0.2\tau_{em}}} \qquad [3.12]$$

Çubuğun deformasyonunu inceleyecek olursak:

Eş. 3.1'den burulma açısı:

$$\varphi = \frac{\gamma.L}{r} \qquad [3.13]$$

olur. Hooke kanununun ifadesi ve Eş. 3.5 denklemi ile

$$\gamma = \frac{\tau_{\max}}{G}, \qquad \tau_{\max} = \frac{T}{J} r \qquad [3.14]$$

bulunur. Buradan ;

$$\gamma = \frac{T.r}{J\ .G} \qquad [3.15]$$

birim kayma deformasyonu bulunur.

Eş. 3.14 nolu denklem Eş. 3.13'te yerine konursa, Burulma açısı;

$$\varphi = \frac{T.r}{J\ .G}\frac{L}{r} = \frac{T.L}{J.G} \qquad [3.16]$$

bulunur. Açı radyan ve derece cinsinden aşağıdaki gibi tanımlanacaktır.

$$\varphi(radyan) = \frac{T.L}{G.J}$$

$$\varphi^o = \frac{180^o}{\pi}\frac{T.L}{G.J} \qquad [3.17]$$

3.1.3. İçi boş dairesel kesitlerin burulması

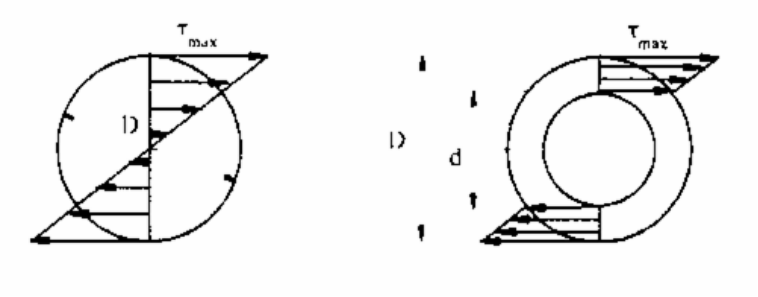
Burulma probleminde taşınan gerilmenin büyük bir kısmı kesit kalınlığı üzerinden taşındığından, orta eksene doğru yaklaşıldığında kesitin taşıdığı kayma gerilmesi azalmakta ve sonuçta merkezde sıfır olmaktadır. Şekil 3.3.'te görüleceği üzere ağırlığın önemli olduğu uçlardaki pervane şaftları ve benzeri konstrüksiyonlarda kullanılan millerde milin içi boşaltılır. Böylece mukavemetten önemli bir kayıp vermeksizin malzemeden ve ağırlıktan önemli tasarruf sağlanmaktadır.

İçi dolu dairesel kesitlere uygulanan formülasyon, aynı zamanda içi boş dairesel kesitlere de uygulanabilir. Aralarındaki tek farklılık, her bir kesitin kutupsal atalet momentinin farklı olmasıdır.

Kutupsal atalet momenti $\int_{r=0}^{r=d/2} r^2 dA = J$ ve $dA = r \times d\varphi \times dr$ olacağından

$$J = \int_{r=0}^{r=d/2} r^2 dA = \int_{r=d/2}^{r=D/2} \int_{0}^{2\pi} r^3 d\varphi dr = |\varphi|_0^{2\pi} \left| \frac{r^4}{4} \right|_{d/2}^{D/2} \qquad [3.18]$$

$$J = 2\pi \frac{\left[(D/2)^4 - (d/2)^4\right]}{4} = \frac{\pi\left(D^4 - d^4\right)}{32} \qquad [3.19]$$



İçi dolu mil İçi boş mil

Şekil 3.3. Burulma durumunda içi dolu ve boş millerde gerilme dağılımı

3.1.4. İzotrop malzemede G, E ve ν büyüklükleri arasındaki ilişki

Şekil 3.4(a)'daki gibi birim kalınlığında kare bir eleman düşünülsün. Bu eleman şekildeki gibi kayma gerilmesine maruz kalsın. Bu yükleme türü Şekil 3.4(b)'de görüldüğü gibi 45^0 dönmüş elemandaki çekme ve basma gerilmelerine denk olacağından $\tau = \sigma_{n1} = \sigma_{n2} = \sigma$ yazılabilir. Bu gerilmeler cinsinden elemanda oluşan genleme aşağıdaki gibidir.

Üç eksenli durumda, $\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \frac{\nu}{E}(\sigma_y - \sigma_z)$ olacağından;

ve σ_z sıfırlanarak ($\sigma_x = - \sigma_y = \tau$) ,

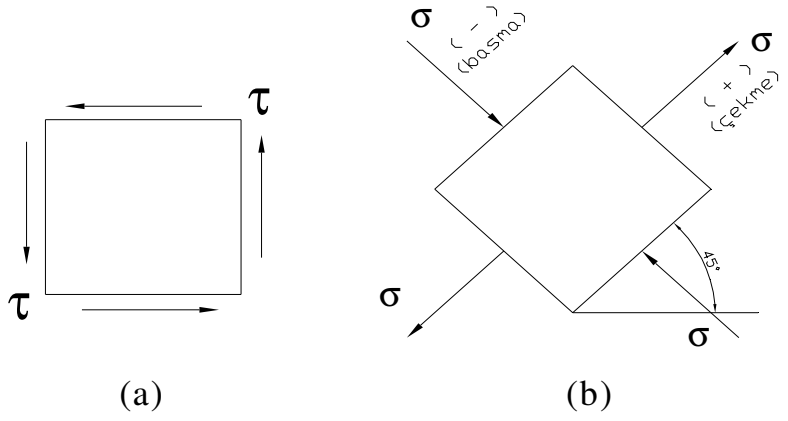
$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} - \frac{\nu}{E}(-\sigma) = \frac{\tau}{E}(1+\nu) \qquad [3.20]$$

yazılır.

Hooke kanunundan ve Mohr dairesinden;

$$\tau = \gamma G \quad , \quad \varepsilon = \frac{1}{2}\gamma \qquad [3.21]$$

olur.



Şekil 3.4. τ Kayma gerilmesine maruz kalmış birim kalınlıkta kare bir eleman ve bu şekle karşılık gelen asal çekme ve basma gerilmeleri

Denklemler Eş 3.19 ve Eş 3.20'den aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\varepsilon_{n1} = \frac{1}{2}\nu = \frac{\tau}{E}(1+\nu) \qquad [3.22]$$

Eş.3.20 ve Eş.3.21 denklemlerinden;

$$\varepsilon = \frac{\tau}{E}(1+\nu)$$

$$\frac{1}{2}\gamma = \frac{\tau}{E}(1+\nu)$$

$$E = \frac{2\tau}{\gamma}(1+\nu) \qquad [3.23]$$

denklemi elde edilir.

$$\tau = \gamma G \qquad [3.24]$$

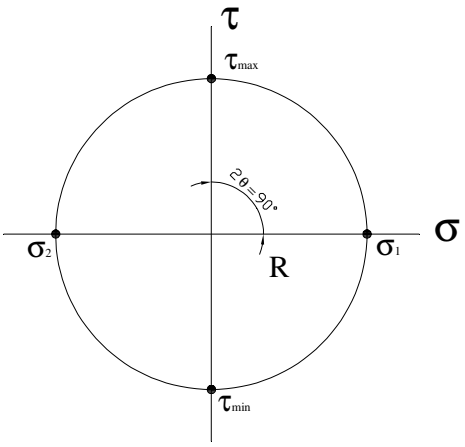
Eş. 3.22'de Eş. 3.23 denklemi yerinde kullanılarak,

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad \text{veya} \quad E = 2G(1+\nu) \qquad [3.25]$$

elde edilir.

3.1.5. Gerilme ve genleme dönüşümlerinde mohr dairesinin kullanımı

Bir noktadaki düzlemsel gerilmelerin durumunu şekilsel olarak ifade etmek için *Mohr Dairesi*'inden faydalanılır. Böylece hem gerilmelerin anlaşılması hem de gerilmeler arasındaki bağıntıların kolay bir şekilde görülmesi sağlanmış olur. Bu öneri Alman mühendis Otto Mohr (1835-1918) tarafından önerilmiş olup günümüzde halen yaygın olarak kullanılmaktadır (8). Pratik olarak burulmanın Mohr dairesinde gösterimi aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.5. Asal gerilmelerin Mohr dairesi üzerinde gösterimi

Yukarıdaki şekilde;

σ_1 , σ_2 : İki asal gerilmeler

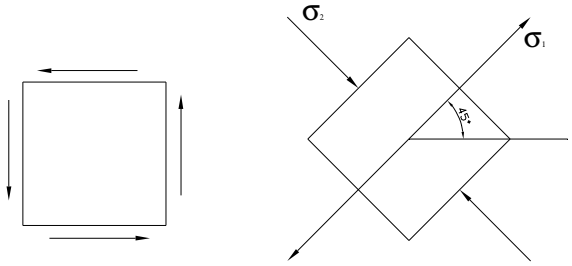
$\tau_{max} = R$: Dairenin yarıçapı

$R = \sigma_1 = \sigma_2$

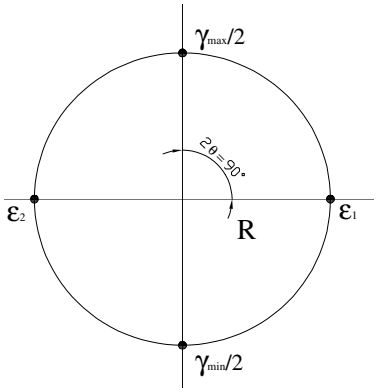
Mohr Dairesinde $2\theta = 90^0$

Bizim şeklimizde $\theta = 45^0$ ‘ye karşılık gelmektedir. Buradan;

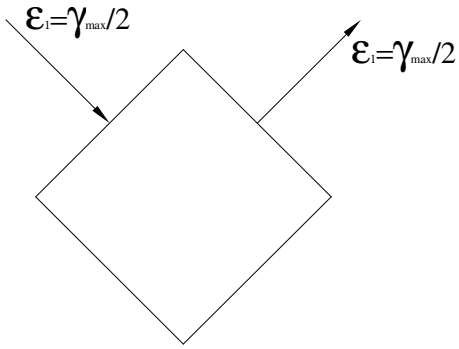
$$R = \frac{|\sigma_1| - |\sigma_2|}{2}$$



olur.



Şekil 3.6. Asal genlemelerin Mohr dairesi üzerinde gösterimi



$$R = \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \frac{\gamma_{max}}{2}$$

3.2. Fiber Kompozit Malzemelerde Burulma İfadeleri

Transvers izotrop malzemede beş tane birbirinden bağımsız elastik sabit vardır. En genel Hooke kanunu bu malzeme için aşağıdaki matris ifadesi ile gösterilmektedir.

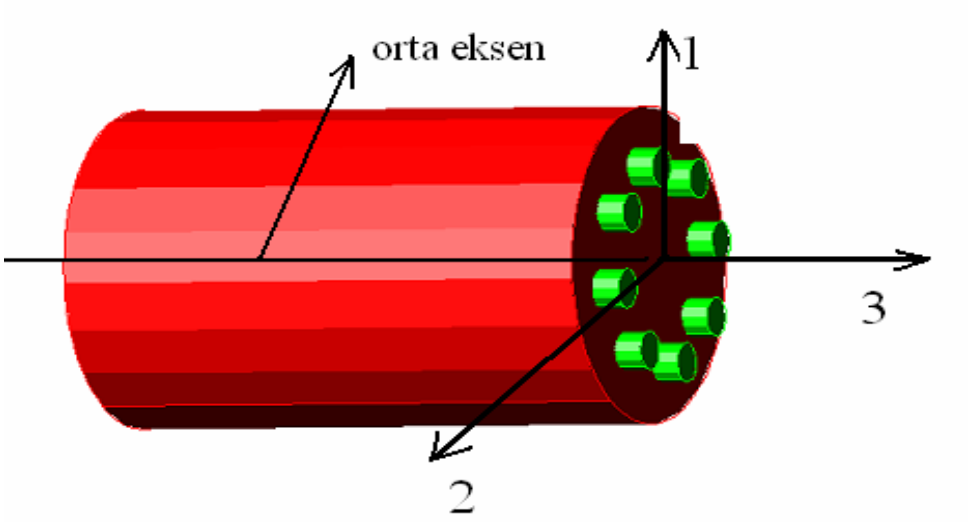
$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{12} & S_{11} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{13} & S_{13} & S_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2(S_{11}-S_{12}) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} \qquad [3.26]$$

Burulma yüklemesi altında yukarıdaki birim deformasyon vektöründe $\varepsilon_1=\varepsilon_2=\varepsilon_3= 0$ $\gamma_{12}=0$ ‘dır. Kalan değerler γ_{23} , γ_{31} olduğuna göre aşağıdaki iki ifade Hooke kanunu olarak görülür.

$$\left.\begin{aligned} \gamma_{23} &= S_{44} \times \tau_{23} \\ \gamma_{31} &= S_{44} \times \tau_{31} \end{aligned}\right\} \qquad [3.27]$$

Bununla beraber genel Hooke kanunu için matrisimiz denklem Eş. 3.27’deki gibidir.

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ C_{14} & C_{24} & C_{34} & C_{44} & C_{54} & C_{64} \\ C_{15} & C_{25} & C_{35} & C_{45} & C_{55} & C_{65} \\ C_{16} & C_{26} & C_{36} & C_{46} & C_{56} & C_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} \qquad [3.28]$$



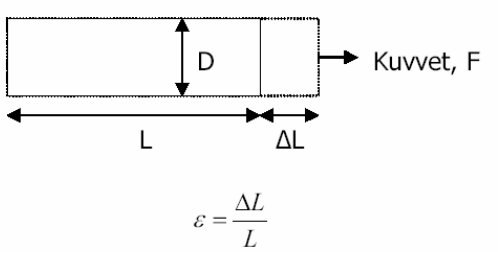
Şekil 3.7. Kompozit silindir ve asal yönlerin gösterimi

4. STRAIN GAUGE İLE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

4.1. Genel Tanımlama

4.1.1. Gerinim (strain)

Gerinim, bir kütlenin, uygulanan yük yüzünden deforme olmasıdır. Gerinim (ε) D kalınlığında ve L uzunluğundaki bir kütlenin ΔL kadar uzamasının boyuna olan oranı olarak tanımlanır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Gerinim Tanımı

Pozitif gerinim çekme (*tensile*), negatif gerinim ise basma (*compressive*) olarak adlandırılır. Gerinim uzunluklar arasında bir oran olmasından dolayı birimi yoktur ancak kimi uygulamalarda mm/mm cinsinden yazılır. Öte yandan, gerinim çok küçük olduğu için mikro gerinim (με) olarak da ifade edilir.

4.1.2. Gerinim pulu (strain gauge)

Gerinimi ölçmek için gerinim pulu sıkça kullanılan deney elemanlarındandır. Gerinim pulu, elastik bir taşıyıcı üzerinde bulunan birbirine paralel bağlantılı ince direnç tellerinden oluşmuştur. Gerinim pulu, gerinimi ölçülecek malzemenin yüzeyine yapıştırılır. Uygulanan yükle doğru orantılı olarak gerinim pulu uzayacak yada kısalacaktır. Pul üzerindeki teller de aynı şekilde uzunluğu değişecek ve direnci orantılı olarak azalıp artacaktır. Gerinim pullarının dirençleri, gerinimle doğrusal

olarak değişir. Pullar, genellikle 120Ω ya da 350Ω ohm gibi standart değerlerde üretilir.

Gerinim pulunun en önemli parametresi gerinim oranıdır (GF, *gauge factor*). Gerinim oranı, pulun birim gerinim karşısında gösterdiği direnç değişimidir.

$$GF = \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L} = \frac{\Delta R / R}{\varepsilon} \qquad [4.1]$$

Birçok gerinim pullarının gerinim oranı GF = 2 civarındadır. Çizelge 4.1'de 1με'lik gerinim için gerekli olan direnç değişimleri verilmiştir.

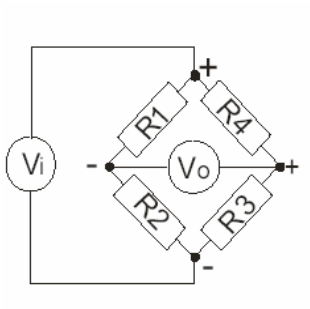
Çizelge 4.1. Birim gerinim için direnç değişimi

Gerinim	**GF**	**Pul Direnci**	**ΔR**
1με	2,0	120 Ω	0,24 mΩ
1με	2,0	120 Ω	0,24 mΩ

Gerinim pullarının sıcaklığa göre de değerleri değişebilir. Üretici firmalar her ne kadar pulları sıcaklık değişimlerine karşı kompanze etmişlerse bile yine de 1 ^{0}C değişimde pulların direnci tipik olarak milyonda 23 (ppm) değişir. Bu da 1000Ω'luk ve gerinim faktörü GF=2 olan bir pulun **11,5με/^{o}C** hata yapmasına yol açar. Bu yüzden gerinim pulları kullanılırken sıcaklık kompanzasyonu yapılması önemlidir.

4.2. Burulmada Gerinim Ölçümü

120 Ω'luk bir gerinim pulunun (GF = 2) 500 με'lik bir gerinim altında direnç değeri 2 x (500 x 10 $^{-6}$) = %0,1 yani 0,12 Ω değişecektir. Bu denli küçük bir direnç değişimini ölçebilmek için wheatstone köprüsü kullanılır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Wheatstone Köprüsü

Wheatstone köprüsü dört dirençten oluşmuştur. Köprü bir Vi ikaz gerilimi ile uyarılır. Köprünün orta bacaklarındaki gerilim farkı V_0 :

$$V_0 = \left[\frac{R3}{R3 + R4} - \frac{R2}{R1 + R2} \right] \times Vi \qquad [4.2]$$

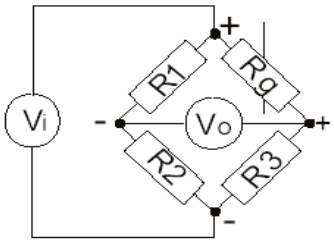
olarak hesaplanabilir. Eğer R1/R2 = R3/R4 olursa Vo gerilimi sıfır olur. Bu halde köprü dengededir. Eğer dengelenmiş köprünün herhangi bir bacağında direnç değişimi olursa köprü dengesi bozulur ve direnç değişimiyle orantılı olarak bir gerilim farkı oluşur.

Şekil 4.2‘deki köprünün R4 direnci yerine bir gerinim pulu takılır ve R1=R2, R3=Rg olacak şekilde direnç değerleri değiştirilirse köprü çıkışında gerinimle orantılı bir gerilim farkı elde edilir. Rg değerindeki pulun direnç değişimi;

$$\Delta R = Rg \times GF \times \varepsilon \qquad [4.3]$$

olacaktır.

Buna göre çeyrek köprü bağlanmış gerinim pulunun çıkışta oluşturacağı gerinim farkı gerinim ε cinsinden yazılırsa:



$$V_0 = -\frac{GF \times \varepsilon}{4}\left(\frac{1}{1 + GF \times \frac{\varepsilon}{2}}\right) \times Vi \quad \text{(volts)} \qquad [4.4]$$

olacaktır. Burada çıkış geriliminin gerinilme oranı doğrusal değildir. Öte yandan köprü çıkışı bir fark yükselteci devresiyle yükseltilir ve mV mertebesinde olan köprü çıkış gerilimi Volt mertebesine yükseltilir. Bu durumda yukarıdaki denkleme bir de analog sinyal işleme devresinden gelecek kazanç faktörünü (GAIN) eklemek gerekir.

$$V_0 = -\frac{GF \times \varepsilon}{4}\left(\frac{1}{1 + GF \times \frac{\varepsilon}{2}}\right) \times Vi \times GAIN \text{ (volts)} \qquad [4.5]$$

Birçok mühendislik ölçümü çalışmasında kalibrasyon ve referans alma zorluğu olduğu için tek puldan gelen bilginin doğru olarak gerinim bilgisine çevrilebilmesi için pulun gerinim oranı (GF), köprü ikaz gerilimi (Vi) ve analog sinyal işleme devresi kazanç faktörünün tam olarak bilinmesi gerekir. Tipik olarak GF = 2, Vi = 5 Volt ve GAIN = 500 alınırsa

$$V_0 = -1250\left(\frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon}\right) \quad \text{(volts)} \qquad [4.6]$$

olarak hesaplanır. ε değerini çekersek 10^{-6} mertebesinde bir değer elde ederiz.

Buradan;

$$-\frac{V_0}{1250}=\left(\frac{\varepsilon}{1+\varepsilon}\right)$$

$$-V_0(1+\varepsilon)=1250\varepsilon$$

$$0=1250\varepsilon+V_0\varepsilon+V_0$$

$$0=\varepsilon(1250+V_0)+V_0$$

$$\varepsilon=-\frac{V_0}{1250+V_0} \qquad [4.7]$$

değeri elde edilir. Bir önceki bölümde elde ettiğimiz $\varepsilon = \gamma / 2$ değerini Eş. 4.7'de yerine koyarsak,

$$\frac{\gamma}{2}=-\frac{V_0}{1250+V_0} \qquad [4.8]$$

değeri elde edilir.

Bu çalışma sırasında kullandığımız formülasyonda aşağıda verilen değerler kullanılmıştır. Veri toplama cihazının kullanılan her bir kanalı için ayrı bir kanal kazanç faktörü vardır. Aşağıda bir kanal için örnek bir formül çıkarımı yapılmıştır.

Örnek olarak ikinci kanal için GF = 2.1 , Vi = 5.00026 Volt ve GAIN = 493,66 değerlerini alıp Eş. 4.5'te yerine koyarsak;

$$V_0=-\frac{2{,}1\times\varepsilon}{4}\left(\frac{1}{1+2{,}1\times\frac{\varepsilon}{2}}\right)\times 5{,}00026\times 493{,}66 \quad \text{(volts)}$$

$$V_0 = -0{,}525\varepsilon \times \left(\frac{1}{1+1{,}05\varepsilon} \right) \times 2468{,}43$$

$$V_0 = -1295{,}92 \times \left(\frac{1}{1+1{,}05\varepsilon} \right)$$

$$V_0 + 1{,}05 \times \varepsilon \times V_0 + 1295{,}92\varepsilon = 0$$

$$\varepsilon = -\frac{V_0}{1{,}05V_0 + 1295{,}92}$$

$$\gamma = -\frac{2 \times V_0}{1{,}05V_0 + 1295{,}92}$$

voltaj farkına bağlı birim deformasyon değerini elde etmiş oluruz.

Bu sayede çıkış voltajı ölçülerek, herhangi bir kalibrasyon yapılmaksızın pul üzerindeki gerinim hesaplanabilir. Bağlantılar ve özellikleri EK 1‘de ayrıntılı olarak verilmiştir.

5. BURULMA DENEYLERİ

5.1. Giriş

Bu tez çalışması kapsamında doğal kompozit olan ağaç malzemelerle burulma deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler çam, meşe, gürgen ve kestane ağaçlarından yapılmış burulma numuneleri üzerinde uygulandı. Burulma deneyinde kullanılmış olan ağaç numunelerin teknik resimleri çalışmanın ileriki bölümlerinde verilecektir. Deneyler; 1. grup ve 2. grup deneyleri olmak üzere iki bölümde incelenecektir. 1. grup deneyleri geyçli ve geyçsiz olmak üzere iki şekilde yapılmıştır. Geyçsiz yapılan deneylerde, daha önceden hazırlanan numuneler üzerine lif yönünde ve lif yönünün tersine tork yüklenmiş ve yapılan hesaplamalar sonucu τ-γ grafikleri çizilmiş ve kayma modülü değerlerine ulaşılmıştır. 2. grup deneyler ise tamamen geyçli olarak yapılmıştır. Bu deneyler sırasında numune üzerine geyçler dairesel olarak ve içi boş numunelerin ise iç yüzeylerine dairesel olarak yapıştırılmıştır. Deneyler sonucunda burulan malzemenin kayma modülünün dış yüzeyden iç yüzeye doğru davranışı ile malzeme üzerinde aynı noktada dairesel olarak değişimi incelenmiştir.

Burulma deneyi cihazı yükleme esnasında, her bir sayaç değerinde malzemeyi 0,3° burmakta, bunun sonucu olarak burulma açısı değeri radyan cinsinden hesaplanmaktadır. Deney esnasında belirli aralıklarla okunan tork değerleri ve deney numunesinin ölçü değerleri kullanılarak kayma gerilmesi (τ, N/m^2), kayma gerinimi (γ, rad) ve kayma modülü (G) değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler malzeme cinsine göre içi boş ve dolu numuneler olmak üzere gruplandırılmış, gruplara göre toplu halde τ (N/m^2)-γ(rad) grafikleri çizilmiştir. Deneyler sonunda çeşitli istatistik değerler hesaplanarak elde edilmiştir.

Geyçli numunelerde, aynı geyçsiz numuneler gibi lif yönünde ve lif yönünün tersinde yüklemelere maruz bırakılmıştır. Bu numunelerin de orta bölümüne ve her iki baş kısmına lif açılarına uygun olarak geyçler yapıştırılmıştır. Bu geyçler yardımı

ile o noktalardaki kayma gerilmeleri, kayma modülleri ve kayma açıları hesaplanmıştır. Veri toplama cihazından elde edilen gerilim farkları, dönüşüm formülasyonları ve cihaz doğrultma katsayıları kullanılarak malzeme üzerindeki birim deformasyonu görmek mümkün olmuştur. Bu formülasyonlar daha önceki bölümlerde detayları ile anlatılmıştır.

5.2. Deney Düzeneğinin Hazırlanması

Uygulama deneyleri Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Mukavemet Laboratuarında bulunan burulma cihazında yapıldı.

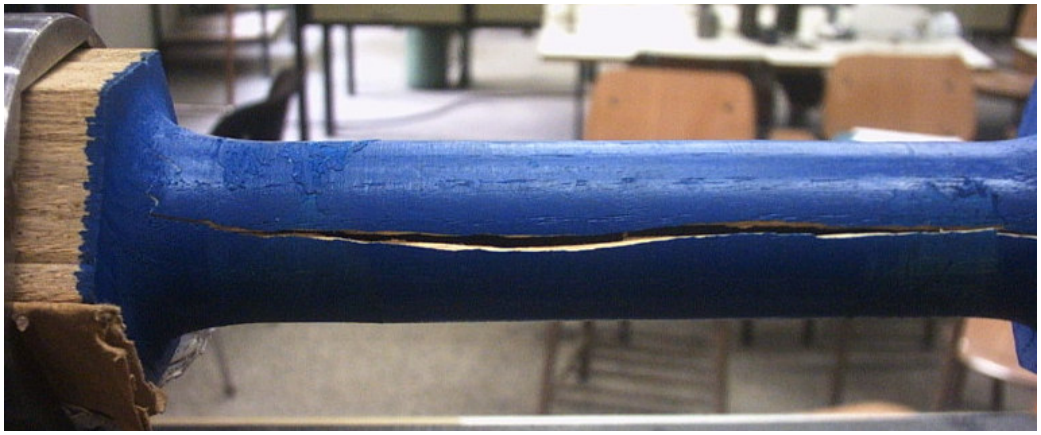
Resim 5.1. Burulma deney cihazı

Daha önceden hazırlanmış olan ve teknik resim çizimi projenin ilerleyen kısımlarında yer alan çam, gürgen, meşe ve kestane burulma numuneleri geyçli ve geyçsiz olarak deneylere tabii tutulmuştur. Geyçsiz deneylerde numuneler

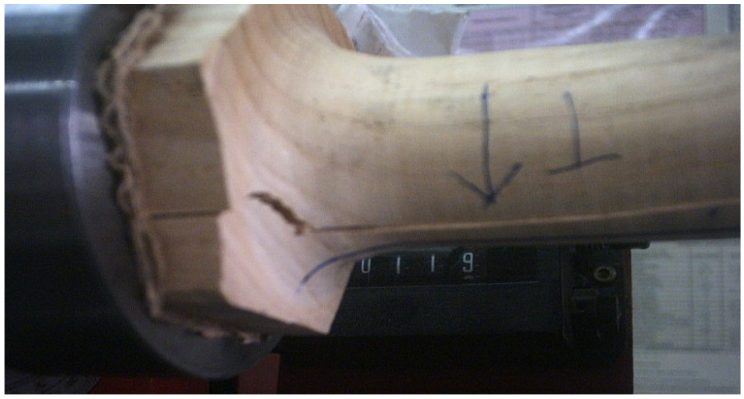
boyutlarına uygun olan başlıklara yerleştirilmiştir. Numunelerle başlık arasında oluşan boşlukların bir kısmı araya kağıt ve benzeri cisimler konularak minimuma indirilmeye çalışılmıştır. Başlıklara yerleştirilen numune deney cihazına takılmıştır. Daha sonra numuneye, lif yönünde veya lif yönünün tersine yükleme yapılacağına karar verilmiştir. Bu yükleme, cihaz üzerinde bulunan ve burma yönünü tayin eden "forward" ve "reverse" sekmesi kullanılarak yapılmıştır. İstenilen yönde; numune ile başlık arasında kalan boşluğu almak için tork değeri 0,0'dan farklı oluncaya kadar yükleme yapılır. Böylece boşluktan dolayı oluşacak hata önlenmiş olur. Tork değeri 0,0 dan sapmaya başladığı anda yükleme durdurulur. Bu durumda boşluk alınmış ve düzenek deneye hazır hale gelmiş olur. Bu esnada torkmetrede okunan değeri 0,0'a getirmek için cihazın üzerinde bulunduğu denge platformu ayar köşesinden indirilip kaldırılarak torkmetre 0,0 konumuna getirilir. Daha sonra deney esnasında yüklemenin hızını belirleyen "set speed" sekmesine geçilir. Deneyin sağlıklı ve düzgün yapılabilmesi için bu değer 3,8 olarak alınmıştır. Son işlem olarak deneye başlanır ve her 5 sayaç değerinde bir tork değeri (Nm) okunarak kaydedilir. Her bir sayaç devrinde cihaz numuneyi 0,3° burmaktadır. Bu işlem, tork değerimiz 80-85 (Nm) oluncaya kadar devam eder. Bu değere ulaşılınca eğer numunemiz kırılmaz ise yüklü numune üzerine ters yükleme yapılarak mevcut tork değeri sıfırlanır. Bu esnada da yine aynı prosedür tekrarlanır ve veriler toplanır. Bazı deneylerde ise yükleme 0, +85, 0, -85, 0 (Nm) döngüsünü oluşturacak şekilde yapılmıştır. Elde edilen veriler daha önceden hazırlanmış olan Excel programı aracılığı ile τ (N/m2), γ (rad) ve kayma modülü (G, Pa) değerleri hesaplanır. Yine bu değerler kullanılarak τ (N/m2)- γ (rad) grafikleri çizilir. Bu hesaplamalar ve grafikler projenin ilerleyen kısımlarında rapor olarak verilmiştir.

Resim 5.2. Geyçsiz içi dolu büyük çam numuneleri

Resim 5.3. Yükleme sonucu lifleri ayrılan büyük içi boş çam numunesi



Resim 5.4. Yükleme sonucu lifleri ayrılan büyük içi boş gürgen numunesi



Resim 5.5. Yükleme sonucu lifleri ayrılan büyük içi boş çam numuneleri

Geyçli numunelerde ise temel olarak işlemler aynı prosedürü takip eder. Ancak numune üzerinde belirli bölgelere; o noktalardaki kayma gerilmesi τ (N/m2), kayma modülü G (Pa) ve γ (rad) değerlerini hesaplamak için lif açısına bağlı olarak lif yönünde geyçler yapıştırılır. Bu yapıştırma işleminden önce numune yüzeyi zımparalanıp temizlenir. Mevcut olan geyçlerin ayaklarına uzatma kabloları lehimleme metodu ile ilave edilir. Geyç özel bir yapıştırıcı ile numune üzerine tutturulur. Böylece çeyrek köprü bağlantısı hazır hale gelir.

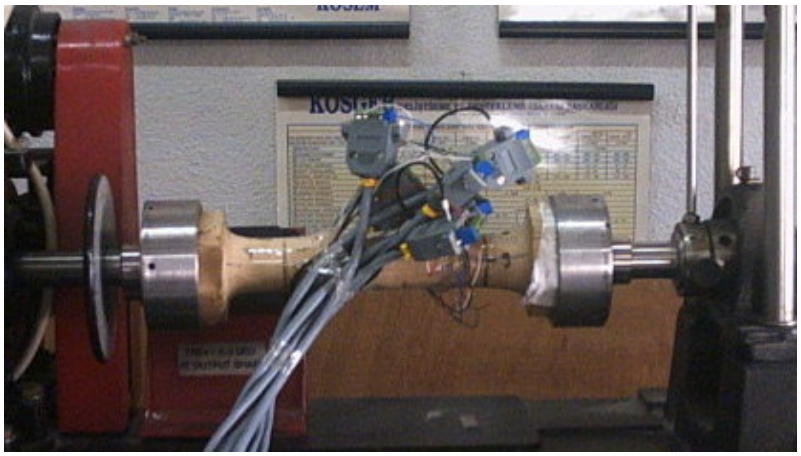
Resim 5.6. Numunenin ortasına birbirine dik açıyla yerleştirilmiş iki geyçli büyük çam numunesi

Resim 5.7. Numunenin ortasına ve tork uygulanan uç kısmına yerleştirilen iki geyçli büyük çam numunesi

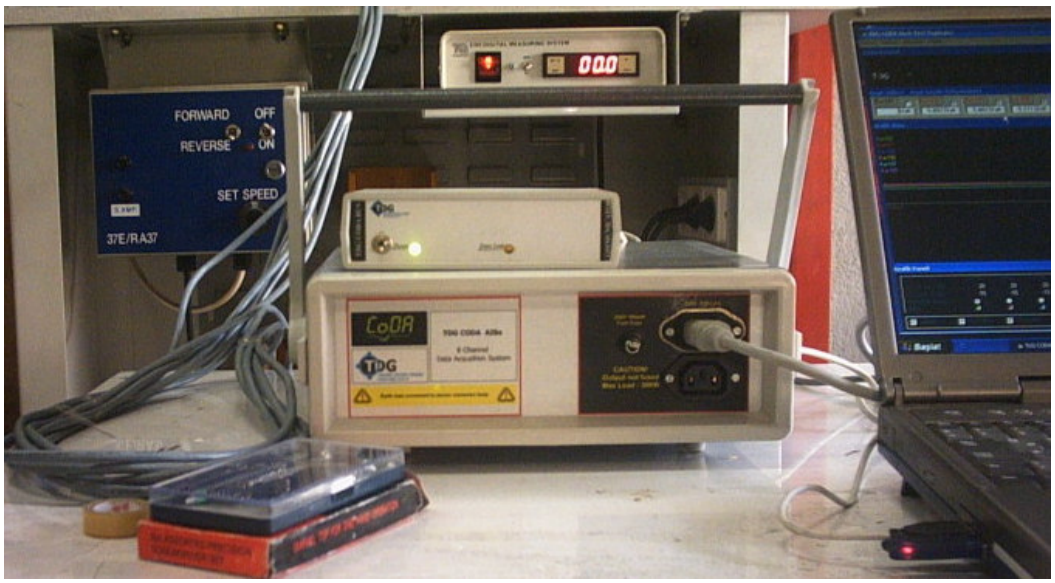
Bu geyçlerden çıkan kablolar veri toplama cihazına ait kablolarla birbirine bağlanır. Veri toplama cihazının kablosunun bir ucunda geyçten çıkan telleri bağlayabileceğimiz dört kanaldan oluşan bir başlık bulunmaktadır. Çeyrek köprü oluşturmak için bu teller 1. ve 4. numaralı sokete takılır. Kablonun diğer ucu ise veri

toplama cihazında bulunan 8 adet kanaldan birine soket aracılığı ile bağlanır. Veri toplama cihazı üzerinde bulunan bu kanalların her birinden gelen katsayılar farklıdır. Bu nedenle deneylerimizde hesaplamalar yapılırken bu katsayılar göz önünde bulundurulmuştur. Katsayılara ait kalibrasyon belgesi eklerde sunulmuştur. Bu bağlantı sonucunda deney numunesinin üzerinde bulunan geyçler ve veri toplama cihazı arasındaki bağlantı sağlanmış olur. Veri toplama cihazı deney düzeneğinden gelen verileri alır fakat cihaz ile bu verilerin depolanacağı bilgisayar arasında da bir bağlantıya gerek vardır. Bu cihaza "communicator" adı verilir. Cihaz bilgisayar ve veri toplama cihazı arasındaki köprüyü oluşturmaktadır. Bilgisayardan verileri alabilmek ve deney esnasında grafiksel takip için bilgisayarda kurulu olan yazılım paketi çalıştırılır. Veri toplama cihazının yazılımında deney sırasında kullanılacak kanallar aktif diğerleri ise pasif duruma getirilir. Aktif olan kanalların başlangıçtaki voltaj değeri 5 Volta ayarlanır. Bu ise veri toplama cihazının geyçlerle bağlantısını sağlayan kablonun çeyrek köprü bağlantı ucunda bulunan ayar vidası vasıtasıyla yapılır. Bu vida ince tornavidayla, yazılımda bulunan kanaldaki değer 5 Volt değerine gelinceye kadar ileri ve geri olarak oynatılır. Bu ayar yapıldıktan sonra kaç saniyede veri toplanılacağı yazılımda bulunan bölümden ayarlanır. Son olarak veri toplamaya başlamak için yazılıma start verilir ve burulma deneyi cihazı aynı anda çalıştırılarak deney başlatılır. Daha önceden yazılıma girilen veri toplama aralığında; yani her 2, 5 veya 10 saniyede bir çıplak gözle tork (Nm) ve sayaç değerleri okunur. Bu arada bilgisayarda ise geyçlerin konumlandıkları noktalardan gelen veriler volt cinsinden kayıt edilmektedir. Bu volt değerleri çeşitli formülasyonlarla birim deformasyona çevrilir. Bu formülasyonlar strain gauge ölçüm yöntemleri bölümünde anlatılmıştır. Geyçsiz numunelerde yapılan analizlerin aynısı geyçli numunelerde de yapıldı. Dolayısıyla geyçlerin bağlandığı noktalarda hesaplanan kayma modülleri ve ortalama kayma modülü değerleri analiz edilmiştir.

Resim 5.8. Sekiz kanallı veri toplama cihazı genel görünümü



Resim 5.9. Geyçli büyük kestane numunesi geyç ile veri cihazı irtibatını sağlayan kablo



Resim 5.10. Veri toplama cihazı ve cihazın bilgisayarla irtibatını sağlayan aparat

Resim 5.11. Geyçli numune deney düzeneği

5.3. Burulma Numuneleri Üzerinde Lif Yönüne Bağlı Kayma Modülü Ölçüm Deneyleri

Tez çalışmasının ilk bölümlerinde de belirtildiği gibi içi dolu ve boş olmak üzere; büyük ve küçük çam, meşe, gürgen ve kestane olarak gruplandırılmış deney numuneleri grafiklerini bu başlık altında inceleyeceğiz.

Deney Numarası Kodlama Sistemi

D20	ÇBB	5	3G	±
1	2	3	4	5

Yukarıda bölümlere ayrılarak belirtilmiş olan kodlama sisteminde;

1. Deney Numunesinin kısa yazımı olan “D” dir. Yanındaki rakam ise bu numunenin deneylerde hangi sırada olduğunu gösterir.

2. Deneylerde kullanılan ağaç numunelerin geometrik özelliklerini ve cinsini belirten kodlamadır.

3. Bu cins ağaç numune ile kaç kez deney yapıldığını gösterir.

4. Burulma numunesi üzerinde kaç adet geycin bağlı olduğunu belirtir.

5. Artı ve Eksi işaretleri bize malzemenin deney sırasında burulma yönünü belirtir. Artı, malzemenin lif yönü doğrultusunda, eksi ise malzemenin lif yönünün tersi doğrultusunda burulduğunu gösterir.

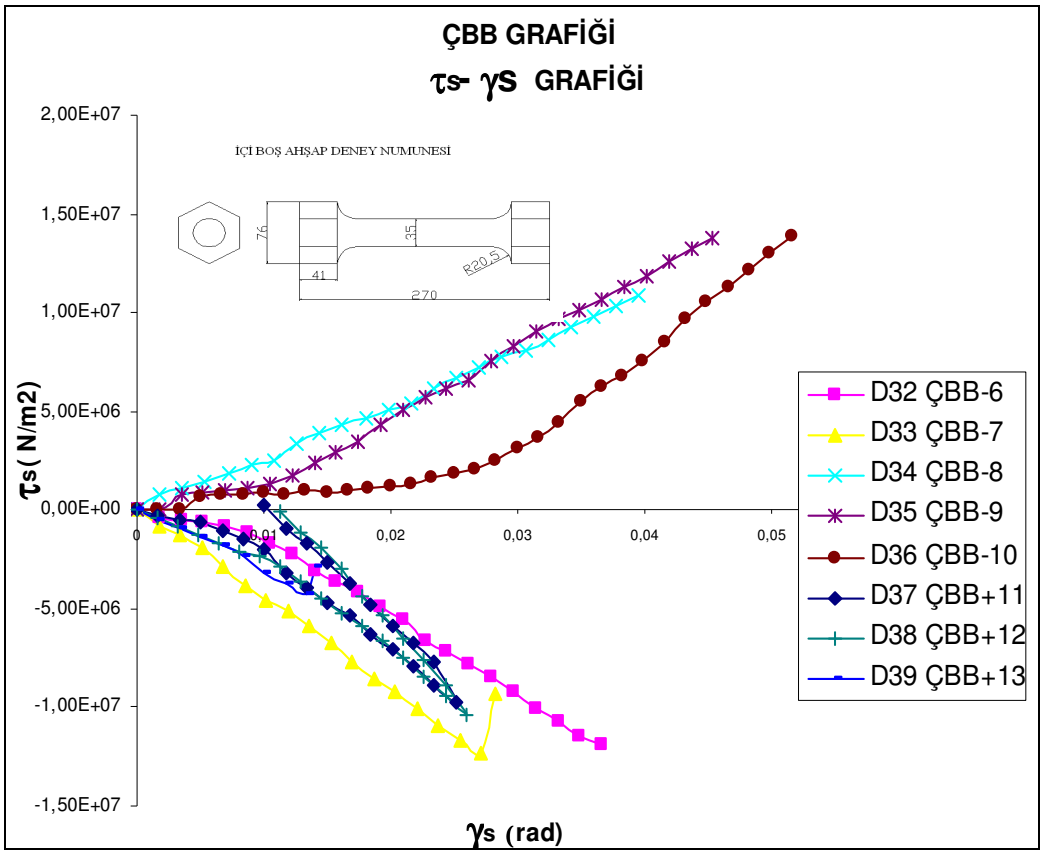
Örnekleme de kullanılan kodlamayı kısaca tanımlarsak. Bu deney bizim deneylerimizde 20. sırayı almaktadır. Kullanılan burulma numunesinin geometrik özelliği ve cinsi şöyledir. Numune büyük ve boş olan bir çam ağacından yapılmıştır. Deneylerde ise bu cins ağaçtan 20. deneye kadar tam 5 kez kullanılmıştır. Bu ağaç numune üzerinde 3 adet geyç olduğunu yine kodlamadan görmekteyiz. Son olarak bir işaret belirtilmediği için bu numunenin lif yönü doğrultusunda burulduğunu kodlamadan anlamaktayız.

5.3.1. İçi dolu ve boş büyük numunelere ait grafikler

Büyük deney numuneleri ise aynı küçük numunelerde olduğu gibi çam, gürgen, kestane ve meşe cinsi ağaçlardan oluşmaktadır. Yani deneylere aynı cins ağaç malzemelerin büyük boyutlu numuneleriyle devam edildi. Burada ise deneyler sonucu elde edilen grafikler, yine aynı cins numuneler, dolu ve boş olmak üzere bir arada olacak şekilde gruplandırılmış ve grafikleri bir arada çizilmiştir.

Buna göre; içi boş büyük çam numunelerin (ÇBB) deney sonuçları hesaplanarak aşağıdaki değerler elde edilmiştir. Şekil 5.1'de ÇBB deney numunelerinin sonuç grafikleri bulunmaktadır.

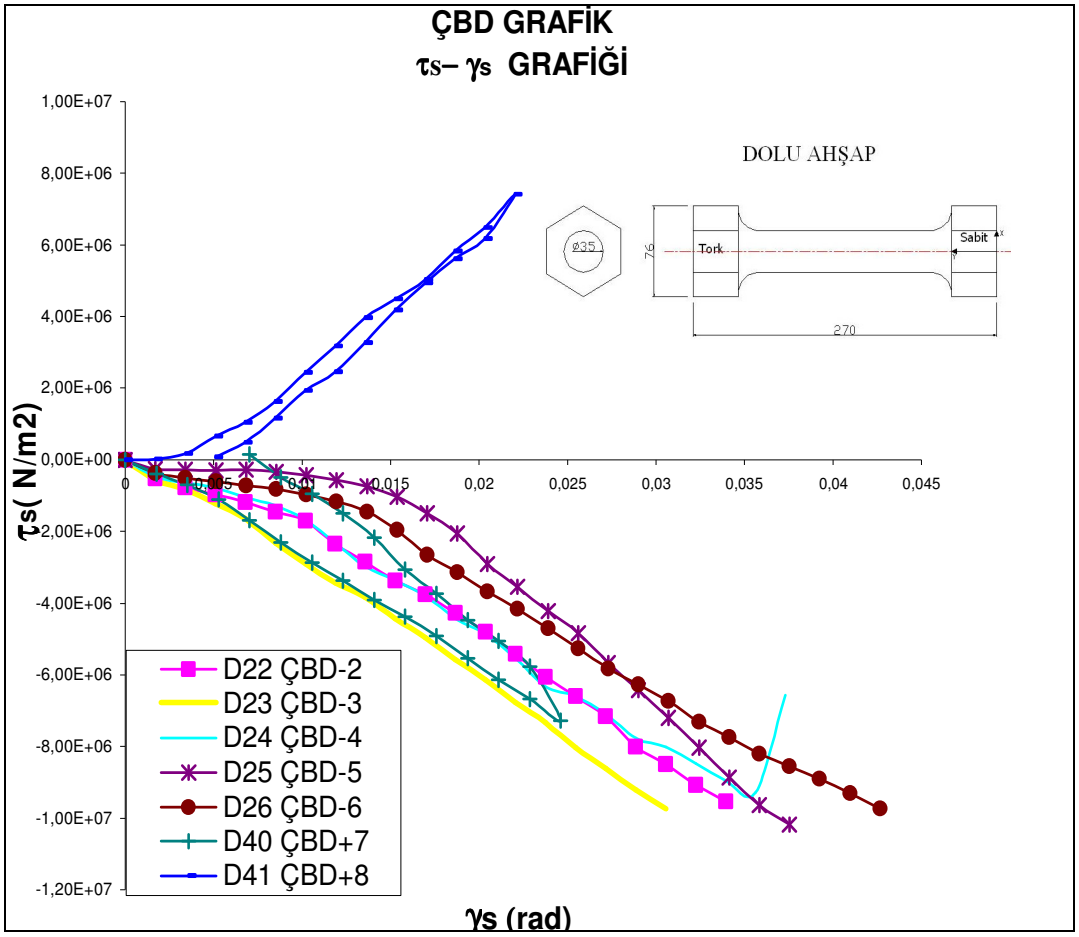
D32 ÇBB-6 deneyinde elde edilen	G_s =	3,49E+08 (negatif yönlü)
D33 ÇBB-7 deneyinde elde edilen	G_s =	4,64E+08 (negatif yönlü)
D34 ÇBB-8 deneyinde elde edilen	G_s =	2,70E+08 (pozitif yönlü)
D35 ÇBB-9 deneyinde elde edilen	G_s =	3,25E+08 (pozitif yönlü)
D36 ÇBB-10 deneyinde elde edilen	G_s =	3,43E+08 (pozitif yönlü)
D37 ÇBB-11deneyinde elde edilen	G_s =	4,05E+08 (negatif yönlü)
D38 ÇBB-12deneyinde elde edilen	G_s =	3,79E+08 (negatif yönlü)
D39 ÇBB-13deneyinde elde edilen	G_s =	3,21E+08 (negatif yönlü)



Şekil 5.1. Büyük, içi boş çam numunelere ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği

Şekil 5.2'de grafikleri gösterilen içi dolu büyük çam numunelere (ÇBD) ait kayma modülü değerleri aşağıdaki gibidir.

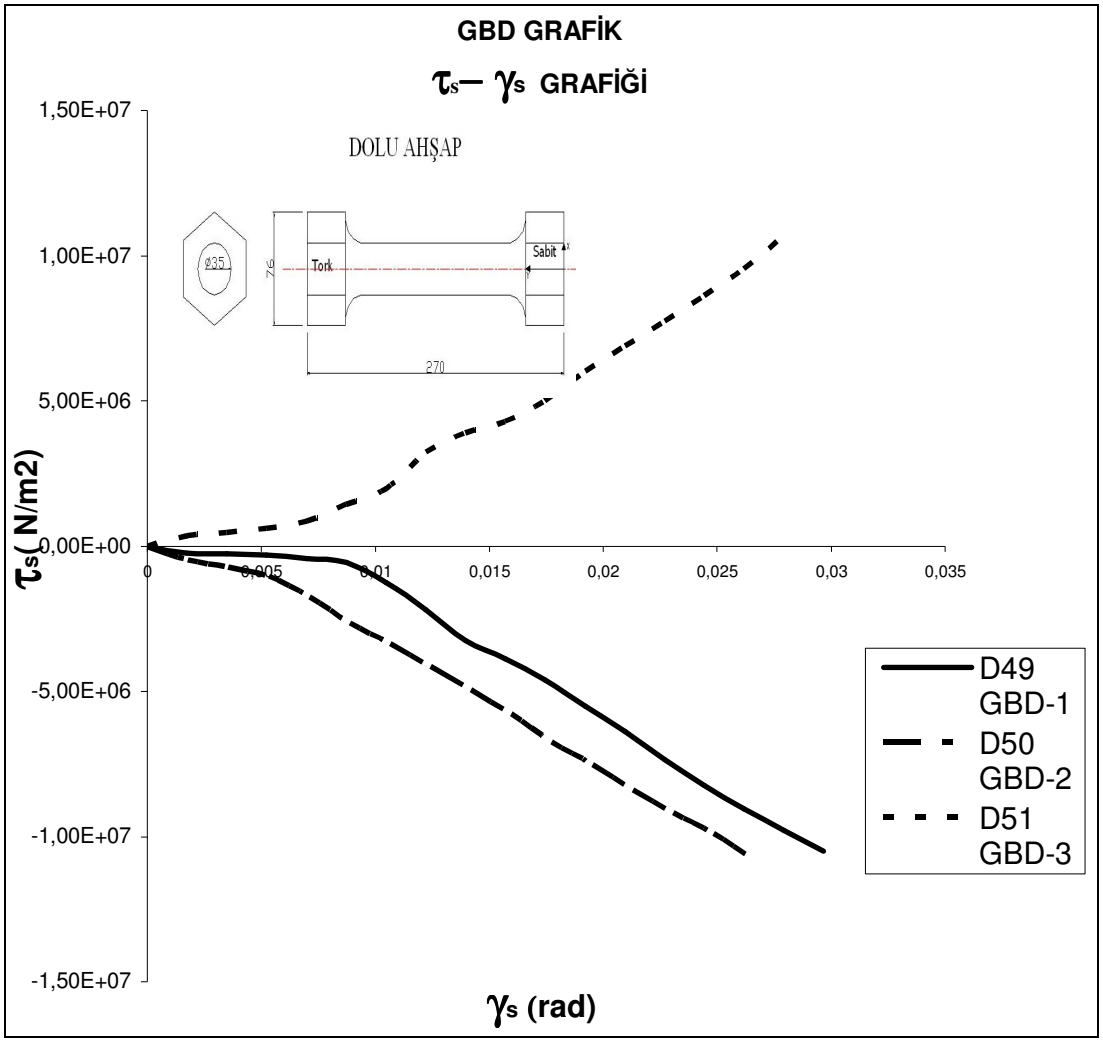
D22 ÇBD-2 deneyinde elde edilen	G_s =	2,88E+08 (negatif yönlü)
D23 ÇBD-3 deneyinde elde edilen	G_s =	3,24E+08 (negatif yönlü)
D24 ÇBD-4 deneyinde elde edilen	G_s =	2,59E+08 (negatif yönlü)
D25 ÇBD-5 deneyinde elde edilen	G_s =	2,84E+08 (negatif yönlü)
D26 ÇBD-6 deneyinde elde edilen	G_s =	2,48E+08 (negatif yönlü)
D40 ÇBD+7 deneyinde elde edilen	G_s =	2,99E+08 (negatif yönlü)
D41 ÇBD+8 deneyinde elde edilen	G_s =	3,44E+08 (pozitif yönlü)



Şekil 5.2. Büyük, içi dolu çam numunelere ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği

Şekil 5.3'te içi dolu büyük gürgen numunelerin (GBD) grafiği yer almaktadır. Bu deneyler sonucu yapılan hesaplamalarda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

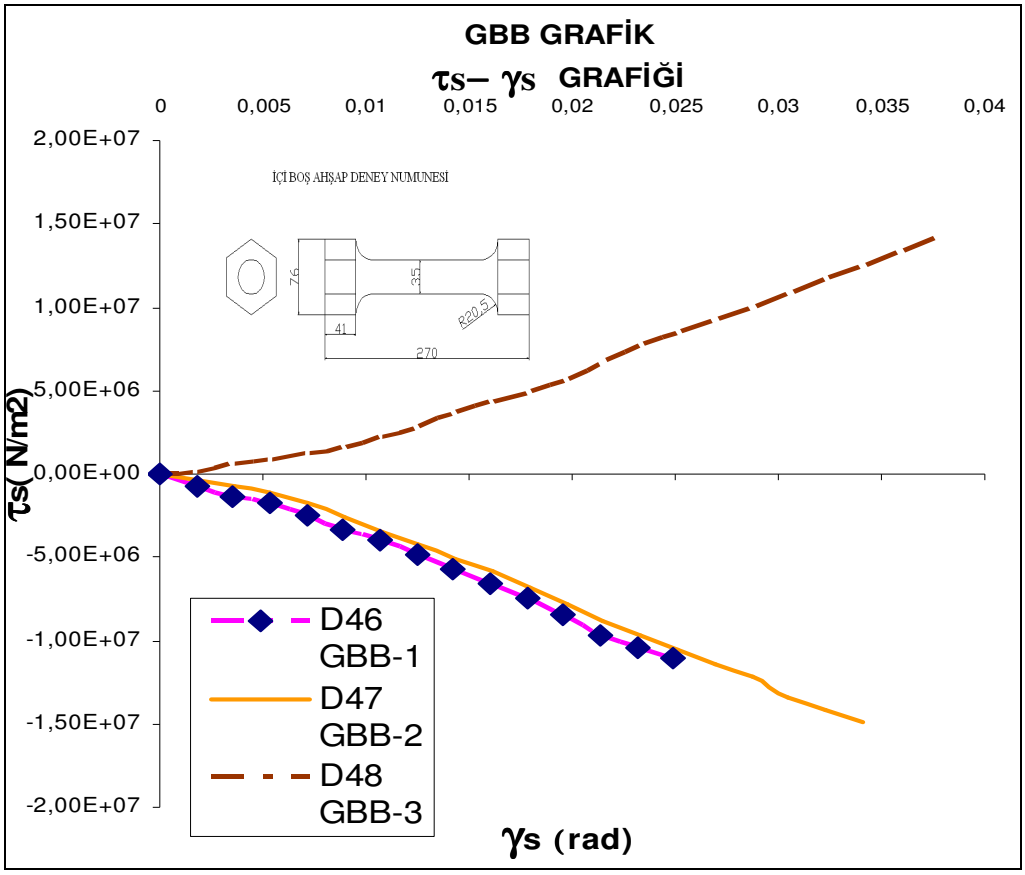
D49 GBD-1 deneyinde elde edilen	G_s =	3,87E+08 (pozitif yönlü)
D50 GBD-2 deneyinde elde edilen	G_s =	4,25E+08 (pozitif yönlü)
D51 GBD-3 deneyinde elde edilen	G_s =	3,92E+08 (pozitif yönlü)



Şekil 5.3. Büyük, içi dolu gürgen numunelere ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği

Şekil 5.4'te içi boş büyük gürgen numunelerin (GBB) grafiği yer almaktadır. Bu deneyler sonucu yapılan hesaplamalarda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

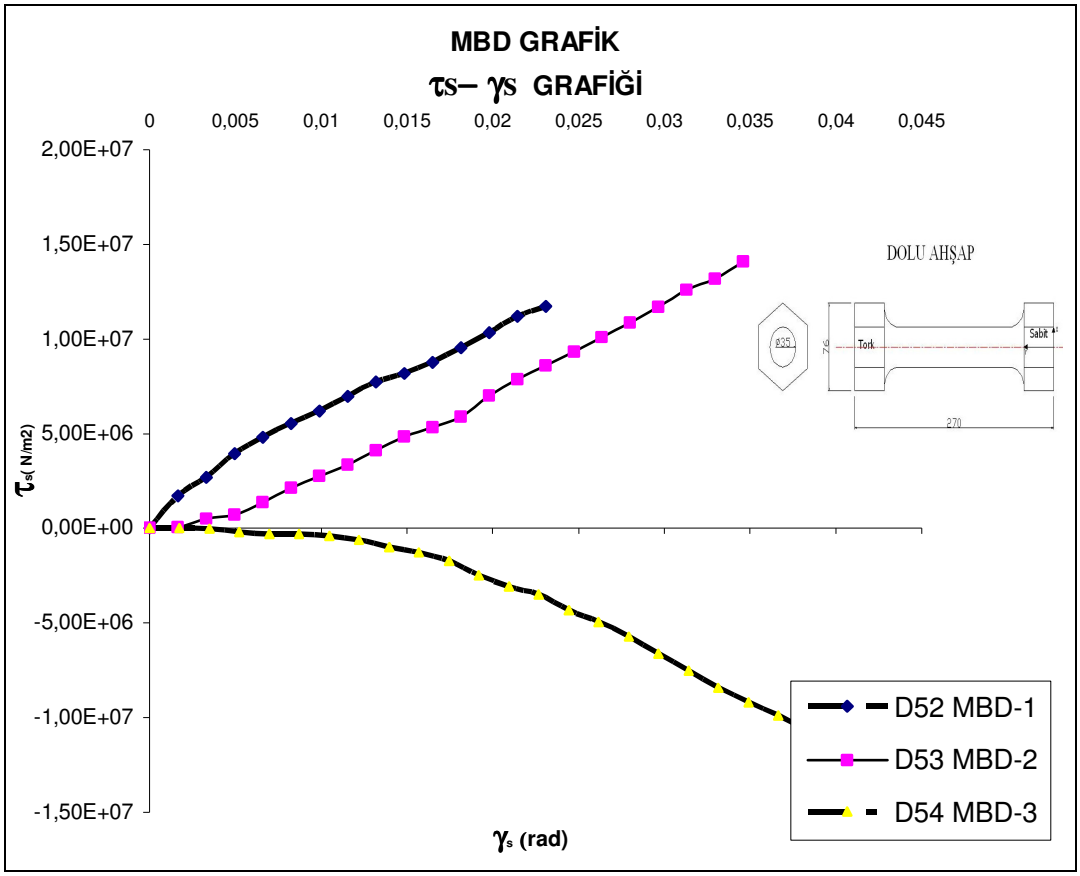
D46 GBB-1 deneyinde elde edilen	G_s =	4,57E+08 (pozitif yönlü)
D47 GBB-2 deneyinde elde edilen	G_s =	4,64E+08 (pozitif yönlü)
D48 GBB-3 deneyinde elde edilen	G_s =	3,97E+08 (pozitif yönlü)



Şekil 5.4. Büyük, içi boş gürgen numunelere ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği

Şekil 5.5'te içi dolu büyük meşe numunelerine (MBD) ait τ_s (N/m^2) ve γ_s (rad) grafikleri görülmektedir. Hesaplamalar sonucu ulaşılan kayma modülü değerleri aşağıdaki şekildedir.

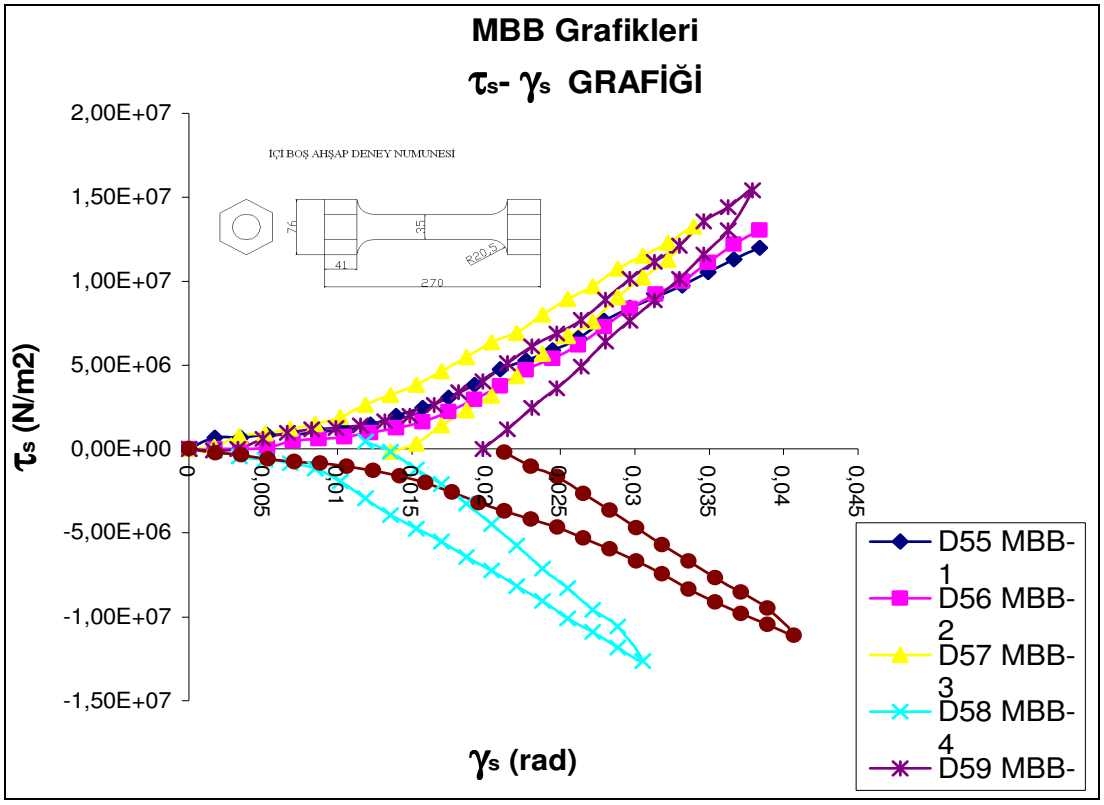
D52 MBD-1 deneyinde elde edilen	G_s =	4,73E+08 (pozitif yönlü)
D53 MBD-2 deneyinde elde edilen	G_s =	4,27E+08 (pozitif yönlü)
D54 MBD-3 deneyinde elde edilen	G_s =	2,91E+08 (pozitif yönlü)



Şekil 5.5. Büyük, içi dolu meşe numunelere ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği

Şekil 5.6'da içi boş büyük meşe numunelerine (MBB) ait τ_s (N/m^2) ve γ_s (rad) grafikleri görülmektedir. Hesaplamalar sonucu ulaşılan kayma modülü değerleri aşağıdaki değerler olarak hesaplanmıştır.

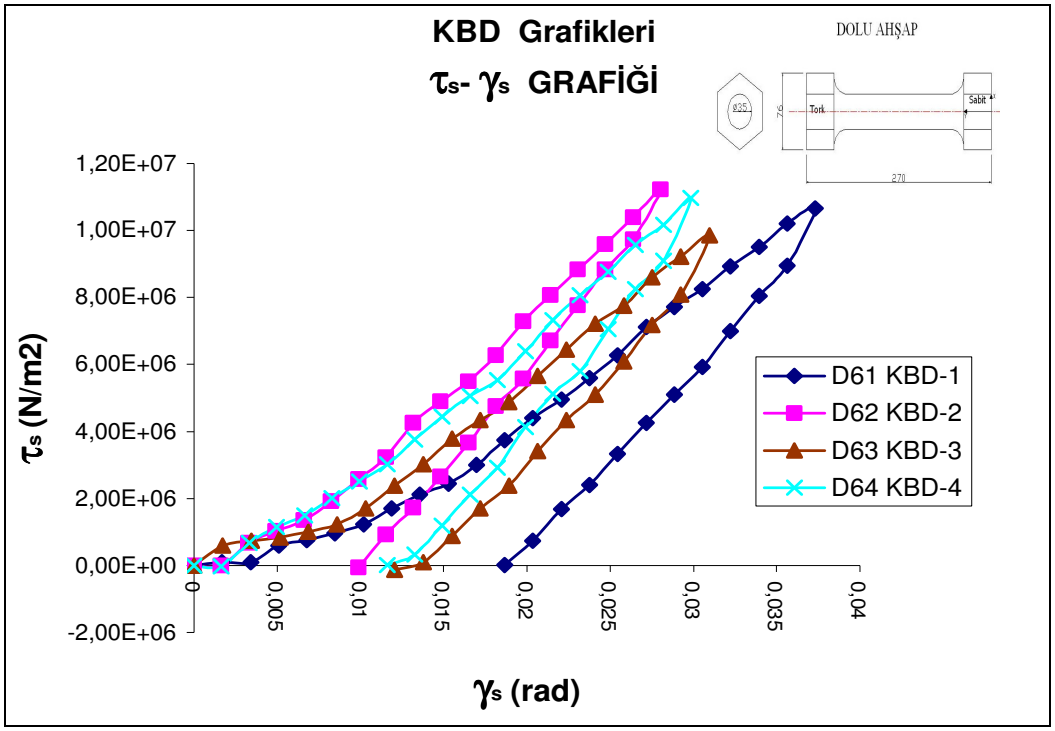
D55 MBB-1 deneyinde elde edilen	G_s =	3,24E+08 (pozitif yönlü)
D56 MBB-2 deneyinde elde edilen	G_s =	3,55E+08 (pozitif yönlü)
D57 MBB-3 deneyinde elde edilen	G_s =	4,01E+08 (pozitif yönlü)
D58 MBB-4 deneyinde elde edilen	G_s =	4,29E+08 (pozitif yönlü)
D59 MBB-5 deneyinde elde edilen	G_s =	4,04E+08 (pozitif yönlü)
D60 MBB-6 deneyinde elde edilen	G_s =	2,73E+08 (pozitif yönlü)



Şekil 5.6. Büyük, içi boş meşe numunelere ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği

Şekil 5.7'de içi dolu büyük kestane numunelerine (KBD) ait τ_s (N/m^2) ve γ_s (rad) grafikleri görülmektedir. Hesaplamalar sonucu ulaşılan kayma modülü değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

D61 KBD-1 deneyinde elde edilen	G_s =	3,07E+08 (pozitif yönlü)
D62 KBD-2 deneyinde elde edilen	G_s =	4,05E+08 (pozitif yönlü)
D63 KBD-3 deneyinde elde edilen	G_s =	3,10E+08 (pozitif yönlü)
D64 KBD-4 deneyinde elde edilen	G_s =	3,59E+08 (pozitif yönlü)



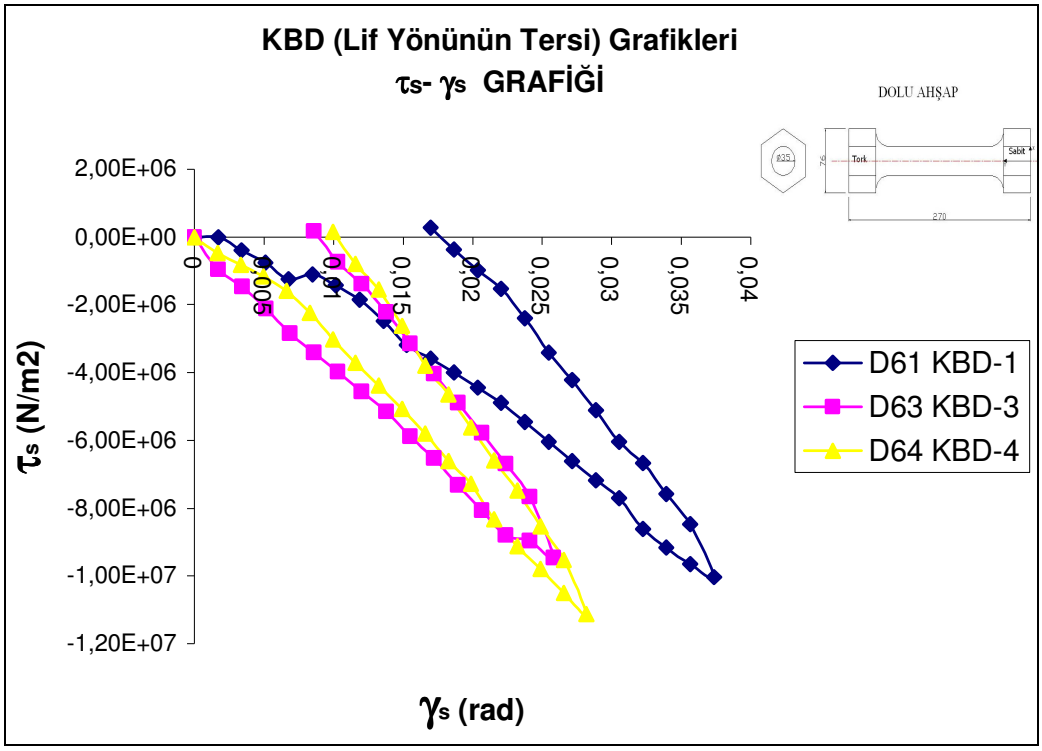
Şekil 5.7. Büyük, içi dolu kestane numunelere ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği

Yukarıda elde ettiğimiz değerler doğal kompozit olan ağaç numunelere lif yönünde yapılan yüklemeler sonucu elde edilen değerlerdir. Bu bölümde içi dolu büyük kestane numunelerine (KBD) lif yönünün tersinde yüklemeler yapılmıştır. Bunun sonucunda Şekil 5.8'deki grafik elde edilmiştir. Hesaplamalar sonucu aşağıdaki kayma modülü değerleri bulunmuştur.

D61 KBD-1-R deneyinde elde edilen G_s = 2,83E+08 (pozitif yönlü)

D63 KBD-3-R deneyinde elde edilen G_s = 3,28E+08 (pozitif yönlü)

D64 KBD-4-R deneyinde elde edilen G_s = 3,90E+08 (pozitif yönlü)



Şekil 5.8. Büyük, içi dolu kestane numunelere ait (lif yönünün tersinde yükleme yapılan numunelerin) τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği

Son olarak Şekil 5.9'da içi boş büyük kestane numunelere (KBB) ait τ_s (N/m^2) ve γ_s (rad) grafikleri görülmektedir.G değerleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir;

D10 KBB-1 deneyinde elde edilen G_s = 2,10E+08 (pozitif yönlü)

D21 KBB-2-2G deneyinde elde edilen G_s = 4,69E+08 (pozitif yönlü)

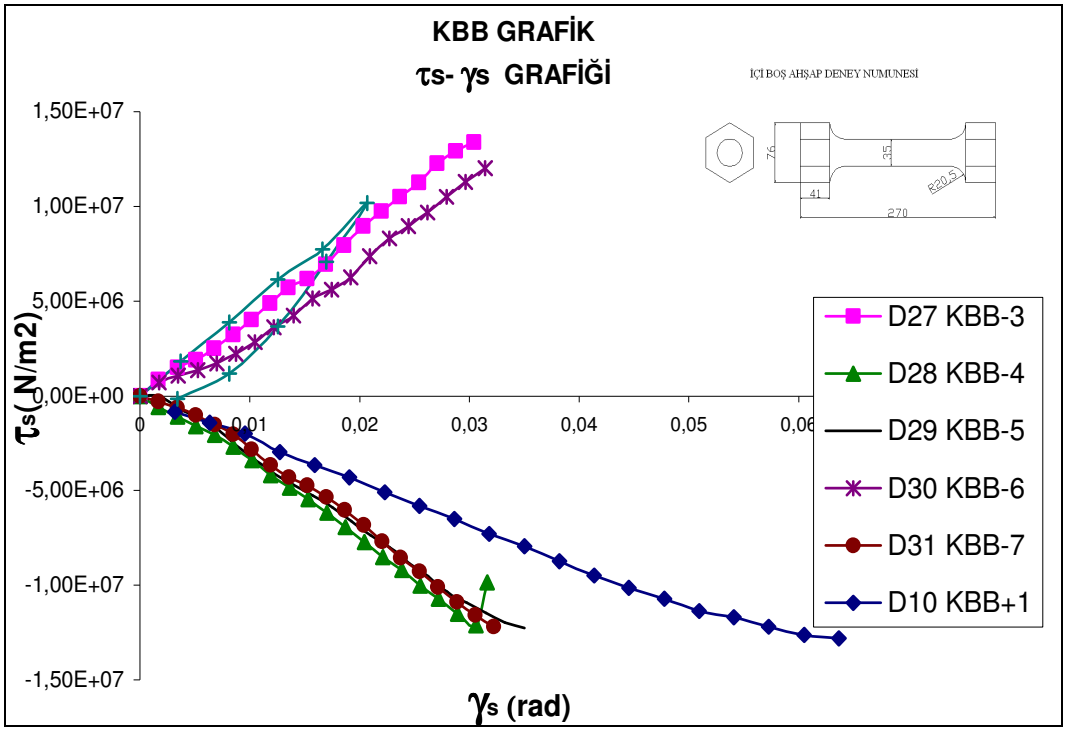
D27 KBB-3 deneyinde elde edilen G_s = 4,53E+08 (pozitif yönlü)

D28 KBB-4 deneyinde elde edilen G_s = 4,05E+08 (pozitif yönlü)

D29 KBB-5 deneyinde elde edilen G_s = 3,80E+08 (pozitif yönlü)

D30 KBB-6 deneyinde elde edilen G_s = 3,92E+08 (pozitif yönlü)

D31 KBB-7 deneyinde elde edilen G_s = 3,96E+08 (pozitif yönlü)



Şekil 5.9. Büyük, içi boş kestane numunelere ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği

5.3.2. İçi dolu ve boş küçük numunelere ait grafikler

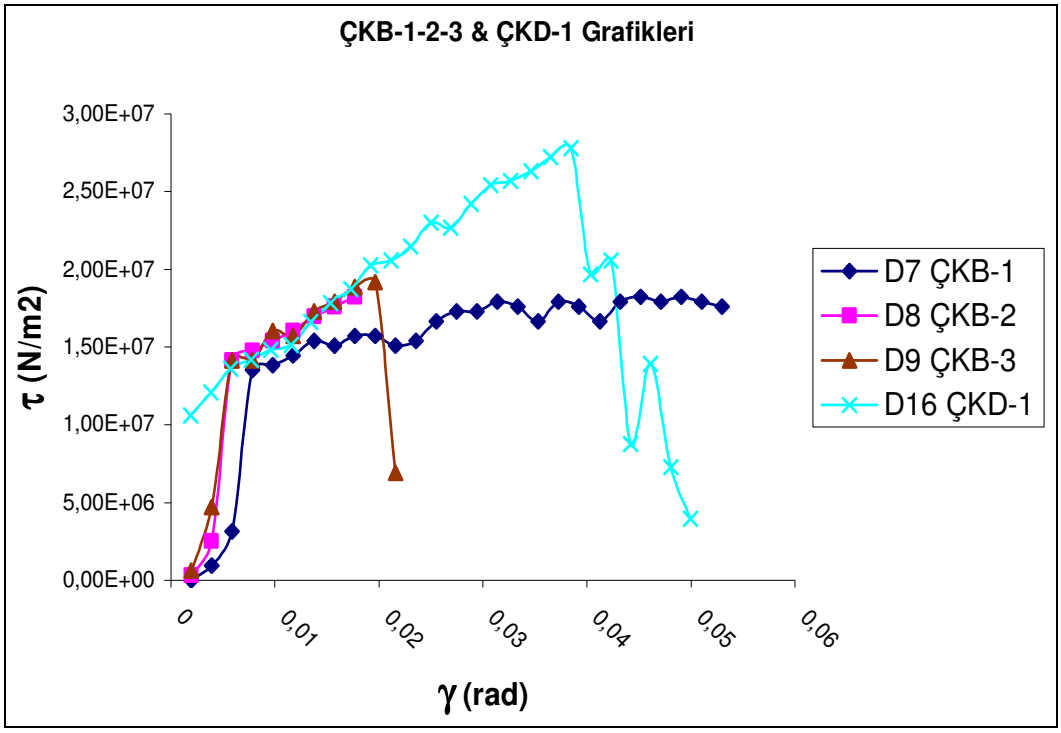
Aşağıda Şekil 5.10'da görünen içi dolu ve boş, küçük çam numunelerine ait, τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiklerinden elde edilen değerler şu şekilde hesaplanmıştır. Grafikte de göründüğü gibi yedinci deneydeki (D7), içi boş küçük çam numunesinin (ÇKB-1) grafiği üç değişik bölgede üç farklı eğim göstermektedir. Birinci bölgedeki eğim değeri vasıtasıyla bulunan kayma modül değeri G_{1b} = 2,18E+09 olarak hesaplanmıştır. İkinci ve üçüncü bölgelerdeki eğim değerleri ise G_{2b} = 1,35E+08 ve G_{3b} = 2,40E+07 olarak hesaplanmıştır. Ortalama eğim değeri ise G_s = 2,37E+08 bulunur. Yine aynı şekil üzerindeki 8 numaralı deneydeki (D8) içi boş küçük çam numunesinin (ÇKB-2) grafiği iki temel bölgede farklı eğim göstermektedir. Bu değerler ise G_{1b} = 3,53E+09 ve G_{2b} = 3,55E+08 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca ortalama kayma modülü değeri ise G_s = 1,05E+09 bulunmuştur. Aynı şekilde 9 numaralı deney sonucu (ÇKB-3); G_{1b} = 3,45E+09; G_{2b} = 4,01E+08; G_{3b} = 6,25E+09 ve G_s = 5,20E+08 olarak hesaplanmıştır. 16 numaralı deneyde içi dolu küçük çam

numunesine (ÇKD-1) ait grafikte ise değerler şu şekilde hesaplanmıştır. G_{1b} = 4,69E+08; G_{2b} = 1,92E+09 ve G_s = 3,16E+07'dir.

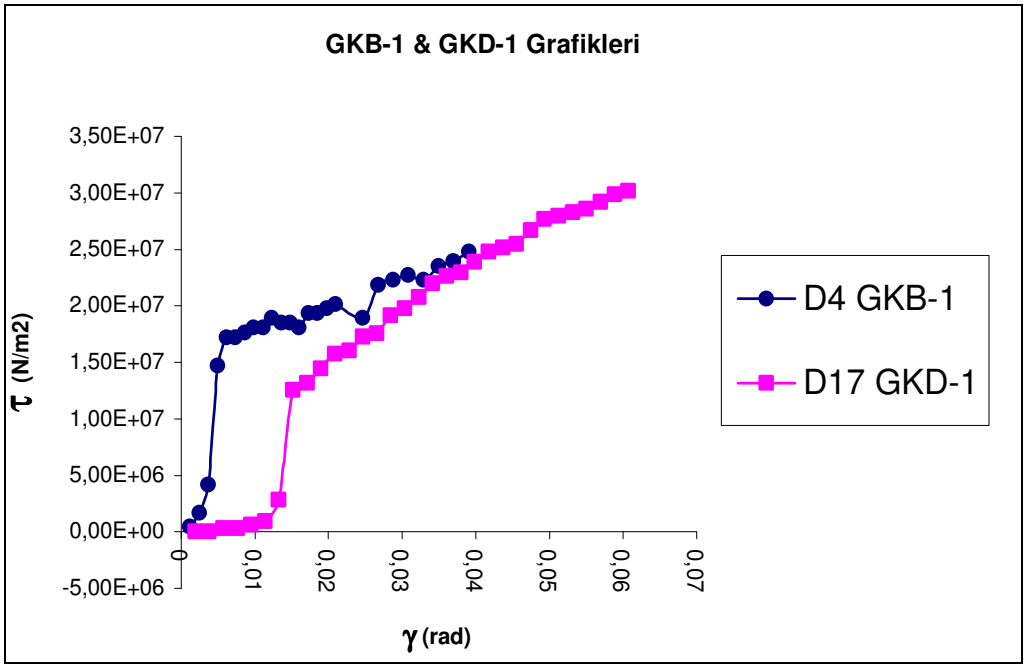
Şekil 5.11'de içi dolu ve boş, küçük gürgen numunelerine ait, τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri verilmektedir. Dördüncü deneyimizde (D4) içi boş küçük gürgen numunesi (GKB-1) burulma deneyine tabi tutulmuştur. Bunun sonucu grafiğin üç bölgesindeki kayma modülü değerleri şu şekilde hesaplanmıştır. G_{1b} = 3,78E+09; G_{2b} = 1,72E+08; G_{3b} = 2,26E+08 ve G_s = 4,34E+08 olarak hesaplanmıştır. D17 GKD-1 numunesinde ise G_{1b} = 9,93E+07; G_{2b} = 3,06E+09; G_{3b} =3,94E+08 ve G_s = 5,57E+08 bulunmuştur.

Şekil 5.12'de içi dolu ve boş, küçük kestane numunelerine ait, τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri görülmektedir. D5 KKB-1 numunesine ait grafikteki eğimlere bağlı kayma modülleri sıra ile; G_{1b} = 3,21E+09 ; G_{2b} = 1,15E+08 ; G_{3b} = 4,61E-06 ve G_s = 9,567E+07 bulunmuştur. D6 KKB-2 numunesine ait kayma modülleri birinci bölgede G_{1b} = 3,61E+09; ikinci bölgede G_{2b} = 9,47E+07; üçüncü bölgede G_{3b} = 2,86E+07 ve G_s = 1,400E+08 olarak hesaplanmıştır. D18, KKD-1 numunesine ait grafikten gözlenen kayma modülü değerleri ise sıra ile; G_{1b} = 2,07E+09; G_{2b} = 3,25E+08 G_{3b} = 9,60E+08 G_s = 1,65E+08 olarak hesaplanmıştır.

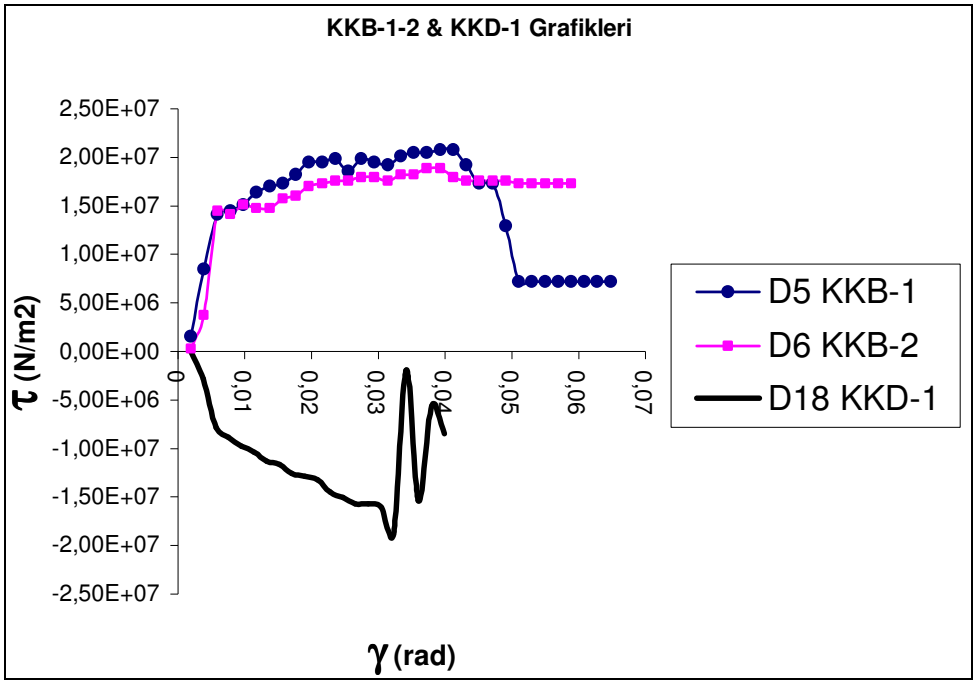
Şekil 5.13'te içi dolu, küçük demir numunelere ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiklerinden elde edilen değerler aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Birinci deneyde (D1) burulma deneyi numunesinin ortasına 45° açıyla bir geyç yapıştırıldı. Bu numune (DKD-1-1G) olarak kodlandı. Deney sonucu G_s değeri -7,346E+09 olarak hesaplanmıştır. Geyç vasıtasıyla hesaplanan kayma modülü değeri ise G_{G1}= 1,28E+11 olarak hesaplanmıştır. D2, DKD-2-1G numunesine ait veriler ise G_s = 8,82E+09 ve G_{G1}= 4,26E+10 olarak hesaplanmıştır. D3, DKD-3-1G numunesinde ise G_s = 7,84E+09 ve G_{G1}= -4,13E+10 olarak hesaplanmıştır. D4, DKD-4 numunesinde G_s değeri 4,43E+09 olarak hesaplanmıştır.



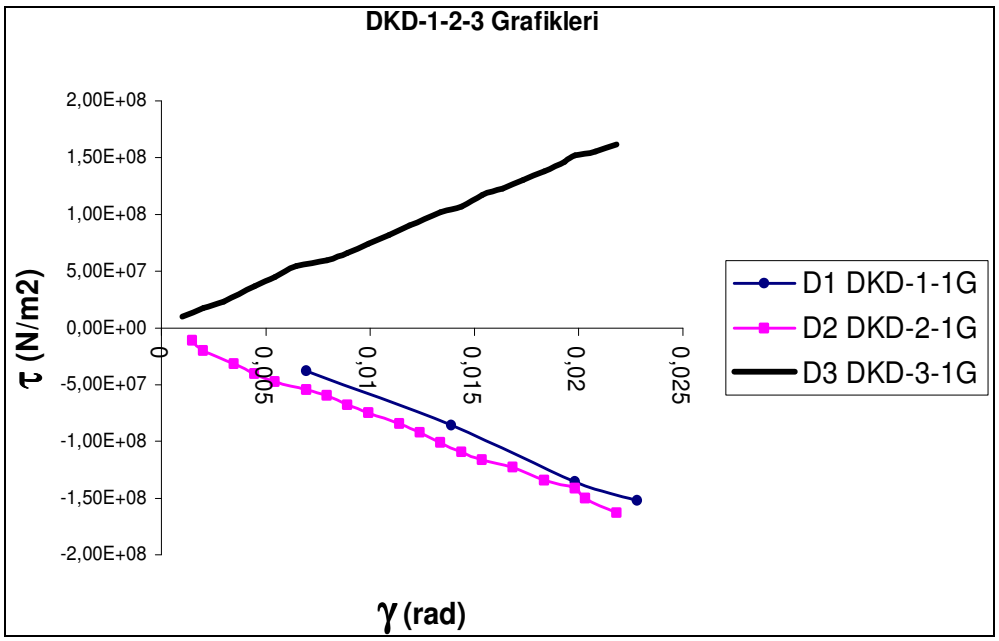
Şekil 5.10. İçi dolu ve boş, küçük çam numunelerine ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri



Şekil 5.11. İçi dolu ve boş, küçük gürgen numunelere ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği



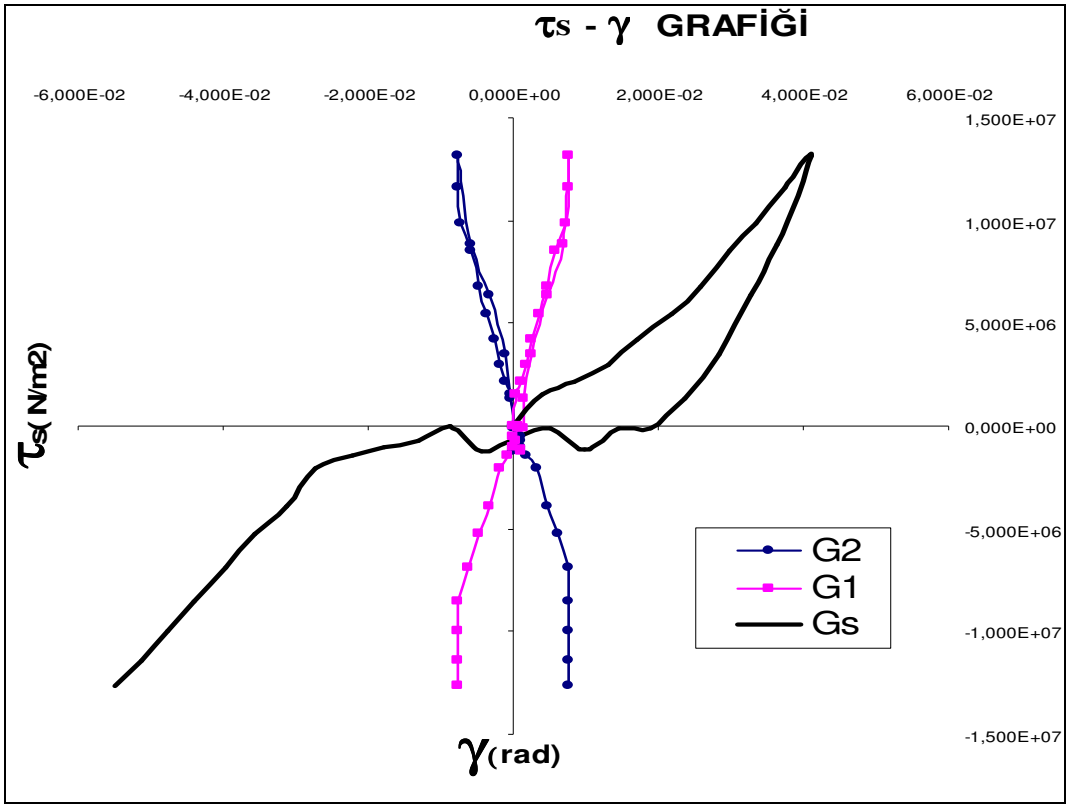
Şekil 5.12. İçi dolu ve boş, küçük kestane numunelere ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği



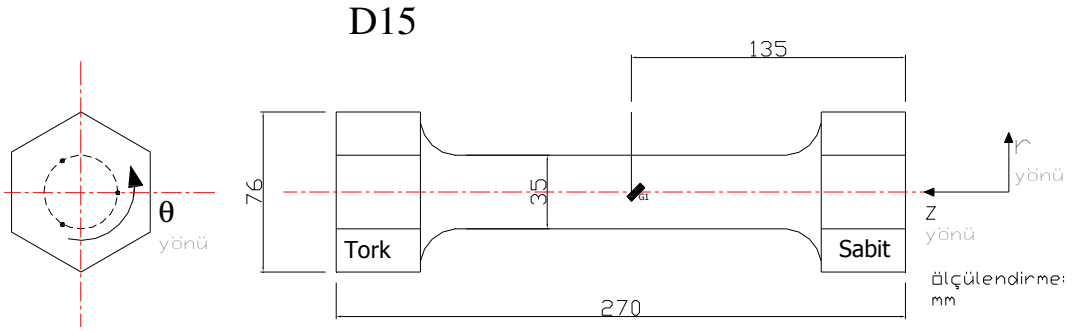
Şekil 5.13. İçi dolu, küçük demir numunelere ait τ (N/m^2) ve γ (rad) grafiği

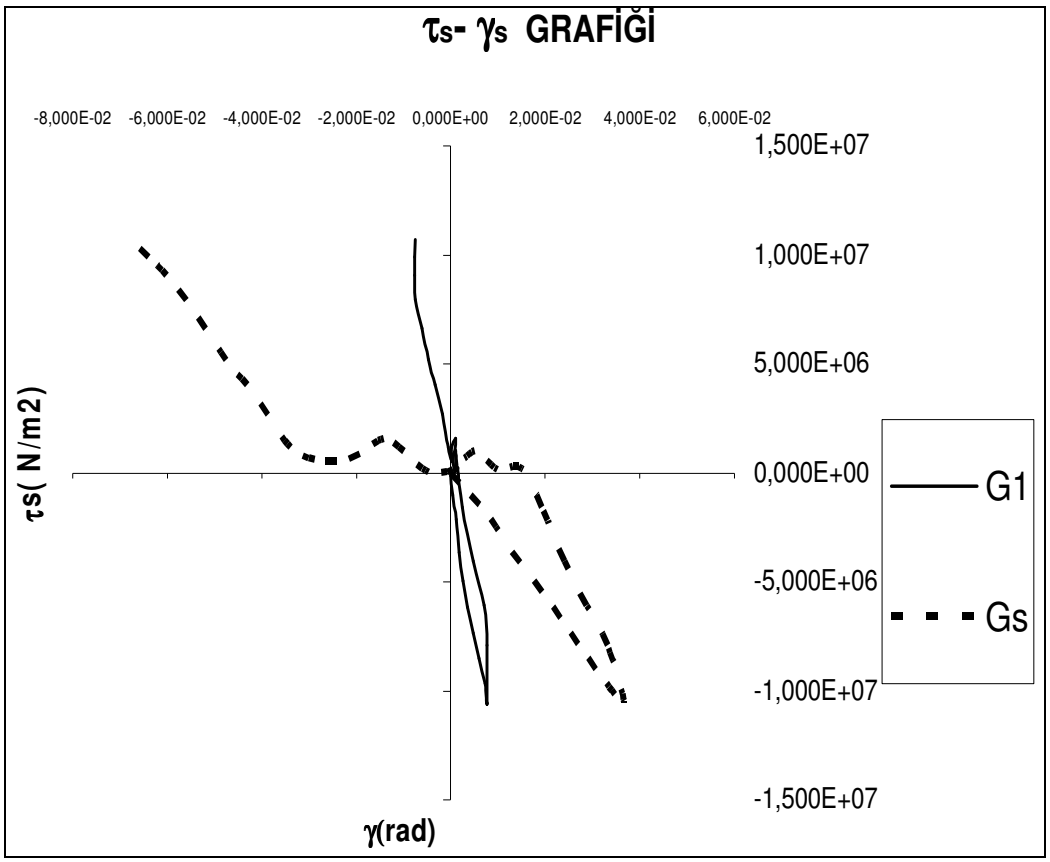
5.3.3. Geyçli Deneylere Ait Numunelerin Grafikleri

2. grup tez çalışmasının belirtildiği üzere bazı deneylerinde strain geyçler kullanıldı. Sonucunda geyçler vasıtasıyla okunan değerlerinde analizi yapılarak grafikleri çizildi. 14, 15, 20, 21, 42, 43, 44 ve 45 numaralı deneyler geyç kullanılarak yapılan deneylerdir. Bu deneylere ait grafikler aşağıda gösterilmiştir.

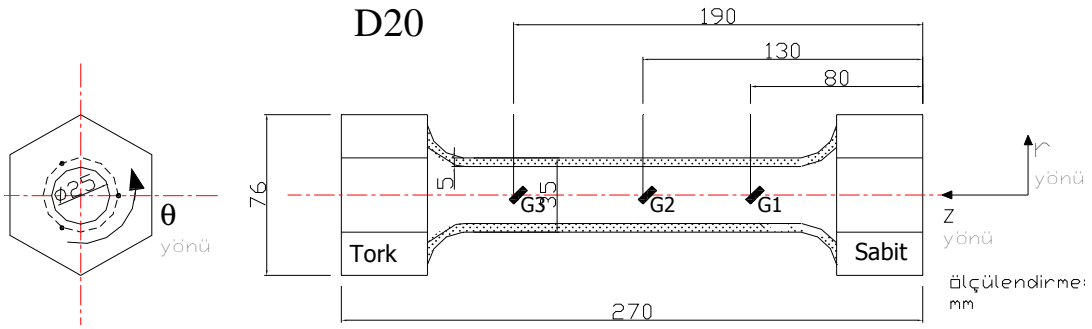


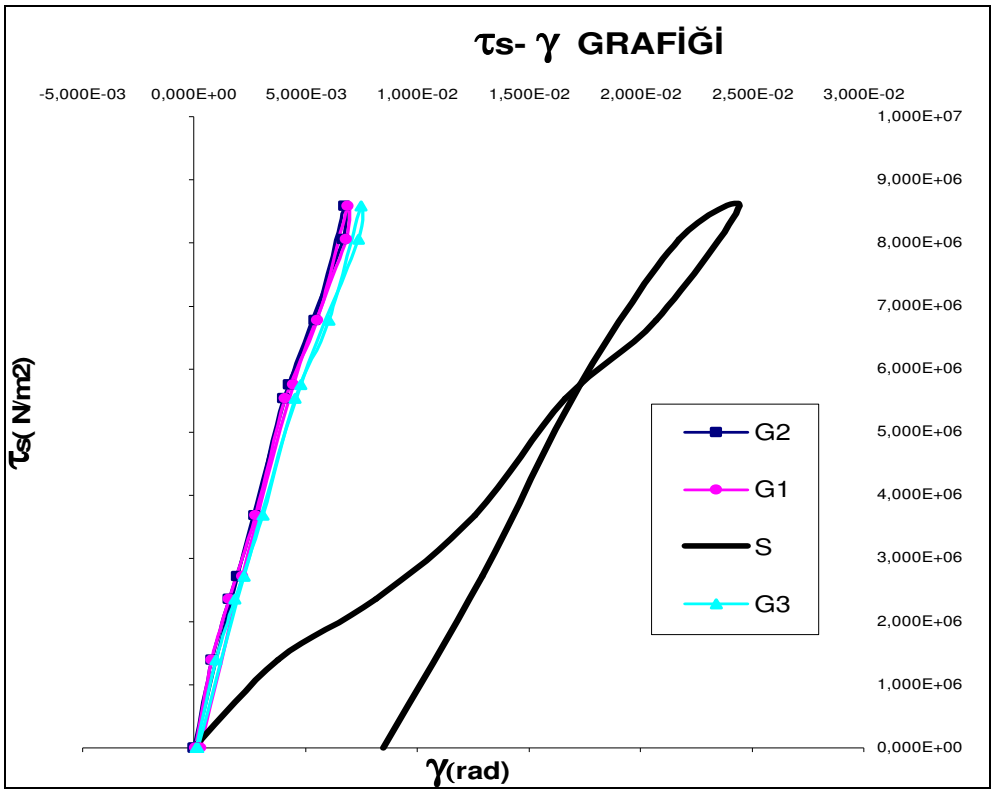
Şekil 5.14. D-14 numaralı deneyde iki geyçli içi boş büyük çam numunesinin birinci ve ikinci geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri



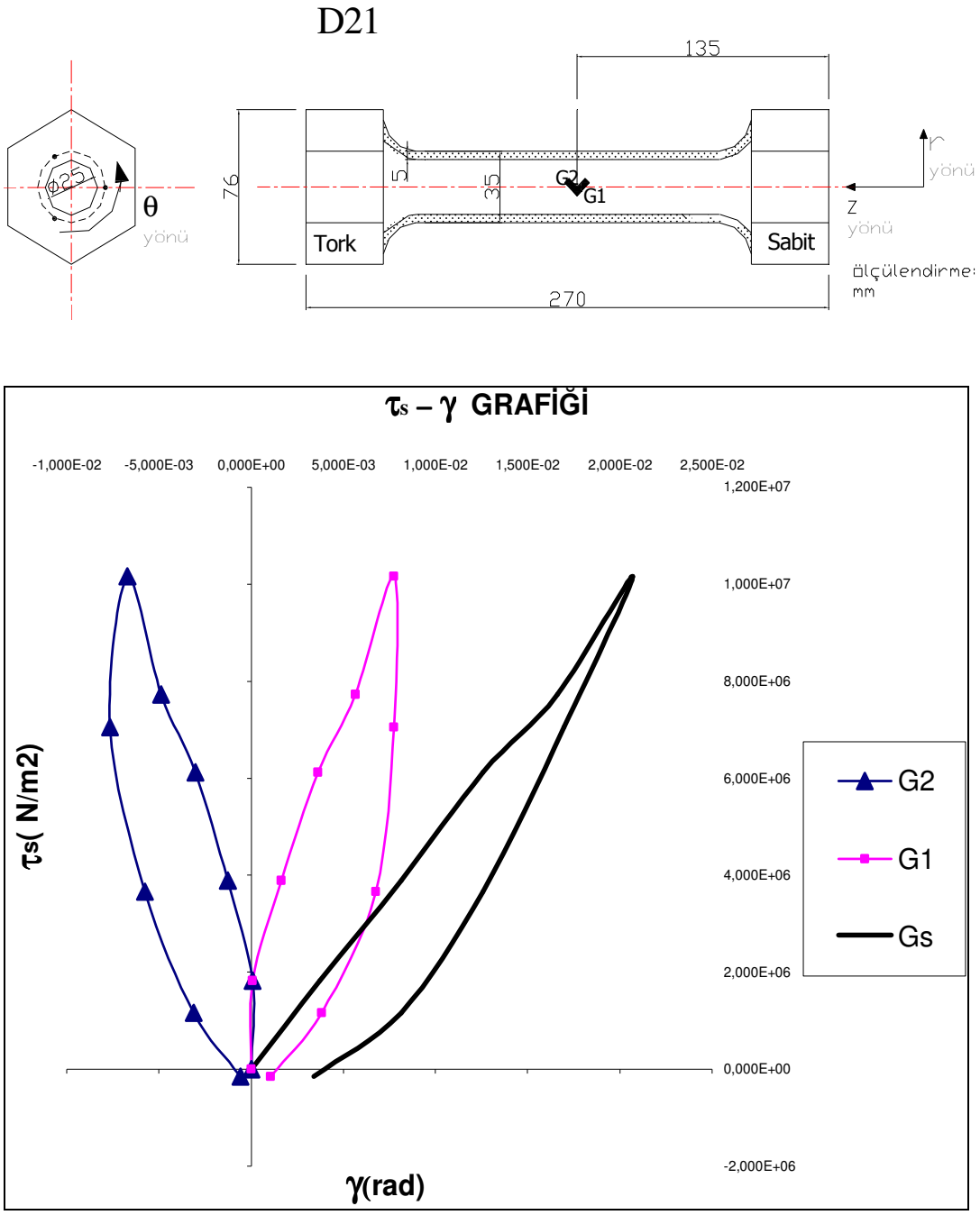


Şekil 5.15. D-15 numaralı deneyde bir geyçli içi dolu büyük çam numunesinin teknik resmi ve birinci geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad)

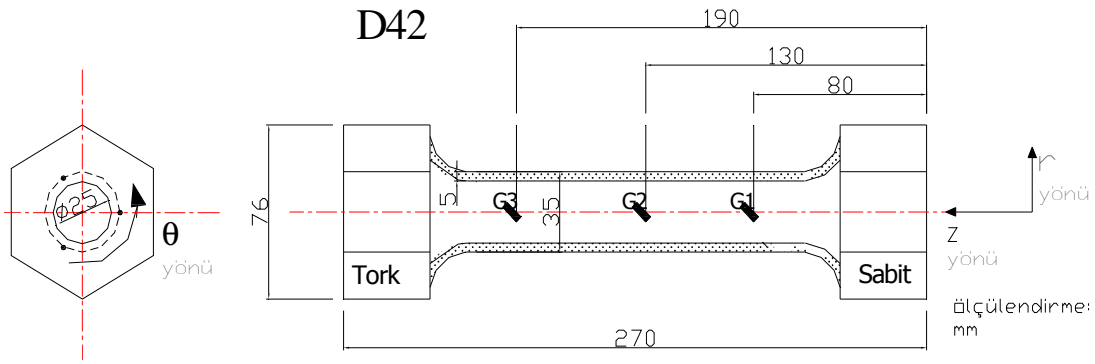


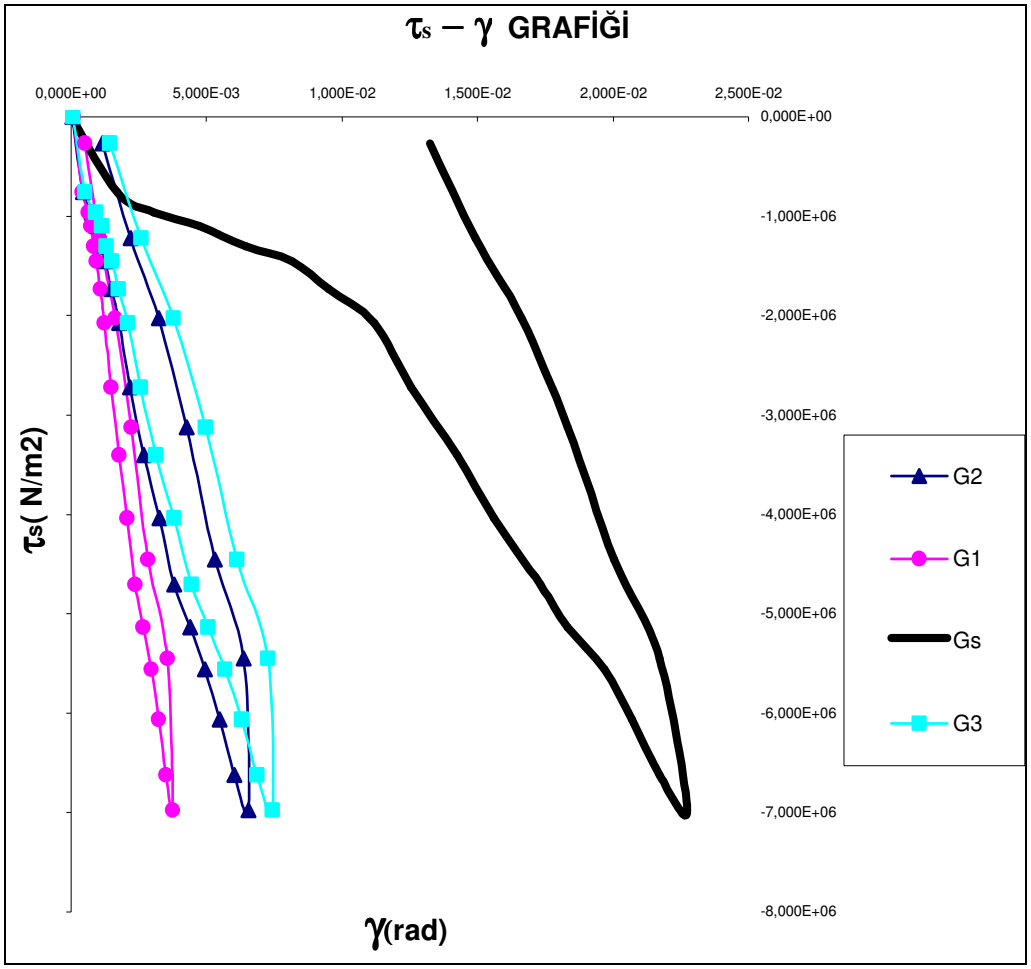


Şekil 5.16. D-20 numaralı deneyde üç geyçli içi boş büyük çam numunesinin teknik resmi ve birinci - ikinci -üçüncü geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri

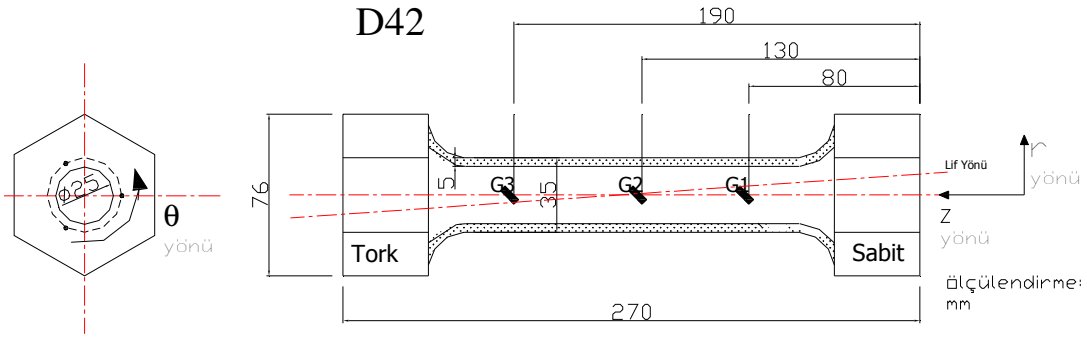


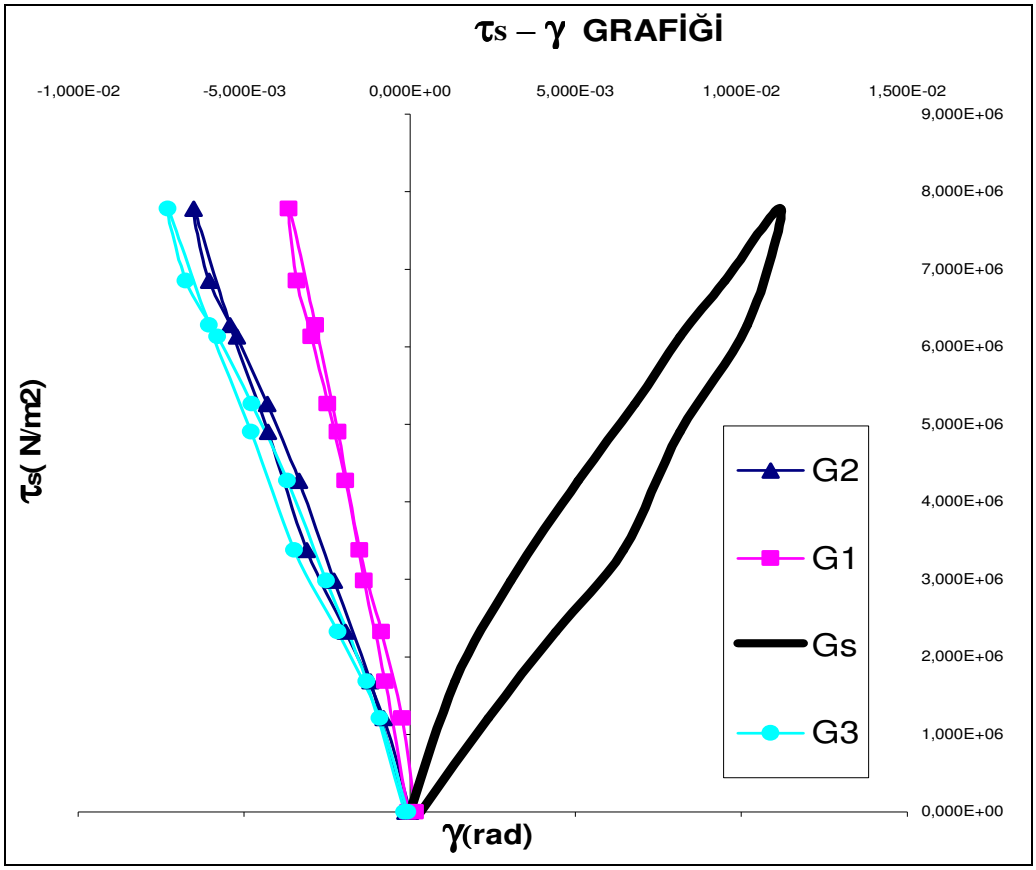
Şekil 5.17. D-21 numaralı deneyde iki geyçli içi boş büyük kestane numunesinin teknik resmi ve birinci - ikinci geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri





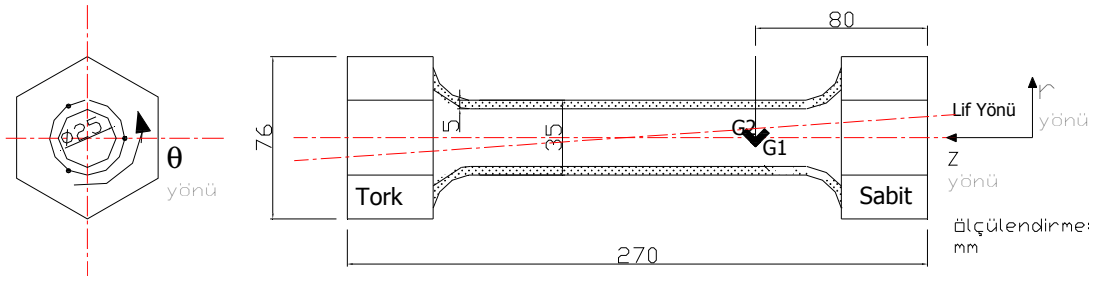
Şekil 5.18. D-42 numaralı deneyde lif yönünde yükleme yapılan iki geyçli içi boş büyük çam numunesinin teknik resmi ile birinci, ikinci ve üçüncü geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri

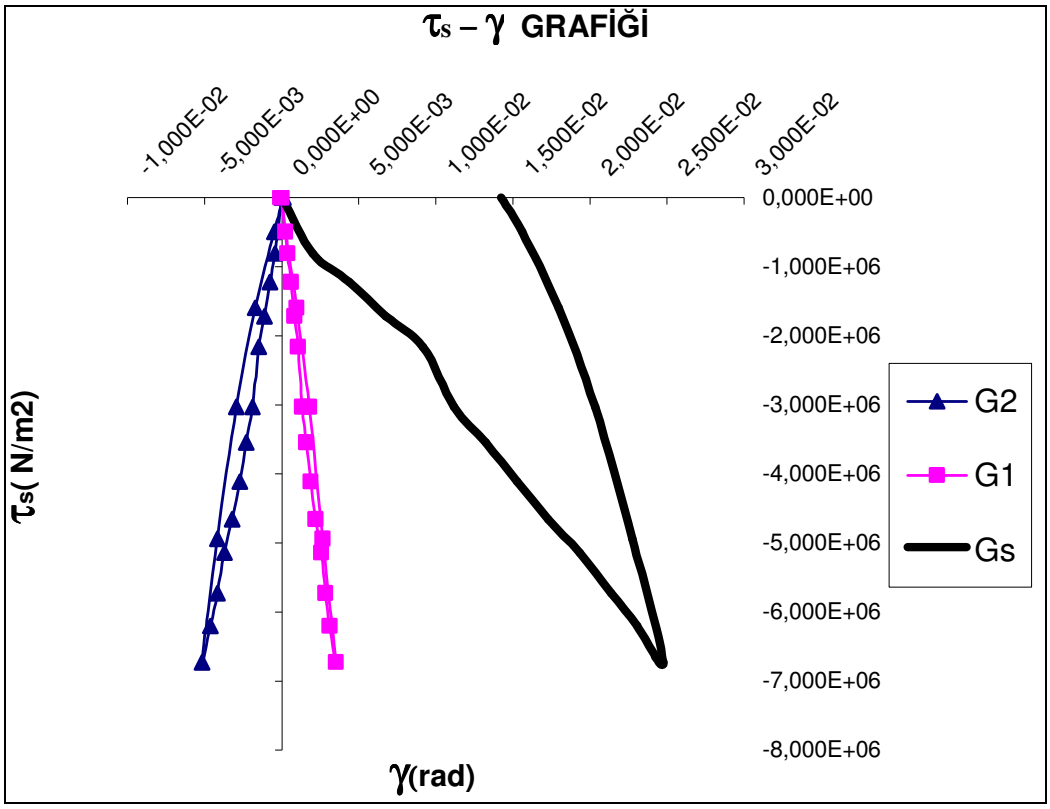




Şekil 5.19. D-42 numaralı deneyde lif yönünün tersine yükleme yapılan iki geyçli içi boş büyük çam numunesinin teknik resmi ile birinci, ikinci ve üçüncü geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri

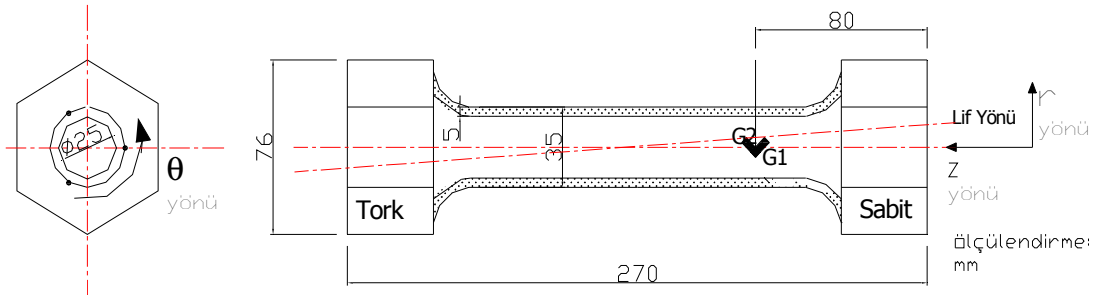
D43

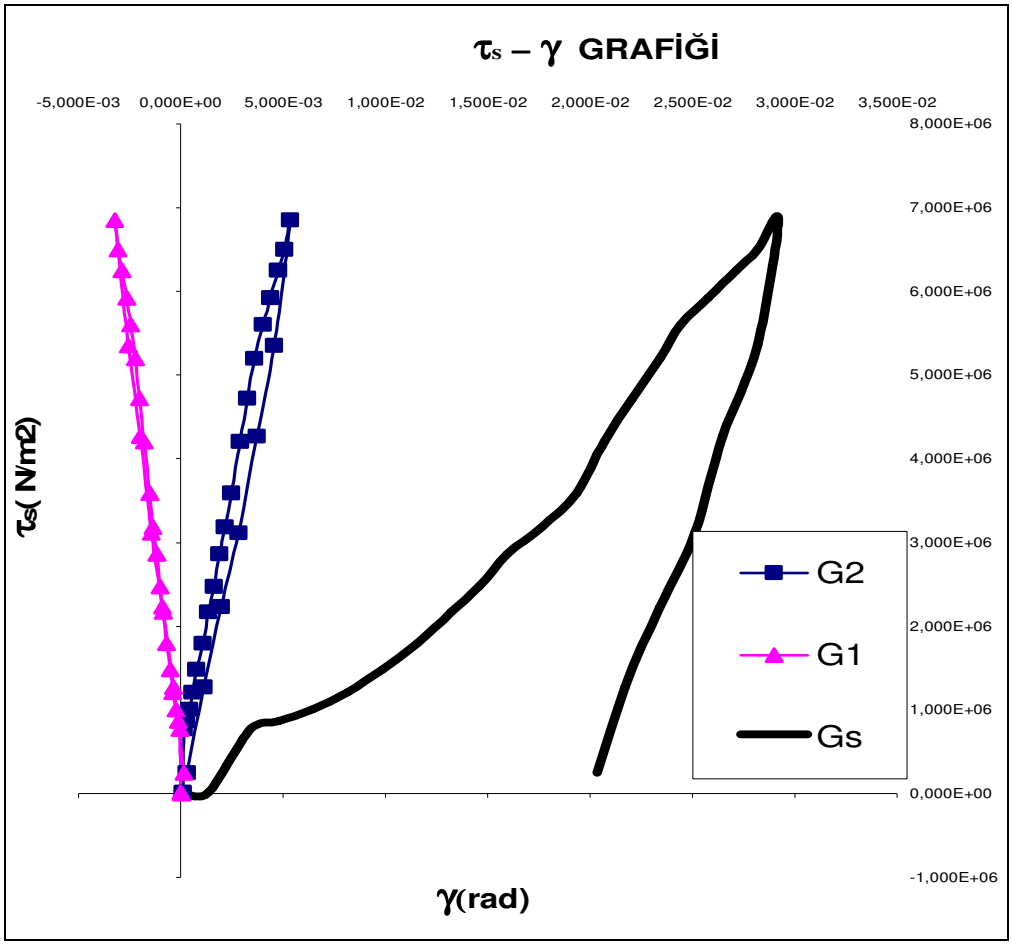




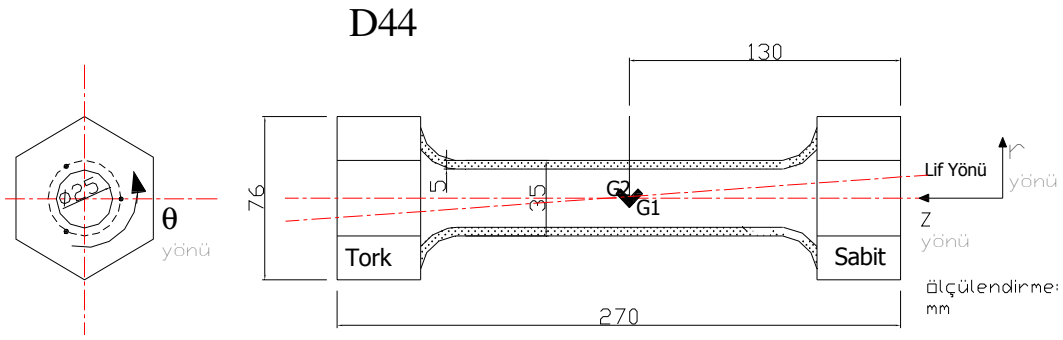
Şekil 5.20. 43 numaralı deneyde lif yönünde yükleme yapılan iki geyçli içi boş büyük çam numunesinin teknik resmi ile birinci ve ikinci geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri

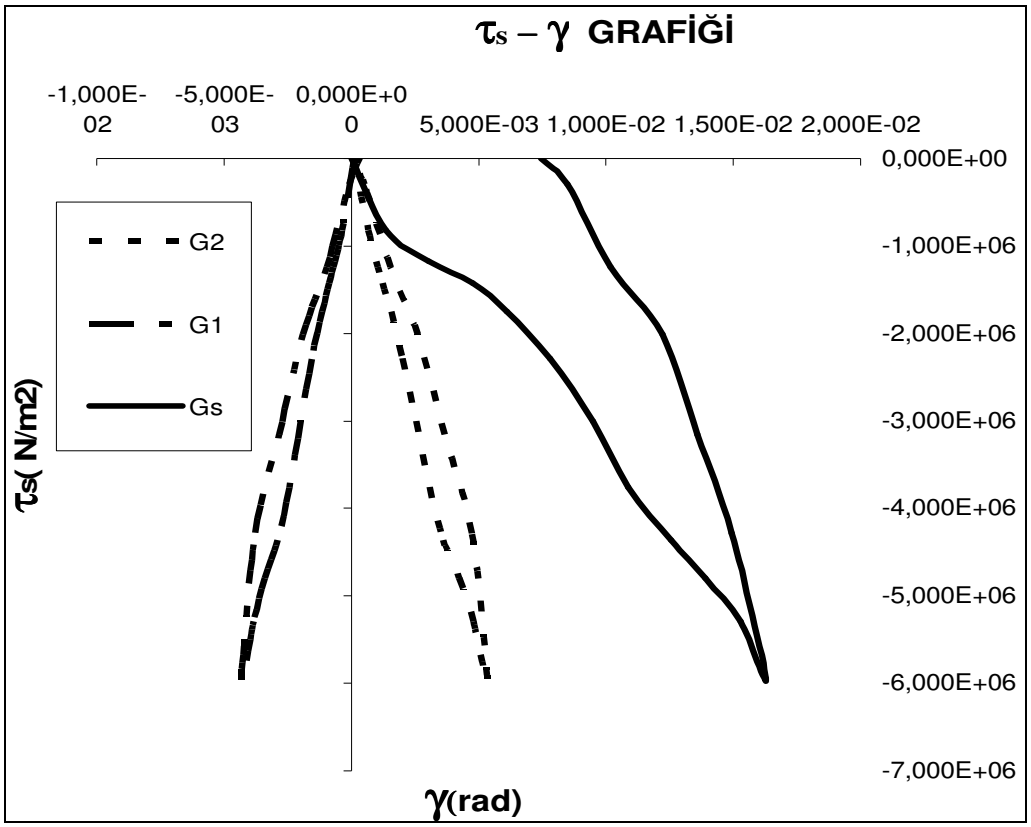
D43



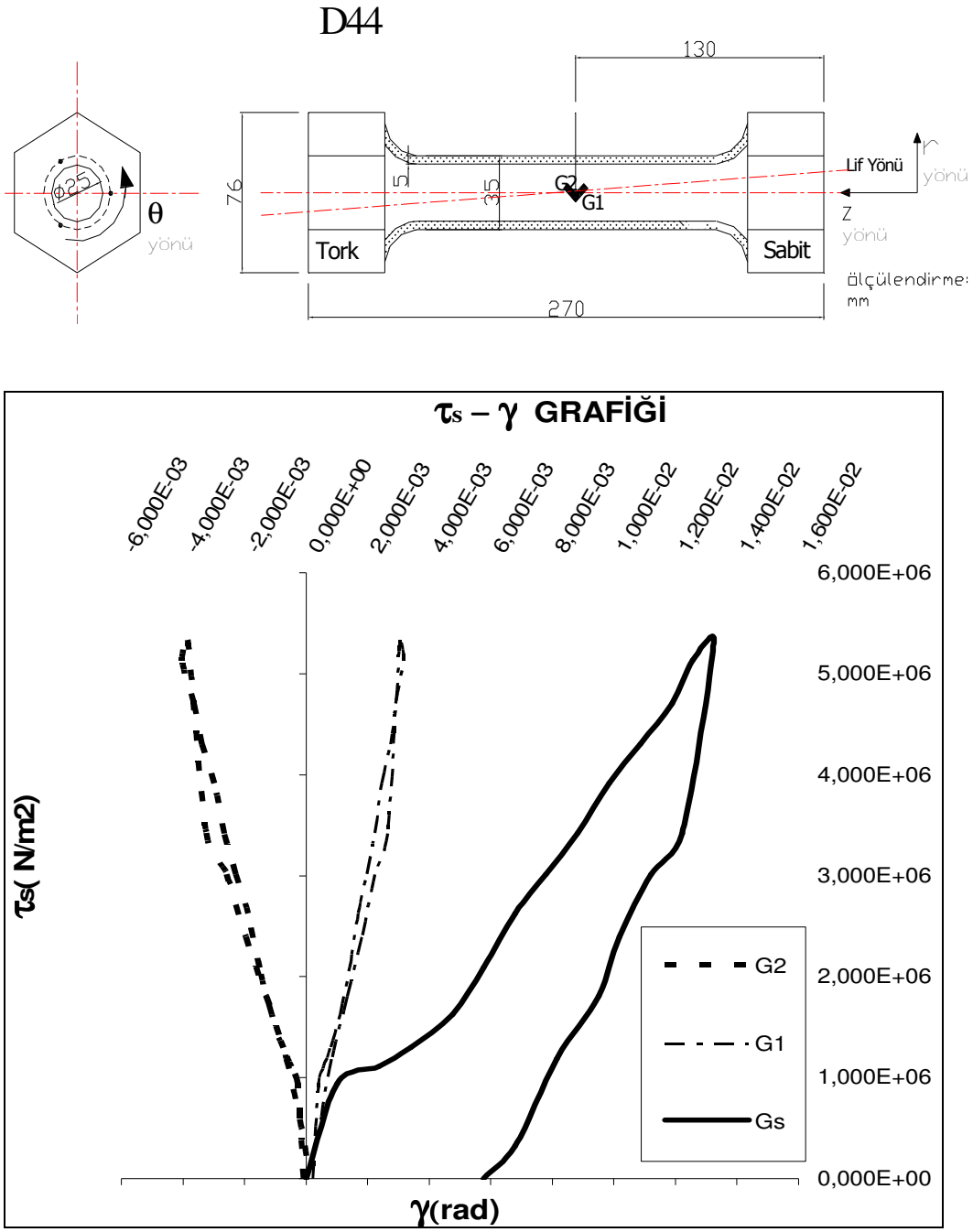


Şekil 5.21. D-43 numaralı deneyde lif yönünün tersine yükleme yapılan iki geyçli içi boş büyük çam numunesinin teknik resmi ile birinci ve ikinci geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri

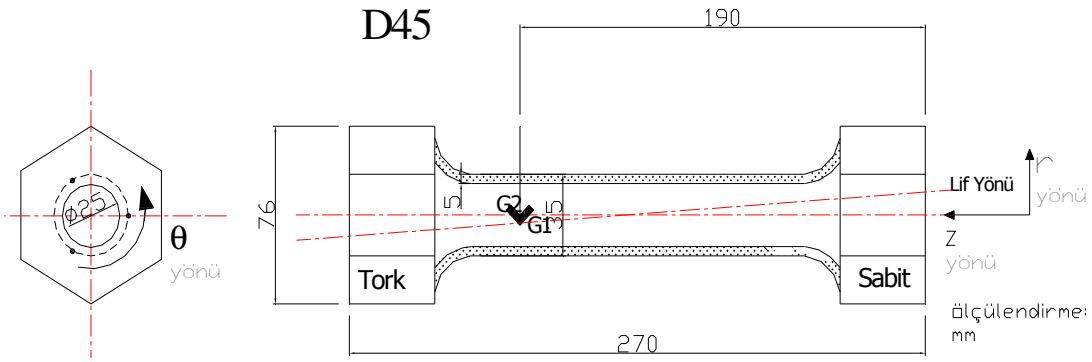


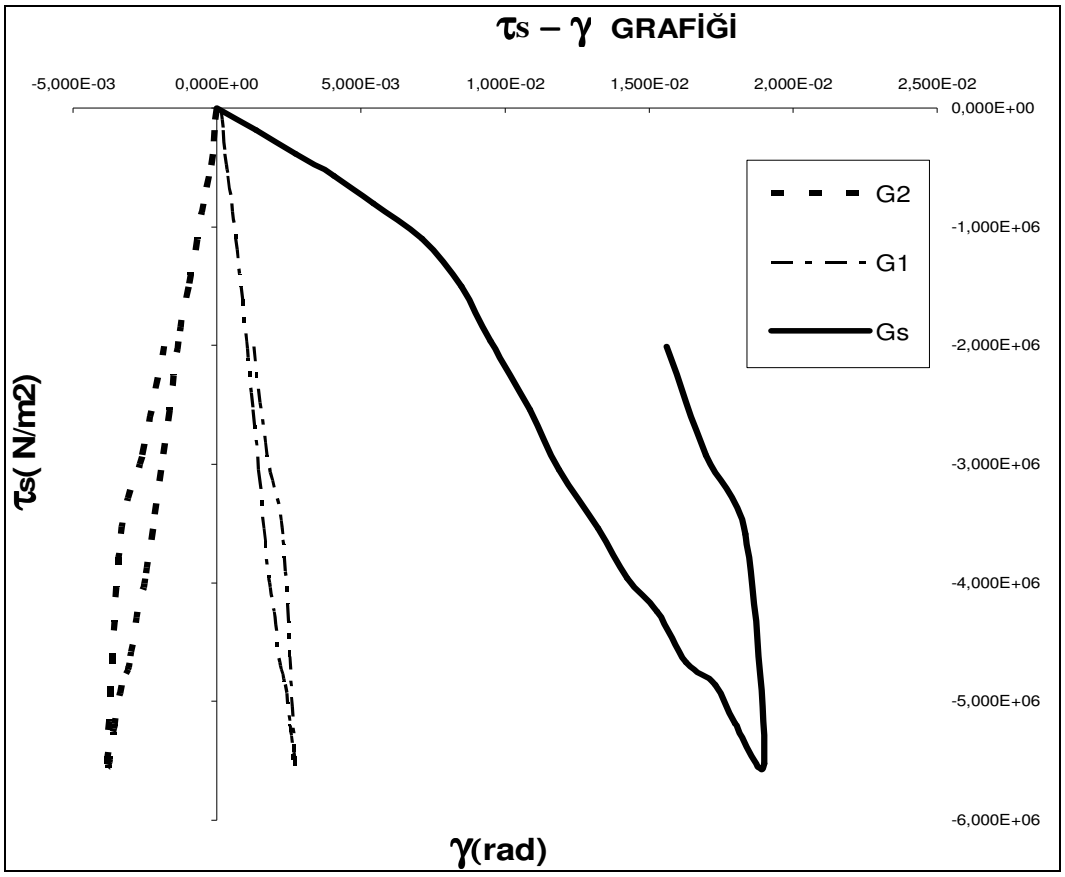


Şekil 5.22. D-44 numaralı deneyde lif yönünde yükleme yapılan iki geyçli içi boş büyük çam numunesinin teknik resmi ile birinci ve ikinci geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri

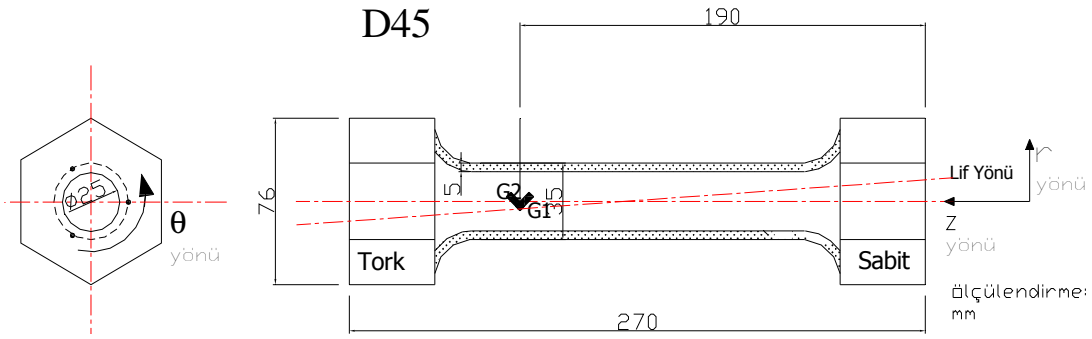


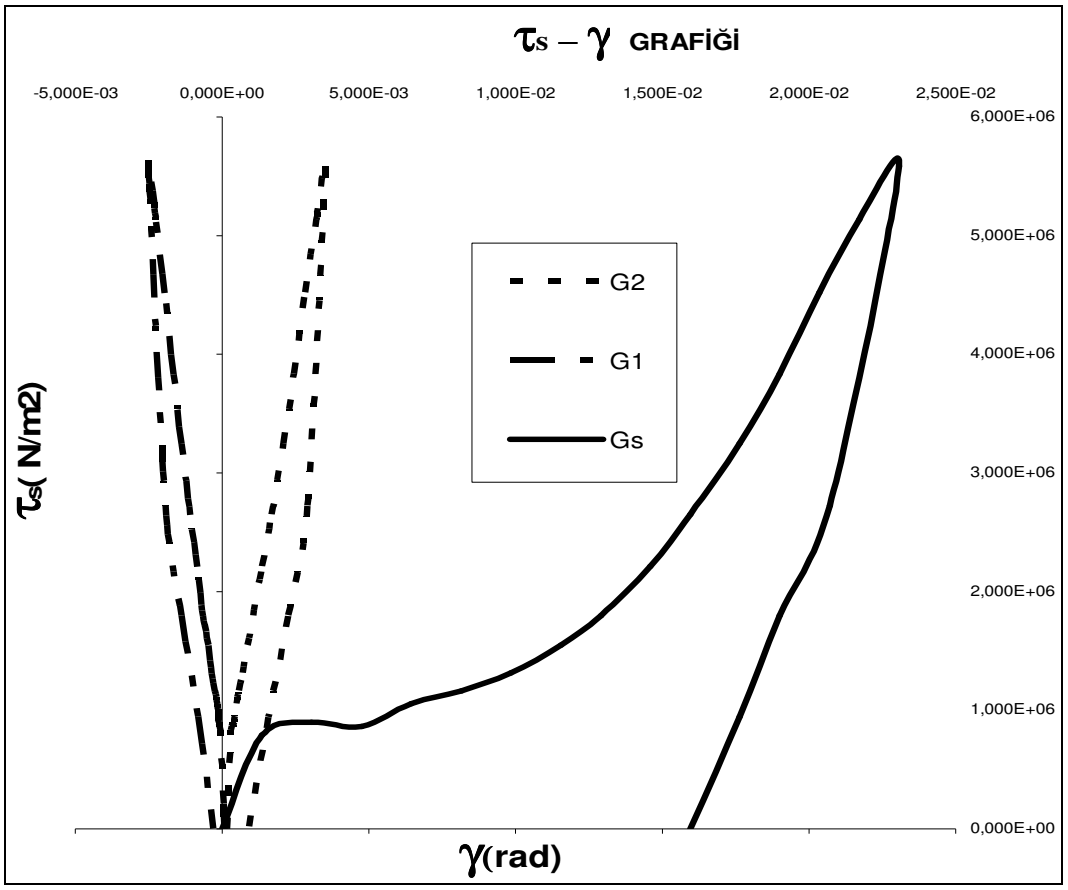
Şekil 5.23. D-44 numaralı deneyde lif yönünün tersine yükleme yapılan iki geyçli içi boş büyük çam numunesinin teknik resmi ile birinci ve ikinci geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri





Şekil 5.24. D-45 numaralı deneyde lif yönünde yükleme yapılan iki geyçli içi boş büyük çam numunesinin teknik resmi ile birinci ve ikinci geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri





Şekil 5.25. D-45 numaralı deneyde lif yönünün tersine yükleme yapılan iki geyçli içi boş büyük çam numunesinin teknik resmi ile birinci ve ikinci geycinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri

5.4. Deneyler Sonucu Elde Edilen Verilere Bağlı Kayma Modülü Değerleri

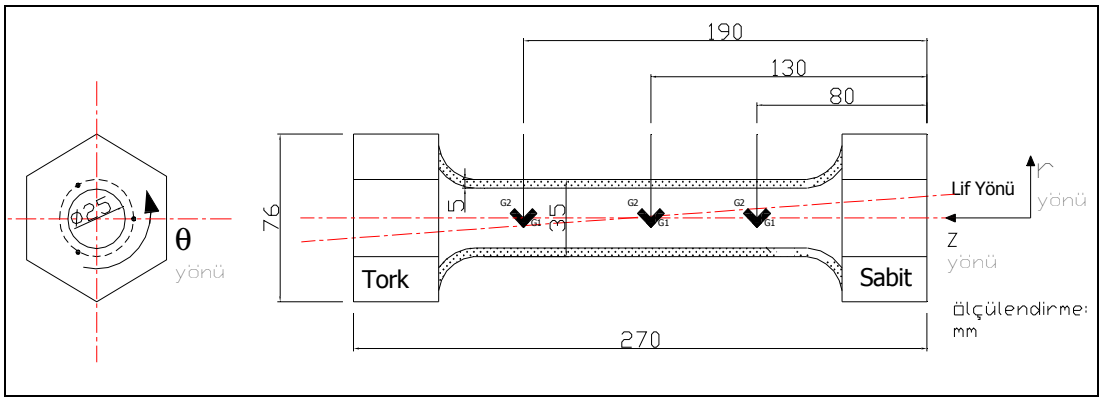
Çizelge 5.1. İçi dolu büyük meşe numunelerine ait deneyler sonucu elde edilen kayma modülü değerleri

DENEY NO	MBD	G_S (ortalama kayma modülü)(Pa)
D52	MBD-1	4,73E+08
D53	MBD-2	4,27E+08
D54	MBD-3	2,91E+08

Çizelge 5.2. Geyçli ve geyçsiz içi boş büyük çam numunelerine ait deneyler sonucu elde edilen kayma modülü değerleri

DENEY NO	ÇBB	G_S (ortalama kayma modülü)	G_{1G} (Kayma mod. geyç1)	G_{2G} (Kayma mod. geyç2)	G_{3G} (Kayma mod. geyç3)
D11	ÇBB-1	1,68E+08			
D12	ÇBB-2	1,91E+08			
D13	ÇBB-3	1,42E+08			
D14	ÇBB-4-2G	2,25E+08	6,78E+08	6,93E+08	
D20	ÇBB-5-3G	3,17E+08	3,39E+08	6,13E+08	
D32	ÇBB-6	3,49E+08			
D33	ÇBB-7	4,64E+08			
D34	ÇBB-8	2,70E+08			
D35	ÇBB-9	3,25E+08			
D36	ÇBB-10	3,43E+08			
D37	ÇBB-11	4,05E+08			
D38	ÇBB-12	3,79E+08			
D39	ÇBB-13	3,21E+08			
D42-F	ÇBB-14-6G	2,71E+08	5,94E+08	5,37E+08	6,68E+08
D42-R	ÇBB-14-6G	6,92E+08	6,30E+08	6,19E+08	7,87E+08
D43-F	ÇBB-14-6G	2,25E+08	6,51E+08	3,71E+08	
D43-R	ÇBB-14-6G	2,36E+08	6,38E+08	3,44E+08	

D44-F	ÇBB-14-6G	3,38E+08	6,79E+08	6,14E+08	
D44-R	ÇBB-14-6G	3,77E+08	7,96E+08	6,35E+08	
D45-F	ÇBB-14-6G	3,03E+08	1,64E+09	1,14E+09	
D45-R	ÇBB-14-6G	2,01E+08	1,45E+09	1,14E+09	
D65	ÇBB-15-3G	4,84E+08	5,57E+09	1,94E+09	2,79E+09
D71	ÇBB-15	5,17E+08			



Şekil 5.26. 42, 43, 44, 45 numaralı deneylerde kullanılan 6 geyçli, içi boş büyük çam numunesi ve yatay eksenle 45°'lik açı yapan 6 adet geycin konumları

Çizelge 5.3. Geyçli ve geyçsiz içi dolu büyük çam numunelerine ait deneyler sonucu elde edilen kayma modülleri

DENEY NO	**ÇBD**	**G_S**(ortalama kayma modülü) (Pa)	**G_{1G}**(Kayma modülü geyç1)
D15	ÇBD-1-1G	2,84E+08	6,05E+08
D22	ÇBD-2	2,88E+08	
D23	ÇBD-3	3,24E+08	
D24	ÇBD-4	2,59E+08	
D25	ÇBD-5	2,84E+08	
D26	ÇBD-6	2,48E+08	
D40	ÇBD-7	2,99E+08	
D41	ÇBD-8	3,44E+08	
D67	ÇBD-9	3,07E+08	

Çizelge 5.4. İçi boş büyük gürgen numunelerine ait deneyler sonucu elde edilen kayma modülleri

DENEY NO	GBB	G_S (ortalama kayma modülü) (Pa)
D46	GBB-1	4,57E+08
D47	GBB-2	4,64E+08
D48	GBB-3	3,97E+08
D66-lif yönü	GBB-4-5G	5,39E+08
D66-lif yönü tersi	GBB-4-5G	6,88E+08

Çizelge 5.5. İçi dolu büyük gürgen numunelerine ait deneyler sonucu elde edilen kayma modülleri

DENEY NO	GBD	G_S (ortalama kayma modülü) (Pa)
D49	GBD-1	3,87E+08
D50	GBD-2	4,25E+08
D51	GBD-3	3,92E+08

Çizelge 5.6. Geyçli ve geyçsiz içi boş büyük kestane numunelerine ait deneyler sonucu elde edilen kayma modülleri

DENEY NO	KBB	G_S (ortalama kayma modülü)	G_{1G} (Kayma mod. geyç1)	G_{2G} (Kayma mod. geyç2)
D10	KBB-1	2,10E+08		
D21	KBB-2-2G	4,69E+08	4,47E+08	4,98E+08
D27	KBB-3	4,53E+08		
D28	KBB-4	4,05E+08		
D29	KBB-5	3,80E+08		
D30	KBB-6	3,92E+08		

DENEY NO	KBB	G_S (ortalama kayma modülü)	G_{1G} (Kayma mod. geyç1)	G_{2G} (Kayma mod. geyç2)
D31	KBB-7	3,96E+08		
D70	KBB-8	5,26E+08		
D72	KBB-9	4,42E+08		
D72	KBB-10	4,42E+08		

Çizelge 5.7. Geyçli içi dolu küçük demir numunelerine ait deneyler sonucu elde edilen kayma modülleri

DENEY NO	DKD	G_S (ortalama kayma modülü) (Pa)	G_{1G} (Kayma mod. geyç1)
D1	DKD-1-1G	-1,5671E+10	-1,57E+10
D2	DKD-2-1G	-1,5200E+10	-1,52E+10
D3	DKD-3-1G	-1,57E+10	-1,57E+10

Çizelge 5.8. İçi dolu büyük kestane numunelerine ait deneyler sonucu elde edilen kayma modülleri

DENEY NO	KBD	G_S(ortalama kayma mod.)
D61	KBD-1	3,07E+08
D62	KBD-2	4,05E+08
D63	KBD-3	3,10E+08
D64	KBD-4	3,59E+08

Çizelge 5.9. İçi boş büyük meşe numunelerine ait deneyler sonucu elde edilen kayma modülleri

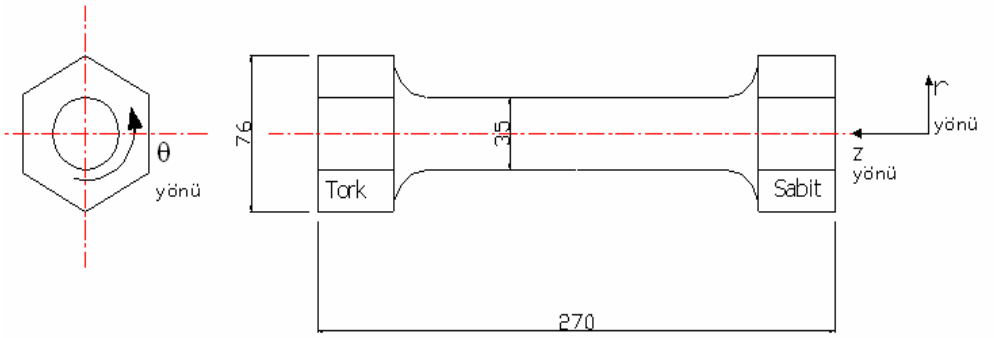
DENEY NO	**MBB**	**G_S** (ortalama kayma mod.)
D55	MBB-1	3,24E+08
D56	MBB-2	3,55E+08
D57	MBB-3	4,01E+08
D58	MBB-4	4,26E+08
D59	MBB-5	4,04E+08
D60	MBB-6	2,73E+08

Çizelge 5.10. İçi dolu büyük kestane numunelerine ait (lif yönünün tersine yükleme yapılmış) deneyler sonucu elde edilen kayma modülleri

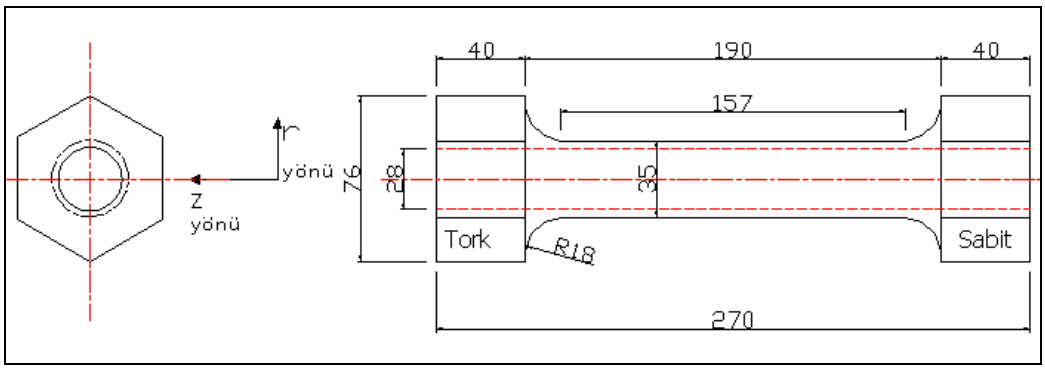
DENEY NO	**KBD**	**G_S** (ortalama kayma mod.)
D61	KBD-1	2,83E+08
D63	KBD-3	3,28E+08
D64	KBD-4	3,90E+08

6. KESTANE, GÜRGEN ve ÇAM NUMUNELERİ ÜZERİNE LİF YÖNÜ DOĞRULTUSUNDA YAPILAN ÖLÇÜMLERE GÖRE r - θ - z YÖNLERİNE BAĞLI KAYMA MODÜLLERİ

Beşinci bölümde de bahsedildiği üzere tez çalışmasının ikinci bölümünde tamamen geyç'li numuneleri inceleyeceğiz. Bu grup deneylerde içleri boş olan deney numuneleri kullanılacaktır. Malzeme cinsleri yine çam, meşe, gürgen ve kestane olacaktır. Elde edilen sonuçlar üç bölüm altında incelenecektir. Bunlar malzemenin gövde boyunca göstereceği davranış (z yönü), içten dışarıya doğru göstereceği davranış (r yönü) ve son olarak gövde çapı üzerinde polar olarak göstereceği davranıştır (θ yönü). Deney sonucu grafiklerini bu başlıklar altında inceleyeceğiz. Şekil 6.1'de geyçlerin bağlanması esnasında esas alınan yönler ve incelemenin yapılacağı yönler detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 6.1. Deney numunesi üzerinde yönlerin gösterimi



Şekil 6.2. Çam, kayın, gürgen ve kestaneden yapılmış, burulma deneyi numunesi teknik resmi

Çizelge 6.1. İçi boş büyük burulma numunelerine ait deneyler sonucunda eld edilen kayma modülü değerleri

DEN EY NO	**G_S** (ortalama kayma modülü)	**G_{1G}** (Kayma mod. geyç1)	**G_{2G}** (Kayma mod. geyç2)	**G_{3G}** (Kayma mod. geyç3)	**G_{4G}** (Kayma mod. Geyç4)	**G_{5G}** (Kayma mod. Geyç5)	**G_{6G}** (Kayma mod. Geyç6)	**G_{7G}** (Kayma mod. Geyç7)
AD1-a-KBB-4G	4,84E+08	5,57E+08	1,94E+08	2,79E+08				
AD2-a-GBB-5G	5,39E+08	5,43E+08	2,08E+09	3,40E+09	4,71E+09	3,24E+09		
AD3-a-KBB-6G	4,50E+08	3,04E+10	2,20E+10	4,56E+09	8,32E+09	5,65E+09	5,65E+09	
AD3-b-KBB-6G	2,17E+08	1,57E+09	1,21E+09	9,30E+08	1,49E+09	6,71E+09	1,44E+09	
AD3-c-KBB-7G	5,98E+08	1,27E+10	2,23E+10	3,62E+09	3,78E+10	1,09E+10	5,36E+09	7,49E+10
AD3-d-KBB-7G	4,62E+08	6,66E+08	1,65E+09	8,74E+08	5,77E+09	8,57E+09	5,63E+09	1,40E+10
AD3-e-KBB-7G	4,62E+08	8,69E+08	7,40E+07	7,67E+08	1,37E+09	5,95E+09	2,26E+10	1,84E+10
AD4-a-ÇBB	4,04E+08	3,46E+09	9,03E+09	8,33E+09	5,36E+08	1,05E+09	3,42E+10	

Deneyler esnasında kullanılan veri toplama cihazının doğruluğu kontrol edilmek zorundadır. Biz bu işlemi ALMEMO 2590-9 cihazı adı verilen bir başka veri toplama cihazı ile yaptık. Bu doğrulama işlemi sırasında AD3-d-KBB-7G deney numaralı numune tekrar burulmuştur. Numune üzerinde bulunan geyçlerin bağlantısı bu sefer ALMEMO 2590-9 adı verilen veri toplama cihazına bağlanarak deney sonuçları bu cihaz üzerinde toplanmıştır. Cihazın kullanımı sırasında bilgisayara gerek yoktur. Üzerinde bulunan lcd ekran sayesinde menüleri kullanarak yönlendirmeler yapılabilmektedir. Deney AD3-e-KBB-7G, karşılaştırma amacı ile yapılmış bir burulma deneyidir. Elde edilen voltaj farkları formülasyonlarda yerlerine kondu ve sonuçları karşılaştırıldı. Deney sonuçları karşılaştırması çizelge 6.2'de verilmiştir. Sonuç çizelgesine baktığımızda kullanmış olduğumuz veri toplama cihazının ve yazılımın doğruluğu görülmüş oldu. Buna sonuca bağlı olarak AD4-a-ÇBB-6G nolu deney ALMEMO 2590-9 cihazı ile yapılarak elde edilen değerler hesaplamalarda esas alınmıştır.

Çizelge 6.2. TDG Veri Toplama cihazı ile ALMEMO 2590-9 cihazının aynı numune üzerinden elde ettiği değerlere bağlı kayma modülü değerleri

DENEY NO	**G_S** (ortalama kayma modülü)	**G_{1G}** (Kayma mod. geyç1)	**G_{2G}** (Kayma mod. geyç2)	**G_{3G}** (Kayma mod. geyç3)	**G_{4G}** (Kayma mod. Geyç4)	**G_{5G}** (Kayma mod. Geyç5)	**G_{6G}** (Kayma mod. Geyç6)	**G_{7G}** (Kayma mod. Geyç7)
AD3-d-KBB-7G	4,62E+08	6,66E+08	1,65E+09	8,74E+08	5,77E+09	8,57E+09	5,63E+09	1,40E+10
AD3-e-KBB-7G	4,62E+08	8,69E+08	7,40E+07	7,67E+08	1,37E+09	5,95E+09	2,26E+10	1,84E+10

Deney Numarası Kodlama Sistemi

AD1	a	KBB	4G
1	2	3	4

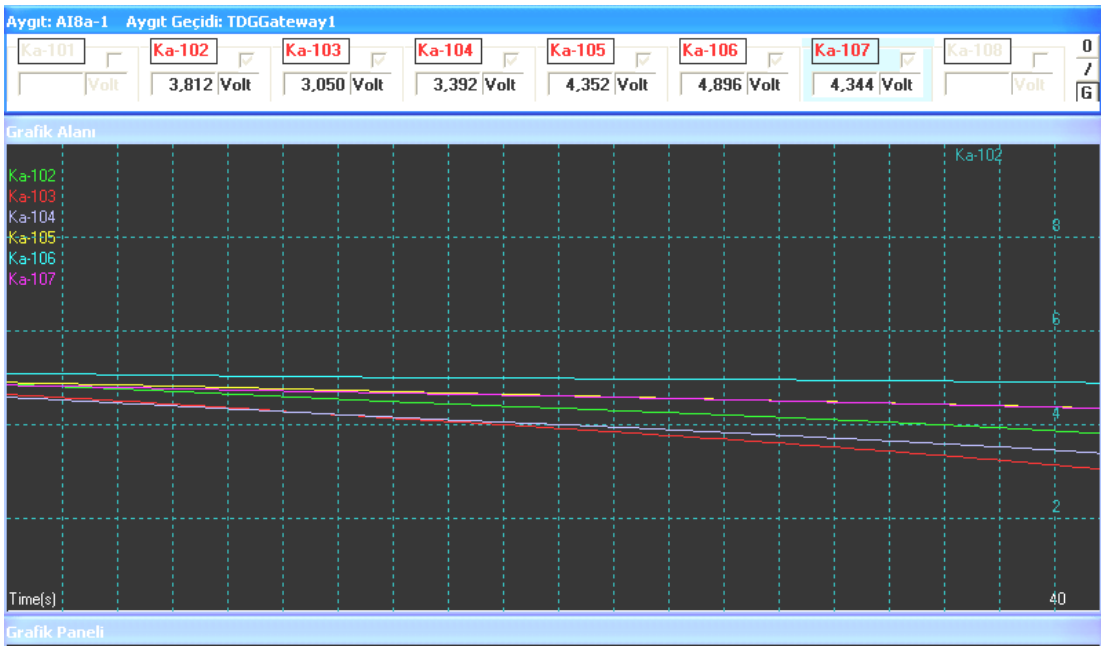
Yukarıda bölümlere ayrılarak belirtilmiş olan kodlama sisteminde;

1. Ağaç Deney Numunesinin kısa yazımı olan "AD" dir. Yanındaki rakam ise bu numunenin deneylerde hangi sırada olduğunu gösterir.

2. Bir deney numunesi ile birden fazla burulma deneyi yapıldığı için bu harf alfabetik olarak aynı deney numunesinden kaç kez deney yapıldığını gösterir.

3. Deneyde kullanılan ağaç numunenin geometrik özelliklerini ve cinsini belirten kodlamadır.

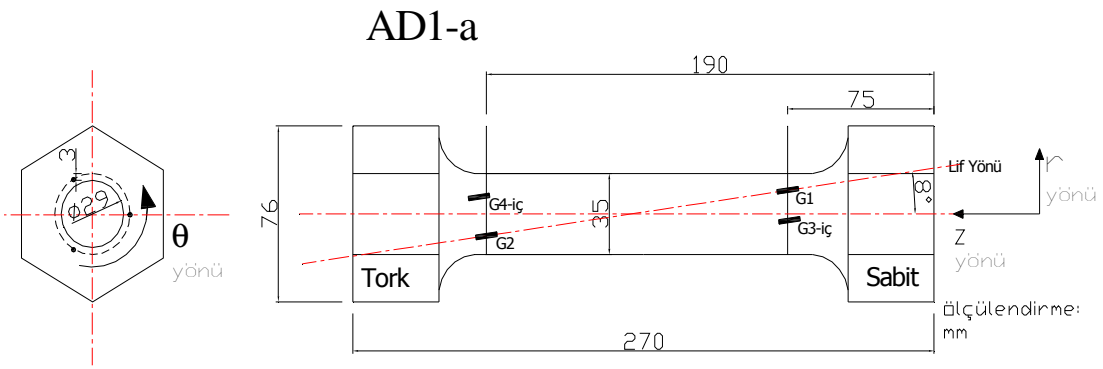
4. Burulma numunesi üzerinde kaç adet geycin bağlı olduğunu belirtir.

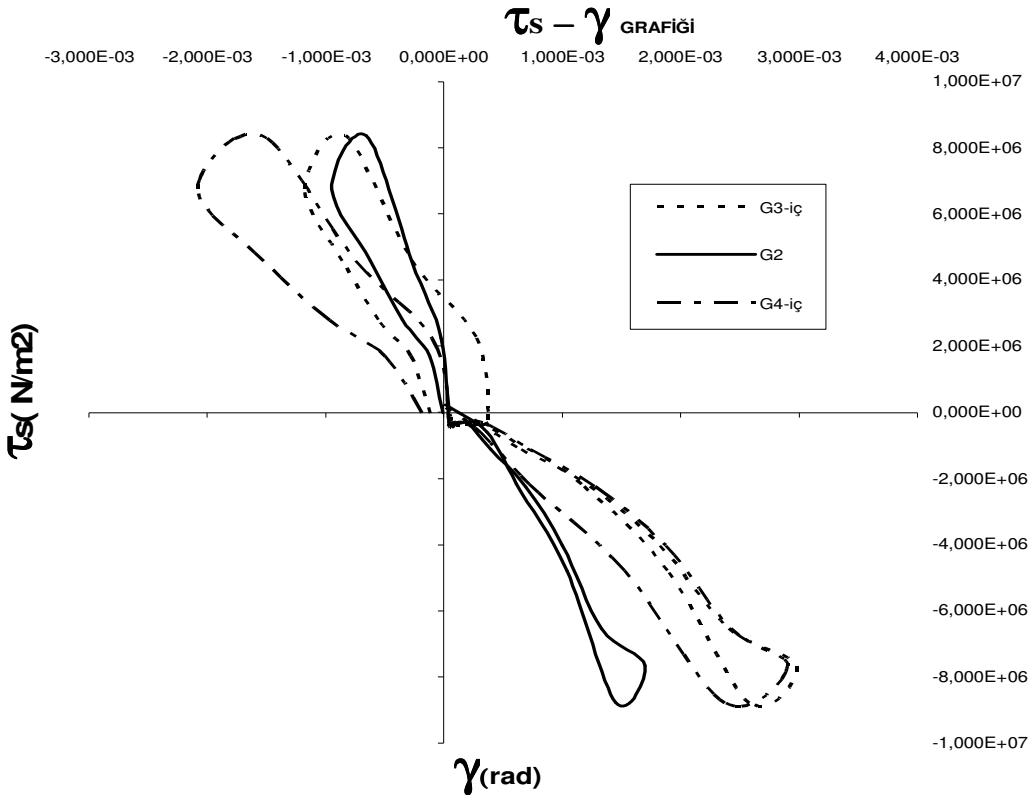


Şekil 6.3. Burulma deneyi sonuçlarının izlendiği TDG'ye ait yazılım grafiği

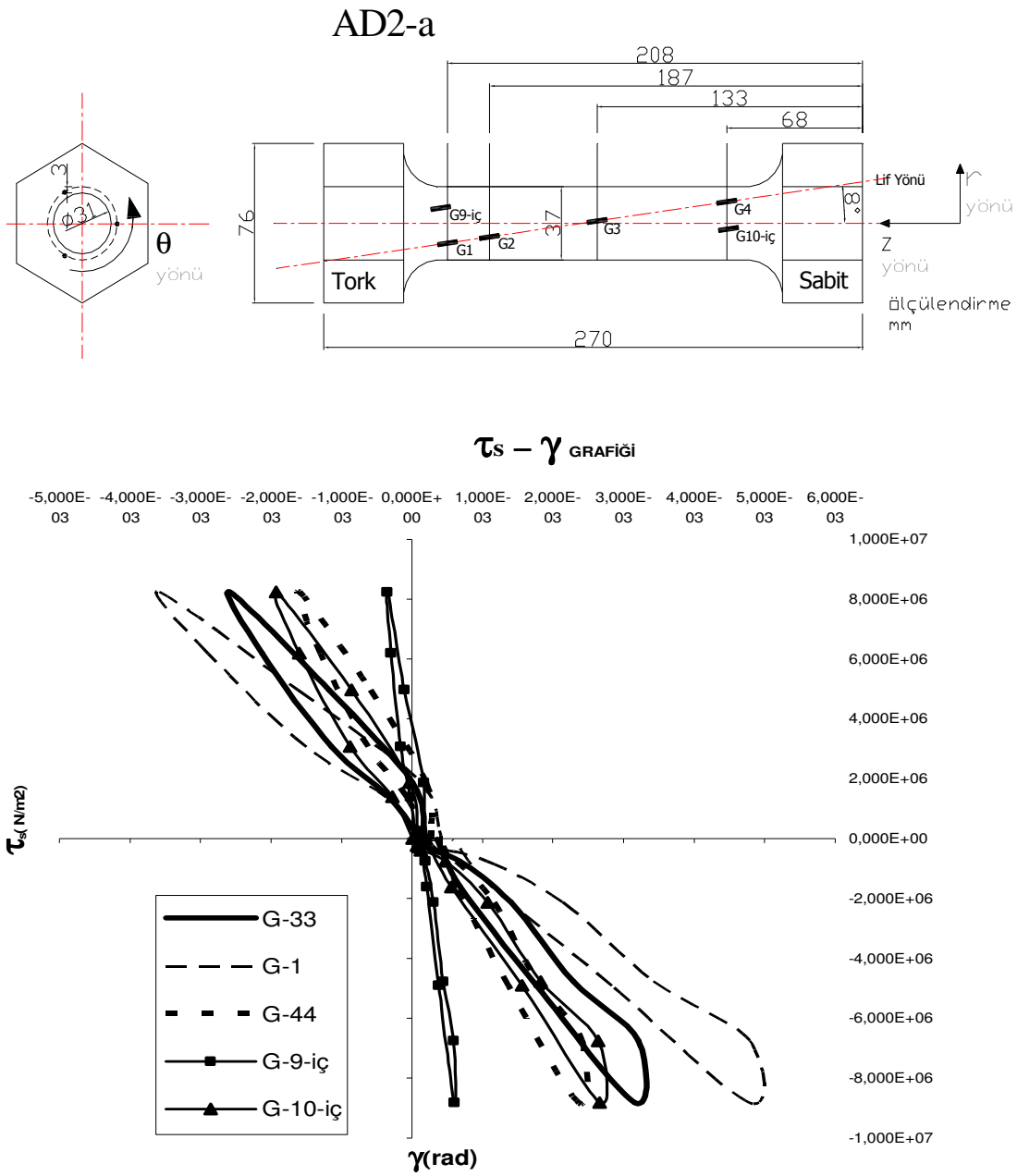
Çizelge 6.3. Burulma deneyi sonuçlarına göre Kayma Modülünün hesaplandığı Excel formülasyon çizelgesi örneği

TDG CODA Hızlı Veri Toplayıcı														
Çıktı Dosyası							mm	counter	belirsiz					
Deney Tarihi	18.05.2005						mm	set speed	3,8					
Aygıt Geçidi 1							mm4	kayıt aralığı	10	sn				
DENEY NO	D65-ÇBB-4G						mm	NEM	7%					
NUMUNE	AHŞAP	boş				29	mm	AÇI	10					
GAUGE ADEDİ	3													
cins	çam				değişebilen hücreler									
VERİ SAYIS			(rad)				S - Kayma gerl (N/M2)	(rad)				G1 - kayma gerl (N/M2)		(rad)
1	0	0	0,00E+00	0	0,00	0	0,000E+00	0,000E+00		4,99	0,006	0,0000E+00	-9,260E-06	0,00E+00
2	10	3	5,24E-02	10	7,60	7600	1,708E+06	3,394E-03		4,92	0,082	1,2017E+06	-1,265E-04	2,39E-03
3	20	6	1,05E-01	20	12,50	12500	2,809E+06	6,787E-03		4,77	0,228	1,9764E+06	-3,518E-04	4,78E-03
4	30	9	1,57E-01	30	20,40	20400	4,584E+06	1,018E-02		4,60	0,404	3,2255E+06	-6,233E-04	7,16E-03
5	41	12,3	2,15E-01	40	30,10	30100	6,763E+06	1,391E-02		4,38	0,617	4,7592E+06	-9,517E-04	9,79E-03
6	51	15,3	2,67E-01	50	37,20	37200	8,358E+06	1,731E-02		4,57	0,426	5,8818E+06	-6,572E-04	1,22E-02
7	42	12,6	2,20E-01	60	20,40	20400	4,584E+06	1,425E-02	-1,425E-02	4,82	0,177	3,2255E+06	-2,731E-04	1,00E-02
8	32	9,6	1,68E-01	70	10,00	10000	2,247E+06	1,086E-02		4,98	0,016	1,5811E+06	-2,469E-05	7,64E-03
9	21	6,3	1,10E-01	80	-0,20	-200	-4,494E+04	7,127E-03		5,02	-0,023	-3,1623E+04	3,550E-05	5,02E-03
10	10	3	5,24E-02	90	-1,40	-1400	-3,146E+05	3,394E-03		5,03	-0,028	-2,2136E+05	4,321E-05	2,39E-03
11	-1	-0,3	-5,24E-03	100	-1,60	-1600	-3,595E+05	-3,394E-04		5,05	-0,053	-2,5298E+05	8,180E-05	-2,39E-04
12	-12	-3,6	-6,28E-02	110	-1,60	-1600	-3,595E+05	-4,072E-03		5,06	-0,060	-2,5298E+05	9,260E-05	-2,87E-03
13	-23	-6,9	-1,20E-01	120	-2,00	-2000	-4,494E+05	-7,806E-03		5,05	-0,050	-3,1623E+05	7,717E-05	-5,49E-03
14	-34	-10,2	-1,78E-01	130	-1,50	-1500	-3,370E+05	-1,154E-02		5,05	-0,050	-2,3717E+05	7,717E-05	-8,12E-03
15	-46	-13,8	-2,41E-01	140	-1,50	-1500	-3,370E+05	-1,561E-02		5,13	-0,128	-2,3717E+05	1,976E-04	-1,10E-02
16	-56	-16,8	-2,93E-01	150	-5,00	-5000	-1,123E+06	-1,900E-02		5,26	-0,255	-7,9056E+05	3,936E-04	-1,34E-02
17	-67	-20,1	-3,51E-01	160	-10,00	-10000	-2,247E+06	-2,274E-02		5,45	-0,448	-1,5811E+06	6,916E-04	-1,60E-02
18	-77	-23,1	-4,03E-01	170	-17,90	-17900	-4,022E+06	-2,613E-02		5,65	-0,648	-2,8302E+06	1,001E-03	-1,84E-02
19	-88	-26,4	-4,61E-01	180	-29,10	-29100	-6,538E+06	-2,986E-02		5,86	-0,863	-4,6011E+06	1,333E-03	-2,10E-02
20	-98	-29,4	-5,13E-01	190	-34,10	-34100	-7,662E+06	-3,326E-02		6,10	-1,100	-5,3916E+06	1,699E-03	-2,34E-02
21	-107	-32,1	-5,60E-01	200	-39,10	-39100	-8,785E+06	-3,631E-02		5,94	-0,939	-6,1822E+06	1,450E-03	-2,56E-02
22	-98	-29,4	-5,13E-01	210	-21,30	-21300	-4,786E+06	-3,326E-02	3,326E-02	5,673	-0,673	-3,3678E+06	1,039E-03	-2,34E-02
23	-86	-25,8	-4,50E-01	220	-9,60	-9600	-2,157E+06	-2,919E-02		5,394	-0,394	-1,5179E+06	6,083E-04	-2,05E-02
24	-77	-23,1	-4,03E-01	230	-2,60	-2600	-5,842E+05	-2,613E-02		5,234	-0,234	-4,1109E+05	3,612E-04	-1,84E-02
25	-71	-21,3	-3,72E-01	240	1,00	1000	2,247E+05	-2,410E-02		5,010	-0,010	1,5811E+05	1,543E-05	-1,70E-02

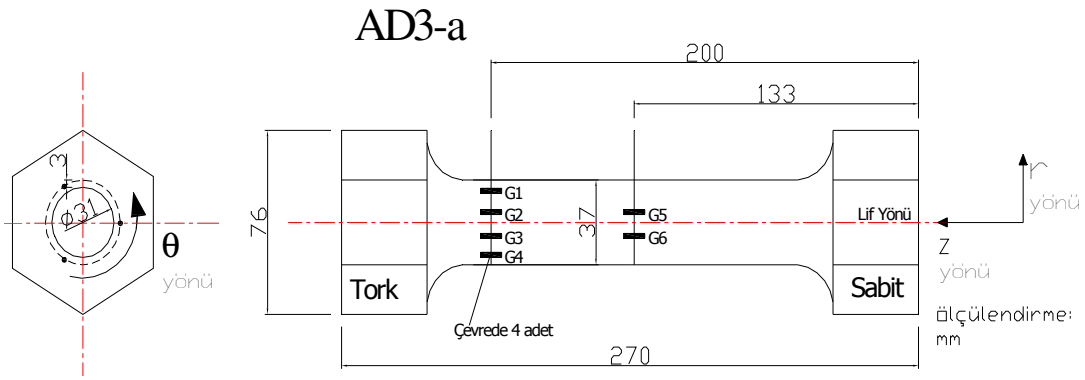


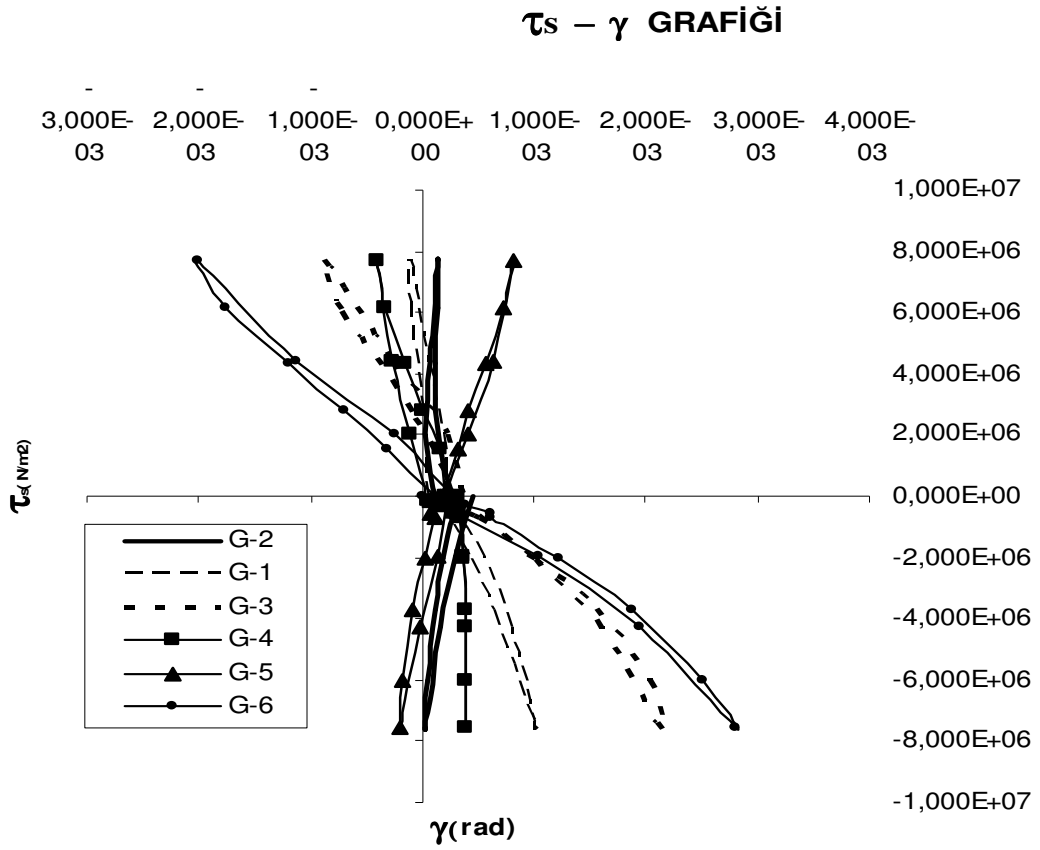


Şekil 6.4. AD1-a-KBB-4G numaralı deneye ait büyük boş kestane numunesinin teknik resmi ve geyçlerinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri

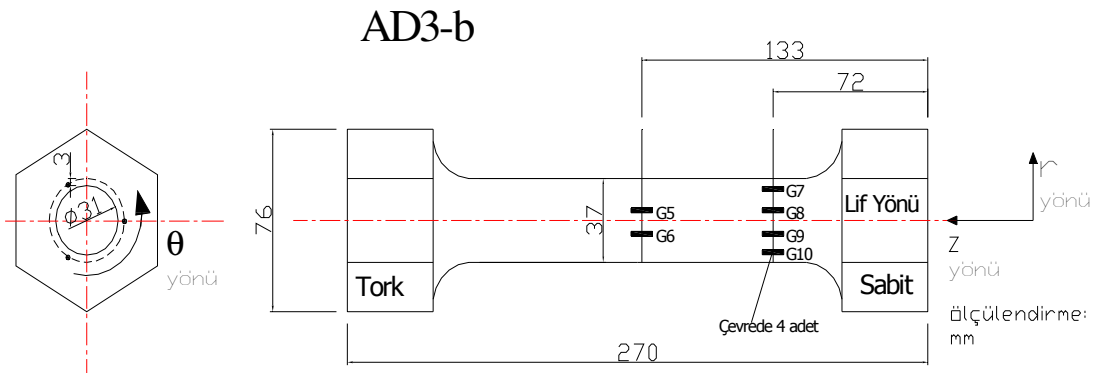


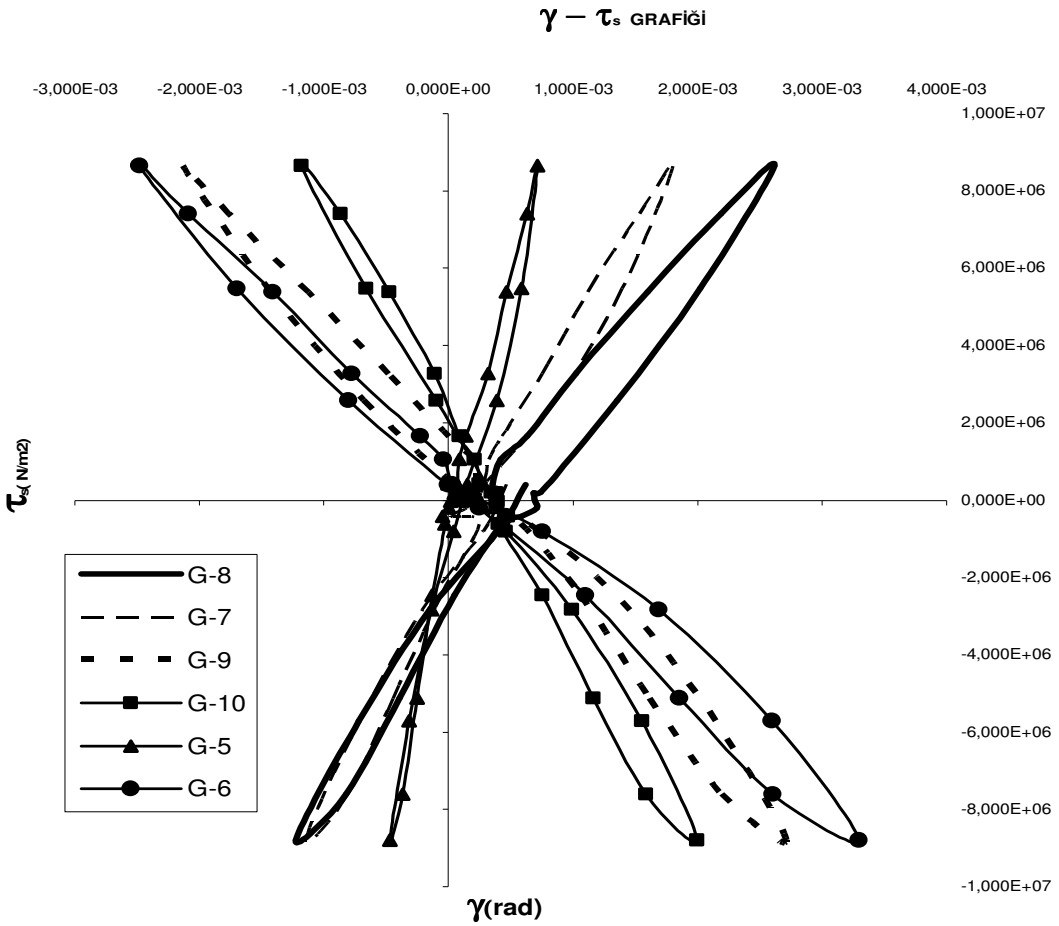
Şekil 6.5. AD2-a-GBB-5G numaralı deneye ait büyük boş gürgen numunesinin teknik resmi ve geyçlerinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad)grafikleri



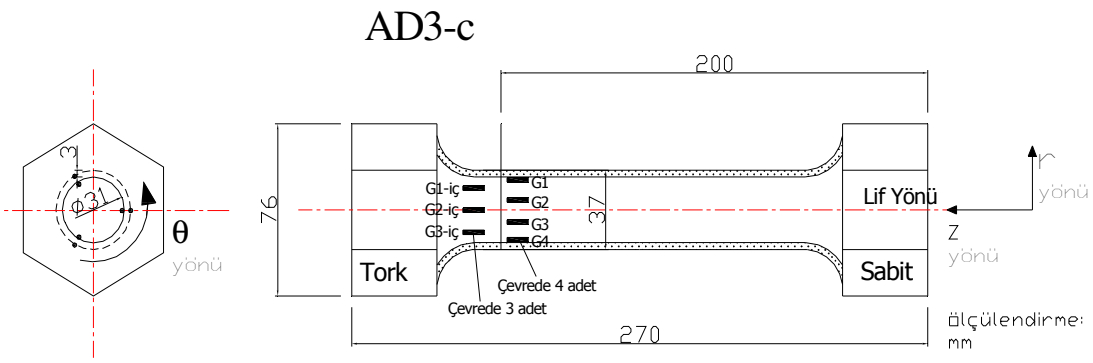


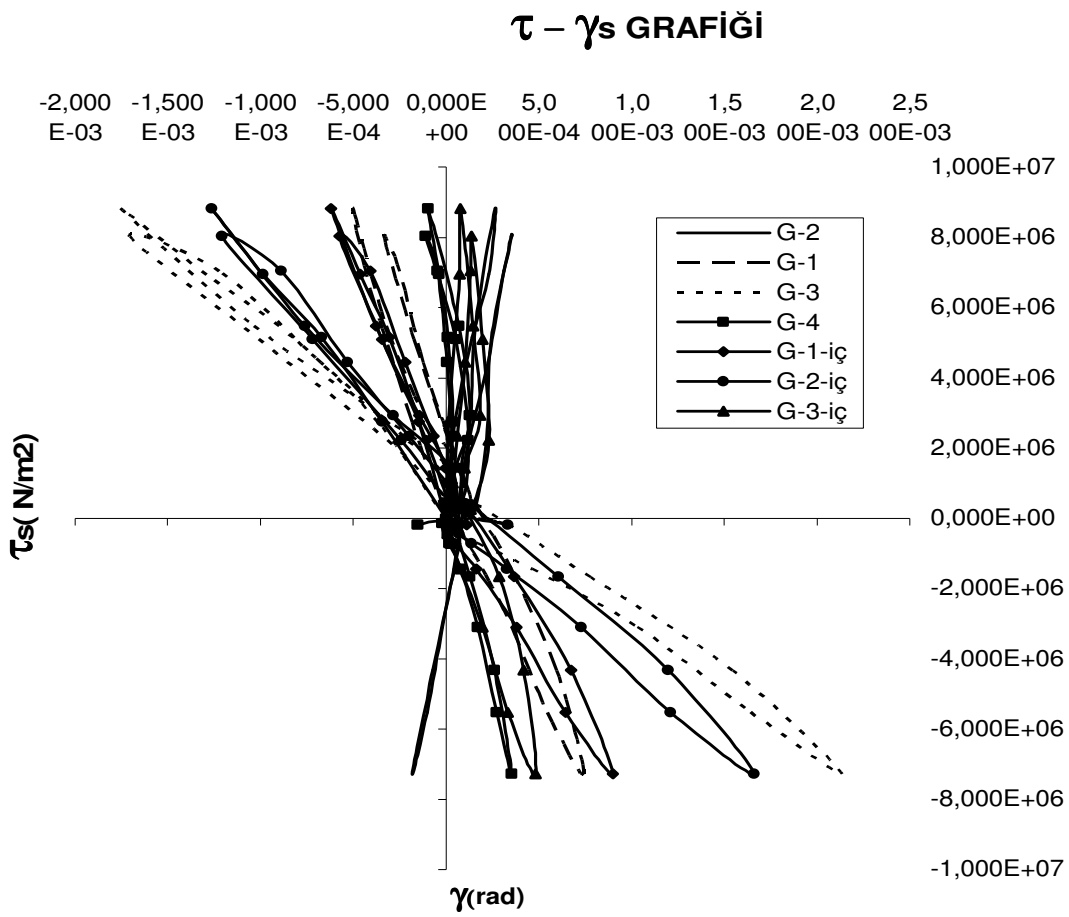
Şekil 6.6. AD3-a-KBB-6G numaralı deneye ait büyük boş kestane numunesinin teknik resmi ve geyçlerinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri



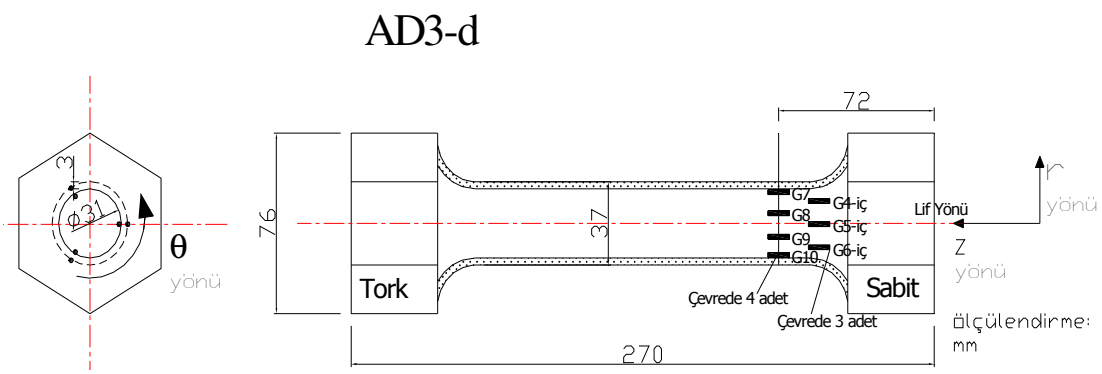


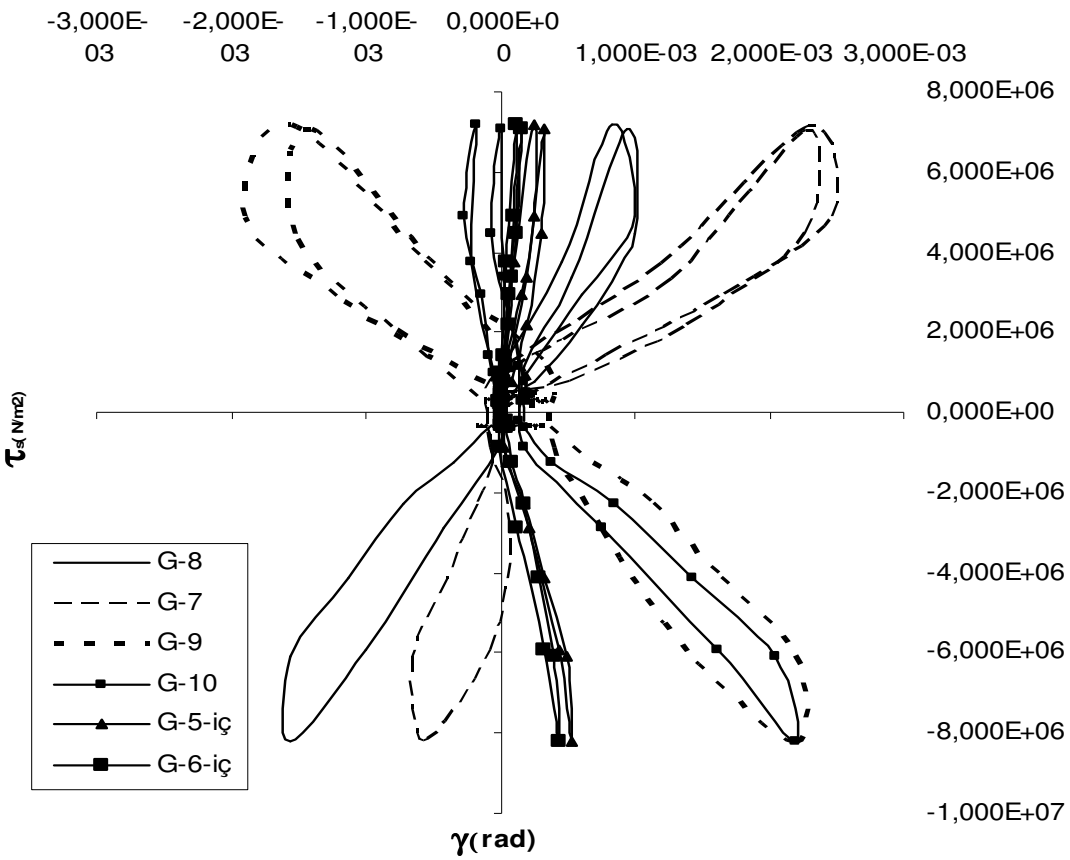
Şekil 6.7. AD3-b-KBB-6G numaralı deneye ait büyük boş kestane numunesinin teknik resmi ve geyçlerinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri



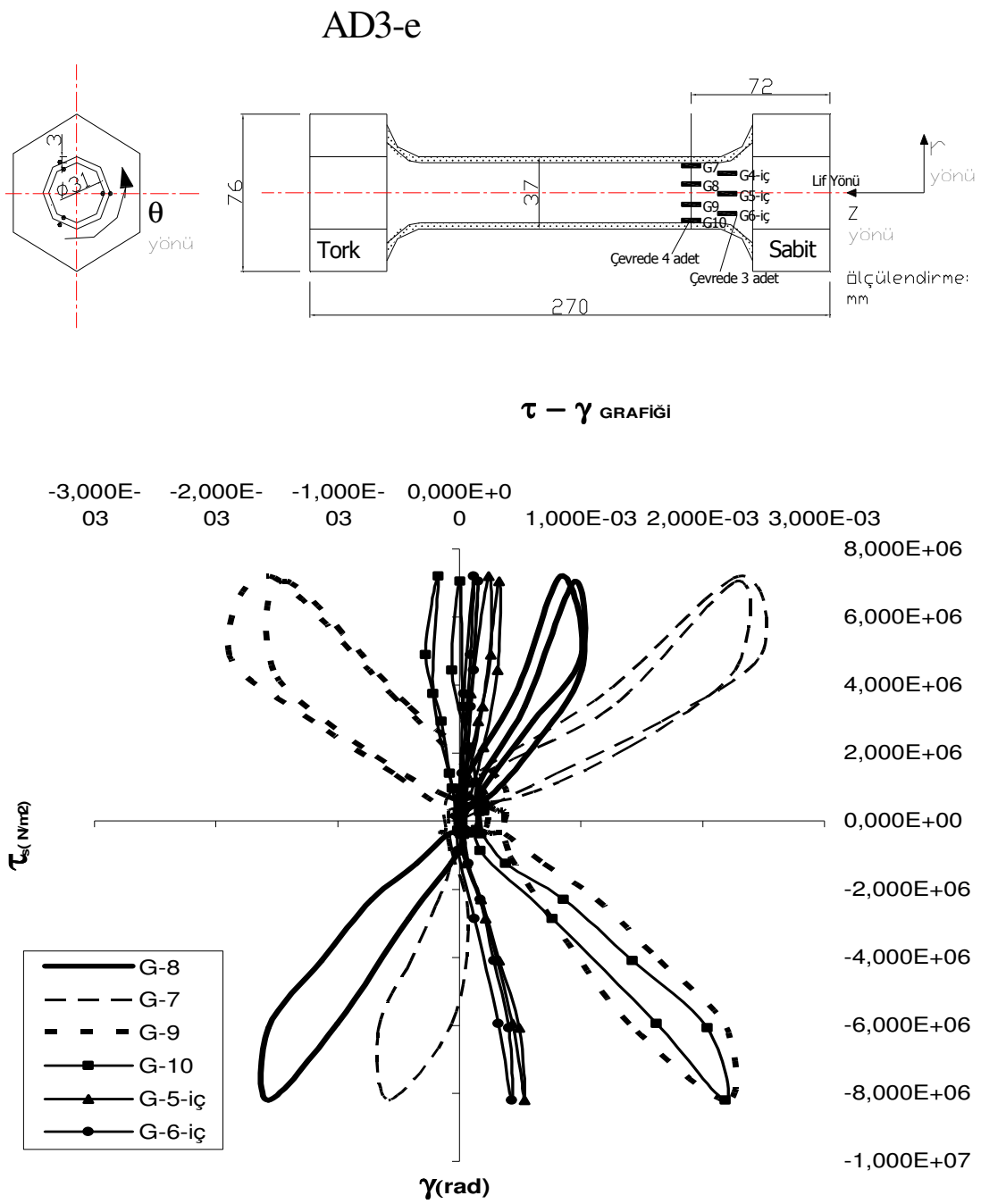


Şekil 6.8. AD3-c-KBB-6G numaralı deneye ait büyük boş kestane numunesinin teknik resmi ve geyçlerinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri

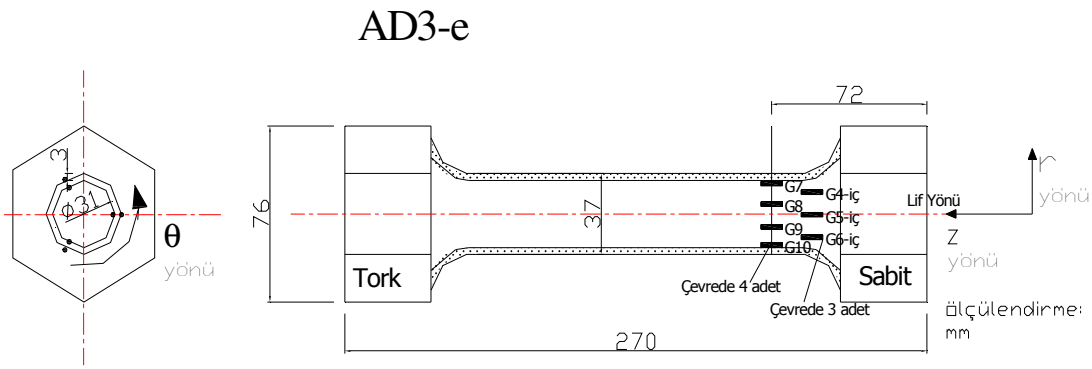


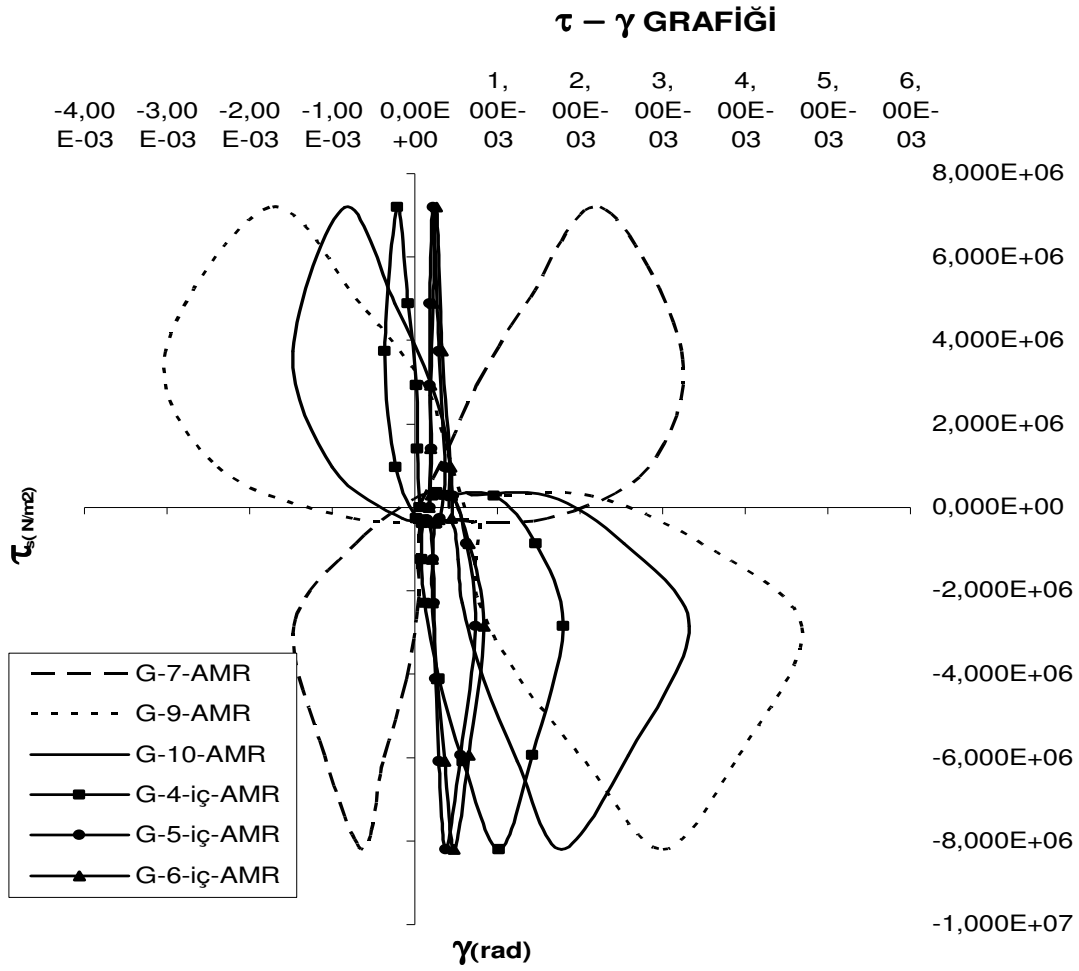


Şekil 6.9. AD3-d-KBB-6G numaralı deneye ait büyük boş kestane numunesinin teknik resmi ve geyçlerinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri

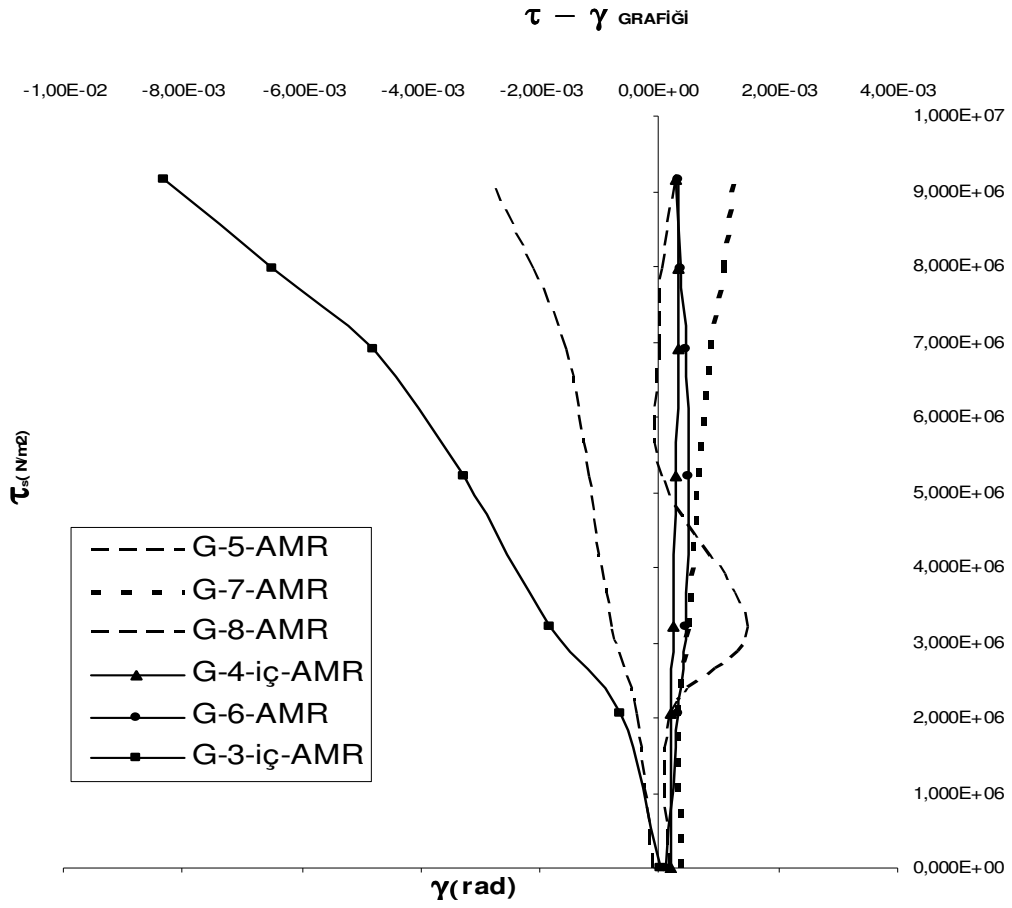


Şekil 6.10. AD3-e-KBB-6G numaralı deneye ait büyük boş kestane numunesinin teknik resmi ve TDG veri toplama cihazı ile geyçlerinden okunan değerlerin τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri





Şekil 6.11. AD3-e-KBB-6G numaralı deneye ait büyük boş kestane numunesinin teknik resmi ve ALMEMO 2590-9 veri toplama cihazı ile geyçlerinden okunan değerlerin τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri



Şekil 6.12. AD4-a-ÇBB-6G numaralı deneye ait büyük boş çam numunesinin geyçlerinden okunan değerler ile hesaplanan τ (N/m^2) ve γ (rad) grafikleri

Aşağıdaki çizelgeler ile numune parçalarının üzerine geyçlerin hangi konumlarda yapıştırıldığı verilmiştir. Grafiklerimizi çizerken bu değerlerden yararlandık. Böylece malzeme yüzeyinde, iç bölgelerde ve dairesel olarak yüzeyde meydana gelen deformasyonları görebildik. Bunları üç ana grup altında inceleyerek grafiklerini oluşturduk. Bu gruptaki deneyler ile malzemenin çeşitli bölgelerindeki davranışları hakkında bilgi edindik.

Çizelge 6.4. Deney AD3-a-KBB-6G'ye ait geyç yapıştırma koordinatları ve kayma modülü sonuçları

	z ekseni		ds mm	radyan	derece	θ koordinat	G rz
Gauge 1	200 mm	θ_1	0	0,00	0,00		3,04E+10
Gauge 2	200 mm	θ_2	21	1,14	65,04	65,04	2,20E+10
Gauge 3	200 mm	θ_3	38	2,05	117,69	182,73	4,56E+09
Gauge 4	200 mm	θ_4	15	0,81	46,46	229,19	8,32E+09
Gauge 5-orta	133 mm	θ_5	2	0,11	6,19	6,19	5,65E+09
Gauge 6-orta	133 mm	θ_6	60	3,24	185,82	185,82	1,71E+09

Çizelge 6.5. Deney AD3-b-KBB-6G'ye ait geyç yapıştırma koordinatları ve kayma modülü sonuçları

Gauge 7	72 mm	θ_7	32	1,73	99,11		1,57E+09
Gauge 8	72 mm	θ_8	8	0,43	24,78	123,89	1,21E+09
Gauge 9	72 mm	θ_9	34	1,84	105,30	229,19	9,30E+08
Gauge 10	72 mm	θ_{10}	23	1,24	71,23	300,42	1,49E+09
Gauge 5	133 mm	θ_5	2	0,11	6,19	6,19	6,71E+09
Gauge 6	133 mm	θ_6	60	3,24	185,82	185,82	1,44E+09

Çizelge 6.6. Deney AD3-c-KBB-6G'ye ait geyç yapıştırma koordinatları ve kayma modülü sonuçları

	Z ekseni		ds mm	radyan	derece	θ κοορδιναt	G rz
Gauge 1	200 mm	θ_1	0	0,00	0,00		1,27E+10
Gauge 2	200 mm	θ_2	21	1,14	65,04	65,04	2,23E+10
Gauge 3	200 mm	θ_3	38	2,05	117,69	182,73	3,62E+09
Gauge 4	200 mm	θ_4	15	0,81	46,46	229,19	3,78E+10
Gauge 1-iç	210 mm	θ_{1-i}	0	0,00	0,00	0,00	1,09E+10
Gauge 2-iç	210 mm	θ_{2-i}	35	1,89	108,40	108,40	5,36E+09
Gauge 3-iç	210 mm	θ_{3-i}	10	0,54	30,97	139,37	7,49E+10

Çizelge 6.7. Deney AD3-d-KBB-6G'ye ait geyç yapıştırma koordinatları ve kayma modülü sonuçları

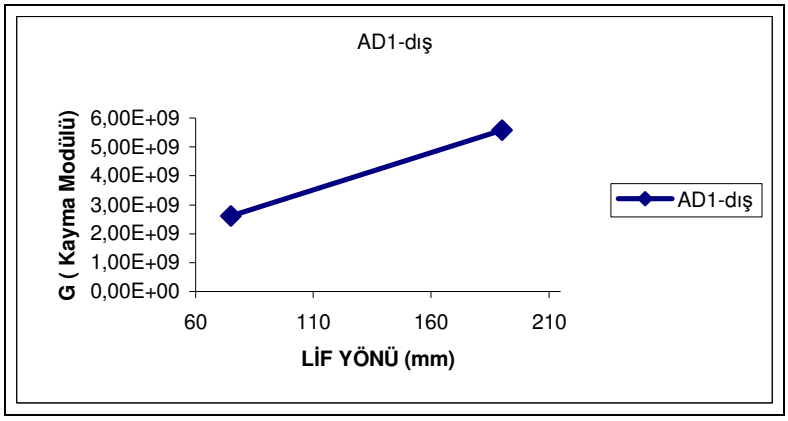
Gauge 7	72 mm	θ_7	32	1,73	99,11		6,66E+08
Gauge 8	72 mm	θ_8	8	0,43	24,78	123,89	1,65E+09
Gauge 9	72 mm	θ_9	34	1,84	105,30	229,19	8,74E+08
Gauge 10	72 mm	θ_{10}	23	1,24	71,23	300,42	5,77E+09
Gauge 4-iç	65 mm	$\theta_{4-ıl}$	20	1,08	61,94	61,94	8,57E+09
Gauge 5-iç	65 mm	$\theta_{5-ıl}$	20	1,08	61,94	123,88	5,63E+09
Gauge 6-iç	65 mm	$\theta_{6-ıl}$	20	1,08	61,94	185,82	1,40E+10

6.1. z - Yönü Grafikleri

Aşağıdaki çizelgelerde deney AD1-a, AD2-a, AD3-a-b-c'ye ait z koordinatı boyunca yerleştirilmiş geyçlere ait koordinat ve kayma modülü değerleri verilmiştir. Bu değerler esas alınarak z ekseni boyunca burulma esnasında malzeme yüzeyindeki kayma modülü değer değişimini görebiliriz

Deney **AD1-a**

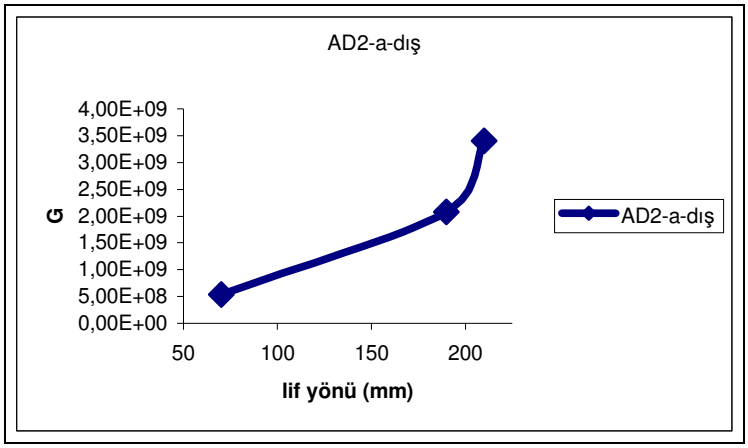
	z ekseni mm	
Gauge 1	75	2,61E+09
Gauge 2	190	5,57E+09



Şekil 6.13. AD1-a numaralı deneye ait geyçlerden lif yönü boyunca okunan değerler ile hesaplanan G (kayma modülü) – z (lif yönü) grafiği

Deney **AD2-a-dış**

	z ekseni mm	
Gauge 1	70	5,43E+08
Gauge 3	190	2,08E+09
Gauge 4	210	3,40E+09



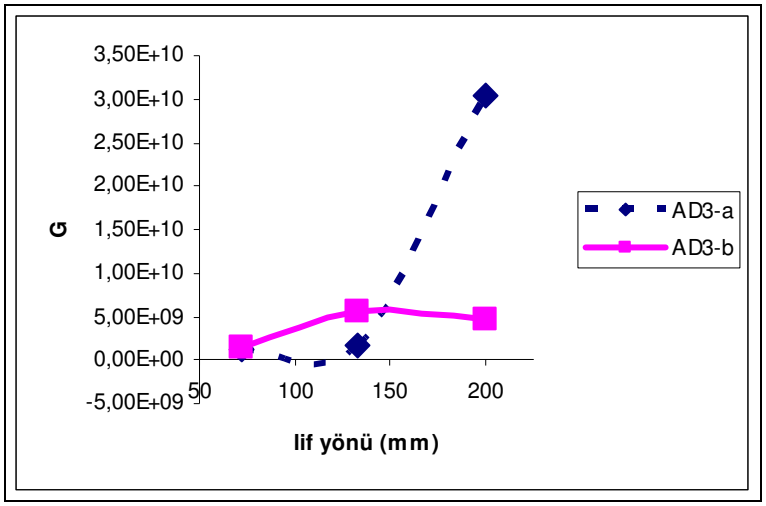
Şekil 6.14. AD2-a numaralı deneye ait geyçlerden lif yönü boyunca okunan değerler ile hesaplanan G (kayma modülü) – z (lif yönü) grafiği

Deney **AD3-a-KBB-6G**

	1 ekseni mm	
Gauge 8	72	1,21E+09
Gauge 6	133	1,71E+09
Gauge 1	200	3,04E+10

Deney **AD3-b-KBB-6G**

Gauge 10	72	1,49E+09
Gauge 5	133	5,65E+09
Gauge 3	200	4,56E+09



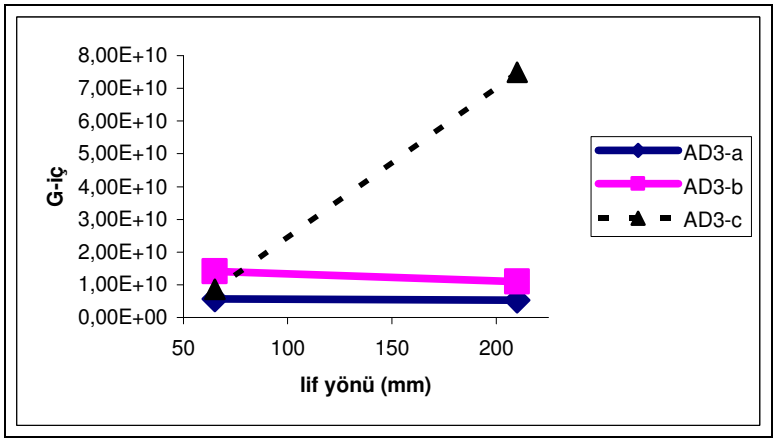
Şekil 6.15. AD3-a-b numaralı deneylere ait geyçlerden dış yüzey boyunca okunan değerler ile hesaplanan G (kayma modülü) – z (lif yönü) grafiği

Deney **AD3-a-b-c-KBB-6G**

	z ekseni mm	
Gauge 2-iç	210	5,36E+09
Gauge 5-iç	65	5,63E+09

Gauge 1-iç	210	1,09E+10
Gauge 6-iç	65	1,40E+10

Gauge 3-iç	210	7,49E+10
Gauge 4-iç	65	8,57E+09



Şekil 6.16. AD3-a-b-c numaralı deneylere ait geyçlerden iç yüzey boyunca okunan değerler ile hesaplanan G (kayma modülü) – z (lif yönü) grafiği

6.2. r-Yönü Grafikleri

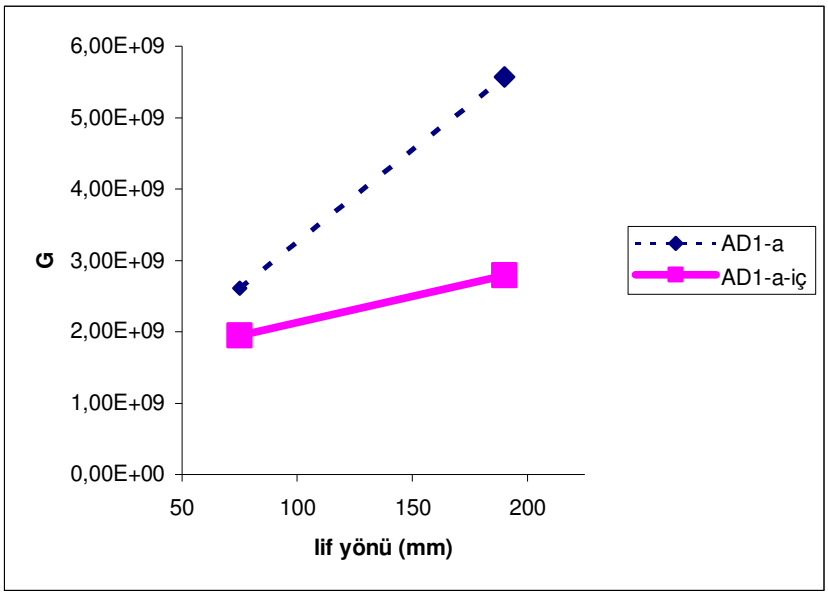
Bu grup deneyde ise doğal kompozit malzeme olan ağacın yarıçap boyunca değişimini inceleyeceğiz. Burulma deney numunelerinin içleri boşaltılarak gövde et kalınlığı 3 mm'ye kadar indirildi. Daha sonra hem dış yüzeye hemde bu geyçlerin tam altına gelecek şekilde iç yüzeye geyçler yapıştırıldı. Deneyler de tek taraflı olarak numunelerin baş kısımlarına geyçler yapıştırılarak çeşitli verilerin alınması sağlandı. Sonuçta aşağıdaki değerleri ve grafikleri elde ettik.

Deney **AD1-a-dış**

	z ekseni mm	
Gauge 1	75	2,61E+09
Gauge 2	190	5,57E+09

Deney **AD1-a-iç**

Gauge 3-iç	75	1,94E+09
Gauge 4-iç	190	2,79E+09



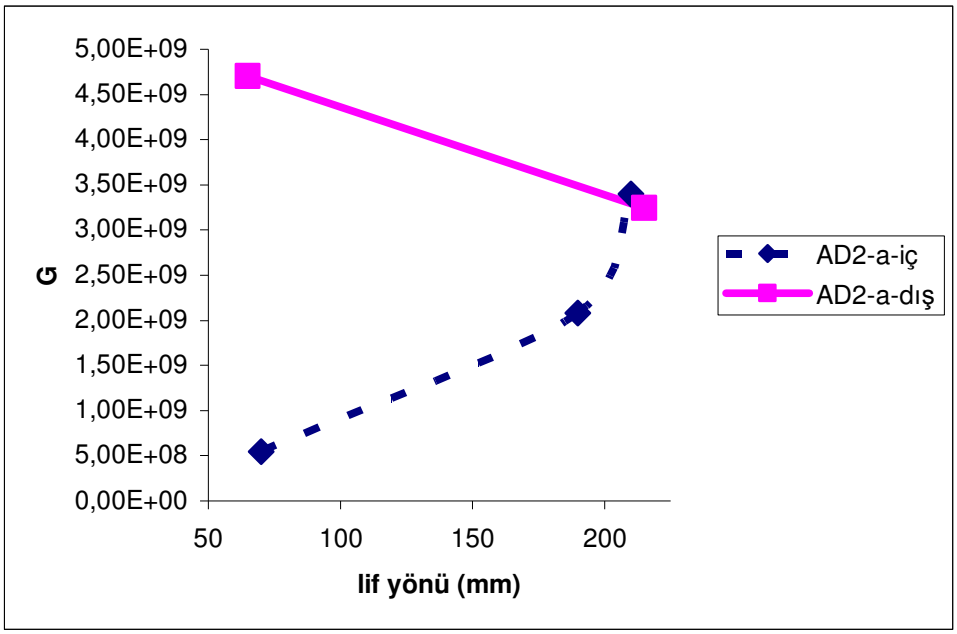
Şekil 6.17. AD1-a numaralı deneye ait geyçlerden iç yüzeyden dış yüzeye doğru elde edilen değerler ile hesaplanan G (kayma modülü) – r (yarıçap) grafiği

Deney **AD2-a-dış**

	z ekseni mm	
Gauge 1	70	5,43E+08
Gauge 3	190	2,08E+09
Gauge 4	210	3,40E+09

Deney **AD2-a-iç**

Gauge 5-iç	65	4,71E+09
Gauge 6-İç	215	3,25E+09



Şekil 6.18. AD2-a numaralı deneye ait geyçlerden iç yüzeyden dış yüzeye doğru elde edilen değerler ile hesaplanan G (kayma modülü) – r (yarıçap) grafiği

6.3. θ-Yönü Grafikleri

İncelediğimiz en son grup deneylerde ise amacımız numunenin gövdesi etrafında birbirine göre açısal olarak yerleştirilmiş geyçlerden elde ettiğimiz sonuçlara göre kayma modülünü değerlendirdik. Malzemenin burulma esnasında uzunluk boyunca davranışını bu şekilde gözleyerek kayma modülü değerlerini oluşturduk.

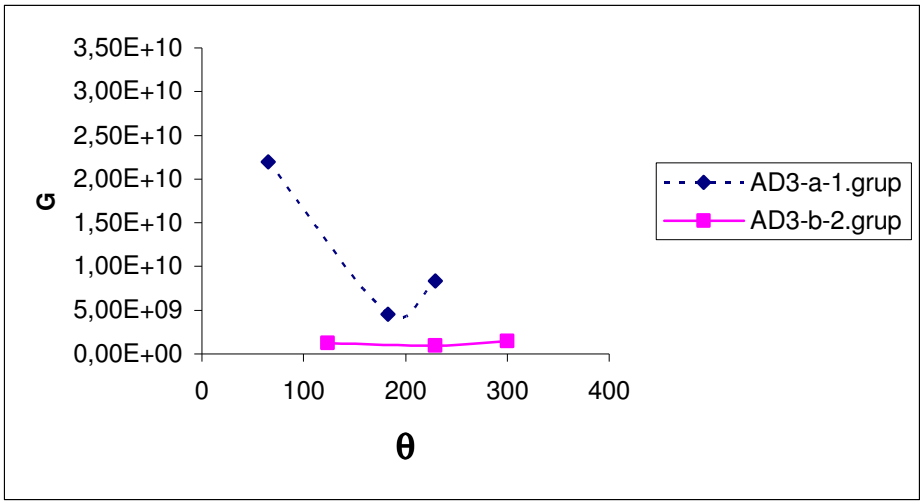
Deney **AD3-a-KBB-6G**

yarı çap 18,5

	z ekseni		ds mm	radyan	derece	θ κοορδιναt	G r1	
Gauge 1	200 mm	θ_1	0	0,00	0,00		3,04E+10	çekme
Gauge 2	200 mm	θ_2	21	1,14	65,04	65,04	2,20E+10	çekme
Gauge 3	200 mm	θ_3	38	2,05	117,69	182,73	4,56E+09	çekme
Gauge 4	200 mm	θ_4	15	0,81	46,46	229,19	8,32E+09	çekme

Deney **AD3-b-KBB-6G**

Gauge 7	72 mm	θ_7	32	1,73	99,11		1,57E+09	basma
Gauge 8	72 mm	θ_8	8	0,43	24,78	123,89	1,21E+09	basma
Gauge 9	72 mm	θ_9	34	1,84	105,30	229,19	9,30E+08	basma
Gauge 10	72 mm	θ_{10}	23	1,24	71,23	300,42	1,49E+09	basma



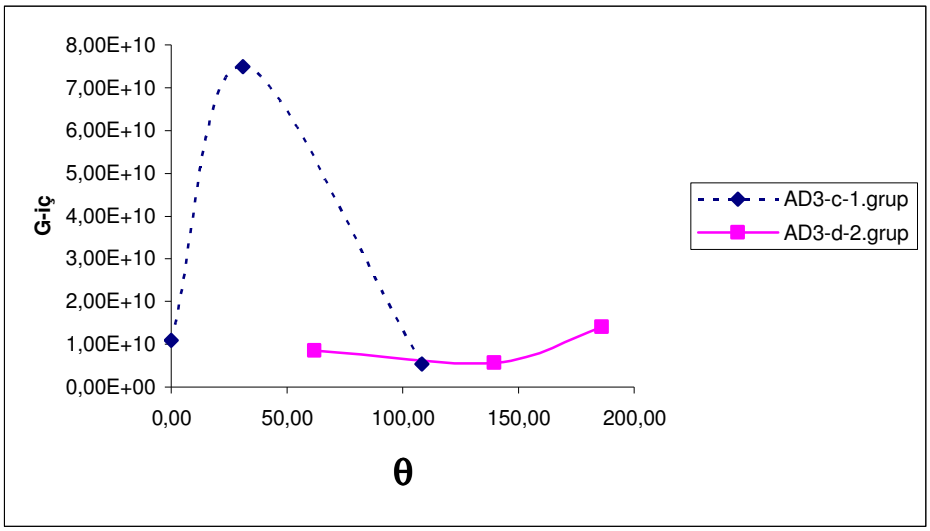
Şekil 6.19. AD3-a-b numaralı deneylerde dış yüzeye dairesel olarak yerleştirilen geyçlerdenelde edilen değerler ile hesaplanan G (kayma-modülü) – θ (çevresel açı) grafiği

Deney **AD3-c-KBB-7G**

	Z ekseni		ds mm	radyan	derece	θ koordinat	G rz
Gauge 1-iç	210 mm	θ_{1-i}	0	0,00	0,00	0,00	1,09E+10
Gauge 3-iç	210 mm	θ_{3-i}	10	0,54	30,97	139,37	7,49E+10
Gauge 2-iç	210 mm	θ_{2-i}	35	1,89	108,40	108,40	5,36E+09

Deney **AD3-d-KBB-7G**

Gauge 4-iç	65 mm	θ_{4-i}	20	1,08	61,94	61,94	8,57E+09
Gauge 5-iç	65 mm	θ_{5-i}	45	2,43	139,37	123,88	5,63E+09
Gauge 6-iç	65 mm	θ_{6-i}	60	3,24	185,82	185,82	1,40E+10



Şekil 6.20. AD3-c-d numaralı deneylerde dış yüzeye dairesel olarak yerleştirilen geyçlerden elde edilen değerler ile hesaplanan G (kayma-modülü) – θ (çevresel açı) grafiği

7. DOĞAL TRANSVERS İZOTROP FİBER KOMPOZİT OLAN ÇAM NUMUNELERİN r - θ - z KOORDİNAT BAĞIMLI KAYMA MODÜLLERİNİN FONKSİYONEL TAYİNİ İÇİN GEYÇLER YARDIMI İLE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1. Belirli Koordinatlarda Yapıştırılmış Geyçler Kullanarak Hazırlanmış Olan Çam Numuneler ile Yapılan Deneylerin Aşamaları ve Anlatım Esasları

Daha önceki bölümlerde numuneye ait genel kayma modülünün tayini için deneyler yapılmış olup ortalama kayma modülü değerleri grafik ve çizelgelerle verilmişti. Bu bölümde, geyçlerden belirli koordinat değerlerine göre bilgi alabilmek için z-eksenel, r-radyal, θ-çevrimsel yönlerde dizilerek deneyler yapılmıştır. Bu arada deney düzenekleri ve deneylerin yapılma aşamalarına ait bilgiler önceki bölümlerde ve Ek 1 ile verilmiştir. Bu aşamada, deneyler genel olarak üç ana grupta toplanarak incelenmiştir. Bir kısım deneyler iki ayrı datalogger kullanılarak (AMR , TDG) yapılmış olup deneysel sonuçların doğrulanması amacı ile karşılaştırılmasına olanak sağlanmıştır. Günümüzde yapılmış çalışmalara baktığımızda koordinat bağımlı noktasal bilgilere dayanılarak malzemelerin mekanik özelliklerinin (E-elastik modülü, G-kayma modülü, ν-poisson oranı) dağılımlarına ait bilgi bulunamadığı için bu testler karşılıklı olarak yapılmıştır. Daha sonraki çalışmalara da faydalı olması amacı ile bu üç grup çalışma kendi içlerinde numune ve deney numaralarına göre ayrıntılı bir şekilde aşağıdaki sıraya göre anlatılmıştır;

a) Üzerine geyçler yapıştırılmış olan deney numunesinin teknik resmi,
b) TDG ve AMR datalogger cihazlarından alınan verilere bağlı olarak hesaplanmış her bir geyçten alınan ortalama kayma modülü değerleri,
c) Her bir çam numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait datalogger cihazından elde edilen τ_s - γ grafiklerinin bir arada gösterimleri,
d) τ_s - γgrafiklerinden elde edilen eğimlerin doğrusal denklemleri;

   y = a+mx veya burada

   a : doğrunun τ_s eksenini kestiği değeri vermekte olup,

m : doğrunun eğimi olup G kayma modülünü verir (G =tan α),

α : arctan (m) değerini bildirmektedir.

e) Çam numunelere ait bütün deneysel değerlerin detaylı olarak hesaplanarak grafiksel ve çizelge değerlerinin oluşturulmadan önce kullanılan analiz çizelgesi,

f) Koordinat bazında her geyçten alınan bilgilere göre elde edilen yönlü G değerlerinin hesaplanması ve grafik üzerinde gösterimleri;

a. Lif yönüne paralel doğrultudaki G değer değişimleri;

i. z doğrultusundaki değişim
ii. θ çevrimsel yöndeki değişim
iii. r radyal yöndeki değişim

b. Lif yönüne 45^0 doğrultudaki G değer değişimleri;

i. z doğrultusundaki değişim
ii. θ çevrimsel yöndeki değişim
iii. r radyal yöndeki değişim

c. Lif yönüne 90^0 doğrultudaki G değer değişimleri;

i. z doğrultusundaki değişim
ii. θ çevrimsel yöndeki değişim
iii. r radyal yöndeki değişim

g) Elde edilen G değişim eğrilerinin denklemleri;

i. lineer grafikler - $y = ax + b$

($G(r) = ar + b$)

ii. Parabolik ifadeler – $y = ax2 + bx + c$

$(G(z) = az2 + bz + c)$

$(G(\theta) = a\,\theta\,2 + b\,\theta + c)$

iii. Üstel ifadeler – $y = A\,e^{dx}$

$G(z) = A\,e^{dz}$

$G(\theta) = A\,e^{d\,\theta}$

Burada; a,b,c,A,d bilinmeyen sabit sayılardır. Fakat burada Excel programının yardımıyla noktalar belirtilmek suretiyle bunlar otomatik olarak hesaplatılarak grafikler üzerine eklenmiştir.

Yukarıda görülen eğri denklemlerinde i maddesindeki doğru denklemi iki nokta yardımıyla çizilmiş olup tüp numunenin iç ve dış yüzeyinden alınan değerlerin dağılımını göstermek için kullanılmıştır.

ii. ve iii. maddelerindeki parabolik ve üstel ifadeler G kayma modülünün z-eksenel ve θ -radyal yöndeki değişimlerinin eğeri denklemleri için kullanılmıştır. Grafikler üzerinde x ve y cinsinden denklemler G kayma modülünün r-radyal yöndeki fonksiyonu G(r) ile gösterilerek ve z-eksenel yöndeki fonksiyonu G(z) ile tanımlanarak ve ayrıca θ-çevrimsel yöndeki fonksiyonu G(θ) ile belirtilerek denklemler tanımlanabilir. İleriki çalışmalarda bu değişim ifadeleri dönüşüm formülleri kullanılarak hiperbolik veya kutupsal fonksiyonlar cinsinden yazılabilir.

Böylece G kayma modülü r- θ-z'in değerlerine bağlı olduğu için G(r, θ,z) formundadır.

7.2. Deneysel Değerlerin Toplanıp, Hesaplanarak Analiz Edildiği Veri Toplama Tablosunun Anlatımı

Veri Toplama Tablosu deneyler sonunda AMR ve TDG datalogger cihazlarından elde edilen voltaj farkının kullanılarak çeşitli değerlerin ve grafiklerin elde edildiği bir tablodur. Bu tablo excel programı tabanında hazırlanmıştır. Tablo üzerinde geyçlerden elde edilen voltaj farkının kullanılarak birim deformasyonun elde dilebilmesi için 4. bölümde anlatılan yöntemler ve her kanal için Eş. 4.8. ayrı ayrı düzenlenerek uygulanır. Böylece belirli koordinatlarda bulunan geyçlere ait ortalama G-kayma modülü değerleri tespit edilmiş olur.

Tabloyu kullanmadan önce deneye ait bazı bilgilerin tam olarak tespit edilip tablo üzerine işlenmesi gerekir. Öncelikli olarak tablonun sağ üst kısmını oluşturan deney bilgileri eksiksiz olarak doldurulur. Bunlar deney tarihi, deney numarası, numunenin cinsi, tüp yada dolu olduğu, üzerinde kaç adet geyç olduğu gibi numuneyi tanıma bilgileridir. Daha sonra numunenin teknik bilgilerinin belirlenmesi gerekir. Örnek olarak numune uzunluğu, numunenin gövde çapı, tüp ise iç çapı ve numunenin nem oranı gibi ölçüsel verilerdir. Bu değerler de tablo üzerinde yerlerine yazıldıktan sonra datalogger cihazlarında toplanan voltaj değişim değerlerini kullanabiliriz.

EK 2‘de datalogger cihazlarının veriyi depolama sistemleri ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Deney esnasında hazırladığımız kağıt formlar üzerine kayıt ettiğimiz tork ve counter değerleri bizim için önemlidir. Veri Toplam Tablosu‘nda değiştirebileceğimiz hücrelerin üzeri tek renk ile işaretlenmiştir. Bu hücrelerin dışındaki hücrelere müdehale edemeyiz. Ettiğimiz takdirde hazırlanmış olan formülasyon bozulmuş olacaktır. Buda alt sayfalarda yer alan grafik tablolarını etkileyecektir.

Tablonun ikinci sütununda yer alan counter değerlerini kağıt form üzerinden sıra ile yerlerine yazarız. Burada 1 counter 0,3 dereceye karşılık gelmektedir. Eğer ki numune birkaç defa belli tork değerleri arasında yüklemeye maruz kalmış ise her dönüm noktasına işaret konarak bu nokta belirlenir. Daha sonra bu noktalar arasında

numune ters yönlerde burulduğu için döndürme açıları ona göre tayin edilir. Yani dönüm noktalarından sonra aradaki counter farkı dönme noktasına karşılık gelen değerden çıkartılarak gerçek dönme açısı bu sütunlara yazılır. Bu işlemden sonra dönme açıları otomatik olarak derece ve radyan cinsinden hesaplanmış olur.

Yine kağıt form üzerine kayıt etmiş olduğumuz Tork (Nm) değerleri tablonun altı numaralı sütununa yazılır. Burada işaretlere dikkat edilmelidir. Mutlaka cihaz üzerinden okuduğumuz pozitif veya negatif değer aynen yazılmalıdır. Yan sütunda tork değeri Nmm cinsinden otomatik olarak yazılır. Tablonun beşinci sütununda kayıt aralığı 10 sn olarak artacak şekilde yazılmıştır.

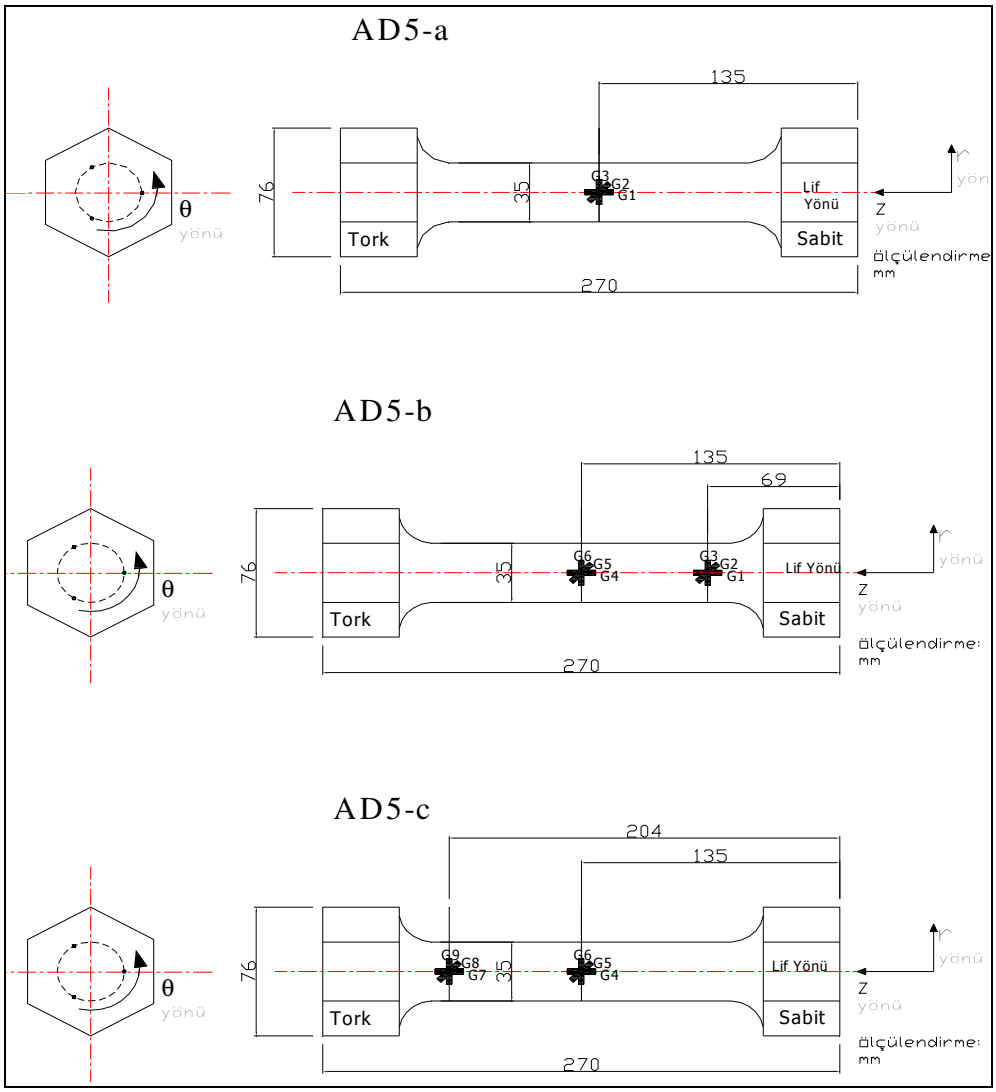
Bu değerler tam olarak yerine yazıldığı zaman numunenin teorik olarak $\tau_s = \frac{T \times r}{J}$ ve $\gamma_s = \frac{r \times \varphi}{L}$ değerleri hesaplanmış olur. Bu değerler Excel tablosunda hücrelere yazılan formüller ile otomatik olarak hesaplanır. Hesaplanan bu değerlere bağlı olarak Eş. 3.14. yardımı ile ortalama G-kayma modülü değeri hesaplanmıştır. Daha sonra datalogger cihazlarından alınan voltaj farkları geyçlerin yapıştırıldığı koordinatlar ve geyçler üzerinde yapılan markalamaya bağlı olarak sıra ile tabloda ilgili sütunlara yazılır. Bu değerler yazırken tablo üzerinde geycin koordinatı tam olarak belirtilmelidir.

Her kanal için Eş. 4.8.‘den elde ettiğimiz **γ**-kayma gerinimi değerleri mevcut voltaj değişimleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu değerler kanal bilgilerinin yer aldığı sütunda görülmektedir. Sonuç olarak tablonun üst orta noktasında Eş. 3.14.‘den yararlanılarak geyçlere bağlı ortalama G-kayma modülü değerleri otomatik olarak hesaplanmış olur. Tablonun alt sayfalarında bu değerler kullanılarak her geyç için ayrı ayrı ve toplam olarak τ_s **-** γ grafikleri hiçbir işlem yapmadan çizilmiş olur.

7.3. Deneysel Değerler Sonucu Elde Edilen G-Kayma Modülü Değer Çizelgeleri ve Bu Değerlere Bağlı r-θ-z Grafikleri

7.3.1. Üç yönlü (tri axial) üç grup geyç yapıştırılarak yapılan deneyler

Numune şekillerine ait, gruplara uygun genel teknik resimler aşağıda verilmiştir. Yapılan bu deneylerden elde edilen z yönüne bağlı G değişim grafikleri de ortak olarak aşağıda verilen grafiklerde yer almaktadır. Bunların dışındaki deneylere ait grafikler alt başlıklar halinde sunulacaktır.

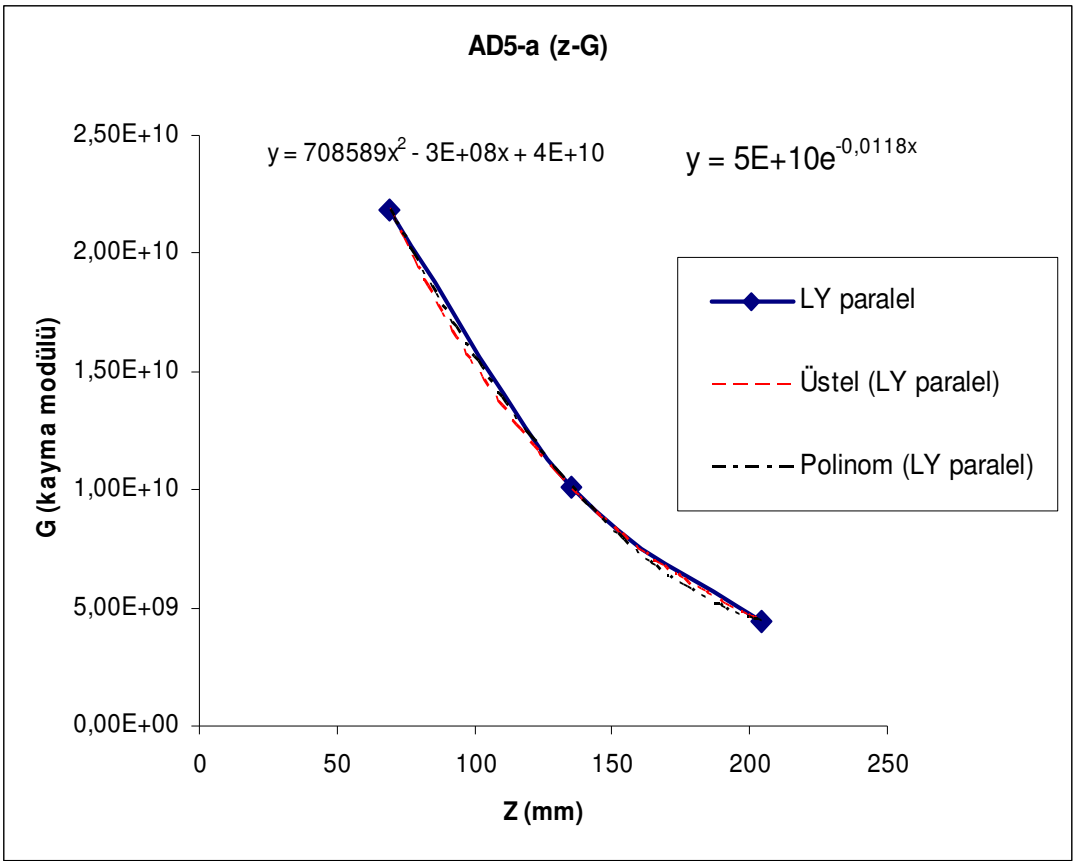


Şekil 7.1. AD5 numaralı deney grubuna ait geyç yerleşiminin şekilsel gösterimi

Çizelge 7.1. İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri

DENEY AD5-a

	Z ekseni mm	G(Pa)	
Gauge 1	**69**	**2,19E+10**	
Gauge 4	**135**	**1,01E+10**	**LİF YÖNÜNE PARALEL**
Gauge 7	**204**	**4,42E+09**	

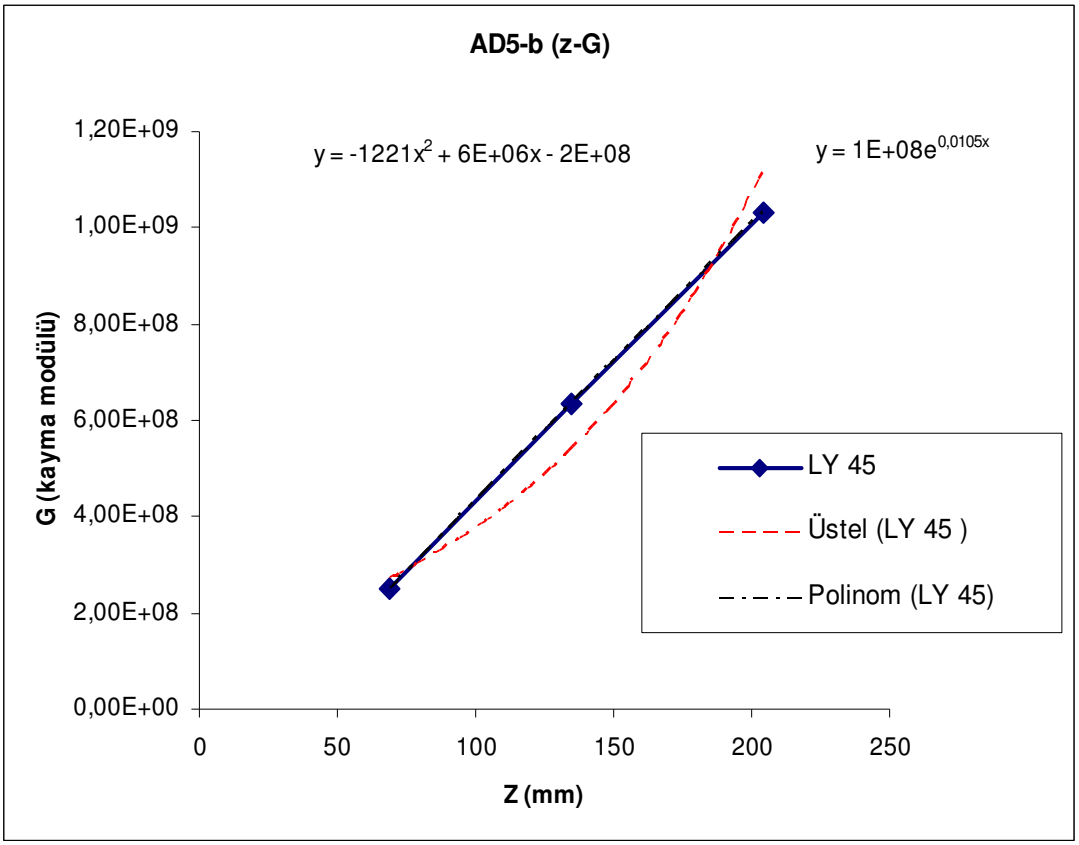


Şekil 7.2. Numune dış yüzeyine lif doğrultuları boyunca 0^0 açı yapacak şekilde belli aralıklarla yapıştırılmış geyçlerden alınan birim deformasyon bilgilerine ait grafikler

Çizelge 7.2. İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri

DENEY AD5-b

	Z ekseni mm	G(Pa)	
Gauge 2	**69**	**2,49E+08**	
Gauge 5	**135**	**6,36E+08**	**LİF YÖNÜNE 45°**
Gauge 8	**204**	**1,03E+09**	

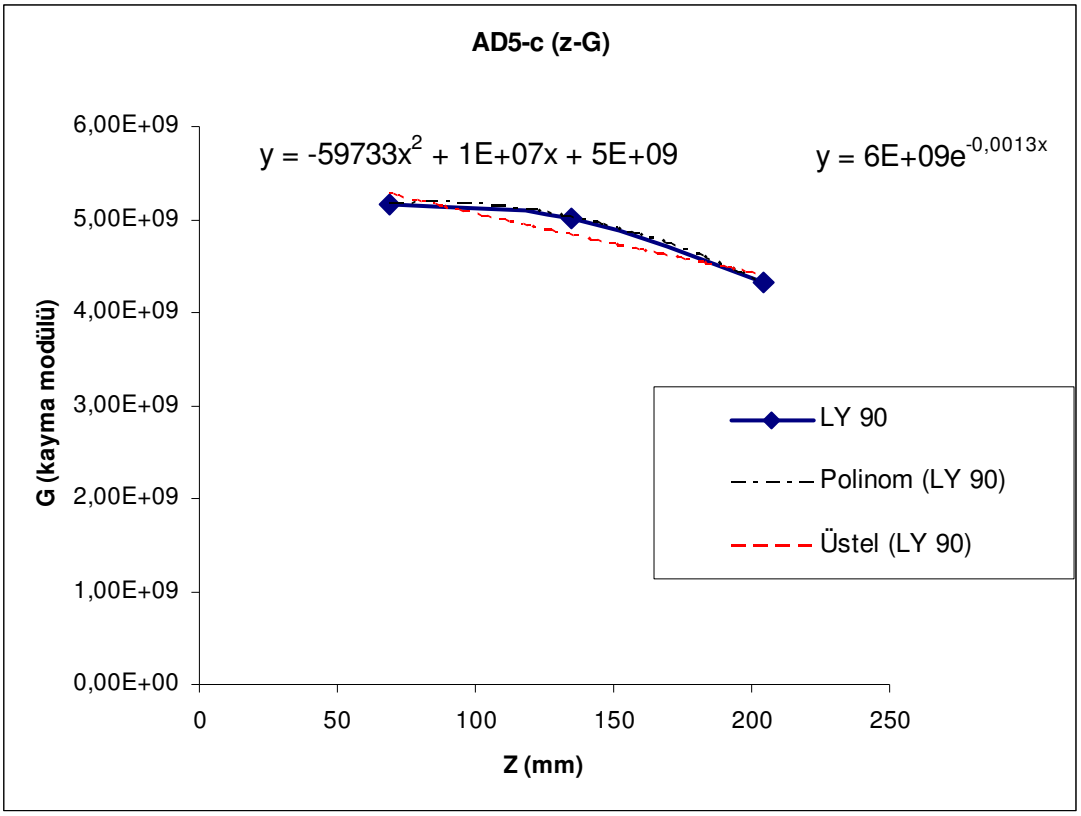


Şekil 7.3. Numune dış yüzeyine lif doğrultuları boyunca 45^0 açı yapacak şekilde belli aralıklarla yapıştırılmış geyçlerden alınan birim deformasyon bilgilerine ait grafikler

Çizelge 7.3. İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 90^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri

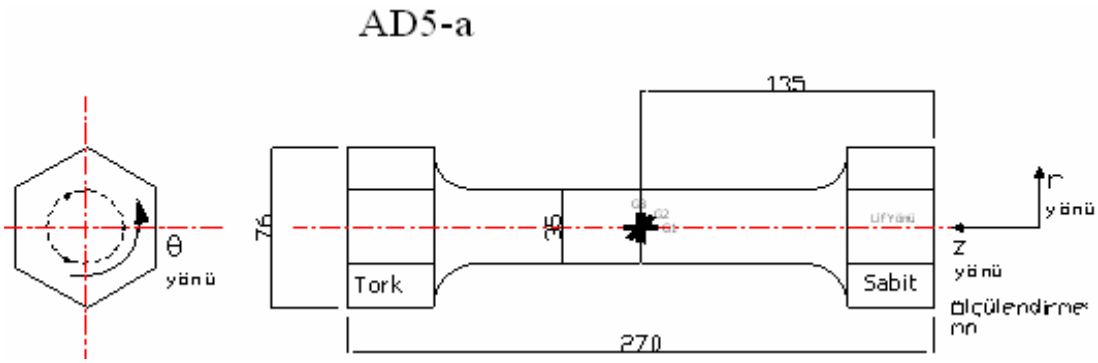
DENEY AD5-c

	Z ekseni mm	G(Pa)	
Gauge 3	**69**	**5,16E+09**	
Gauge 6	**135**	**5,02E+09**	**LİF YÖNÜNE 90°**
Gauge 9	**204**	**4,32E+09**	



Şekil 7.4. Numune dış yüzeyine lif doğrultuları boyunca 90^0 açı yapacak şekilde belli aralıklarla yapıştırılmış geyçlerden alınan birim deformasyon bilgilerine ait grafikler

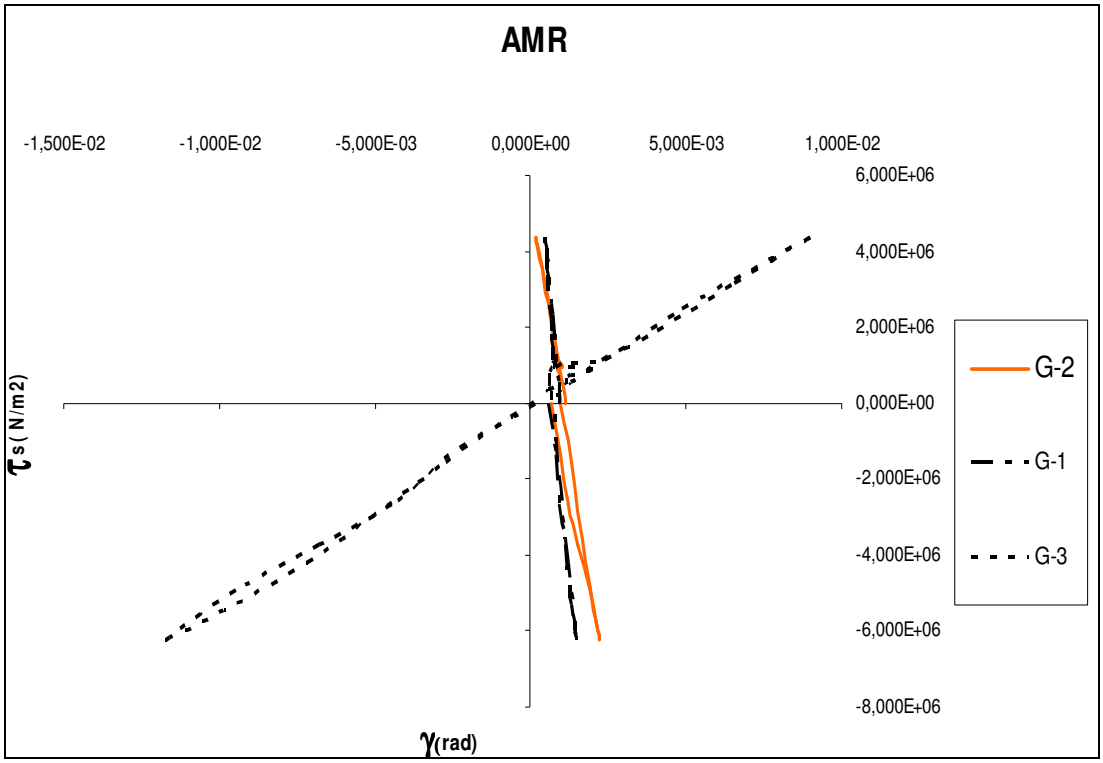
AD5-a numaralı deney sonuçları



Şekil 7.5. İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 - 45^0 ve 90^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait şekilsel gösterim

Çizelge 7.4. İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 - 45^0 ve 90^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait AMR cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri

GEYÇ NO	AMR G(Pa)	Z (mm)	LİF YÖNÜ
Gs=	**2,70E+08**		
G1=	**3,57E+09**	**135**	**LY 0°**
G2=	**1,96E+09**	**135**	**LY 45°**
G3=	**2,61E+08**	**135**	**LY 90°**



Şekil 7.6. AD5-a-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait AMR cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği

Çizelge 7.5. İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 - 45^0 ve 90^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait eğim deklemlerine ait çizelgeler

GEYÇ NO	EĞİM DENKLEMİ AMR	m	EĞİM AÇISI (Derece)
G1	y = -1E+10x + 8E+06	-10	-84,3
G2	y = -5E+09x + 5E+06	-5	-78,7
G3	y = 5E+08x - 88972	0,5	26,6

Çizelge 7.6. AD5-a-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

TDG CODA Hızlı Veri Toplayıcı

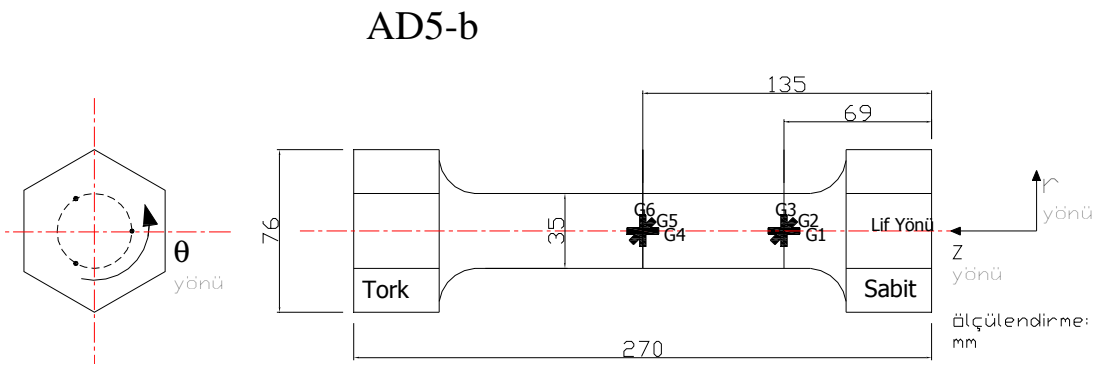
Çıktı Dosyası				DIŞ ÇAP (Dd)	36,00	mm	counter	belirsiz				Gs=	2,70E+08		
Deney Tarihi	23,09,2005			YARI ÇAP=C	18,00	mm	set speed	3,8				Gg1=	3,57E+09	13,20	
Aygıt Geçidi 1				J	164895,92	mm4	kayıt aralığı	10	sn			Gg2=	1,96E+09	7,27	
DENEY NO	deneme2			L	270,00	mm	NEM					Gg3=	2,61E+08		
NUMUNE	AHŞAP	dolu		İÇ ÇAP (Di)	0	mm	AÇI								
GAUGE ADEDİ	3									KANAL 2	gauge		135 mm		
cins	çam						değişebilen hücreler			AÇI	0	G_{g1}=	-3,57E+09		

							Gs=	-2,70E+08				paralel	CİHAZ	FORMÜL
VERİ SAYISI	Counter	DERECE	θ (rad)	Kayıt aralığı (sn)	TORK (NM)	TORK (Nmm)	τ_S - Kayma gerl (N/M2)	γ_S (rad)		G1 (volt)	VOLT farkı	τ_{G1} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G1}	γ_{S-G1} (rad)
1	0	0	0,00E+00	0	0,00	0	0,000E+00	0,000E+00		-372,00	-0,372	0,0000E+00	5,743E-04	0,00E+00
2	11	3,3	5,76E-02	10	-12,30	-12300	-1,343E+06	3,840E-03		-522,00	-0,522	-6,7133E+05	8,059E-04	1,92E-03
3	25	7,5	1,31E-01	20	-24,20	-24200	-2,642E+06	8,727E-03		-607,00	-0,607	-1,3208E+06	9,372E-04	4,36E-03
4	39	11,7	2,04E-01	30	-34,00	-34000	-3,711E+06	1,361E-02		-716,00	-0,716	-1,8557E+06	1,106E-03	6,81E-03
5	51	15,3	2,67E-01	40	-45,10	-45100	-4,923E+06	1,780E-02		-837,00	-0,837	-2,4616E+06	1,293E-03	8,90E-03
6	64	19,2	3,35E-01	50	-57,00	-57000	-6,222E+06	2,234E-02	-2,234E-02	-937,00	-0,937	-3,1111E+06	1,447E-03	1,12E-02
7	52	15,6	2,72E-01	60	-38,60	-38600	-4,214E+06	1,815E-02		-791,00	-0,791	-2,1068E+06	1,222E-03	9,08E-03
8	37	11,1	1,94E-01	70	-14,10	-14100	-1,539E+06	1,292E-02		-564,00	-0,564	-7,6958E+05	8,708E-04	6,46E-03
9	23	6,9	1,20E-01	80	2,60	2600	2,838E+05	8,029E-03		-451,00	-0,451	1,4191E+05	6,963E-04	4,01E-03
10	7	2,1	3,67E-02	90	3,30	3300	3,602E+05	2,443E-03		-462,00	-0,462	1,8011E+05	7,133E-04	1,22E-03
11	-8	-2,4	-4,19E-02	100	4,40	4400	4,803E+05	-2,793E-03		-420,00	-0,420	2,4015E+05	6,484E-04	-1,40E-03
12	-24	-7,2	-1,26E-01	110	6,50	6500	7,095E+05	-8,378E-03		-416,00	-0,416	3,5477E+05	6,422E-04	-4,19E-03
13	-37	-11,1	-1,94E-01	120	8,40	8400	9,169E+05	-1,292E-02		-425,00	-0,425	4,5847E+05	6,561E-04	-6,46E-03
14	-53	-15,9	-2,78E-01	130	8,90	8900	9,715E+05	-1,850E-02		-496,00	-0,496	4,8576E+05	7,658E-04	-9,25E-03
15	-68	-20,4	-3,56E-01	140	9,70	9700	1,059E+06	-2,374E-02		-499,00	-0,499	5,2942E+05	7,704E-04	-1,19E-02
16	-82	-24,6	-4,29E-01	150	10,30	10300	1,124E+06	-2,862E-02		-477,00	-0,477	5,6217E+05	7,364E-04	-1,43E-02
17	-98	-29,4	-5,13E-01	160	17,60	17600	1,921E+06	-3,421E-02		-434,00	-0,434	9,6061E+05	6,700E-04	-1,71E-02
18	-111	-33,3	-5,81E-01	170	29,00	29000	3,166E+06	-3,875E-02		-359,00	-0,359	1,5828E+06	5,542E-04	-1,94E-02
19	-125	-37,5	-6,54E-01	180	40,10	40100	4,377E+06	-4,363E-02	4,363E-02	-294,00	-0,294	2,1887E+06	4,538E-04	-2,18E-02
20	-113	-33,9	-5,92E-01	190	21,50	21500	2,347E+06	-3,944E-02		-485,00	-0,485	1,1735E+06	7,488E-04	-1,97E-02
21	-99	-29,7	-5,18E-01	200	3,40	3400	3,711E+05	-3,456E-02		-583,00	-0,583	1,8557E+05	9,002E-04	-1,73E-02
22	-82	-24,6	-4,29E-01	210	-0,03	-30	-3,275E+03	-2,862E-02		-593	-0,593	-1,6374E+03	9,156E-04	-1,43E-02

Çizelge 7.6. (Devam) AD5-a-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

KANAL 3	gauge	135 mm				KANAL 4	gauge	135 mm		
AÇI	90	G_{g2}=		-1,96E+09		AÇI	45	G_{g3}=		2,61E+08
			CİHAZ	FORMÜL					CİHAZ	FORMÜL
G2 (volt)	VOLT farkı	τ_{G2} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G2}	γ_{S-G2} (rad)		G3 (volt)	VOLT farkı	τ_{G3} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G3}	γ_{S-G3} (rad)
-432,000	-0,432	0,000E+00	6,650E-04	0,00E+00		-95,000	-0,095	0,000E+00	1,468E-04	0,00E+00
-643,000	-0,643	-6,713E+05	9,899E-04	1,92E-03		1717,000	1,717	-6,713E+05	-2,649E-03	1,92E-03
-807,000	-0,807	-1,321E+06	1,243E-03	4,36E-03		2905,000	2,905	-1,321E+06	-4,477E-03	4,36E-03
-999,000	-0,999	-1,856E+06	1,538E-03	6,81E-03		4413,000	4,413	-1,856E+06	-6,793E-03	6,81E-03
-1239,000	-1,239	-2,462E+06	1,908E-03	8,90E-03		6183,000	6,183	-2,462E+06	-9,504E-03	8,90E-03
-1449,000	-1,449	-3,111E+06	2,232E-03	1,12E-02		7606,000	7,606	-3,111E+06	-1,168E-02	1,12E-02
-1140,000	-1,140	-2,107E+06	1,756E-03	9,08E-03		4667,000	4,667	-2,107E+06	-7,182E-03	9,08E-03
-848,000	-0,848	-7,696E+05	1,306E-03	6,46E-03		1751,000	1,751	-7,696E+05	-2,701E-03	6,46E-03
-608,000	-0,608	1,419E+05	9,360E-04	4,01E-03		-333,000	-0,333	1,419E+05	5,146E-04	4,01E-03
-613,000	-0,613	1,801E+05	9,437E-04	1,22E-03		-388,000	-0,388	1,801E+05	5,996E-04	1,22E-03
-607,000	-0,607	2,402E+05	9,345E-04	-1,40E-03		-711,000	-0,711	2,402E+05	1,099E-03	-1,40E-03
-619,000	-0,619	3,548E+05	9,529E-04	-4,19E-03		-796,000	-0,796	3,548E+05	1,230E-03	-4,19E-03
-573,000	-0,573	4,585E+05	8,821E-04	-6,46E-03		-1305,000	-1,305	4,585E+05	2,018E-03	-6,46E-03
-654,000	-0,654	4,858E+05	1,007E-03	-9,25E-03		-538,000	-0,538	4,858E+05	8,315E-04	-9,25E-03
-634,000	-0,634	5,294E+05	9,760E-04	-1,19E-02		-846,000	-0,846	5,294E+05	1,308E-03	-1,19E-02
-576,000	-0,576	5,622E+05	8,867E-04	-1,43E-02		-1559,000	-1,559	5,622E+05	2,411E-03	-1,43E-02
-468,000	-0,468	9,606E+05	7,204E-04	-1,71E-02		-2641,000	-2,641	9,606E+05	4,089E-03	-1,71E-02
-294,000	-0,294	1,583E+06	4,525E-04	-1,94E-02		-4256,000	-4,256	1,583E+06	6,597E-03	-1,94E-02
-122,000	-0,122	2,189E+06	1,877E-04	-2,18E-02		-5762,000	-5,762	2,189E+06	8,943E-03	-2,18E-02
-411,000	-0,411	1,173E+06	6,326E-04	-1,97E-02		-2980,000	-2,980	1,173E+06	4,615E-03	-1,97E-02
-701,000	-0,701	1,856E+05	1,079E-03	-1,73E-02		-622,000	-0,622	1,856E+05	9,614E-04	-1,73E-02
-724,000	-0,724	-1,637E+03	1,115E-03	-1,43E-02		-594,000	-0,594	-1,637E+03	9,181E-04	-1,43E-02

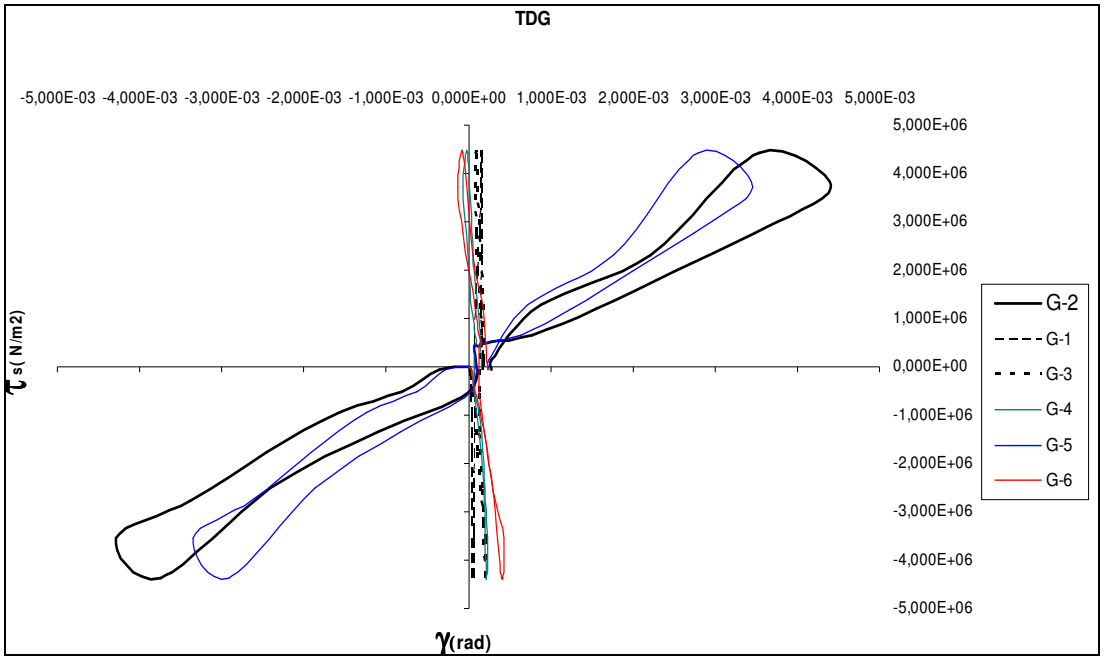
AD5-b numaralı deney sonuçları



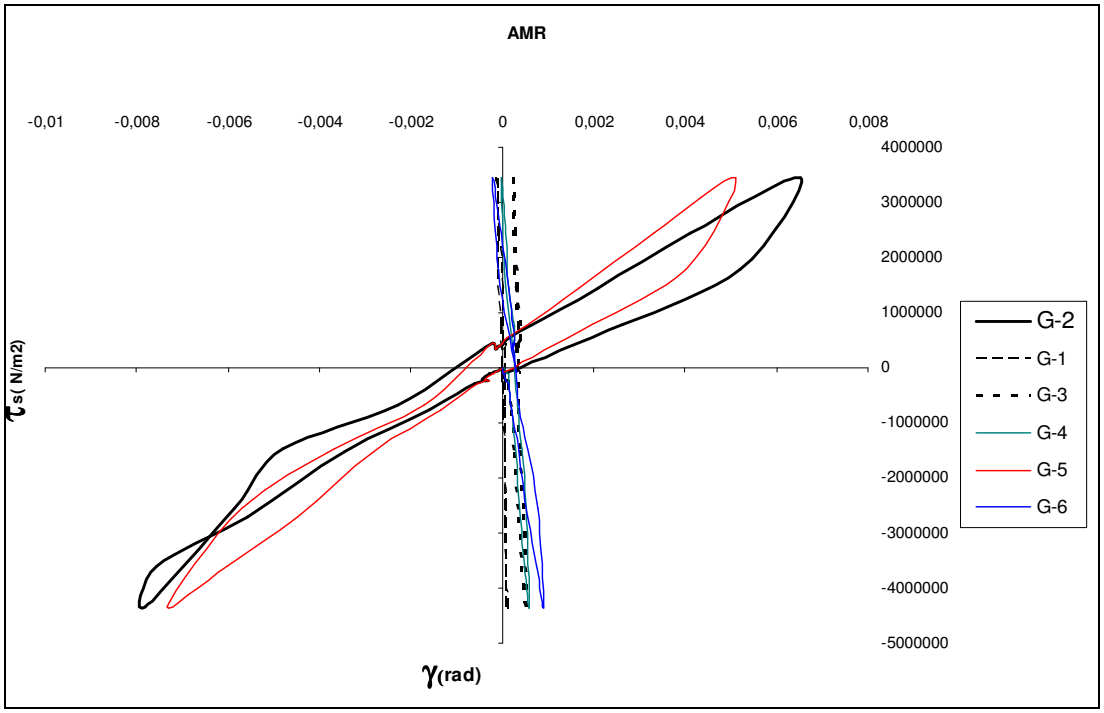
Şekil 7.7. İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 - 45^0 ve 90^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait şekilsel gösterim

Çizelge 7.7. İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 - 45^0 ve 90^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait TDG ve AMR cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri

	TDG		
GEYÇ NO	**G(Pa)**	**Z (mm)**	**LİF YÖNÜ**
Gs=	**3,10E+08**		
G1=	**2,19E+10**	**69**	**LY 0°**
G2=	**2,49E+08**	**69**	**LY 45°**
G3=	**5,16E+09**	**69**	**LY 90°**
G4=	**8,84E+09**	**135**	**LY 0°**
G5=	**6,24E+08**	**135**	**LY 45°**
G6=	**4,89E+09**	**135**	**LY 90°**
	AMR		
GEYÇ NO	**G(Pa)**	**Z (mm)**	**LİF YÖNÜNE 45°**
Gs=	**1,48E+08**		
G1=	**6,16E+09**	**69**	**LY 0°**
G2=	**1,19E+08**	**69**	**LY 45°**
G3=	**1,52E+09**	**69**	**LY 90°**
G4=	**3,79E+09**	**135**	**LY 0°**
G5=	**2,83E+08**	**135**	**LY 45°**
G6=	**2,18E+09**	**135**	**LY 90°**



Şekil 7.8. AD5-b-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği



Şekil 7.9. AD5-b-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait AMR cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği

Çizelge 7.8. İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 - 45^0 ve 90^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait eğim deklemlerine ait çizelgeler

GEYÇ NO	EĞİM DENKLEMİ TDG	m	EĞİM AÇISI (Derece)
G1	y = 3E+10x - 2E+06	30	88,1
G2	y = 9E+08x + 71085	0,9	42,0
G3	y = -1E+10x + 2E+06	-10	-84,3
G4	y = -2E+10x + 2E+06	-20	-87,1
G5	y = 1E+09x + 49725	1	45,0
G6	y = -1E+10x + 2E+06	-10	-84,3
GEYÇ NO	**EĞİM DENKLEMİ AMR**	**m**	**EĞİM AÇISI (Derece)**
G1	y = -2E+10x + 148844	-20	-87,1
G2	y = 5E+08x + 138235	0,5	26,6
G3	y = -3E+09x + 660099	-3	-71,6
G4	y = -9E+09x + 2E+06	-9	-83,7
G5	y = 6E+08x + 177470	0,6	31,0
G6	y = -5E+09x + 1E+06	-5	-78,7

Çizelge 7.9. AD5-b-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

TDG CODA Hızlı Veri Toplayıcı

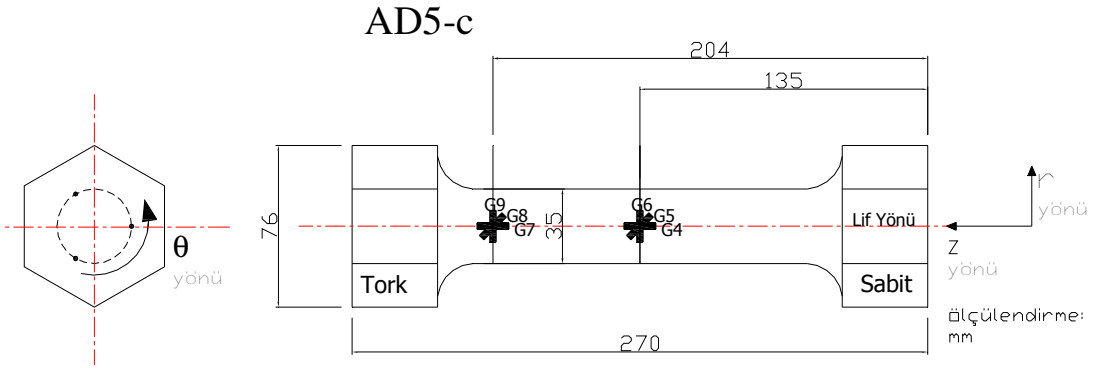
Çıktı Dosyası				DIŞ ÇAP (Dd)	35,00	mm	counter	belirsiz			Gs=	3,10E+08			Gg4=	8,84E+09
Deney Tarihi	25.10.2005			YARI ÇAP=C	17,50	mm	set speed	3,8			Gg1=	2,19E+10		70,47	Gg5=	6,24E+08
Aygıt Geçidi 1				J	147323,51	mm4	kayıt aralığı	10	sn		Gg2=	2,49E+08		0,80	Gg6=	4,89E+09
DENEY NO	AD5-b-ÇBB-9G			L	270,00	mm	NEM				Gg3=	5,16E+09				
NUMUNE	çam	dolu		İÇ ÇAP (Di)	0	mm	AÇI									
GAUGE ADEDİ	6									KANAL 2	gauge		69 mm			
cins	çam									AÇI	0	G_{g1}=	-2,19E+10	21 mm		

														CİHAZ	FORMÜL		
							Gs=	-3,10E+08									
VERİ SAYISI	Counter	DERECE	ϕ (rad)	Kayıt aralığı (sn)	TORK (NM)	TORK (Nmm)	τ_S - Kayma gerl (N/M2)	γ_S (rad)		G1 (volt)	VOLT farkı	τ_{G1} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G1}	ϕ_{S-G1} (rad)		G2 (volt)
1	0	0	0,00E+00	0	0,00	0	0,000E+00	0,000E+00		5,18	-0,002	0,0000E+00	3,087E-06	0,00E+00		5,182
2	5	1,5	2,62E-02	10	-0,40	-400	-4,751E+04	1,697E-03		5,19	-0,012	-1,2143E+04	1,852E-05	6,69E-03		4,955
3	12	3,6	6,28E-02	20	-4,40	-4400	-5,227E+05	4,072E-03		5,19	-0,014	-1,3357E+05	2,161E-05	1,61E-02		4,654
4	19	5,7	9,95E-02	30	-8,00	-8000	-9,503E+05	6,448E-03		5,20	-0,021	-2,4285E+05	3,241E-05	2,54E-02		4,159
5	26	7,8	1,36E-01	40	-14,80	-14800	-1,758E+06	8,824E-03		5,21	-0,026	-4,4928E+05	4,013E-05	3,48E-02		3,582
6	31	9,3	1,62E-01	50	-23,40	-23400	-2,780E+06	1,052E-02		5,21	-0,026	-7,1034E+05	4,013E-05	4,15E-02		2,982
7	37	11,1	1,94E-01	60	-29,80	-29800	-3,540E+06	1,256E-02		5,21	-0,031	-9,0462E+05	4,784E-05	4,95E-02		2,388
8	43	12,9	2,25E-01	70	-36,70	-36700	-4,359E+06	1,459E-02	-1,459E-02	5,22	-0,039	-1,1141E+06	6,019E-05	5,75E-02		2,742
9	38	11,4	1,99E-01	80	-21,20	-21200	-2,518E+06	1,290E-02		5,23	-0,048	-6,4356E+05	7,408E-05	5,08E-02		3,607
10	31	9,3	1,62E-01	90	-11,20	-11200	-1,330E+06	1,052E-02		5,23	-0,051	-3,3999E+05	7,871E-05	4,15E-02		4,464
11	25	7,5	1,31E-01	100	-4,40	-4400	-5,227E+05	8,484E-03		5,23	-0,051	-1,3357E+05	7,871E-05	3,35E-02		5,187
12	18	5,4	9,42E-02	110	3,60	3600	4,276E+05	6,109E-03		5,23	-0,051	1,0928E+05	7,871E-05	2,41E-02		5,231
13	11	3,3	5,76E-02	120	3,60	3600	4,276E+05	3,733E-03		5,23	-0,053	1,0928E+05	8,180E-05	1,47E-02		5,253
14	4	1,2	2,09E-02	130	3,70	3700	4,395E+05	1,357E-03		5,24	-0,056	1,1232E+05	8,643E-05	5,35E-03		5,287
15	-3	-0,9	-1,57E-02	140	4,20	4200	4,989E+05	-1,018E-03		5,23	-0,053	1,2750E+05	8,180E-05	-4,01E-03		5,299
16	-10	-3	-5,24E-02	150	4,40	4400	5,227E+05	-3,394E-03		5,23	-0,053	1,3357E+05	8,180E-05	-1,34E-02		5,368
17	-17	-5,1	-8,90E-02	160	5,60	5600	6,652E+05	-5,769E-03		5,23	-0,053	1,7000E+05	8,180E-05	-2,27E-02		5,685
18	-24	-7,2	-1,26E-01	170	10,00	10000	1,188E+06	-8,145E-03		5,24	-0,063	3,0356E+05	9,723E-05	-3,21E-02		6,188
19	-30	-9	-1,57E-01	180	16,50	16500	1,960E+06	-1,018E-02		5,26	-0,078	5,0088E+05	1,204E-04	-4,01E-02		6,811
20	-36	-10,8	-1,88E-01	190	23,30	23300	2,768E+06	-1,222E-02		5,28	-0,095	7,0731E+05	1,466E-04	-4,82E-02		7,446
21	-42	-12,6	-2,20E-01	200	31,30	31300	3,718E+06	-1,425E-02		5,28	-0,102	9,5016E+05	1,574E-04	-5,62E-02		8,039
22	-47	-14,1	-2,46E-01	210	37,20	37200	4,419E+06	-1,595E-02	1,595E-02	5,284	-0,104	1,1293E+06	1,605E-04	-6,29E-02		7,477
23	-40	-12	-2,09E-01	220	19,60	19600	2,328E+06	-1,357E-02		5,282	-0,102	5,9499E+05	1,574E-04	-5,35E-02		6,620
24	-34	-10,2	-1,78E-01	230	10,90	10900	1,295E+06	-1,154E-02		5,277	-0,097	3,3089E+05	1,497E-04	-4,55E-02		5,756
25	-27	-8,1	-1,41E-01	240	1,20	1200	1,425E+05	-9,163E-03		5,292	-0,112	3,6428E+04	1,729E-04	-3,61E-02		5,363
26	-20	-6	-1,05E-01	250	-0,50	-500	-5,939E+04	-6,787E-03		5,297	-0,117	-1,5178E+04	1,806E-04	-2,68E-02		5,363

Çizelge 7.9. (Devam) AD5-b-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

KANAL 4	gauge	69 mm				KANAL 5	gauge	135 mm				KANAL 6	gauge	135 mm		
AÇI	90	G_{g3}=	-5,16E+09	15 mm		AÇI	0	G_{g4}=	-8,84E+09			AÇI	45	G_{g5}=	6,24E+08	
			CİHAZ	FORMÜL					CİHAZ	FORMÜL					CİHAZ	FORMÜL
G3 (volt)	VOLT farkı	τ_{G3} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G3}	γ_{S-G3} (rad)		G4 (volt)	VOLT farkı	τ_{G4} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G4}	γ_{S-G4} (rad)		G5 (volt)	VOLT farkı	τ_{G5} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G5}	γ_{S-G5} (rad)
5,187	0,000	0,000E+00	0,000E+00	0,00E+00		5,184	0,000	0,000E+00	0,000E+00	0,00E+00		5,128	0,000	0,000E+00	0,000E+00	0,00E+00
5,204	-0,017	-1,214E+04	2,626E-05	4,34E-04		5,211	-0,027	-2,376E+04	4,167E-05	8,48E-04		4,947	0,181	-2,376E+04	-2,790E-04	8,48E-04
5,219	-0,032	-1,336E+05	4,944E-05	1,04E-03		5,228	-0,044	-2,613E+05	6,791E-05	2,04E-03		4,716	0,412	-2,613E+05	-6,348E-04	2,04E-03
5,238	-0,051	-2,429E+05	7,879E-05	1,65E-03		5,263	-0,079	-4,751E+05	1,219E-04	3,22E-03		4,332	0,796	-4,751E+05	-1,226E-03	3,22E-03
5,265	-0,078	-4,493E+05	1,205E-04	2,25E-03		5,292	-0,108	-8,790E+05	1,667E-04	4,41E-03		3,883	1,245	-8,790E+05	-1,917E-03	4,41E-03
5,294	-0,107	-7,103E+05	1,653E-04	2,69E-03		5,314	-0,130	-1,390E+06	2,007E-04	5,26E-03		3,414	1,714	-1,390E+06	-2,638E-03	5,26E-03
5,321	-0,134	-9,046E+05	2,070E-04	3,21E-03		5,336	-0,152	-1,770E+06	2,346E-04	6,28E-03		2,950	2,178	-1,770E+06	-3,351E-03	6,28E-03
5,319	-0,132	-1,114E+06	2,039E-04	3,73E-03		5,328	-0,144	-2,180E+06	2,223E-04	7,30E-03		3,236	1,892	-2,180E+06	-2,912E-03	7,30E-03
5,297	-0,110	-6,436E+05	1,699E-04	3,30E-03		5,306	-0,122	-1,259E+06	1,883E-04	6,45E-03		3,919	1,209	-1,259E+06	-1,862E-03	6,45E-03
5,272	-0,085	-3,400E+05	1,313E-04	2,69E-03		5,272	-0,088	-6,652E+05	1,358E-04	5,26E-03		4,596	0,532	-6,652E+05	-8,197E-04	5,26E-03
5,270	-0,083	-1,336E+05	1,282E-04	2,17E-03		5,233	-0,049	-2,613E+05	7,562E-05	4,24E-03		5,145	-0,017	-2,613E+05	2,620E-05	4,24E-03
5,277	-0,090	1,093E+05	1,390E-04	1,56E-03		5,233	-0,049	2,138E+05	7,562E-05	3,05E-03		5,177	-0,049	2,138E+05	7,553E-05	3,05E-03
5,284	-0,097	1,093E+05	1,499E-04	9,54E-04		5,236	-0,052	2,138E+05	8,025E-05	1,87E-03		5,194	-0,066	2,138E+05	1,017E-04	1,87E-03
5,284	-0,097	1,123E+05	1,499E-04	3,47E-04		5,241	-0,057	2,198E+05	8,797E-05	6,79E-04		5,221	-0,093	2,198E+05	1,434E-04	6,79E-04
5,289	-0,102	1,275E+05	1,576E-04	-2,60E-04		5,245	-0,061	2,495E+05	9,415E-05	-5,09E-04		5,233	-0,105	2,495E+05	1,619E-04	-5,09E-04
5,294	-0,107	1,336E+05	1,653E-04	-8,67E-04		5,248	-0,064	2,613E+05	9,878E-05	-1,70E-03		5,289	-0,161	2,613E+05	2,482E-04	-1,70E-03
5,292	-0,105	1,700E+05	1,622E-04	-1,47E-03		5,238	-0,054	3,326E+05	8,334E-05	-2,88E-03		5,541	-0,413	3,326E+05	6,368E-04	-2,88E-03
5,282	-0,095	3,036E+05	1,468E-04	-2,08E-03		5,211	-0,027	5,939E+05	4,167E-05	-4,07E-03		5,934	-0,806	5,939E+05	1,243E-03	-4,07E-03
5,265	-0,078	5,009E+05	1,205E-04	-2,60E-03		5,187	-0,003	9,800E+05	4,630E-06	-5,09E-03		6,418	-1,290	9,800E+05	1,990E-03	-5,09E-03
5,250	-0,063	7,073E+05	9,733E-05	-3,12E-03		5,165	0,019	1,384E+06	-2,932E-05	-6,11E-03		6,908	-1,780	1,384E+06	2,748E-03	-6,11E-03
5,241	-0,054	9,502E+05	8,342E-05	-3,64E-03		5,143	0,041	1,859E+06	-6,327E-05	-7,13E-03		7,370	-2,242	1,859E+06	3,462E-03	-7,13E-03
5,255	-0,068	1,129E+06	1,051E-04	-4,08E-03		5,175	0,009	2,209E+06	-1,389E-05	-7,98E-03		6,933	-1,805	2,209E+06	2,786E-03	-7,98E-03
5,280	-0,093	5,950E+05	1,437E-04	-3,47E-03		5,216	-0,032	1,164E+06	4,939E-05	-6,79E-03		6,266	-1,138	1,164E+06	1,756E-03	-6,79E-03
5,306	-0,119	3,309E+05	1,838E-04	-2,95E-03		5,253	-0,069	6,474E+05	1,065E-04	-5,77E-03		5,592	-0,464	6,474E+05	7,155E-04	-5,77E-03
5,309	-0,122	3,643E+04	1,885E-04	-2,34E-03		5,284	-0,100	7,127E+04	1,543E-04	-4,58E-03		5,289	-0,161	7,127E+04	2,482E-04	-4,58E-03
5,316	-0,129	-1,518E+04	1,993E-04	-1,73E-03		5,287	-0,103	-2,970E+04	1,590E-04	-3,39E-03		5,289	-0,161	-2,970E+04	2,482E-04	-3,39E-03

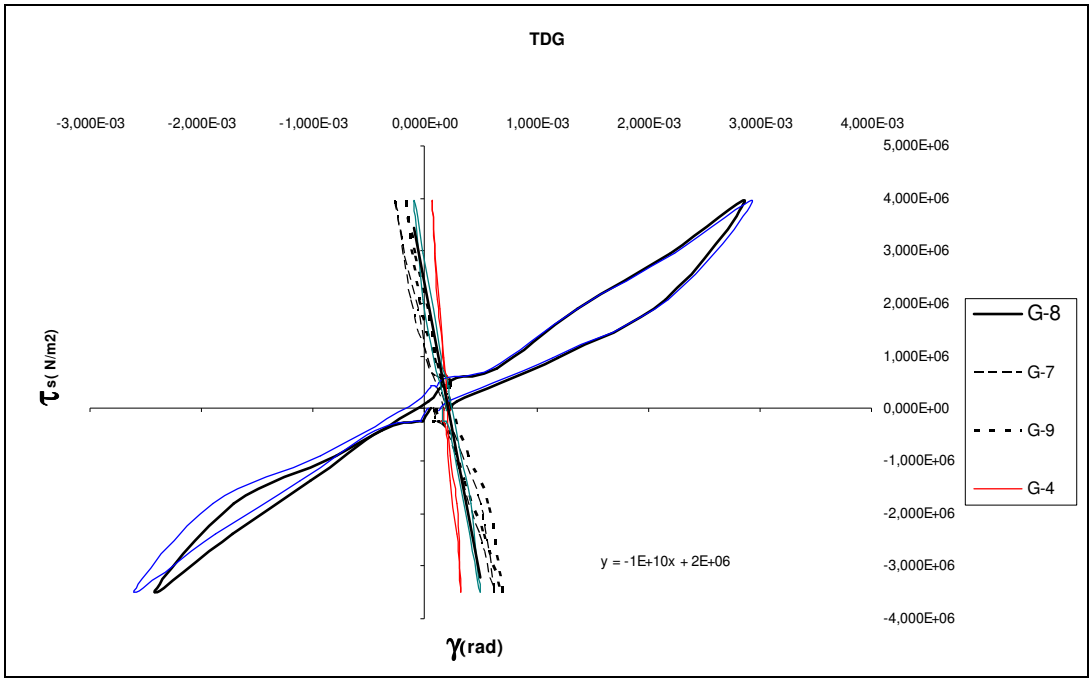
AD5-c numaralı deney sonuçları



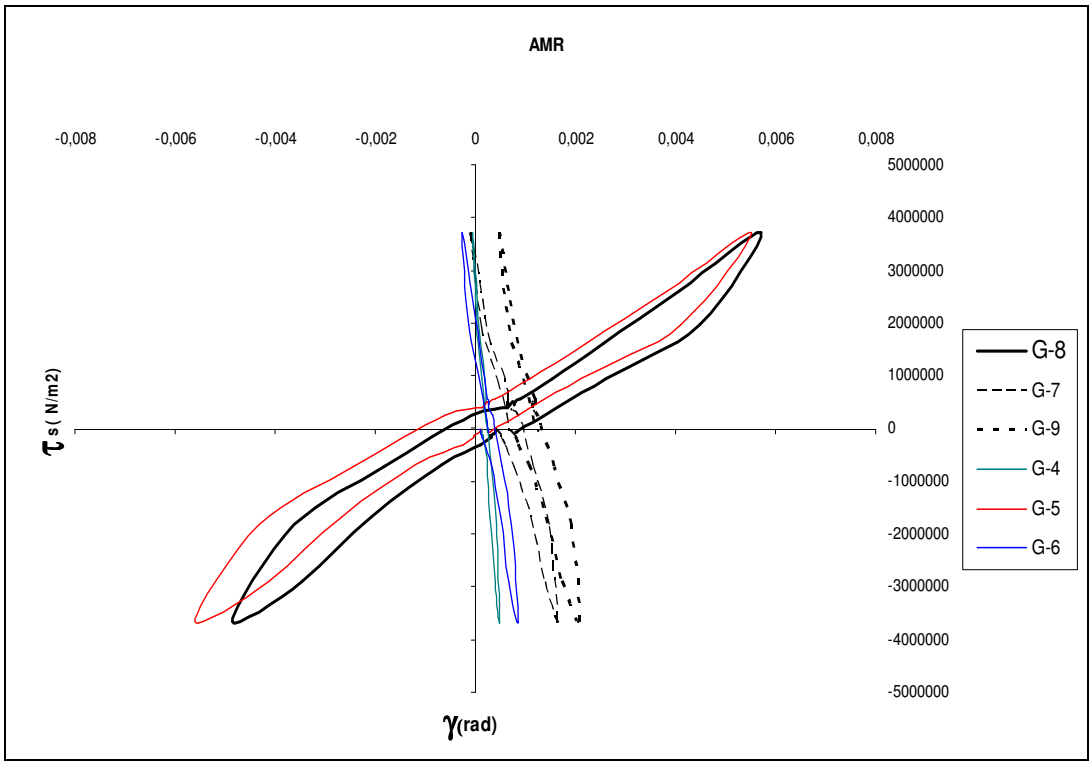
Şekil 7.10. İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 - 45^0 ve 90^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait şekilsel gösterim

Çizelge 7.10 İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 - 45^0 ve 90^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait TDG ve AMR cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri

	TDG		
GEYÇ NO	**G(Pa)**	**Z (mm)**	**LİF YÖNÜ**
Gs=	**1,81E+08**		
G7=	**4,42E+09**	**204**	**LY 0°**
G8=	**1,03E+09**	**204**	**LY 45°**
G9=	**4,32E+09**	**204**	**LY 90°**
G4=	**1,01E+10**	**135**	**LY 0°**
G5=	**6,36E+08**	**135**	**LY 45°**
G6=	**5,02E+09**	**135**	**LY 90°**
	AMR		
GEYÇ NO	**G(Pa)**	**Z (mm)**	**LİF YÖNÜ**
Gs=	**1,75E+08**		
G7=	**2,25E+09**	**204**	**LY 0°**
G8=	**5,30E+08**	**204**	**LY 45°**
G9=	**2,04E+09**	**204**	**LY 90°**
G4=	**5,48E+09**	**135**	**LY 0°**
G5=	**3,22E+08**	**135**	**LY 45°**
G6=	**2,40E+09**	**135**	**LY 90°**



Şekil 7.11. AD5-c-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği



Şekil 7.12. AD5-c-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait AMR cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği

Çizelge 7.11. İçi dolu çam numune üzerinde lif yönü ile 00 - 450 ve 900 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait eğim deklemlerine ait çizelgeler

GEYÇ NO	EĞİM DENKLEMİ AMR	m	EĞİM AÇISI (Derece)
G7	y = -3E+09x + 2E+06	-3	-71,6
G8	y = 6E+08x - 187877	0,6	31,0
G9	y = -3E+09x + 3E+06	-3	-71,6
G4	y = -1E+10x + 2E+06	-10	-84,3
G5	y = 6E+08x + 103461	0,6	31,0
G6	y = -5E+09x + 1E+06	-5	-78,7
GEYÇ NO	**EĞİM DENKLEMİ TDG**	**m**	**EĞİM AÇISI (Derece)**
G7	y = -7E+09x + 1E+06	-7	-81,9
G8	y = 1E+09x - 27870	1	45,0
G9	y = -7E+09x + 2E+06	-7	-81,9
G4	y = -3E+10x + 5E+06	-30	-88,1
G5	y = 1E+09x + 63054	1	45,0
G6	y = -1E+10x + 2E+06	-10	-84,3

Çizelge 7.12. AD5-c-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

TDG CODA Hızlı Veri Toplayıcı

Çıktı Dosyası					DIŞ ÇAP (Dd)	35,00	mm	counter	belirsiz			Gs=	1,81E+08			Gg4=	1,01E+10
Deney Tarihi	25.10.2005				YARI ÇAP=C	17,50	mm	set speed	3,8			Gg7=	4,42E+09		24,43	Gg5=	6,36E+08
Aygıt Geçidi 1					J	147323,51	mm4	kayıt aralığı	10	sn		Gg8=	1,03E+09		5,69	Gg6=	5,02E+09
DENEY NO	AD5-c-ÇBB-9G				L	270,00	mm	NEM				Gg9=	4,32E+09				
NUMUNE	çam	dolu			İÇ ÇAP (Di)	0	mm	AÇI									
GAUGE ADEDİ	6										KANAL 2	gauge		204 mm			
cins	çam										AÇI		G_{g7}=	-4,42E+09			

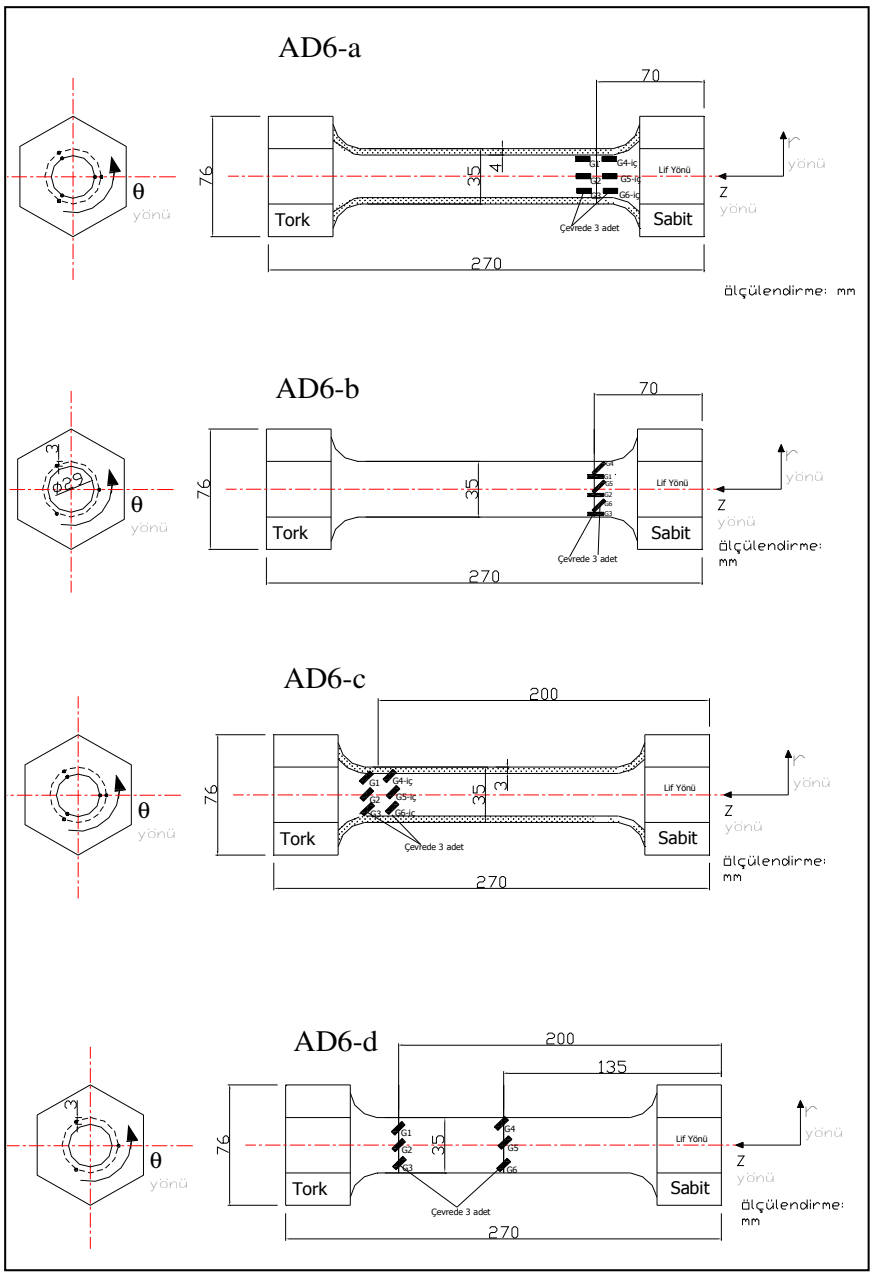
							Gs=	-1,81E+08					L.Y. Paralel	CİHAZ	FORMÜL		
VERİ SAYISI	Counter	DERECE	ϕ (rad)	Kayıt aralığı (sn)	TORK (NM)	TORK (Nmm)	τ_S - Kayma gerl (N/M2)	γ_S (rad)		G1 (volt)	VOLT farkı	τ_{G1} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G1}	γ_{S-G1} (rad)		G2 (volt)
1	0	0	0,00E+00	0	0,00	0	0,000E+00	0,000E+00		5,04	-0,040	0,0000E+00	6,173E-05	0,00E+00		5,033
2	7	2,1	3,67E-02	10	-0,10	-100	-1,188E+04	2,376E-03		5,05	-0,048	-8,9750E+03	7,408E-05	1,79E-03		5,026
3	13	3,9	6,81E-02	20	-2,00	-2000	-2,376E+05	4,412E-03		5,06	-0,057	-1,7950E+05	8,797E-05	3,33E-03		4,991
4	20	6	1,05E-01	30	-2,00	-2000	-2,376E+05	6,787E-03		5,04	-0,040	-1,7950E+05	6,173E-05	5,13E-03		4,984
5	26	7,8	1,36E-01	40	-2,10	-2100	-2,495E+05	8,824E-03		5,07	-0,065	-1,8847E+05	1,003E-04	6,67E-03		4,957
6	32	9,6	1,68E-01	50	-3,50	-3500	-4,158E+05	1,086E-02		5,12	-0,121	-3,1412E+05	1,868E-04	8,21E-03		4,750
7	39	11,7	2,04E-01	60	-11,70	-11700	-1,390E+06	1,324E-02		5,22	-0,216	-1,0501E+06	3,334E-04	1,00E-02		4,335
8	45	13,5	2,36E-01	70	-20,00	-20000	-2,376E+06	1,527E-02		5,32	-0,316	-1,7950E+06	4,878E-04	1,15E-02		3,880
9	51	15,3	2,67E-01	80	-29,50	-29500	-3,504E+06	1,731E-02	-1,731E-02	5,40	-0,404	-2,6476E+06	6,237E-04	1,31E-02		3,426
10	45	13,5	2,36E-01	90	-15,30	-15300	-1,817E+06	1,527E-02		5,33	-0,328	-1,3732E+06	5,063E-04	1,15E-02		3,883
11	40	12	2,09E-01	100	-7,50	-7500	-8,909E+05	1,357E-02		5,22	-0,223	-6,7312E+05	3,442E-04	1,03E-02		4,484
12	33	9,9	1,73E-01	110	1,10	1100	1,307E+05	1,120E-02		5,12	-0,118	9,8725E+04	1,821E-04	8,46E-03		5,018
13	27	8,1	1,41E-01	120	3,20	3200	3,801E+05	9,163E-03		5,09	-0,092	2,8720E+05	1,420E-04	6,92E-03		5,089
14	20	6	1,05E-01	130	3,70	3700	4,395E+05	6,787E-03		5,09	-0,092	3,3207E+05	1,420E-04	5,13E-03		5,099
15	14	4,2	7,33E-02	140	3,60	3600	4,276E+05	4,751E-03		5,09	-0,092	3,2310E+05	1,420E-04	3,59E-03		5,114
16	6	1,8	3,14E-02	150	3,50	3500	4,158E+05	2,036E-03	-2,036E-03	5,09	-0,094	3,1412E+05	1,451E-04	1,54E-03		5,121
17	0	0	0,00E+00	160	4,10	4100	4,870E+05	0,000E+00		5,09	-0,094	3,6797E+05	1,451E-04	0,00E+00		5,138
18	-7	-2,1	-3,67E-02	170	4,90	4900	5,821E+05	-2,376E-03		5,09	-0,094	4,3977E+05	1,451E-04	-1,79E-03		5,187
19	-14	-4,2	-7,33E-02	180	6,40	6400	7,602E+05	-4,751E-03		5,03	-0,026	5,7440E+05	4,013E-05	-3,59E-03		5,419
20	-20	-6	-1,05E-01	190	15,90	15900	1,889E+06	-6,787E-03		4,97	0,033	1,4270E+06	-5,093E-05	-5,13E-03		5,885
21	-26	-7,8	-1,36E-01	200	25,00	25000	2,970E+06	-8,824E-03		4,89	0,114	2,2437E+06	-1,759E-04	-6,67E-03		6,432
22	-32	-9,6	-1,68E-01	210	33,10	33100	3,932E+06	-1,086E-02	1,086E-02	4,835	0,165	2,9707E+06	-2,546E-04	-8,21E-03		6,860
23	-26	-7,8	-1,36E-01	220	17,50	17500	2,079E+06	-8,824E-03		4,913	0,087	1,5706E+06	-1,343E-04	-6,67E-03		6,396
24	-21	-6,3	-1,10E-01	230	8,10	8100	9,622E+05	-7,127E-03		5,013	-0,013	7,2697E+05	2,006E-05	-5,38E-03		5,770
25	-15	-4,5	-7,85E-02	240	1,20	1200	1,425E+05	-5,091E-03		5,094	-0,094	1,0770E+05	1,451E-04	-3,85E-03		5,189
26	-8	-2,4	-4,19E-02	250	-0,30	-300	-3,564E+04	-2,715E-03		5,111	-0,111	-2,6925E+04	1,713E-04	-2,05E-03		5,143

Çizelge 7.12. (Devam) AD5-c-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

KANAL 4	gauge	204 mm			KANAL 5	gauge	135 mm			KANAL 6	gauge	135 mm		
AÇI			G_{g9}=	-4,32E+09	AÇI			G_{g4}=	-1,01E+10	AÇI			G_{g5}=	6,36E+08
		L.Y. 90	CİHAZ	FORMÜL			L.Y. Paralel	CİHAZ	FORMÜL			L.Y. 45	CİHAZ	FORMÜL
G3 (volt)	VOLT farkı	τ_{G3} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G3}	γ_{S-G3} (rad)	G4 (volt)	VOLT farkı	τ_{G4} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G4}	γ_{S-G4} (rad)	G5 (volt)	VOLT farkı	τ_{G5} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G5}	γ_{S-G5} (rad)
5,062	-0,062	0,000E+00	9,578E-05	0,00E+00	5,106	-0,106	0,000E+00	1,636E-04	0,00E+00	5,023	-0,023	0,000E+00	3,545E-05	0,00E+00
5,067	-0,067	-8,975E+03	1,035E-04	1,79E-03	5,109	-0,109	-5,939E+03	1,682E-04	1,19E-03	5,009	-0,009	-5,939E+03	1,387E-05	1,19E-03
5,079	-0,079	-1,795E+05	1,220E-04	3,33E-03	5,109	-0,109	-1,188E+05	1,682E-04	2,21E-03	4,972	0,028	-1,188E+05	-4,316E-05	2,21E-03
5,084	-0,084	-1,795E+05	1,298E-04	5,13E-03	5,096	-0,096	-1,188E+05	1,482E-04	3,39E-03	4,977	0,023	-1,188E+05	-3,545E-05	3,39E-03
5,089	-0,089	-1,885E+05	1,375E-04	6,67E-03	5,111	-0,111	-1,247E+05	1,713E-04	4,41E-03	4,935	0,065	-1,247E+05	-1,002E-04	4,41E-03
5,138	-0,138	-3,141E+05	2,132E-04	8,21E-03	5,126	-0,126	-2,079E+05	1,945E-04	5,43E-03	4,713	0,287	-2,079E+05	-4,423E-04	5,43E-03
5,233	-0,233	-1,050E+06	3,600E-04	1,00E-02	5,150	-0,150	-6,949E+05	2,315E-04	6,62E-03	4,271	0,729	-6,949E+05	-1,123E-03	6,62E-03
5,346	-0,346	-1,795E+06	5,347E-04	1,15E-02	5,182	-0,182	-1,188E+06	2,809E-04	7,64E-03	3,783	1,217	-1,188E+06	-1,874E-03	7,64E-03
5,446	-0,446	-2,648E+06	6,892E-04	1,31E-02	5,209	-0,209	-1,752E+06	3,226E-04	8,65E-03	3,306	1,694	-1,752E+06	-2,608E-03	8,65E-03
5,368	-0,368	-1,373E+06	5,687E-04	1,15E-02	5,184	-0,184	-9,087E+05	2,840E-04	7,64E-03	3,766	1,234	-9,087E+05	-1,900E-03	7,64E-03
5,250	-0,250	-6,731E+05	3,863E-04	1,03E-02	5,150	-0,150	-4,454E+05	2,315E-04	6,79E-03	4,391	0,609	-4,454E+05	-9,382E-04	6,79E-03
5,148	-0,148	9,872E+04	2,287E-04	8,46E-03	5,121	-0,121	6,533E+04	1,868E-04	5,60E-03	4,950	0,050	6,533E+04	-7,707E-05	5,60E-03
5,138	-0,138	2,872E+05	2,132E-04	6,92E-03	5,114	-0,114	1,901E+05	1,760E-04	4,58E-03	5,026	-0,026	1,901E+05	4,008E-05	4,58E-03
5,140	-0,140	3,321E+05	2,163E-04	5,13E-03	5,116	-0,116	2,198E+05	1,790E-04	3,39E-03	5,038	-0,038	2,198E+05	5,857E-05	3,39E-03
5,143	-0,143	3,231E+05	2,209E-04	3,59E-03	5,121	-0,121	2,138E+05	1,868E-04	2,38E-03	5,055	-0,055	2,138E+05	8,478E-05	2,38E-03
5,145	-0,145	3,141E+05	2,240E-04	1,54E-03	5,123	-0,123	2,079E+05	1,898E-04	1,02E-03	5,065	-0,065	2,079E+05	1,002E-04	1,02E-03
5,150	-0,150	3,680E+05	2,317E-04	0,00E+00	5,128	-0,128	2,435E+05	1,976E-04	0,00E+00	5,077	-0,077	2,435E+05	1,187E-04	0,00E+00
5,143	-0,143	4,398E+05	2,209E-04	-1,79E-03	5,131	-0,131	2,910E+05	2,022E-04	-1,19E-03	5,128	-0,128	2,910E+05	1,973E-04	-1,19E-03
5,077	-0,077	5,744E+05	1,190E-04	-3,59E-03	5,109	-0,109	3,801E+05	1,682E-04	-2,38E-03	5,392	-0,392	3,801E+05	6,044E-04	-2,38E-03
5,021	-0,021	1,427E+06	3,244E-05	-5,13E-03	5,087	-0,087	9,444E+05	1,343E-04	-3,39E-03	5,883	-0,883	9,444E+05	1,362E-03	-3,39E-03
4,945	0,055	2,244E+06	-8,496E-05	-6,67E-03	5,060	-0,060	1,485E+06	9,260E-05	-4,41E-03	6,452	-1,452	1,485E+06	2,241E-03	-4,41E-03
4,891	0,109	2,971E+06	-1,684E-04	-8,21E-03	5,043	-0,043	1,966E+06	6,636E-05	-5,43E-03	6,899	-1,899	1,966E+06	2,932E-03	-5,43E-03
4,965	0,035	1,571E+06	-5,407E-05	-6,67E-03	5,072	-0,072	1,039E+06	1,111E-04	-4,41E-03	6,410	-1,410	1,039E+06	2,176E-03	-4,41E-03
5,057	-0,057	7,270E+05	8,806E-05	-5,38E-03	5,106	-0,106	4,811E+05	1,636E-04	-3,56E-03	5,744	-0,744	4,811E+05	1,147E-03	-3,56E-03
5,140	-0,140	1,077E+05	2,163E-04	-3,85E-03	5,133	-0,133	7,127E+04	2,053E-04	-2,55E-03	5,131	-0,131	7,127E+04	2,019E-04	-2,55E-03
5,158	-0,158	-2,692E+04	2,441E-04	-2,05E-03	5,145	-0,145	-1,782E+04	2,238E-04	-1,36E-03	5,077	-0,077	-1,782E+04	1,187E-04	-1,36E-03

7.3.2. Lif doğrultularına göre 0^0 ve 45^0 açı ile dizilmiş geyçlerle yapılan deneyler

Numune şekillerine ait, gruplara uygun genel teknik resimler aşağıda verilmiştir. Yapılan bu deneylerden elde edilen z yönüne bağlı G değişim grafikleri de ortak olarak aşağıda verilen grafiklerde yer almaktadır. Bunların dışındaki deneylere ait grafikler alt başlıklar halinde sunulacaktır.

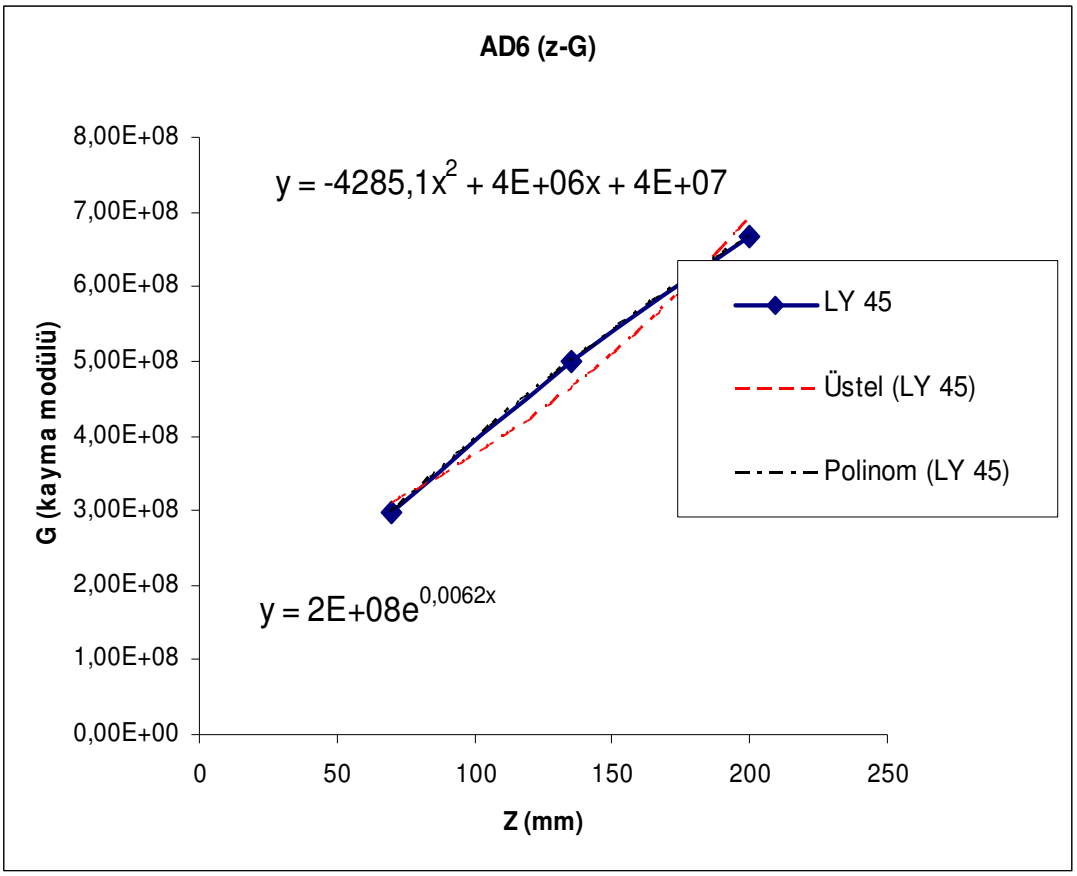


Şekil 7.13. AD6 numaralı deney grubuna ait geyç yerleşiminin şekilsel gösterimi

Çizelge 7.13. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri

DENEY AD6-b-d

		Z ekseni mm	G(Pa)	
AD6-b	**Gauge 4**	**70**	**2,98E+08**	
AD6-d	**Gauge 4**	**135**	**5,00E+08**	**LİF YÖNÜNE 45°**
AD6-d	**Gauge 1**	**200**	**6,66E+08**	

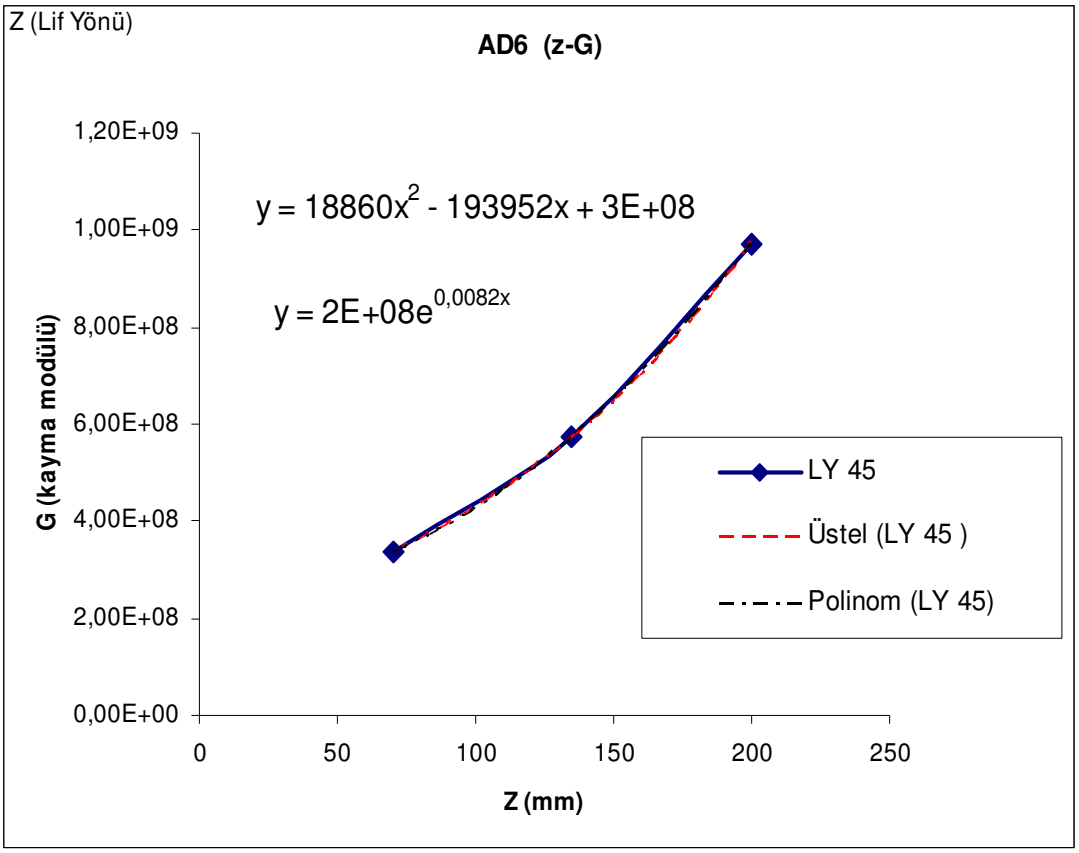


Şekil 7.14. Numune dış yüzeyine lif doğrultuları boyunca 45^0 açı yapacak şekilde belli aralıklarla yapıştırılmış geyçlerden alınan birim deformasyon bilgilerine ait grafikler

Çizelge 7.14. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri

DENEY AD6-b-d

		Z ekseni mm	G(Pa)	
AD6-b	Gauge 5	70	3,35E+08	
AD6-d	Gauge 5	135	5,74E+08	LİF YÖNÜNE 45°
AD6-d	Gauge 2	200	9,72E+08	

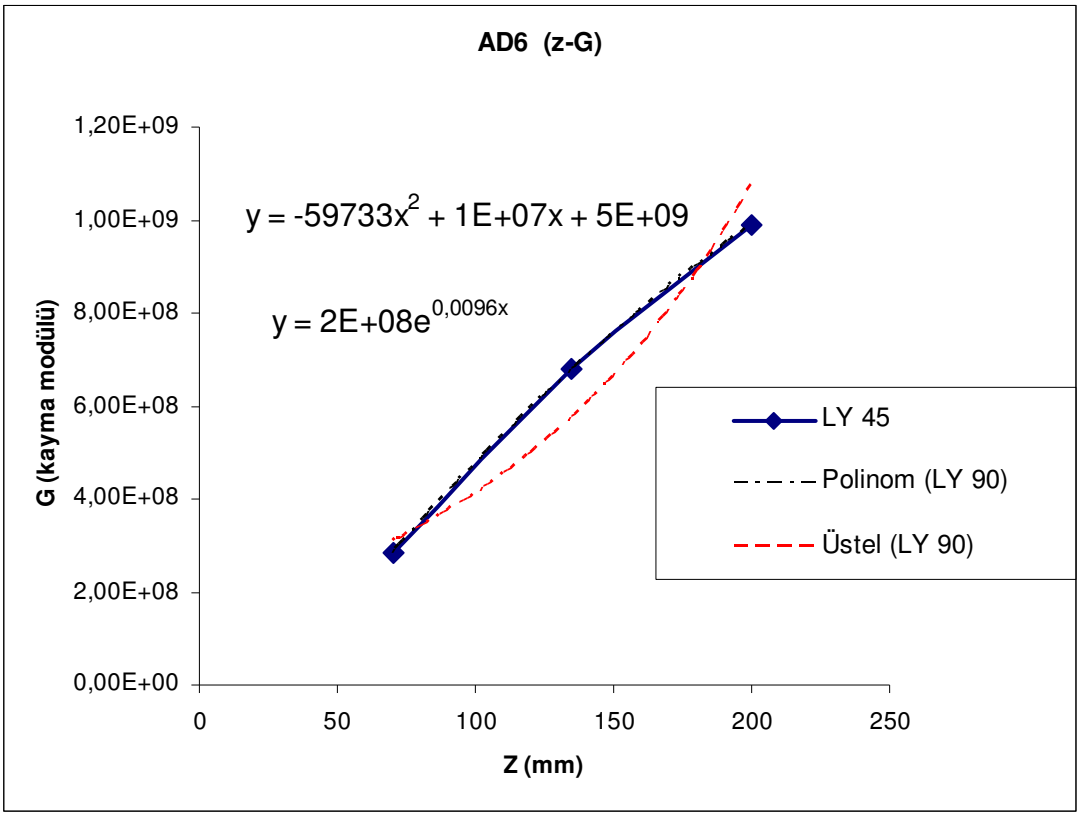


Şekil 7.15. Numune dış yüzeyine lif doğrultuları boyunca 45^0 açı yapacak şekilde belli aralıklarla yapıştırılmış geyçlerden alınan birim deformasyon bilgilerine ait grafikler

Çizelge 7.15. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri

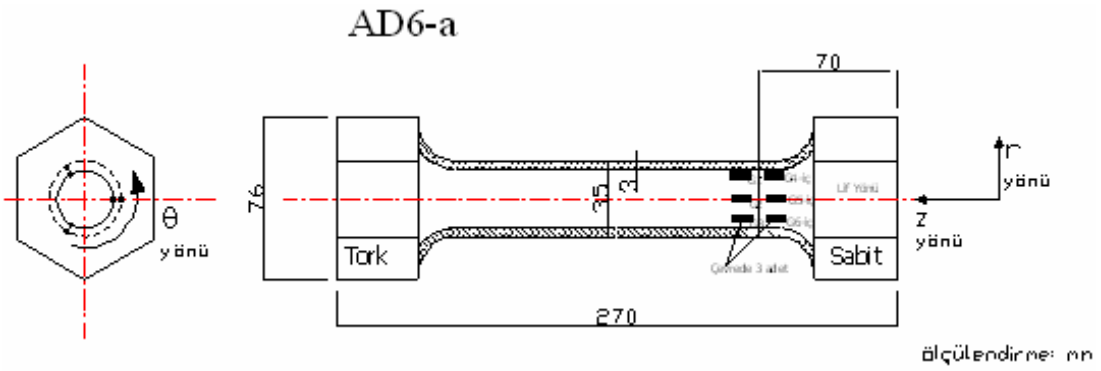
DENEY AD6-b-d

		Z ekseni mm	G(Pa)	
AD6-b	Gauge 6	70	2,84E+08	
AD6-d	Gauge 6	135	6,78E+08	LİF YÖNÜNE 45°
AD6-d	Gauge 3	200	9,89E+08	



Şekil 7.16. Numune dış yüzeyine lif doğrultuları boyunca 45^0 açı yapacak şekilde belli aralıklarla yapıştırılmış geyçlerden alınan birim deformasyon bilgilerine ait grafikler

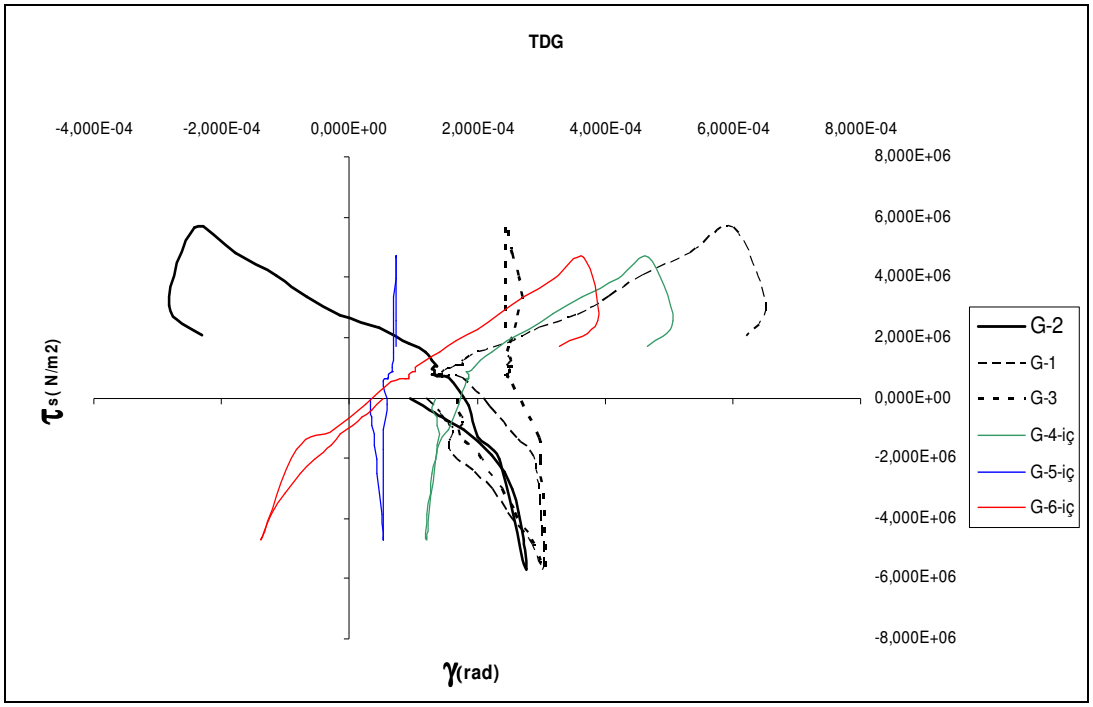
AD6-a numaralı deney sonuçları



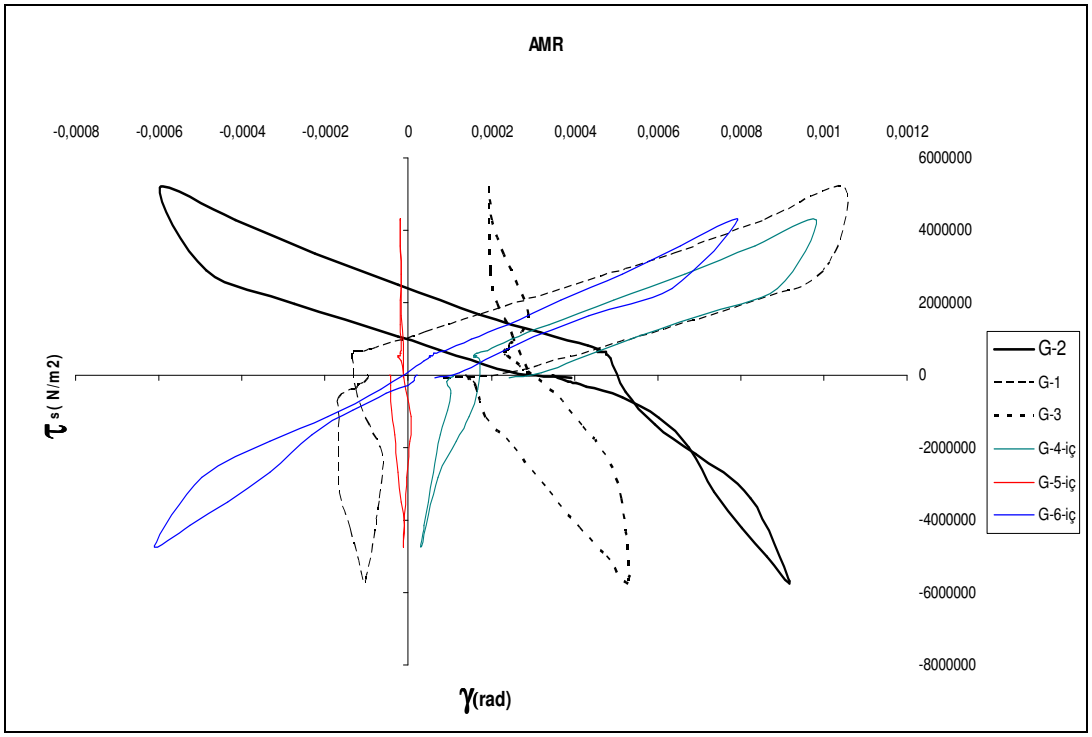
Şekil 7.17. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait şekilsel gösterim

Çizelge 7.16. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait TDG ve AMR cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri

	TDG		
GEYÇ NO	**G(Pa)**	**Z (mm)**	**LİF YÖNÜ**
Gs=	**4,09E+08**		
G1=	**7,58E+09**	**70**	**LY 0°**
G2=	**7,02E+09**	**70**	**LY 0°**
G3=	**9,33E+09**	**70**	**LY 0°**
G4-iç=	**5,51E+10**	**70**	**LY 0°**
G5-iç=	**6,36E+10**	**70**	**LY 0°**
G6-iç=	**7,14E+09**	**70**	**LY 0°**
	AMR		
GEYÇ NO	**G(Pa)**	**Z (mm)**	**LİF YÖNÜ**
Gs=	**2,82E+08**		
G1=	**1,41E+09**	**70**	**LY 0°**
G2=	**2,54E+09**	**70**	**LY 0°**
G3=	**3,79E+09**	**70**	**LY 0°**
G4-iç=	**1,94E+10**	**70**	**LY 0°**
G5-iç=	**3,94E+10**	**70**	**LY 0°**
G6-iç=	**2,33E+09**	**70**	**LY 0°**



Şekil 7.18. AD6-a-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği



Şekil 7.19. AD6-a-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait AMR cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği

Çizelge 7.17. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait eğim deklemleri çizelgeleri

GEYÇ NO	EĞİM DENKLEMİ AMR	m	EĞİM AÇISI (Derece)
G1	y = 5E+09x - 368379	0,5	26,6
G2	y = -6E+09x + 2E+06	-0,6	-31,0
G3	y = -2E+10x + 4E+06	-2	-63,4
G4-iç	y = 6E+09x - 2E+06	0,6	31,0
G5-iç	y = -2E+10x - 387393	-2	-63,4
G6-iç	y = 6E+09x - 236714	0,6	31,0
GEYÇ NO	**EĞİM DENKLEMİ TDG**	**m**	**EĞİM AÇISI (Derece)**
G1	y = 9E+09x - 2E+06	9	83,7
G2	y = -1E+10x + 2E+06	-10	-84,3
G3	y = 5E+08x + 205166	0,5	26,6
G4-iç	y = 2E+10x - 3E+06	20	87,1
G5-iç	y = 1E+11x - 6E+06	100	89,4
G6-iç	y = 1E+10x - 988015	10	84,3

Çizelge 7.18. AD6-a-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

TDG CODA Hızlı Veri Toplayıcı

Çıktı Dosyası				DIŞ ÇAP (Dd)	35,00	mm	counter	belirsiz			Gs=	4,09E+08			Gg4-iç=	5,51E+10
Deney Tarihi	25.10.2005			YARI ÇAP=C	17,50	mm	set speed	3,8			Gg1=	7,58E+09	18,53		Gg5-iç=	6,36E+10
Aygıt Geçidi 1				J	77886,37	mm4	kayıt aralığı	10	sn		Gg2=	7,02E+09	17,16		Gg6-iç=	7,14E+09
DENEY NO	AD6-a-ÇBB-6G			L	270,00	mm	NEM	6%			Gg3=	9,33E+09				
NUMUNE	ÇAM	BOŞ		İÇ ÇAP (Di)	29	mm	AÇI									
GAUGE ADEDİ	6									KANAL 2	gauge		70 mm			
cins	çam									AÇI	LY	G_{g1}=	-7,58E+09	21 mm		

									Gs=	-4,09E+08						CİHAZ	FORMÜL		
VERİ SAYISI	Counter	DERECE	θ (rad)	Kayıt aralığı (sn)	TORK (NM)	TORK (Nmm)	τ_S - Kayma gerl (N/M2)	γ_S (rad)		G1 (volt)	VOLT farkı	τ_{G1} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G1}	γ_{S-G1} (rad)		G2 (volt)
1	0	0	0,00E+00	0	0,00	0	0,000E+00	0,000E+00		5,08	-0,077	0,0000E+00	1,188E-04	0,00E+00		5,062
2	6	1,8	3,14E-02	10	-2,20	-2200	-4,943E+05	2,036E-03		5,09	-0,092	-1,2815E+05	1,420E-04	5,28E-04		5,087
3	11	3,3	5,76E-02	20	-3,50	-3500	-7,864E+05	3,733E-03		5,10	-0,096	-2,0388E+05	1,482E-04	9,68E-04		5,101
4	15	4,5	7,85E-02	30	-4,80	-4800	-1,078E+06	5,091E-03		5,10	-0,104	-2,7961E+05	1,605E-04	1,32E-03		5,116
5	19	5,7	9,95E-02	40	-6,40	-6400	-1,438E+06	6,448E-03		5,10	-0,101	-3,7281E+05	1,559E-04	1,67E-03		5,131
6	23	6,9	1,20E-01	50	-8,50	-8500	-1,910E+06	7,806E-03		5,10	-0,104	-4,9514E+05	1,605E-04	2,02E-03		5,145
7	26	7,8	1,36E-01	60	-10,90	-10900	-2,449E+06	8,824E-03		5,13	-0,126	-6,3495E+05	1,945E-04	2,29E-03		5,158
8	29	8,7	1,52E-01	70	-13,50	-13500	-3,033E+06	9,842E-03		5,15	-0,145	-7,8640E+05	2,238E-04	2,55E-03		5,165
9	32	9,6	1,68E-01	80	-17,10	-17100	-3,842E+06	1,086E-02		5,16	-0,160	-9,9611E+05	2,470E-04	2,82E-03		5,172
10	36	10,8	1,88E-01	90	-20,90	-20900	-4,696E+06	1,222E-02		5,18	-0,182	-1,2175E+06	2,809E-04	3,17E-03		5,177
11	39	11,7	2,04E-01	100	-24,90	-24900	-5,595E+06	1,324E-02	-1,324E-02	5,20	-0,197	-1,4505E+06	3,041E-04	3,43E-03		5,179
12	32	9,6	1,68E-01	110	-9,10	-9100	-2,045E+06	1,086E-02		5,19	-0,189	-5,3009E+05	2,917E-04	2,82E-03		5,153
13	28	8,4	1,47E-01	120	-5,70	-5700	-1,281E+06	9,502E-03		5,17	-0,170	-3,3204E+05	2,624E-04	2,46E-03		5,131
14	24	7,2	1,26E-01	130	-1,20	-1200	-2,696E+05	8,145E-03		5,14	-0,143	-6,9902E+04	2,207E-04	2,11E-03		5,121
15	19	5,7	9,95E-02	140	3,00	3000	6,741E+05	6,448E-03		5,12	-0,116	1,7476E+05	1,790E-04	1,67E-03		5,101
16	15	4,5	7,85E-02	150	3,30	3300	7,415E+05	5,091E-03		5,09	-0,089	1,9223E+05	1,374E-04	1,32E-03		5,089
17	10	3	5,24E-02	160	3,40	3400	7,639E+05	3,394E-03		5,09	-0,092	1,9806E+05	1,420E-04	8,80E-04		5,084
18	6	1,8	3,14E-02	170	3,40	3400	7,639E+05	2,036E-03		5,09	-0,094	1,9806E+05	1,451E-04	5,28E-04		5,087
19	1	0,3	5,24E-03	180	3,70	3700	8,313E+05	3,394E-04		5,09	-0,094	2,1553E+05	1,451E-04	8,80E-05		5,087
20	-3	-0,9	-1,57E-02	190	4,00	4000	8,987E+05	-1,018E-03		5,10	-0,096	2,3301E+05	1,482E-04	-2,64E-04		5,087
21	-8	-2,4	-4,19E-02	200	4,20	4200	9,437E+05	-2,715E-03		5,10	-0,099	2,4466E+05	1,528E-04	-7,04E-04		5,084
22	-14	-4,2	-7,33E-02	210	4,60	4600	1,034E+06	-4,751E-03		5,109	-0,109	2,6796E+05	1,682E-04	-1,23E-03		5,087
23	-18	-5,4	-9,42E-02	220	4,60	4600	1,034E+06	-6,109E-03		5,116	-0,116	2,6796E+05	1,790E-04	-1,58E-03		5,089
24	-22	-6,6	-1,15E-01	230	5,50	5500	1,236E+06	-7,466E-03		5,116	-0,116	3,2039E+05	1,790E-04	-1,94E-03		5,084
25	-27	-8,1	-1,41E-01	240	6,80	6800	1,528E+06	-9,163E-03		5,131	-0,131	3,9611E+05	2,022E-04	-2,38E-03		5,077
26	-31	-9,3	-1,62E-01	250	8,10	8100	1,820E+06	-1,052E-02		5,16	-0,160	4,7184E+05	2,470E-04	-2,73E-03		5,060
27	-35	-10,5	-1,83E-01	260	10,30	10300	2,314E+06	-1,188E-02		5,192	-0,192	6,0000E+05	2,964E-04	-3,08E-03		5,031
28	-39	-11,7	-2,04E-01	270	12,20	12200	2,741E+06	-1,324E-02		5,231	-0,231	7,1067E+05	3,566E-04	-3,43E-03		4,991
29	-43	-12,9	-2,25E-01	280	14,90	14900	3,348E+06	-1,459E-02		5,263	-0,263	8,6795E+05	4,060E-04	-3,78E-03		4,957
30	-47	-14,1	-2,46E-01	290	18,00	18000	4,044E+06	-1,595E-02		5,297	-0,297	1,0485E+06	4,585E-04	-4,14E-03		4,926
31	-51	-15,3	-2,67E-01	300	21,40	21400	4,808E+06	-1,731E-02		5,346	-0,346	1,2466E+06	5,341E-04	-4,49E-03		4,884
32	-55	-16,5	-2,88E-01	310	25,10	25100	5,640E+06	-1,867E-02	1,867E-02	5,389	-0,389	1,4621E+06	6,005E-04	-4,84E-03		4,842
33	-51	-15,3	-2,67E-01	320	13,70	13700	3,078E+06	-1,731E-02		5,421	-0,421	7,9805E+05	6,500E-04	-4,49E-03		4,816
34	-46	-13,8	-2,41E-01	330	9,20	9200	2,067E+06	-1,561E-02		5,402	-0,402	5,3592E+05	6,206E-04	-4,05E-03		4,850
35	-42	-12,6	-2,20E-01	331	4,70	4700	1,056E+06	-1,425E-02		5,355	-0,355	2,7378E+05	5,480E-04	-3,70E-03		4,904
36	-38	-11,4	-1,99E-01	332	1,10	1100	2,472E+05	-1,290E-02		5,299	-0,299	6,4077E+04	4,616E-04	-3,34E-03		4,962

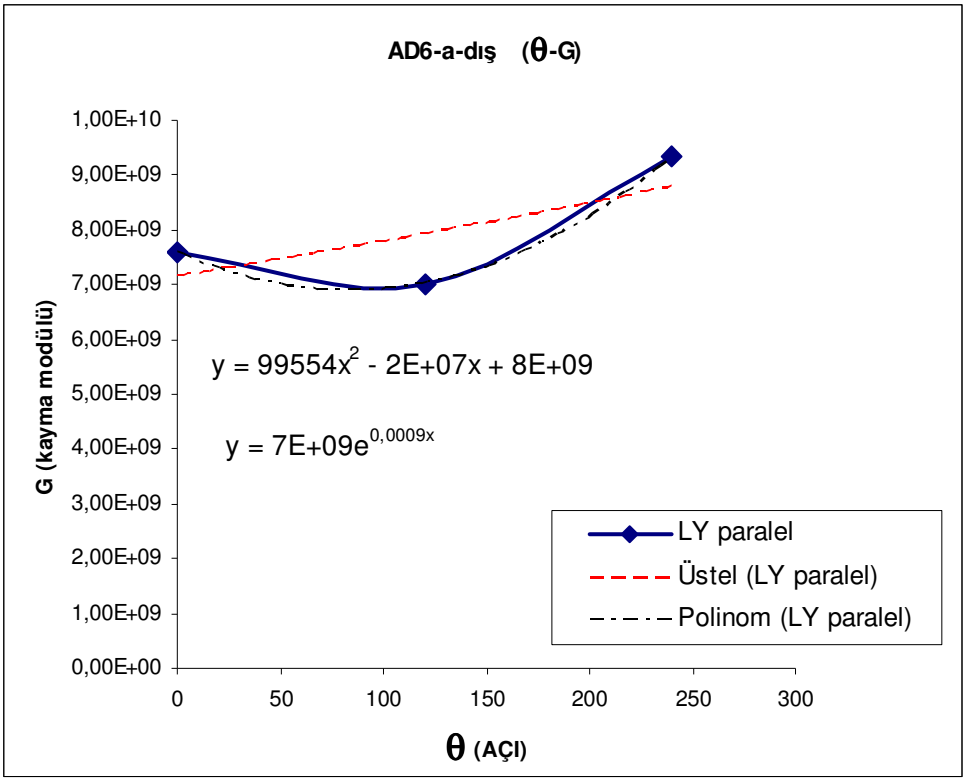
Çizelge 7.18. (Devam) AD6-a-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

KANAL 4	gauge	70 mm				KANAL 5	gauge	70 mm				KANAL 6	gauge	70 mm		
AÇI	LY	G_{g3}=	-9,33E+09	15 mm		AÇI	LY	$G_{g4\text{-}iç}$=	5,51E+10			AÇI	LY	$G_{g5\text{-}iç}$=	-6,36E+10	
			CİHAZ	FORMÜL					CİHAZ	FORMÜL					CİHAZ	FORMÜL
G3 (volt)	VOLT farkı	τ_{G3} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G3}	$\gamma_{S\text{-}G3}$ (rad)		G4 (volt)	VOLT farkı	τ_{G4} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G4}	$\gamma_{S\text{-}G4}$ (rad)		G5 (volt)	VOLT farkı	τ_{G5} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G5}	$\gamma_{S\text{-}G5}$ (rad)
5,109	-0,109	0,000E+00	1,684E-04	0,00E+00		5,087	-0,087	0,000E+00	1,343E-04	0,00E+00		5,021	-0,021	0,000E+00	3,237E-05	0,00E+00
5,111	-0,111	-1,282E+05	1,715E-04	5,28E-04		5,084	-0,084	-1,282E+05	1,296E-04	5,28E-04		5,021	-0,021	-1,282E+05	3,237E-05	5,28E-04
5,114	-0,114	-2,039E+05	1,761E-04	9,68E-04		5,089	-0,089	-2,039E+05	1,374E-04	9,68E-04		5,023	-0,023	-2,039E+05	3,545E-05	9,68E-04
5,111	-0,111	-2,796E+05	1,715E-04	1,32E-03		5,089	-0,089	-2,796E+05	1,374E-04	1,32E-03		5,023	-0,023	-2,796E+05	3,545E-05	1,32E-03
5,116	-0,116	-3,728E+05	1,792E-04	1,67E-03		5,092	-0,092	-3,728E+05	1,420E-04	1,67E-03		5,026	-0,026	-3,728E+05	4,008E-05	1,67E-03
5,131	-0,131	-4,951E+05	2,024E-04	2,02E-03		5,089	-0,089	-4,951E+05	1,374E-04	2,02E-03		5,026	-0,026	-4,951E+05	4,008E-05	2,02E-03
5,140	-0,140	-6,349E+05	2,163E-04	2,29E-03		5,087	-0,087	-6,349E+05	1,343E-04	2,29E-03		5,028	-0,028	-6,349E+05	4,316E-05	2,29E-03
5,155	-0,155	-7,864E+05	2,395E-04	2,55E-03		5,084	-0,084	-7,864E+05	1,296E-04	2,55E-03		5,028	-0,028	-7,864E+05	4,316E-05	2,55E-03
5,167	-0,167	-9,961E+05	2,580E-04	2,82E-03		5,082	-0,082	-9,961E+05	1,266E-04	2,82E-03		5,031	-0,031	-9,961E+05	4,778E-05	2,82E-03
5,184	-0,184	-1,217E+06	2,843E-04	3,17E-03		5,079	-0,079	-1,217E+06	1,219E-04	3,17E-03		5,033	-0,033	-1,217E+06	5,087E-05	3,17E-03
5,199	-0,199	-1,450E+06	3,075E-04	3,43E-03		5,079	-0,079	-1,450E+06	1,219E-04	3,43E-03		5,035	-0,035	-1,450E+06	5,395E-05	3,43E-03
5,194	-0,194	-5,301E+05	2,997E-04	2,82E-03		5,089	-0,089	-5,301E+05	1,374E-04	2,82E-03		5,035	-0,035	-5,301E+05	5,395E-05	2,82E-03
5,192	-0,192	-3,320E+05	2,966E-04	2,46E-03		5,101	-0,101	-3,320E+05	1,559E-04	2,46E-03		5,035	-0,035	-3,320E+05	5,395E-05	2,46E-03
5,177	-0,177	-6,990E+04	2,735E-04	2,11E-03		5,111	-0,111	-6,990E+04	1,713E-04	2,11E-03		5,038	-0,038	-6,990E+04	5,857E-05	2,11E-03
5,162	-0,162	1,748E+05	2,503E-04	1,67E-03		5,118	-0,118	1,748E+05	1,821E-04	1,67E-03		5,035	-0,035	1,748E+05	5,395E-05	1,67E-03
5,158	-0,158	1,922E+05	2,441E-04	1,32E-03		5,121	-0,121	1,922E+05	1,868E-04	1,32E-03		5,038	-0,038	1,922E+05	5,857E-05	1,32E-03
5,160	-0,160	1,981E+05	2,472E-04	8,80E-04		5,118	-0,118	1,981E+05	1,821E-04	8,80E-04		5,038	-0,038	1,981E+05	5,857E-05	8,80E-04
5,160	-0,160	1,981E+05	2,472E-04	5,28E-04		5,118	-0,118	1,981E+05	1,821E-04	5,28E-04		5,038	-0,038	1,981E+05	5,857E-05	5,28E-04
5,162	-0,162	2,155E+05	2,503E-04	8,80E-05		5,121	-0,121	2,155E+05	1,868E-04	8,80E-05		5,040	-0,040	2,155E+05	6,166E-05	8,80E-05
5,162	-0,162	2,330E+05	2,503E-04	-2,64E-04		5,121	-0,121	2,330E+05	1,868E-04	-2,64E-04		5,040	-0,040	2,330E+05	6,166E-05	-2,64E-04
5,162	-0,162	2,447E+05	2,503E-04	-7,04E-04		5,121	-0,121	2,447E+05	1,868E-04	-7,04E-04		5,040	-0,040	2,447E+05	6,166E-05	-7,04E-04
5,165	-0,165	2,680E+05	2,549E-04	-1,23E-03		5,118	-0,118	2,680E+05	1,821E-04	-1,23E-03		5,043	-0,043	2,680E+05	6,628E-05	-1,23E-03
5,160	-0,160	2,680E+05	2,472E-04	-1,58E-03		5,121	-0,121	2,680E+05	1,868E-04	-1,58E-03		5,043	-0,043	2,680E+05	6,628E-05	-1,58E-03
5,165	-0,165	3,204E+05	2,549E-04	-1,94E-03		5,126	-0,126	3,204E+05	1,945E-04	-1,94E-03		5,043	-0,043	3,204E+05	6,628E-05	-1,94E-03
5,160	-0,160	3,961E+05	2,472E-04	-2,38E-03		5,133	-0,133	3,961E+05	2,053E-04	-2,38E-03		5,045	-0,045	3,961E+05	6,937E-05	-2,38E-03
5,162	-0,162	4,718E+05	2,503E-04	-2,73E-03		5,145	-0,145	4,718E+05	2,238E-04	-2,73E-03		5,045	-0,045	4,718E+05	6,937E-05	-2,73E-03
5,167	-0,167	6,000E+05	2,580E-04	-3,08E-03		5,160	-0,160	6,000E+05	2,470E-04	-3,08E-03		5,045	-0,045	6,000E+05	6,937E-05	-3,08E-03
5,170	-0,170	7,107E+05	2,627E-04	-3,43E-03		5,182	-0,182	7,107E+05	2,809E-04	-3,43E-03		5,045	-0,045	7,107E+05	6,937E-05	-3,43E-03
5,175	-0,175	8,680E+05	2,704E-04	-3,78E-03		5,206	-0,206	8,680E+05	3,180E-04	-3,78E-03		5,045	-0,045	8,680E+05	6,937E-05	-3,78E-03
5,172	-0,172	1,049E+06	2,657E-04	-4,14E-03		5,236	-0,236	1,049E+06	3,643E-04	-4,14E-03		5,045	-0,045	1,049E+06	6,937E-05	-4,14E-03
5,165	-0,165	1,247E+06	2,549E-04	-4,49E-03		5,272	-0,272	1,247E+06	4,199E-04	-4,49E-03		5,048	-0,048	1,247E+06	7,399E-05	-4,49E-03
5,158	-0,158	1,462E+06	2,441E-04	-4,84E-03		5,304	-0,304	1,462E+06	4,693E-04	-4,84E-03		5,048	-0,048	1,462E+06	7,399E-05	-4,84E-03
5,158	-0,158	7,981E+05	2,441E-04	-4,49E-03		5,328	-0,328	7,981E+05	5,063E-04	-4,49E-03		5,048	-0,048	7,981E+05	7,399E-05	-4,49E-03
5,158	-0,158	5,359E+05	2,441E-04	-4,05E-03		5,302	-0,302	5,359E+05	4,662E-04	-4,05E-03		5,048	-0,048	5,359E+05	7,399E-05	-4,05E-03
5,165	-0,165	2,738E+05	2,549E-04	-3,70E-03		5,260	-0,260	2,738E+05	4,013E-04	-3,70E-03		5,050	-0,050	2,738E+05	7,707E-05	-3,70E-03
5,179	-0,179	6,408E+04	2,766E-04	-3,34E-03		5,216	-0,216	6,408E+04	3,334E-04	-3,34E-03		5,050	-0,050	6,408E+04	7,707E-05	-3,34E-03
5,187	-0,187	-1,748E+04	2,889E-04	-2,90E-03		5,177	-0,177	-1,748E+04	2,732E-04	-2,90E-03		5,050	-0,050	-1,748E+04	7,707E-05	-2,90E-03

Çizelge 7.19. AD6-a-ÇBB numunesinde dış yüzeye çevresel olarak dizilmiş G1-G2-G3 geyçlerine ait deneysel değerler

AD6-a	z ekseni		ds mm	θ	G (Pa)
Gauge 1	70 mm	θ_1	0	0	7,58E+09
Gauge 2	70 mm	θ_2	36,65	120	7,02E+09
Gauge 3	70 mm	θ_3	73,30	240	9,33E+09

GEYÇLER LİF YÖNÜNE PARALEL

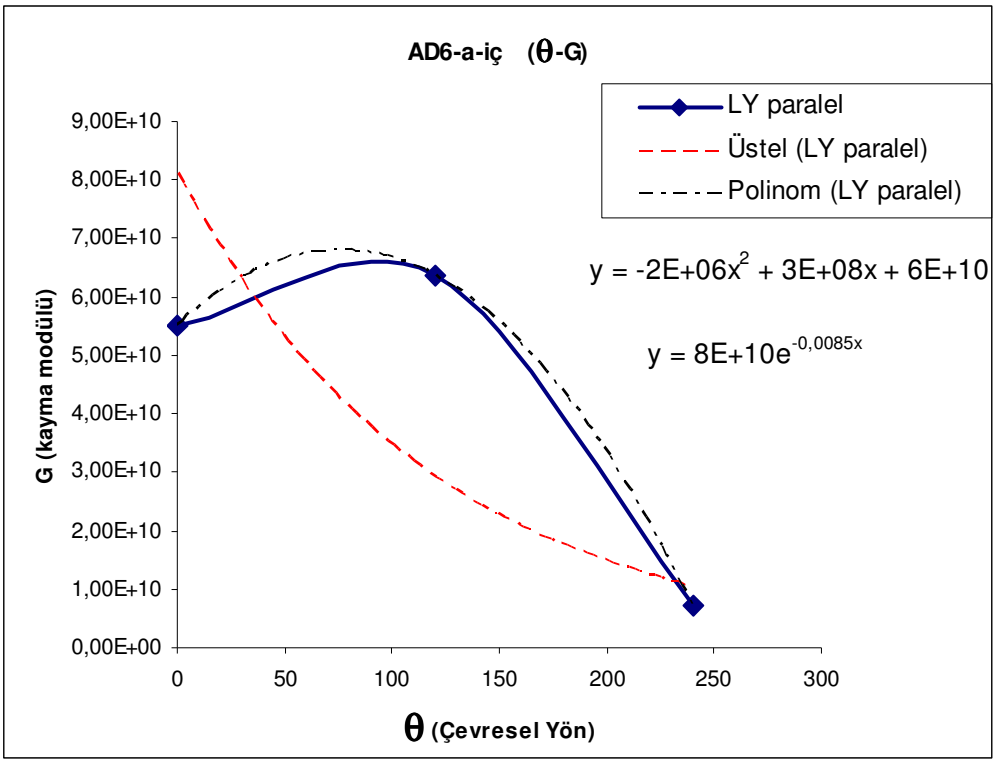


Şekil 7.20. AD6-a-ÇBB numunesi üzerinde bulunan G1-G2-G3 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği

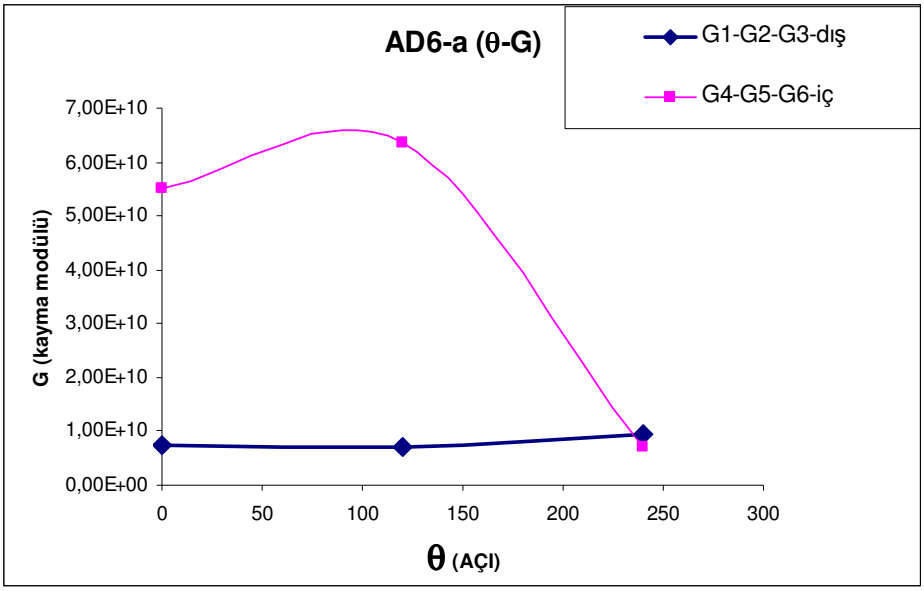
Çizelge 7.20. AD6-a-ÇBB numunesinde iç yüzeye çevresel olarak dizilmiş G4-G5-G6 geyçlerine ait deneysel değerler

AD6-a	z ekseni		ds mm	θ	G (Pa)
Gauge 4-iç	70 mm	θ_1	0	0	**5,51E+10**
Gauge 5-iç	70 mm	θ_2	36,65	120	**6,36E+10**
Gauge 6-iç	70 mm	θ_3	73,30	240	**7,14E+09**

GEYÇLER LİF YÖNÜNE PARALEL



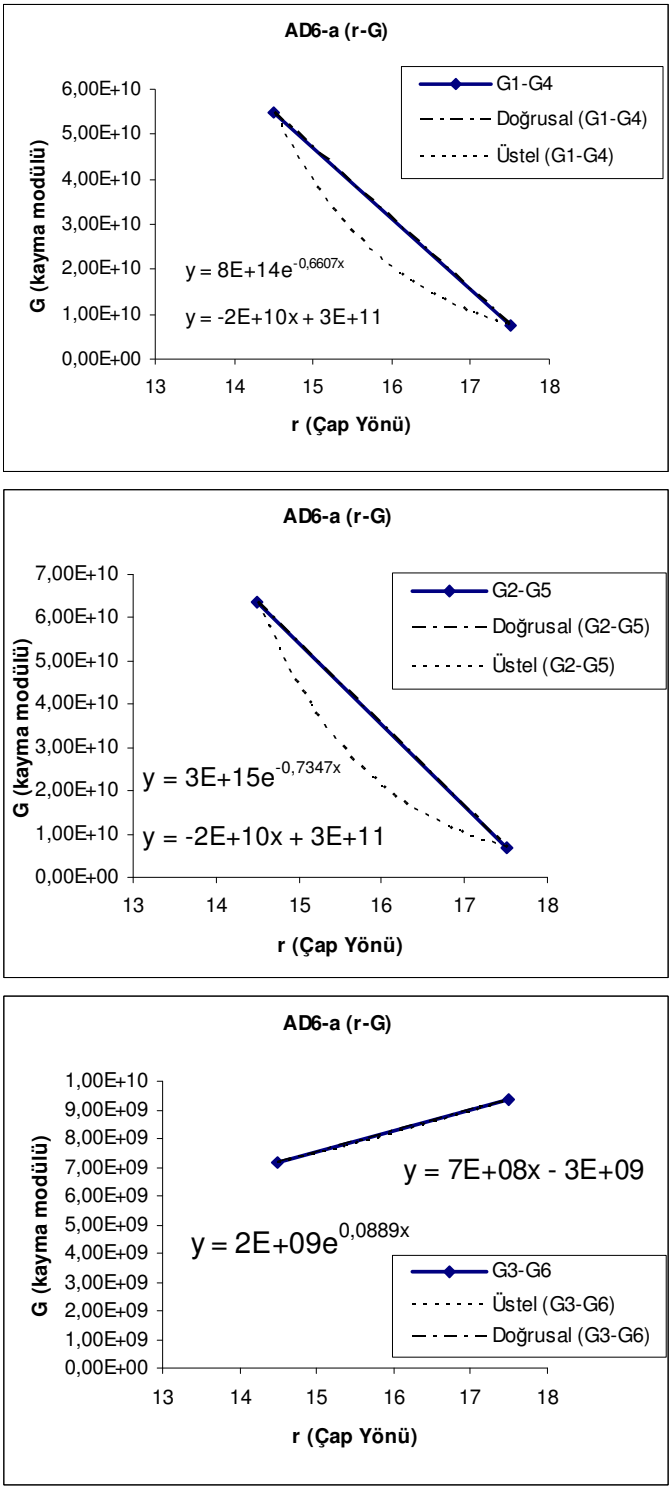
Şekil 7.21. AD6-a-ÇBB numunesi iç yüzeyinde bulunan G4-G5-G6 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği



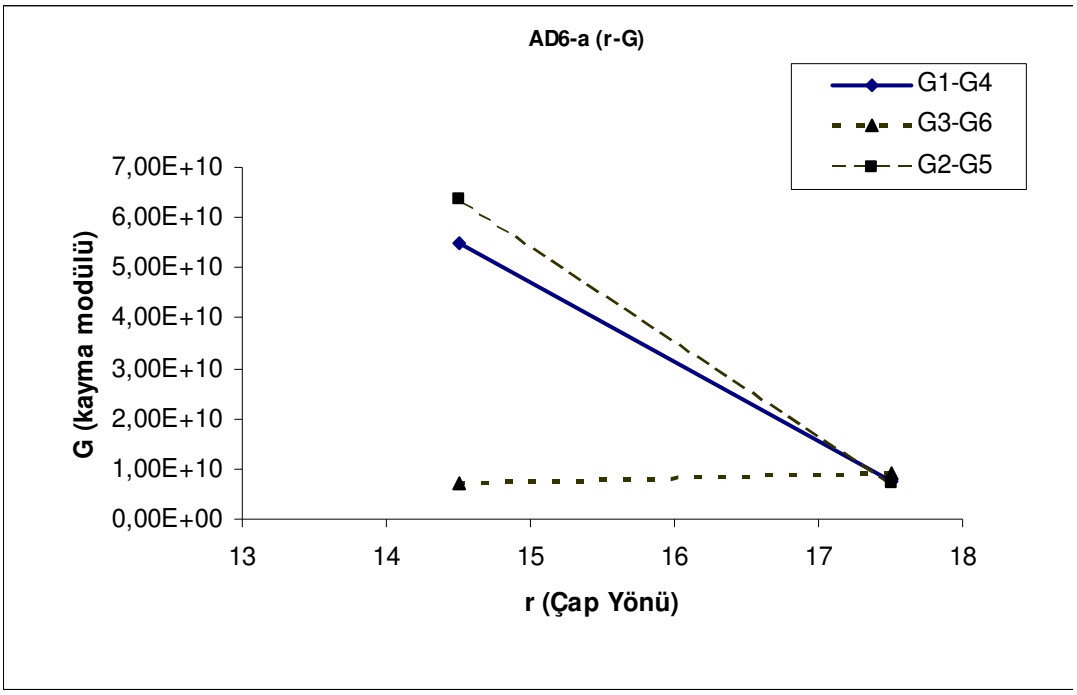
Şekil 7.22. AD6-a-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylerinde bulunan geyçlere ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği

Çizelge 7.21. AD6-a-ÇBB numunesinde aynı yarıçap doğrultusunda dış ve iç yüzeylere ait belirtilen koordinat noktalarından alınan γ-kayma genlemeleri dağılım çizelgeleri

	r ekseni mm	G		
Gauge 1	17,5	7,58E+09	$r_{iç}/r_{dış}$	0,8286
Gauge 4-iç	14,5	5,51E+10	$\gamma_{iç}/\gamma_{dış}$	0,4010
GEYÇLER LİF YÖNÜNE PARALEL				
	r ekseni mm	G		
Gauge 2	17,5	7,02E+09	$r_{iç}/r_{dış}$	0,8286
Gauge 5-iç	14,5	6,36E+10	$\gamma_{iç}/\gamma_{dış}$	0,1958
GEYÇLER LİF YÖNÜNE PARALEL				
	r ekseni mm	G		
Gauge 3	17,5	9,33E+09	$r_{iç}/r_{dış}$	0,8286
Gauge 6-iç	14,5	7,14E+09	$\gamma_{iç}/\gamma_{dış}$	0,0002
GEYÇLER LİF YÖNÜNE PARALEL				

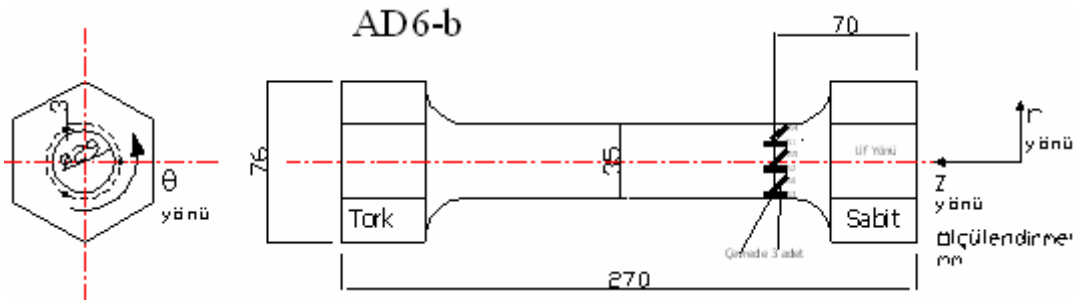


Şekil 7.23. AD6-a-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusundaki grafik ve grafiğin yaklaşık denklem ifadeleri



Şekil 7.24. AD6-a-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusundaki grafiklerin toplamı

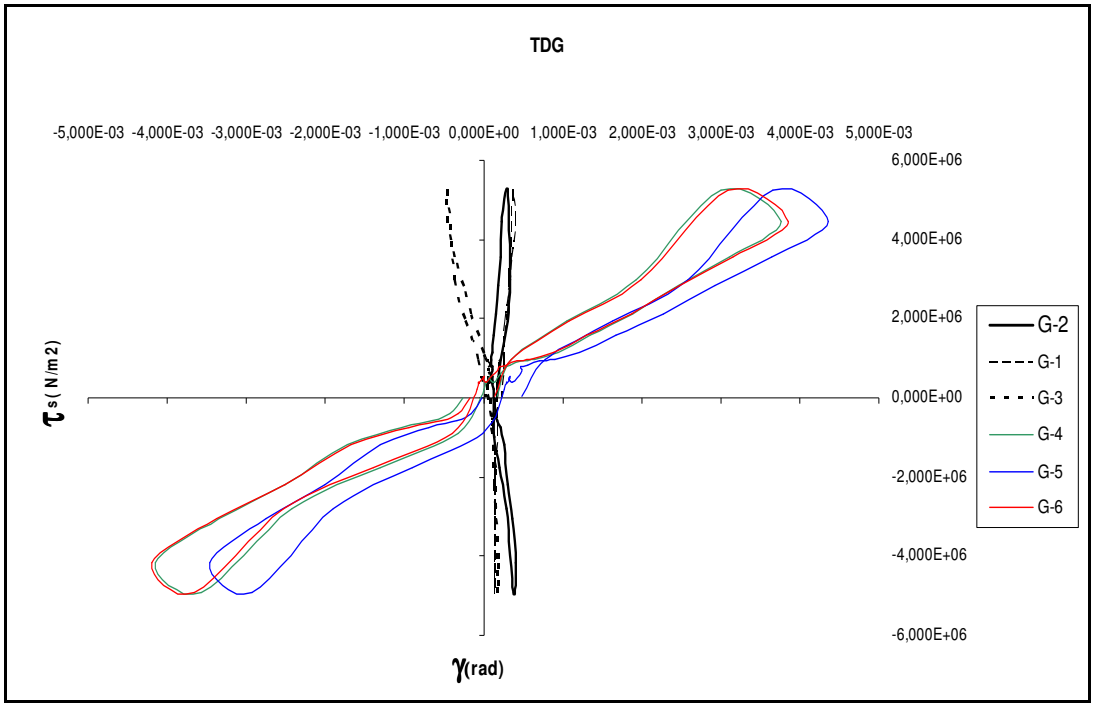
AD6-b numaralı deney sonuçları



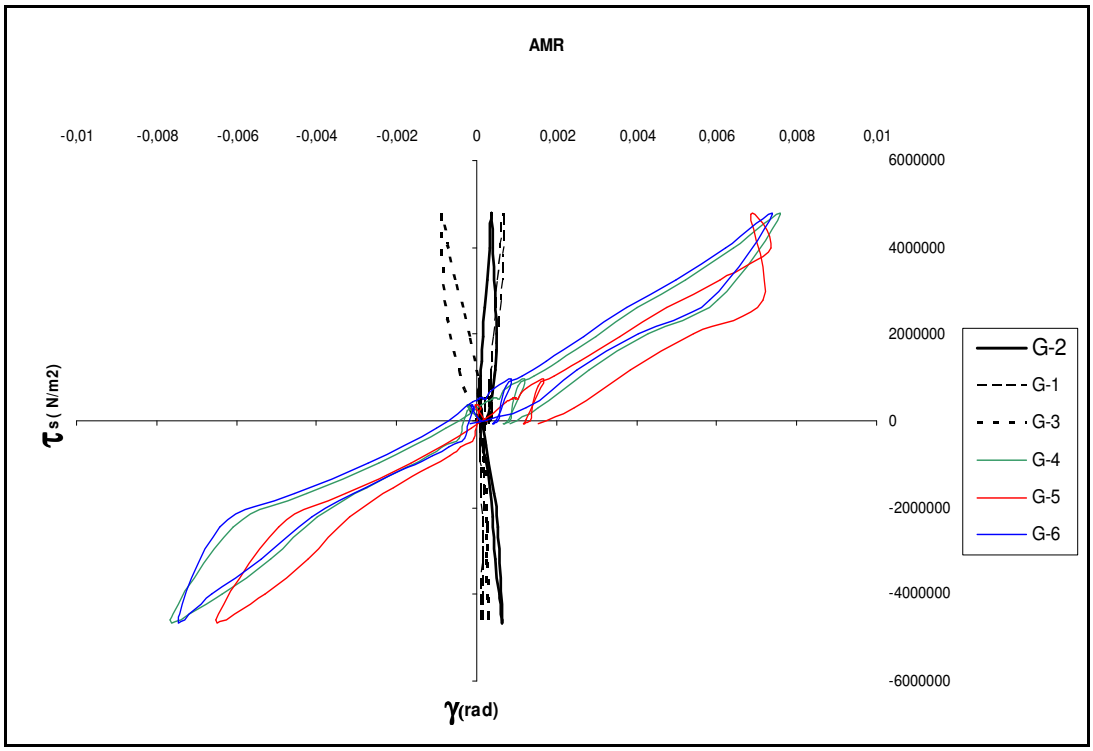
Şekil 7.25. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 ve 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait şekilsel gösterim

Çizelge 7.22. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 ve 45^0 yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait TDG ve AMR cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri

	TDG		
GEYÇ NO	**G(Pa)**	**Z (mm)**	**LİF YÖNÜ**
Gs=	**3,06E+08**		
G1=	**2,94E+10**	**70**	**LY 0°**
G2=	**4,28E+09**	**70**	**LY 0°**
G3=	**1,26E+10**	**70**	**LY 0°**
G4=	**2,98E+08**	**70**	**LY 45°**
G5=	**3,35E+08**	**70**	**LY 45°**
G6=	**2,84E+08**	**70**	**LY 45°**
	AMR		
GEYÇ NO	**G(Pa)**	**Z (mm)**	**LİF YÖNÜ**
Gs=	**1,49E+08**		
G1=	**9,70E+09**	**70**	**LY 0°**
G2=	**2,00E+09**	**70**	**LY 0°**
G3=	**3,84E+09**	**70**	**LY 0°**
G4=	**1,64E+08**	**70**	**LY 45°**
G5=	**1,88E+08**	**70**	**LY 45°**
G6=	**1,60E+08**	**70**	**LY 45°**



Şekil 7.26. AD6-b-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği



Şekil 7.27. AD6-c-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait AMR cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği

Çizelge 7.23. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 0^0 ve 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlerin eğim deklemlerine ait çizelgeler

GEYÇ NO	EĞİM DENKLEMİ AMR	m	EĞİM AÇISI (Derece)
G1	y = 8E+09x - 2E+06	8	82,9
G2	y = -3E+09x + 842769	-3	-71,6
G3	y = -5E+09x + 183254	5	78,7
G4	y = 6E+08x + 74783	0,6	31,0
G5	y = 6E+08x - 248351	0,6	31,0
G6	y = 6E+08x + 182169	0,6	31,0
GEYÇ NO	**EĞİM DENKLEMİ TDG**	**m**	**EĞİM AÇISI (Derece)**
G1	y = 2E+10x - 5E+06	20	87,1
G2	y = -8E+09x + 2E+06	8	82,9
G3	y = -1E+10x + 391350	10	84,3
G4	y = 1E+09x + 297110	1	45,0
G5	y = 1E+09x - 145442	1	45,0
G6	y = 1E+09x + 328510	1	45,0

Çizelge 7.24. AD6-b-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

TDG CODA Hızlı Veri Toplayıcı

Çıktı Dosyası				DIŞ ÇAP (Dd)	37,00	mm	counter	belirsiz				Gs=	3,06E+08			Gg4=	2,98E+08
Deney Tarihi	16.10.2005			YARI ÇAP=C	18,50	mm	set speed	3,8				Gg1=	2,94E+10		96,21	Gg5=	3,35E+08
Aygıt Geçidi 1				J	114558,18	mm4	kayıt aralığı	10	sn			Gg2=	4,28E+09		13,99	Gg6=	2,84E+08
DENEY NO	-b-ÇBB(1)-6G-45			L	270,00	mm	NEM	6%				Gg3=	1,26E+10				
NUMUNE	çam	BOŞ		İÇ ÇAP (Di)	29	mm	AÇI										
GAUGE ADEDİ	6									KANAL 2	gauge		70 mm				
cins	çam									AÇI	LY	G_{g1}=	-2,94E+10	21 mm			

VERİ SAYISI	Counter	DERECE	θ (rad)	Kayıt aralığı (sn)	TORK (NM)	TORK (Nmm)	τ_S - Kayma gerl (N/M2)	γ_S (rad)		G1 (volt)	VOLT farkı	τ_{G1} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G1}	γ_{S-G1} (rad)		G2 (volt)
							Gs=	-3,06E+08					CİHAZ	FORMÜL		
1	0	0	0,00E+00	0	0,00	0	0,000E+00	0,000E+00		5,09	-0,089	0,0000E+00	1,374E-04	0,00E+00		5,087
2	5	1,5	2,62E-02	10	-2,50	-2500	-4,037E+05	1,794E-03		5,09	-0,087	-1,0467E+05	1,343E-04	4,65E-04		5,101
3	11	3,3	5,76E-02	20	-3,50	-3500	-5,652E+05	3,946E-03		5,08	-0,079	-1,4654E+05	1,219E-04	1,02E-03		5,116
4	17	5,1	8,90E-02	30	-4,70	-4700	-7,590E+05	6,099E-03		5,08	-0,077	-1,9678E+05	1,188E-04	1,58E-03		5,138
5	23	6,9	1,20E-01	40	-7,30	-7300	-1,179E+06	8,252E-03		5,09	-0,087	-3,0563E+05	1,343E-04	2,14E-03		5,167
6	28	8,4	1,47E-01	50	-13,60	-13600	-2,196E+06	1,005E-02		5,09	-0,094	-5,6940E+05	1,451E-04	2,60E-03		5,199
7	34	10,2	1,78E-01	60	-18,80	-18800	-3,036E+06	1,220E-02		5,09	-0,094	-7,8711E+05	1,451E-04	3,16E-03		5,233
8	39	11,7	2,04E-01	70	-25,80	-25800	-4,166E+06	1,399E-02		5,09	-0,089	-1,0802E+06	1,374E-04	3,63E-03		5,267
9	45	13,5	2,36E-01	80	-30,50	-30500	-4,925E+06	1,614E-02	-1,614E-02	5,10	-0,096	-1,2770E+06	1,482E-04	4,19E-03		5,243
10	41	12,3	2,15E-01	90	-17,40	-17400	-2,810E+06	1,471E-02		5,10	-0,101	-7,2850E+05	1,559E-04	3,81E-03		5,184
11	36	10,8	1,88E-01	100	-11,00	-11000	-1,776E+06	1,292E-02		5,11	-0,106	-4,6055E+05	1,636E-04	3,35E-03		5,131
12	30	9	1,57E-01	110	-5,60	-5600	-9,043E+05	1,076E-02		5,12	-0,123	-2,3446E+05	1,898E-04	2,79E-03		5,087
13	24	7,2	1,26E-01	120	1,30	1300	2,099E+05	8,610E-03		5,11	-0,109	5,4428E+04	1,682E-04	2,23E-03		5,079
14	17	5,1	8,90E-02	130	2,50	2500	4,037E+05	6,099E-03		5,11	-0,109	1,0467E+05	1,682E-04	1,58E-03		5,077
15	11	3,3	5,76E-02	140	2,30	2300	3,714E+05	3,946E-03		5,11	-0,111	9,6296E+04	1,713E-04	1,02E-03		5,077
16	5	1,5	2,62E-02	150	2,60	2600	4,199E+05	1,794E-03		5,12	-0,116	1,0886E+05	1,790E-04	4,65E-04		5,074
17	-1	-0,3	-5,24E-03	160	3,30	3300	5,329E+05	-3,588E-04		5,12	-0,123	1,3816E+05	1,898E-04	-9,30E-05		5,070
18	-7	-2,1	-3,67E-02	170	2,90	2900	4,683E+05	-2,511E-03		5,13	-0,126	1,2142E+05	1,945E-04	-6,51E-04		5,065
19	-13	-3,9	-6,81E-02	180	2,60	2600	4,199E+05	-4,664E-03		5,13	-0,131	1,0886E+05	2,022E-04	-1,21E-03		5,062
20	-20	-6	-1,05E-01	190	2,50	2500	4,037E+05	-7,175E-03		5,14	-0,136	1,0467E+05	2,099E-04	-1,86E-03		5,057
21	-26	-7,8	-1,36E-01	200	3,70	3700	5,975E+05	-9,328E-03		5,14	-0,140	1,5491E+05	2,161E-04	-2,42E-03		5,060
22	-32	-9,6	-1,68E-01	210	4,50	4500	7,267E+05	-1,148E-02		5,131	-0,131	1,8841E+05	2,022E-04	-2,98E-03		5,077
23	-38	-11,4	-1,99E-01	220	5,00	5000	8,075E+05	-1,363E-02		5,128	-0,128	2,0934E+05	1,976E-04	-3,53E-03		5,072
24	-45	-13,5	-2,36E-01	230	5,10	5100	8,236E+05	-1,614E-02		5,133	-0,133	2,1353E+05	2,053E-04	-4,19E-03		5,065
25	-51	-15,3	-2,67E-01	240	5,80	5800	9,366E+05	-1,830E-02		5,143	-0,143	2,4283E+05	2,207E-04	-4,74E-03		5,065
26	-58	-17,4	-3,04E-01	250	6,10	6100	9,851E+05	-2,081E-02		5,153	-0,153	2,5539E+05	2,362E-04	-5,39E-03		5,065
27	-64	-19,2	-3,35E-01	260	7,20	7200	1,163E+06	-2,296E-02		5,162	-0,162	3,0145E+05	2,500E-04	-5,95E-03		5,070
28	-70	-21	-3,67E-01	270	9,80	9800	1,583E+06	-2,511E-02		5,177	-0,177	4,1030E+05	2,732E-04	-6,51E-03		5,084
29	-75	-22,5	-3,93E-01	280	13,10	13100	2,116E+06	-2,691E-02		5,197	-0,197	5,4847E+05	3,041E-04	-6,98E-03		5,106
30	-81	-24,3	-4,24E-01	290	17,60	17600	2,842E+06	-2,906E-02		5,219	-0,219	7,3687E+05	3,380E-04	-7,53E-03		5,123
31	-87	-26,1	-4,56E-01	300	22,10	22100	3,569E+06	-3,121E-02		5,241	-0,241	9,2528E+05	3,720E-04	-8,09E-03		5,136
32	-92	-27,6	-4,82E-01	310	27,60	27600	4,457E+06	-3,301E-02		5,265	-0,265	1,1556E+06	4,091E-04	-8,56E-03		5,153
33	-98	-29,4	-5,13E-01	320	32,40	32400	5,232E+06	-3,516E-02	3,516E-02	5,241	-0,241	1,3565E+06	3,720E-04	-9,12E-03		5,194
34	-94	-28,2	-4,92E-01	330	18,50	18500	2,988E+06	-3,372E-02		5,204	-0,204	7,7455E+05	3,149E-04	-8,74E-03		5,214
35	-88	-26,4	-4,61E-01	340	12,00	12000	1,938E+06	-3,157E-02		5,17	-0,170	5,0241E+05	2,624E-04	-8,19E-03		5,194
36	-82	-24,6	-4,29E-01	350	6,10	6100	9,851E+05	-2,942E-02		5,155	-0,155	2,5539E+05	2,392E-04	-7,63E-03		5,145
37	-76	-22,8	-3,98E-01	360	0,20	200	3,230E+04	-2,727E-02		5,145	-0,145	8,3736E+03	2,238E-04	-7,07E-03		5,114

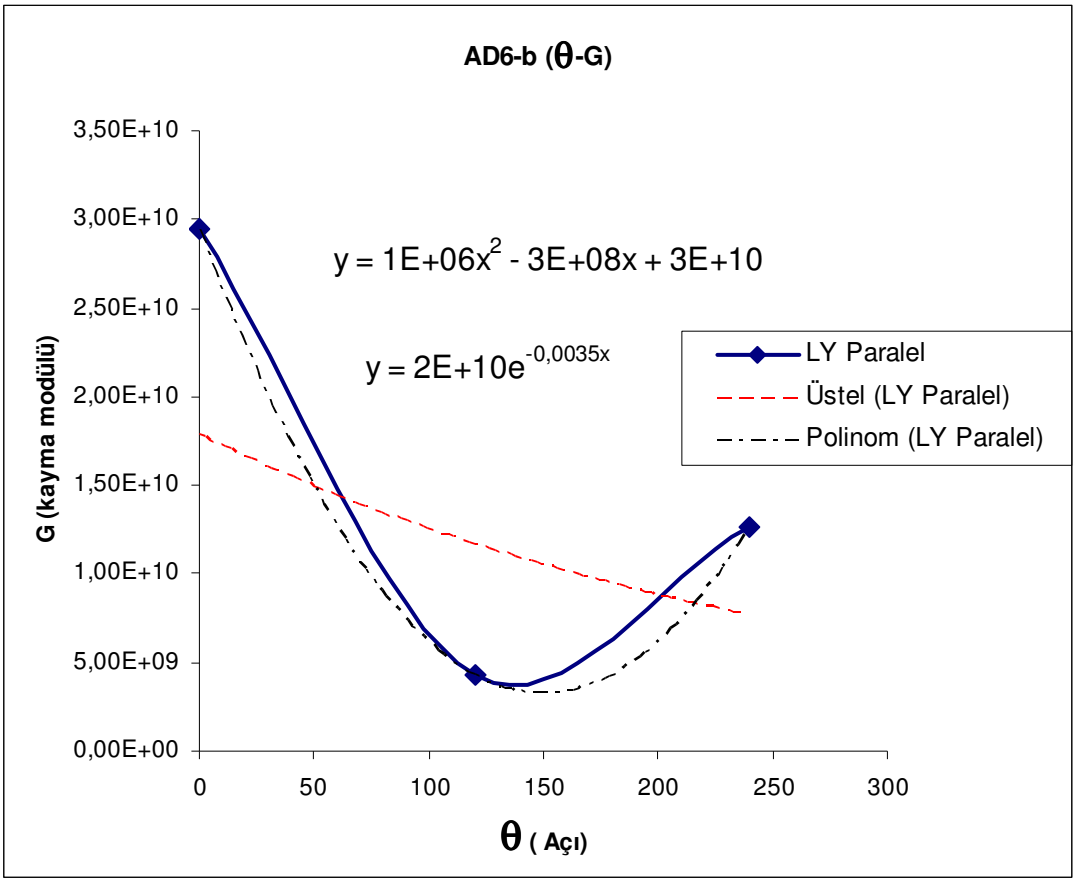
Çizelge 7.24. (Devam) AD6-b-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

KANAL 4	gauge	70 mm				KANAL 5	gauge	70 mm				KANAL 6	gauge	70 mm		
AÇI	LY	G_{g3}=	-1,26E+10	15 mm		AÇI	LY 45	G_{g4}=	2,98E+08			AÇI	LY 45	G_{g5}=	3,35E+08	
			CİHAZ	FORMÜL					CİHAZ	FORMÜL					CİHAZ	FORMÜL
G3 (volt)	VOLT farkı	τ_{G3} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G3}	γ_{S-G3} (rad)		G4 (volt)	VOLT farkı	τ_{G4} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G4}	γ_{S-G4} (rad)		G5 (volt)	VOLT farkı	τ_{G5} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G5}	γ_{S-G5} (rad)
5,053	-0,053	0,000E+00	8,188E-05	0,00E+00		4,833	0,167	0,000E+00	-2,577E-04	0,00E+00		4,987	0,013	0,000E+00	-2,004E-05	0,00E+00
5,062	-0,062	-1,047E+05	9,578E-05	4,65E-04		4,725	0,275	-1,047E+05	-4,243E-04	4,65E-04		4,901	0,099	-1,047E+05	-1,526E-04	4,65E-04
5,072	-0,072	-1,465E+05	1,112E-04	1,02E-03		4,584	0,416	-1,465E+05	-6,418E-04	1,02E-03		4,781	0,219	-1,465E+05	-3,375E-04	1,02E-03
5,077	-0,077	-1,968E+05	1,190E-04	1,58E-03		4,325	0,675	-1,968E+05	-1,041E-03	1,58E-03		4,554	0,446	-1,968E+05	-6,872E-04	1,58E-03
5,084	-0,084	-3,056E+05	1,298E-04	2,14E-03		3,888	1,112	-3,056E+05	-1,715E-03	2,14E-03		4,154	0,846	-3,056E+05	-1,303E-03	2,14E-03
5,092	-0,092	-5,694E+05	1,421E-04	2,60E-03		3,375	1,625	-5,694E+05	-2,505E-03	2,60E-03		3,697	1,303	-5,694E+05	-2,006E-03	2,60E-03
5,106	-0,106	-7,871E+05	1,638E-04	3,16E-03		2,833	2,167	-7,871E+05	-3,338E-03	3,16E-03		3,216	1,784	-7,871E+05	-2,746E-03	3,16E-03
5,118	-0,118	-1,080E+06	1,823E-04	3,63E-03		2,308	2,692	-1,080E+06	-4,146E-03	3,63E-03		2,745	2,255	-1,080E+06	-3,470E-03	3,63E-03
5,109	-0,109	-1,277E+06	1,684E-04	4,19E-03		2,686	2,314	-1,277E+06	-3,565E-03	4,19E-03		3,099	1,901	-1,277E+06	-2,926E-03	4,19E-03
5,106	-0,106	-7,285E+05	1,638E-04	3,81E-03		3,433	1,567	-7,285E+05	-2,415E-03	3,81E-03		3,768	1,232	-7,285E+05	-1,897E-03	3,81E-03
5,099	-0,099	-4,605E+05	1,529E-04	3,35E-03		4,154	0,846	-4,605E+05	-1,305E-03	3,35E-03		4,415	0,585	-4,605E+05	-9,013E-04	3,35E-03
5,074	-0,074	-2,345E+05	1,143E-04	2,79E-03		4,791	0,209	-2,345E+05	-3,225E-04	2,79E-03		4,996	0,004	-2,345E+05	-6,166E-06	2,79E-03
5,035	-0,035	5,443E+04	5,407E-05	2,23E-03		5,004	-0,004	5,443E+04	6,173E-06	2,23E-03		5,172	-0,172	5,443E+04	2,652E-04	2,23E-03
5,035	-0,035	1,047E+05	5,407E-05	1,58E-03		5,016	-0,016	1,047E+05	2,469E-05	1,58E-03		5,184	-0,184	1,047E+05	2,837E-04	1,58E-03
5,043	-0,043	9,630E+04	6,643E-05	1,02E-03		5,028	-0,028	9,630E+04	4,321E-05	1,02E-03		5,192	-0,192	9,630E+04	2,960E-04	1,02E-03
5,040	-0,040	1,089E+05	6,179E-05	4,65E-04		5,038	-0,038	1,089E+05	5,865E-05	4,65E-04		5,204	-0,204	1,089E+05	3,145E-04	4,65E-04
5,043	-0,043	1,382E+05	6,643E-05	-9,30E-05		5,057	-0,057	1,382E+05	8,797E-05	-9,30E-05		5,221	-0,221	1,382E+05	3,407E-04	-9,30E-05
5,045	-0,045	1,214E+05	6,952E-05	-6,51E-04		5,055	-0,055	1,214E+05	8,489E-05	-6,51E-04		5,209	-0,209	1,214E+05	3,222E-04	-6,51E-04
5,048	-0,048	1,089E+05	7,415E-05	-1,21E-03		5,065	-0,065	1,089E+05	1,003E-04	-1,21E-03		5,219	-0,219	1,089E+05	3,376E-04	-1,21E-03
5,050	-0,050	1,047E+05	7,724E-05	-1,86E-03		5,089	-0,089	1,047E+05	1,374E-04	-1,86E-03		5,241	-0,241	1,047E+05	3,715E-04	-1,86E-03
5,053	-0,053	1,549E+05	8,188E-05	-2,42E-03		5,143	-0,143	1,549E+05	2,207E-04	-2,42E-03		5,304	-0,304	1,549E+05	4,687E-04	-2,42E-03
5,043	-0,043	1,884E+05	6,643E-05	-2,98E-03		5,165	-0,165	1,884E+05	2,547E-04	-2,98E-03		5,311	-0,311	1,884E+05	4,795E-04	-2,98E-03
5,053	-0,053	2,093E+05	8,188E-05	-3,53E-03		5,167	-0,167	2,093E+05	2,578E-04	-3,53E-03		5,309	-0,309	2,093E+05	4,764E-04	-3,53E-03
5,057	-0,057	2,135E+05	8,806E-05	-4,19E-03		5,216	-0,216	2,135E+05	3,334E-04	-4,19E-03		5,363	-0,363	2,135E+05	5,597E-04	-4,19E-03
5,048	-0,048	2,428E+05	7,415E-05	-4,74E-03		5,309	-0,309	2,428E+05	4,770E-04	-4,74E-03		5,455	-0,455	2,428E+05	7,016E-04	-4,74E-03
5,028	-0,028	2,554E+05	4,326E-05	-5,39E-03		5,421	-0,421	2,554E+05	6,500E-04	-5,39E-03		5,580	-0,580	2,554E+05	8,944E-04	-5,39E-03
5,004	-0,004	3,014E+05	6,179E-06	-5,95E-03		5,609	-0,609	3,014E+05	9,403E-04	-5,95E-03		5,785	-0,785	3,014E+05	1,211E-03	-5,95E-03
4,962	0,038	4,103E+05	-5,870E-05	-6,51E-03		5,878	-0,878	4,103E+05	1,356E-03	-6,51E-03		6,085	-1,085	4,103E+05	1,674E-03	-6,51E-03
4,901	0,099	5,485E+05	-1,529E-04	-6,98E-03		6,220	-1,220	5,485E+05	1,885E-03	-6,98E-03		6,474	-1,474	5,485E+05	2,275E-03	-6,98E-03
4,838	0,162	7,369E+05	-2,502E-04	-7,53E-03		6,598	-1,598	7,369E+05	2,469E-03	-7,53E-03		6,899	-1,899	7,369E+05	2,932E-03	-7,53E-03
4,767	0,233	9,253E+05	-3,599E-04	-8,09E-03		7,013	-2,013	9,253E+05	3,112E-03	-8,09E-03		7,355	-2,355	9,253E+05	3,637E-03	-8,09E-03
4,703	0,297	1,156E+06	-4,587E-04	-8,56E-03		7,433	-2,433	1,156E+06	3,762E-03	-8,56E-03		7,819	-2,819	1,156E+06	4,355E-03	-8,56E-03
4,708	0,292	1,357E+06	-4,510E-04	-9,12E-03		6,943	-1,943	1,357E+06	3,003E-03	-9,12E-03		7,370	-2,370	1,357E+06	3,660E-03	-9,12E-03
4,762	0,238	7,746E+05	-3,676E-04	-8,74E-03		6,249	-1,249	7,746E+05	1,930E-03	-8,74E-03		6,674	-1,674	7,746E+05	2,584E-03	-8,74E-03
4,852	0,148	5,024E+05	-2,286E-04	-8,19E-03		5,680	-0,680	5,024E+05	1,050E-03	-8,19E-03		6,054	-1,054	5,024E+05	1,626E-03	-8,19E-03
4,957	0,043	2,554E+05	-6,642E-05	-7,63E-03		5,231	-0,231	2,554E+05	3,566E-04	-7,63E-03		5,509	-0,509	2,554E+05	7,849E-04	-7,63E-03
5,011	-0,011	8,374E+03	1,699E-05	-7,07E-03		5,111	-0,111	8,374E+03	1,713E-04	-7,07E-03		5,314	-0,314	8,374E+03	4,841E-04	-7,07E-03

Çizelge 7.25 AD6-b-ÇBB numunesinde dış yüzeye çevresel olarak dizilmiş G1-G2-G3 geyçlerine ait deneysel değerler

AD6-b	z ekseni		ds mm	θ	G (Pa)
Gauge 1	70 mm	θ_1	0	0	2,94E+10
Gauge 2	70 mm	θ_2	36,65	120	4,28E+09
Gauge 3	70 mm	θ_3	73,30	240	1,26E+10

GEYÇLER LİF YÖNÜNE PARALEL

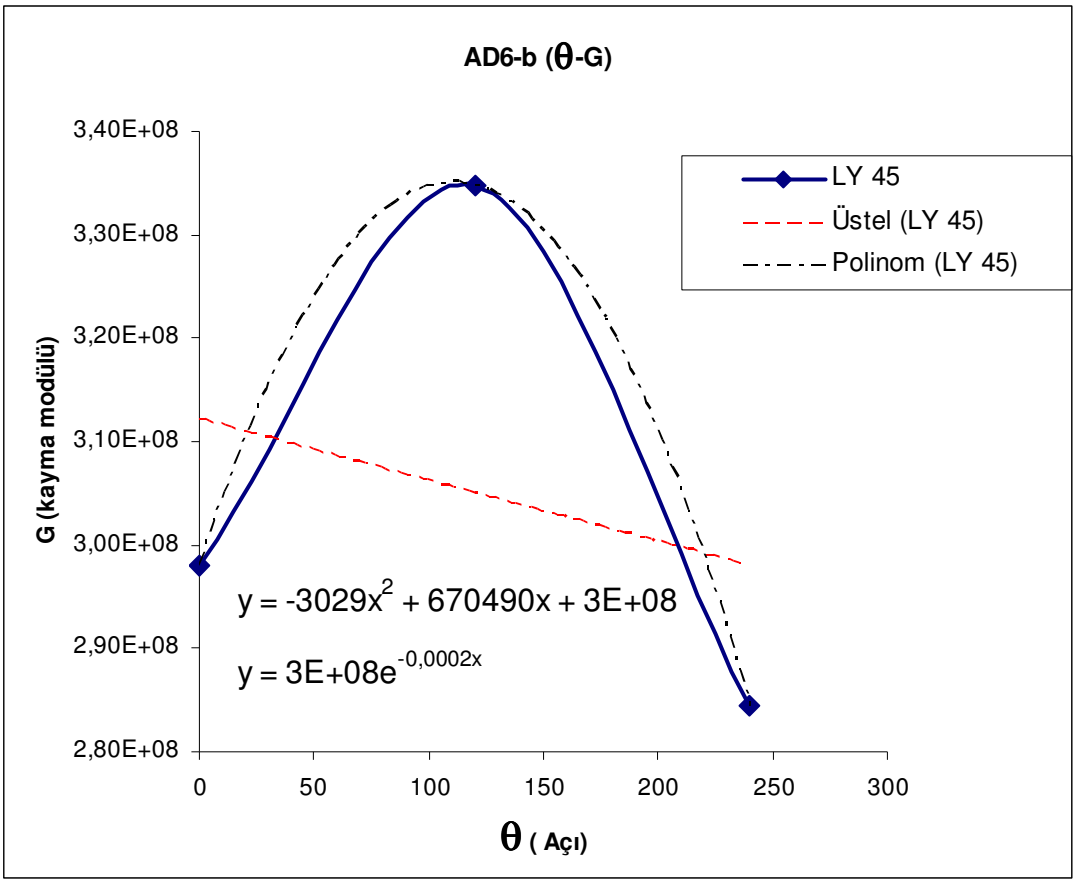


Şekil 7.28. AD6-b-ÇBB numunesi üzerinde bulunan G1-G2-G3 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği

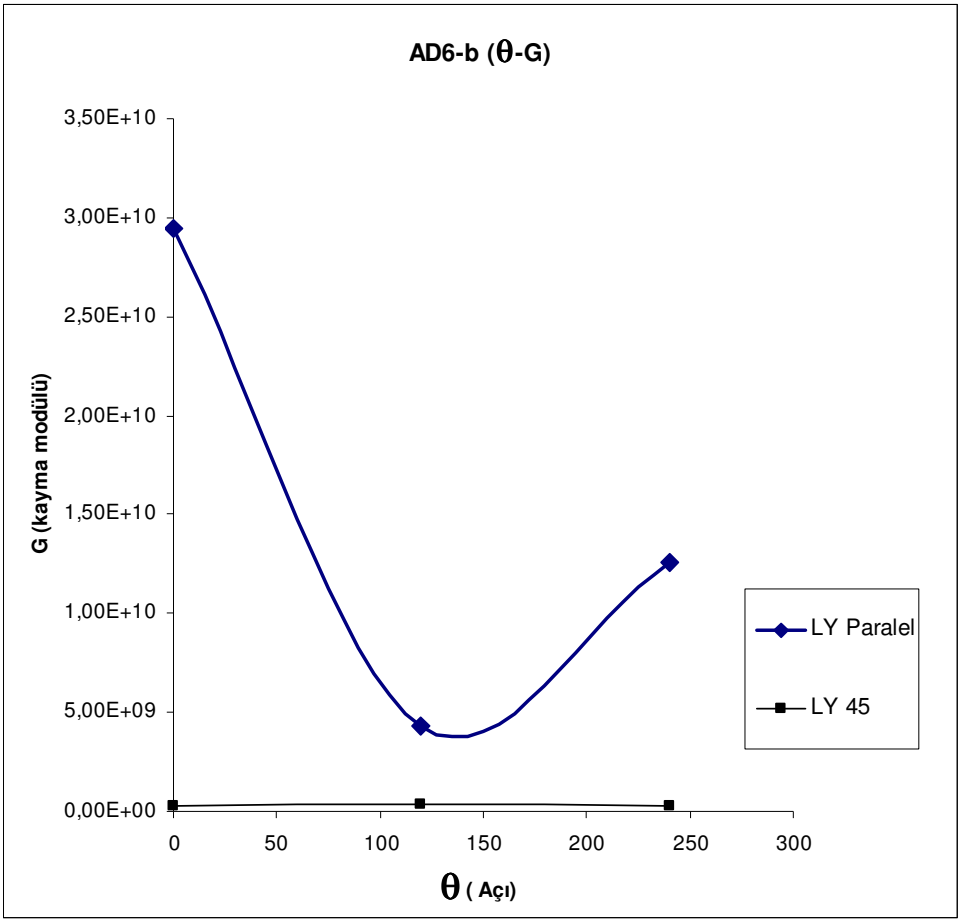
Çizelge 7.26 AD6-b-ÇBB numunesinde iç yüzeye çevresel olarak dizilmiş G4-G5-G6 geyçlerine ait deneysel değerler

AD6-b	z ekseni		ds mm	θ	G (Pa)
Gauge 4	70 mm	θ_1	0	0	2,98E+08
Gauge 5	70 mm	θ_2	36,65	120	3,35E+08
Gauge 6	70 mm	θ_3	73,30	240	2,84E+08

GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°

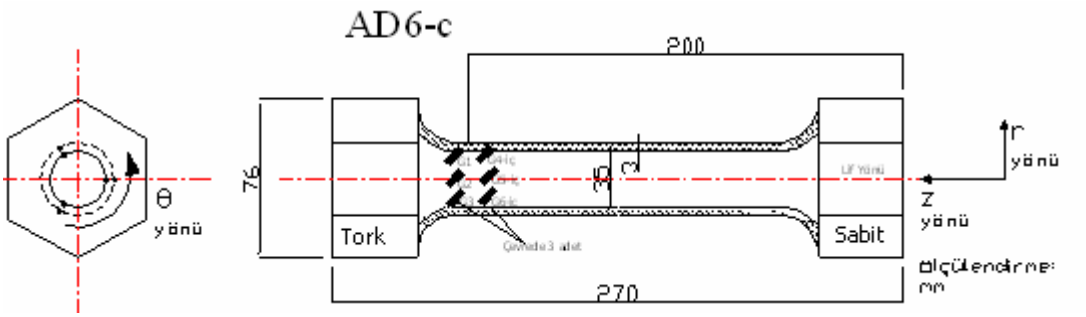


Şekil 7.29. AD6-b-ÇBB numunesi iç yüzeyinde bulunan G4-G5-G6 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği



Şekil 7.30. AD6-b-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylerinde bulunan geyçlere ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği

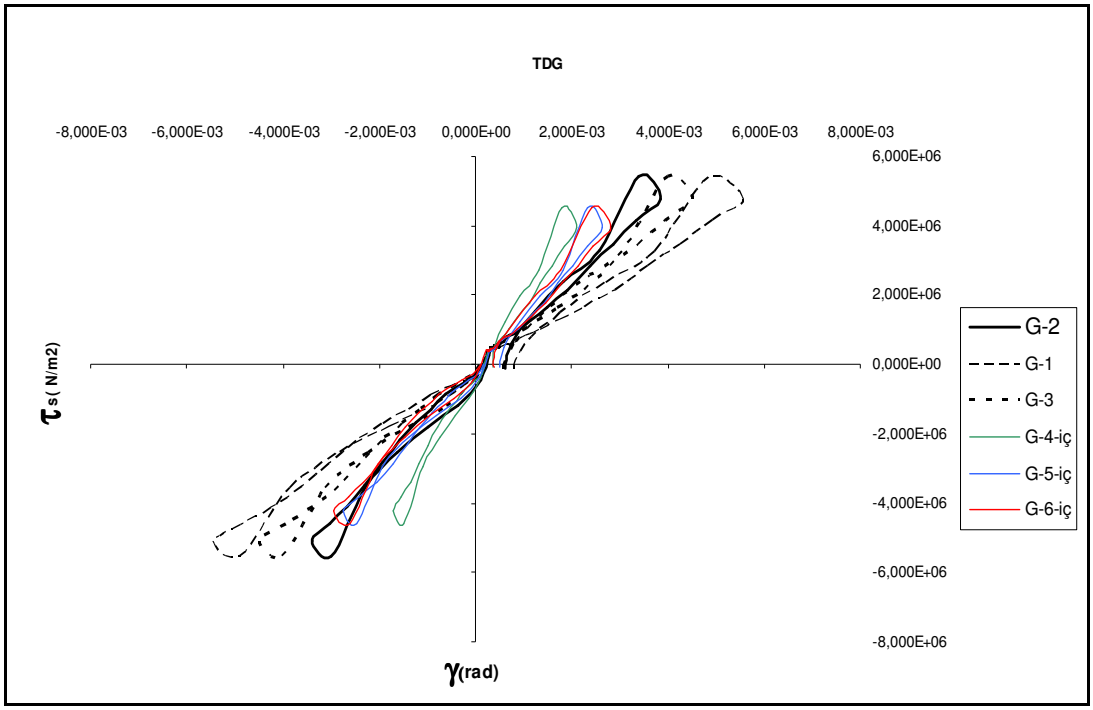
AD6-c numaralı deney sonuçları



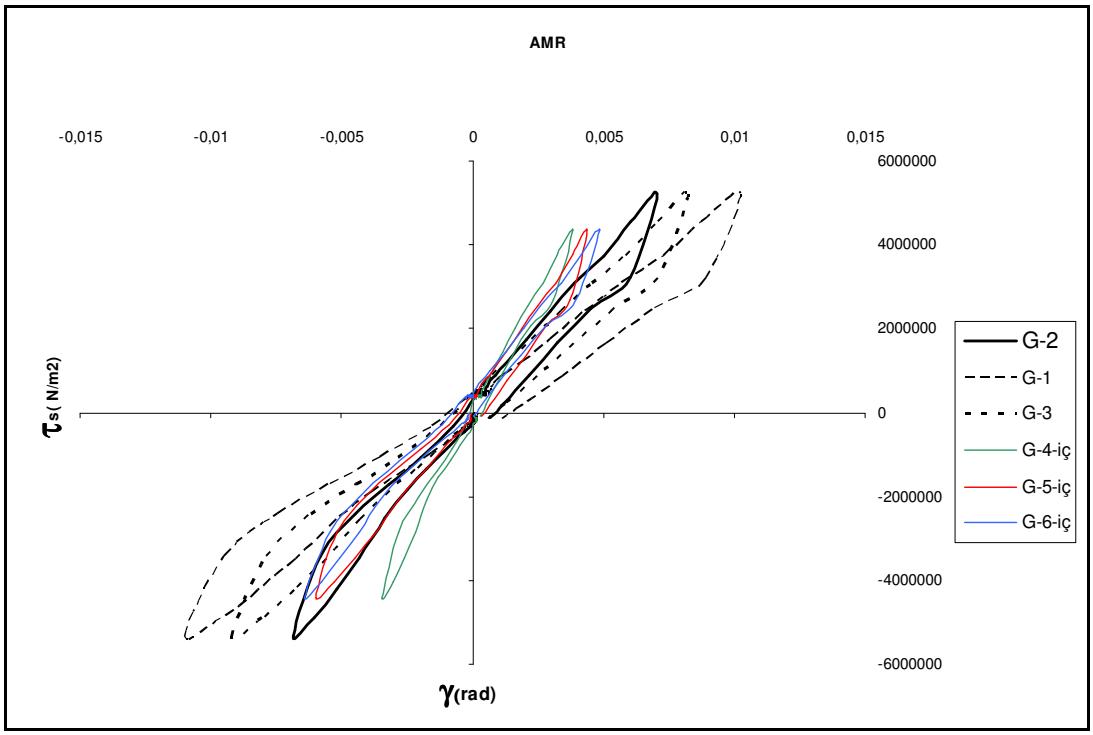
Şekil 7.31. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait şekilsel gösterim

Çizelge 7.27. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait TDG ve AMR cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri

	TDG		
GEYÇ NO	**G(Pa)**	**Z (mm)**	**LİF YÖNÜNE 45°**
Gs=	**3,51E+08**		
G1=	**7,15E+08**	**200**	**LY 45°**
G2=	**1,14E+09**	**200**	**LY 45°**
G3=	**8,89E+08**	**200**	**LY 45°**
G4-iç=	**2,07E+09**	**200**	**LY 45°**
G5-iç=	**1,39E+09**	**200**	**LY 45°**
G6-iç=	**1,33E+09**	**200**	**LY 45°**
	AMR		
GEYÇ NO	**G(Pa)**	**Z (mm)**	**LİF YÖNÜNE 45°**
Gs=	**3,22E+08**		
G1=	**1,78E+10**	**200**	**LY 45°**
G2=	**4,86E+09**	**200**	**LY 45°**
G3=	**9,32E+09**	**200**	**LY 45°**
G4-iç=	**4,26E+09**	**200**	**LY 45°**
G5-iç=	**5,76E+09**	**200**	**LY 45°**
G6-iç=	**2,70E+09**	**200**	**LY 45°**



Şekil 7.32. AD6-c-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği



Şekil 7.33. AD6-c-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait AMR cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği

Çizelge 7.28. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait eğim deklemlerine ait çizelgeler

GEYÇ NO	EĞİM DENKLEMİ AMR	m	EĞİM AÇISI (Derece)
G1	y = 5E+08x + 29111	0,5	26,6
G2	y = 7E+08x - 35578	0,7	35,0
G3	y = 6E+08x + 115426	0,6	31,0
G4-iç	y = 1E+09x - 109738	1	45,0
G5-iç	y = 8E+08x + 206614	0,8	38,7
G6-iç	y = 7E+08x + 324682	0,7	35,0
GEYÇ NO	**EĞİM DENKLEMİ TDG**	**m**	**EĞİM AÇISI (Derece)**
G1	y = 9E+08x - 153020	0,9	42,0
G2	y = 1E+09x - 273987	1	45,0
G3	y = 1E+09x - 115492	1	45,0
G4-iç	y = 2E+09x - 402216	2	63,4
G5-iç	y = 2E+09x - 191865	2	63,4
G6-iç	y = 1E+09x - 54802	1	45,0

Çizelge 7.29. AD6-c-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

TDG CODA Hızlı Veri Toplayıcı

Çıktı Dosyası				DIŞ ÇAP (Dd)	35,00	mm	counter	belirsiz		Gs=	3,51E+08		Gg4-iç=	2,07E+09
Deney Tarihi	28.10.2005			YARI ÇAP=C	17,50	mm	set speed	3,8		Gg1=	7,15E+08	55,22	Gg5-iç=	1,39E+09
Aygıt Geçidi 1				J	77886,37	mm4	kayıt aralığı	10	sn	Gg2=	1,14E+09	15,11	Gg6-iç=	1,33E+09
DENEY NO	AD6-c-ÇBB-6G			L	270,00	mm	NEM	6%		Gg3=	8,89E+08			
NUMUNE	ÇAM	BOŞ		İÇ ÇAP (Di)	29	mm	AÇI							
GAUGE ADEDİ	6									KANAL 2	gauge	200 mm		
cins	çam									AÇI	LY 45	G_{g1}=	7,15E+08	21 mm

değişebilen hücreler

Gs= -3,51E+08

VERİ SAYISI	Counter	DERECE	ϕ (rad)	Kayıt aralığı (sn)	TORK (NM)	TORK (Nmm)	τ_S - Kayma gerl (N/M2)	γ_S (rad)		G1 (volt)	VOLT farkı	τ_{G1} - kayma gerl (N/M2)	CİHAZ γ_{G1}	FORMÜL γ_{S-G1} (rad)		G2 (volt)
1	0	0	0,00E+00	0	0,00	0	0,000E+00	0,000E+00		5,10	-0,101	0,0000E+00	1,559E-04	0,00E+00		5,084
2	4	1,2	2,09E-02	10	-1,50	-1500	-3,370E+05	1,357E-03		4,96	0,045	-2,4965E+05	-6,945E-05	1,01E-03		4,979
3	9	2,7	4,71E-02	20	-2,50	-2500	-5,617E+05	3,054E-03		4,71	0,289	-4,1609E+05	-4,459E-04	2,26E-03		4,813
4	13	3,9	6,81E-02	30	-3,80	-3800	-8,538E+05	4,412E-03		4,39	0,614	-6,3245E+05	-9,471E-04	3,27E-03		4,603
5	17	5,1	8,90E-02	40	-5,80	-5800	-1,303E+06	5,769E-03		4,05	0,946	-9,6532E+05	-1,459E-03	4,27E-03		4,393
6	21	6,3	1,10E-01	50	-7,50	-7500	-1,685E+06	7,127E-03		3,73	1,269	-1,2483E+06	-1,956E-03	5,28E-03		4,193
7	26	7,8	1,36E-01	60	-9,70	-9700	-2,179E+06	8,824E-03		3,38	1,618	-1,6144E+06	-2,494E-03	6,54E-03		3,971
8	30	9	1,57E-01	70	-12,60	-12600	-2,831E+06	1,018E-02		3,02	1,984	-2,0971E+06	-3,057E-03	7,54E-03		3,741
9	34	10,2	1,78E-01	80	-15,50	-15500	-3,483E+06	1,154E-02		2,64	2,358	-2,5797E+06	-3,632E-03	8,55E-03		3,507
10	38	11,4	1,99E-01	90	-18,20	-18200	-4,089E+06	1,290E-02		2,23	2,766	-3,0291E+06	-4,259E-03	9,55E-03		3,263
11	41	12,3	2,15E-01	100	-20,40	-20400	-4,584E+06	1,391E-02		1,83	3,168	-3,3953E+06	-4,877E-03	1,03E-02		3,018
12	45	13,5	2,36E-01	110	-22,70	-22700	-5,100E+06	1,527E-02		1,44	3,559	-3,7781E+06	-5,477E-03	1,13E-02		2,781
13	48	14,4	2,51E-01	120	-24,70	-24700	-5,550E+06	1,629E-02	-1,629E-02	1,83	3,173	-4,1109E+06	-4,884E-03	1,21E-02		3,050
14	46	13,8	2,41E-01	130	-15,90	-15900	-3,573E+06	1,561E-02		2,51	2,490	-2,6463E+06	-3,835E-03	1,16E-02		3,499
15	42	12,6	2,20E-01	140	-11,30	-11300	-2,539E+06	1,425E-02		3,18	1,818	-1,8807E+06	-2,802E-03	1,06E-02		3,937
16	37	11,1	1,94E-01	150	-8,00	-8000	-1,797E+06	1,256E-02		3,83	1,166	-1,3315E+06	-1,798E-03	9,30E-03		4,359
17	32	9,6	1,68E-01	160	-5,20	-5200	-1,168E+06	1,086E-02		4,45	0,551	-8,6546E+05	-8,500E-04	8,04E-03		4,755
18	28	8,4	1,47E-01	170	-2,00	-2000	-4,494E+05	9,502E-03		4,97	0,035	-3,3287E+05	-5,401E-05	7,04E-03		5,082
19	23	6,9	1,20E-01	180	1,10	1100	2,472E+05	7,806E-03		5,17	-0,165	1,8308E+05	2,547E-04	5,78E-03		5,189
20	18	5,4	9,42E-02	190	2,30	2300	5,168E+05	6,109E-03		5,22	-0,221	3,8280E+05	3,411E-04	4,52E-03		5,219
21	13	3,9	6,81E-02	200	2,10	2100	4,718E+05	4,412E-03		5,25	-0,245	3,4951E+05	3,782E-04	3,27E-03		5,228
22	8	2,4	4,19E-02	210	2,10	2100	4,718E+05	2,715E-03		5,265	-0,265	3,4951E+05	4,091E-04	2,01E-03		5,238
23	4	1,2	2,09E-02	220	2,30	2300	5,168E+05	1,357E-03		5,297	-0,297	3,8280E+05	4,585E-04	1,01E-03		5,258
24	-1	-0,3	-5,24E-03	230	2,10	2100	4,718E+05	-3,394E-04		5,319	-0,319	3,4951E+05	4,924E-04	-2,51E-04		5,267
25	-6	-1,8	-3,14E-02	240	2,30	2300	5,168E+05	-2,036E-03		5,333	-0,333	3,8280E+05	5,141E-04	-1,51E-03		5,275
26	-11	-3,3	-5,76E-02	250	2,30	2300	5,168E+05	-3,733E-03		5,353	-0,353	3,8280E+05	5,449E-04	-2,77E-03		5,287
27	-15	-4,5	-7,85E-02	260	2,50	2500	5,617E+05	-5,091E-03		5,436	-0,436	4,1609E+05	6,731E-04	-3,77E-03		5,292
28	-20	-6	-1,05E-01	270	2,40	2400	5,392E+05	-6,787E-03		5,458	-0,458	3,9944E+05	7,071E-04	-5,03E-03		5,304
29	-25	-7,5	-1,31E-01	280	2,50	2500	5,617E+05	-8,484E-03		5,475	-0,475	4,1609E+05	7,333E-04	-6,28E-03		5,314
30	-30	-9	-1,57E-01	290	2,60	2600	5,842E+05	-1,018E-02		5,509	-0,509	4,3273E+05	7,859E-04	-7,54E-03		5,333
31	-35	-10,5	-1,83E-01	300	3,00	3000	6,741E+05	-1,188E-02		5,565	-0,565	4,9930E+05	8,724E-04	-8,80E-03		5,375
32	-39	-11,7	-2,04E-01	310	3,50	3500	7,864E+05	-1,324E-02		5,631	-0,631	5,8252E+05	9,743E-04	-9,80E-03		5,429
33	-44	-13,2	-2,30E-01	320	3,90	3900	8,763E+05	-1,493E-02		5,724	-0,724	6,4909E+05	1,118E-03	-1,11E-02		5,492
34	-49	-14,7	-2,57E-01	330	4,50	4500	1,011E+06	-1,663E-02		5,875	-0,875	7,4895E+05	1,351E-03	-1,23E-02		5,582
35	-54	-16,2	-2,83E-01	340	5,60	5600	1,258E+06	-1,833E-02		6,127	-1,127	9,3203E+05	1,741E-03	-1,36E-02		5,744
36	-58	-17,4	-3,04E-01	350	7,40	7400	1,663E+06	-1,968E-02		6,469	-1,469	1,2316E+06	2,270E-03	-1,46E-02		5,961
37	-63	-18,9	-3,30E-01	360	9,60	9600	2,157E+06	-2,138E-02		6,884	-1,884	1,5978E+06	2,912E-03	-1,58E-02		6,247
38	-67	-20,1	-3,51E-01	370	12,60	12600	2,831E+06	-2,274E-02		7,324	-2,324	2,0971E+06	3,593E-03	-1,68E-02		6,547
39	-71	-21,3	-3,72E-01	380	15,30	15300	3,438E+06	-2,410E-02		7,763	-2,763	2,5464E+06	4,274E-03	-1,78E-02		6,855
40	-75	-22,5	-3,93E-01	390	18,40	18400	4,134E+06	-2,545E-02		8,2	-3,200	3,0624E+06	4,951E-03	-1,89E-02		7,172
41	-79	-23,7	-4,14E-01	400	21,30	21300	4,786E+06	-2,681E-02		8,601	-3,601	3,5451E+06	5,574E-03	-1,99E-02		7,495
42	-83	-24,9	-4,35E-01	410	24,20	24200	5,437E+06	-2,817E-02	2,817E-02	8,112	-3,112	4,0277E+06	4,815E-03	-2,09E-02		7,201
43	-80	-24	-4,19E-01	420	14,60	14600	3,280E+06	-2,715E-02		7,392	-2,392	2,4299E+06	3,699E-03	-2,01E-02		6,669
44	-75	-22,5	-3,93E-01	430	10,60	10600	2,382E+06	-2,545E-02		6,718	-1,718	1,7642E+06	2,655E-03	-1,89E-02		6,193

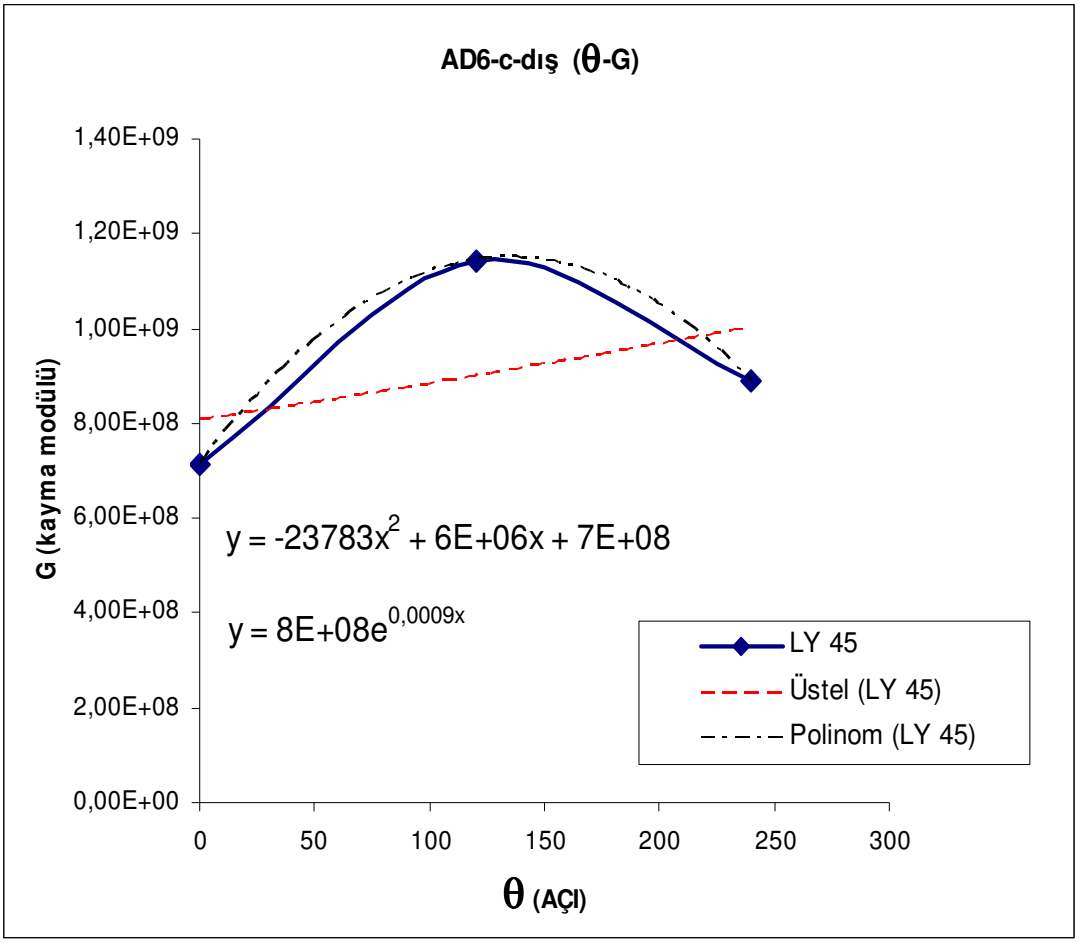
Çizelge 7.29. (Devam) AD6-c-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

KANAL 4	gauge	200 mm				KANAL 5	gauge	200 mm				KANAL 6	gauge	200 mm		
AÇI	LY 45	G_{g3}=	8,89E+08	15 mm		AÇI	LY 45	$G_{g4\text{-}iç}$=	2,07E+09			AÇI	LY 45	$G_{g5\text{-}iç}$=	1,39E+09	5
		CİHAZ	FORMÜL					CİHAZ	FORMÜL					CİHAZ	FORMÜL	
G3 (volt)	VOLT farkı	τ_{G3} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G3}	$\gamma_{S\text{-}G3}$ (rad)		G4 (volt)	VOLT farkı	τ_{G4} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G4}	$\gamma_{S\text{-}G4}$ (rad)		G5 (volt)	VOLT farkı	τ_{G5} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G5}	$\gamma_{S\text{-}G5}$ (rad)
5,060	-0,060	0,000E+00	9,269E-05	0,00E+00		5,126	-0,126	0,000E+00	1,945E-04	0,00E+00		5,116	-0,116	0,000E+00	1,788E-04	0,00E+00
4,930	0,070	-2,497E+05	-1,081E-04	1,01E-03		5,089	-0,089	-2,497E+05	1,374E-04	1,01E-03		5,028	-0,028	-2,497E+05	4,316E-05	1,01E-03
4,733	0,267	-4,161E+05	-4,124E-04	2,26E-03		5,006	-0,006	-4,161E+05	9,260E-06	2,26E-03		4,904	0,096	-4,161E+05	-1,480E-04	2,26E-03
4,486	0,514	-6,325E+05	-7,937E-04	3,27E-03		4,877	0,123	-6,325E+05	-1,898E-04	3,27E-03		4,742	0,258	-6,325E+05	-3,976E-04	3,27E-03
4,239	0,761	-9,653E+05	-1,175E-03	4,27E-03		4,742	0,258	-9,653E+05	-3,981E-04	4,27E-03		4,581	0,419	-9,653E+05	-6,456E-04	4,27E-03
3,995	1,005	-1,248E+06	-1,551E-03	5,28E-03		4,618	0,382	-1,248E+06	-5,894E-04	5,28E-03		4,422	0,578	-1,248E+06	-8,905E-04	5,28E-03
3,724	1,276	-1,614E+06	-1,969E-03	6,54E-03		4,491	0,509	-1,614E+06	-7,852E-04	6,54E-03		4,249	0,751	-1,614E+06	-1,157E-03	6,54E-03
3,433	1,567	-2,097E+06	-2,418E-03	7,54E-03		4,361	0,639	-2,097E+06	-9,857E-04	7,54E-03		4,071	0,929	-2,097E+06	-1,431E-03	7,54E-03
3,136	1,864	-2,580E+06	-2,875E-03	8,55E-03		4,237	0,763	-2,580E+06	-1,177E-03	8,55E-03		3,885	1,115	-2,580E+06	-1,717E-03	8,55E-03
2,794	2,206	-3,029E+06	-3,402E-03	9,55E-03		4,125	0,875	-3,029E+06	-1,349E-03	9,55E-03		3,661	1,339	-3,029E+06	-2,062E-03	9,55E-03
2,432	2,568	-3,395E+06	-3,959E-03	1,03E-02		4,007	0,993	-3,395E+06	-1,531E-03	1,03E-02		3,426	1,574	-3,395E+06	-2,423E-03	1,03E-02
2,085	2,915	-3,778E+06	-4,492E-03	1,13E-02		3,888	1,112	-3,778E+06	-1,715E-03	1,13E-02		3,204	1,796	-3,778E+06	-2,764E-03	1,13E-02
2,403	2,597	-4,111E+06	-4,003E-03	1,21E-02		4,042	0,958	-4,111E+06	-1,477E-03	1,21E-02		3,389	1,611	-4,111E+06	-2,480E-03	1,21E-02
2,987	2,013	-2,646E+06	-3,105E-03	1,16E-02		4,291	0,709	-2,646E+06	-1,094E-03	1,16E-02		3,748	1,252	-2,646E+06	-1,928E-03	1,16E-02
3,560	1,440	-1,881E+06	-2,222E-03	1,06E-02		4,525	0,475	-1,881E+06	-7,328E-04	1,06E-02		4,107	0,893	-1,881E+06	-1,375E-03	1,06E-02
4,115	0,885	-1,331E+06	-1,366E-03	9,30E-03		4,728	0,272	-1,331E+06	-4,197E-04	9,30E-03		4,464	0,536	-1,331E+06	-8,258E-04	9,30E-03
4,615	0,385	-8,655E+05	-5,946E-04	8,04E-03		4,906	0,094	-8,655E+05	-1,451E-04	8,04E-03		4,796	0,204	-8,655E+05	-3,144E-04	8,04E-03
5,006	-0,006	-3,329E+05	9,269E-06	7,04E-03		5,077	-0,077	-3,329E+05	1,188E-04	7,04E-03		5,060	-0,060	-3,329E+05	9,249E-05	7,04E-03
5,145	-0,145	1,831E+05	2,240E-04	5,78E-03		5,140	-0,140	1,831E+05	2,161E-04	5,78E-03		5,155	-0,155	1,831E+05	2,389E-04	5,78E-03
5,182	-0,182	3,828E+05	2,812E-04	4,52E-03		5,155	-0,155	3,828E+05	2,392E-04	4,52E-03		5,179	-0,179	3,828E+05	2,759E-04	4,52E-03
5,194	-0,194	3,495E+05	2,997E-04	3,27E-03		5,162	-0,162	3,495E+05	2,500E-04	3,27E-03		5,189	-0,189	3,495E+05	2,914E-04	3,27E-03
5,209	-0,209	3,495E+05	3,229E-04	2,01E-03		5,170	-0,170	3,495E+05	2,624E-04	2,01E-03		5,199	-0,199	3,495E+05	3,068E-04	2,01E-03
5,221	-0,221	3,828E+05	3,415E-04	1,01E-03		5,182	-0,182	3,828E+05	2,809E-04	1,01E-03		5,211	-0,211	3,828E+05	3,253E-04	1,01E-03
5,231	-0,231	3,495E+05	3,569E-04	-2,51E-04		5,192	-0,192	3,495E+05	2,964E-04	-2,51E-04		5,221	-0,221	3,495E+05	3,407E-04	-2,51E-04
5,241	-0,241	3,828E+05	3,724E-04	-1,51E-03		5,199	-0,199	3,828E+05	3,072E-04	-1,51E-03		5,226	-0,226	3,828E+05	3,484E-04	-1,51E-03
5,253	-0,253	3,828E+05	3,909E-04	-2,77E-03		5,209	-0,209	3,828E+05	3,226E-04	-2,77E-03		5,236	-0,236	3,828E+05	3,638E-04	-2,77E-03
5,258	-0,258	4,161E+05	3,986E-04	-3,77E-03		5,216	-0,216	4,161E+05	3,334E-04	-3,77E-03		5,243	-0,243	4,161E+05	3,746E-04	-3,77E-03
5,267	-0,267	3,994E+05	4,126E-04	-5,03E-03		5,226	-0,226	3,994E+05	3,488E-04	-5,03E-03		5,250	-0,250	3,994E+05	3,854E-04	-5,03E-03
5,280	-0,280	4,161E+05	4,326E-04	-6,28E-03		5,233	-0,233	4,161E+05	3,597E-04	-6,28E-03		5,253	-0,253	4,161E+05	3,901E-04	-6,28E-03
5,306	-0,306	4,327E+05	4,728E-04	-7,54E-03		5,248	-0,248	4,327E+05	3,828E-04	-7,54E-03		5,267	-0,267	4,327E+05	4,116E-04	-7,54E-03
5,353	-0,353	4,993E+05	5,455E-04	-8,80E-03		5,275	-0,275	4,993E+05	4,245E-04	-8,80E-03		5,289	-0,289	4,993E+05	4,456E-04	-8,80E-03
5,416	-0,416	5,825E+05	6,429E-04	-9,80E-03		5,302	-0,302	5,825E+05	4,662E-04	-9,80E-03		5,326	-0,326	5,825E+05	5,026E-04	-9,80E-03
5,497	-0,497	6,491E+05	7,681E-04	-1,11E-02		5,338	-0,338	6,491E+05	5,218E-04	-1,11E-02		5,375	-0,375	6,491E+05	5,782E-04	-1,11E-02
5,631	-0,631	7,490E+05	9,753E-04	-1,23E-02		5,380	-0,380	7,490E+05	5,866E-04	-1,23E-02		5,451	-0,451	7,490E+05	6,954E-04	-1,23E-02
5,839	-0,839	9,320E+05	1,297E-03	-1,36E-02		5,458	-0,458	9,320E+05	7,071E-04	-1,36E-02		5,575	-0,575	9,320E+05	8,867E-04	-1,36E-02
6,115	-1,115	1,232E+06	1,724E-03	-1,46E-02		5,568	-0,568	1,232E+06	8,770E-04	-1,46E-02		5,736	-0,736	1,232E+06	1,135E-03	-1,46E-02
6,462	-1,462	1,598E+06	2,261E-03	-1,58E-02		5,719	-0,719	1,598E+06	1,110E-03	-1,58E-02		5,922	-0,922	1,598E+06	1,422E-03	-1,58E-02
6,823	-1,823	2,097E+06	2,820E-03	-1,68E-02		5,875	-0,875	2,097E+06	1,351E-03	-1,68E-02		6,117	-1,117	2,097E+06	1,723E-03	-1,68E-02
7,192	-2,192	2,546E+06	3,392E-03	-1,78E-02		6,034	-1,034	2,546E+06	1,597E-03	-1,78E-02		6,317	-1,317	2,546E+06	2,032E-03	-1,78E-02
7,558	-2,558	3,062E+06	3,960E-03	-1,89E-02		6,193	-1,193	3,062E+06	1,843E-03	-1,89E-02		6,513	-1,513	3,062E+06	2,335E-03	-1,89E-02
7,915	-2,915	3,545E+06	4,514E-03	-1,99E-02		6,357	-1,357	3,545E+06	2,097E-03	-1,99E-02		6,701	-1,701	3,545E+06	2,626E-03	-1,99E-02
7,568	-2,568	4,028E+06	3,975E-03	-2,09E-02		6,159	-1,159	4,028E+06	1,790E-03	-2,09E-02		6,510	-1,510	4,028E+06	2,330E-03	-2,09E-02
6,957	-1,957	2,430E+06	3,028E-03	-2,01E-02		5,853	-0,853	2,430E+06	1,317E-03	-2,01E-02		6,181	-1,181	2,430E+06	1,822E-03	-2,01E-02
6,396	-1,396	1,764E+06	2,159E-03	-1,89E-02		5,600	-0,600	1,764E+06	9,264E-04	-1,89E-02		5,880	-0,880	1,764E+06	1,357E-03	-1,89E-02
5,902	-0,902	1,115E+06	1,394E-03	-1,76E-02		5,404	-0,404	1,115E+06	6,237E-04	-1,76E-02		5,609	-0,609	1,115E+06	9,392E-04	-1,76E-02
5,502	-0,502	4,494E+05	7,758E-04	-1,63E-02		5,260	-0,260	4,494E+05	4,013E-04	-1,63E-02		5,389	-0,389	4,494E+05	5,998E-04	-1,63E-02
5,375	-0,375	0,000E+00	5,795E-04	-1,51E-02		5,233	-0,233	0,000E+00	3,597E-04	-1,51E-02		5,319	-0,319	0,000E+00	4,918E-04	-1,51E-02
5,382	-0,382	-8,322E+04	5,903E-04	-1,36E-02		5,243	-0,243	-8,322E+04	3,751E-04	-1,36E-02		5,326	-0,326	-8,322E+04	5,026E-04	-1,36E-02

Çizelge 7.30. AD6-c-ÇBB numunesinde dış yüzeye çevresel olarak dizilmiş G1-G2-G3 geyçlerine ait deneysel değerler

AD6-c	z ekseni		ds mm	θ	G (Pa)
Gauge 1	200 mm	θ_1	0	0	7,15E+08
Gauge 2	200 mm	θ_2	36,65	120	1,14E+09
Gauge 3	200 mm	θ_3	73,30	240	8,89E+08

GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°

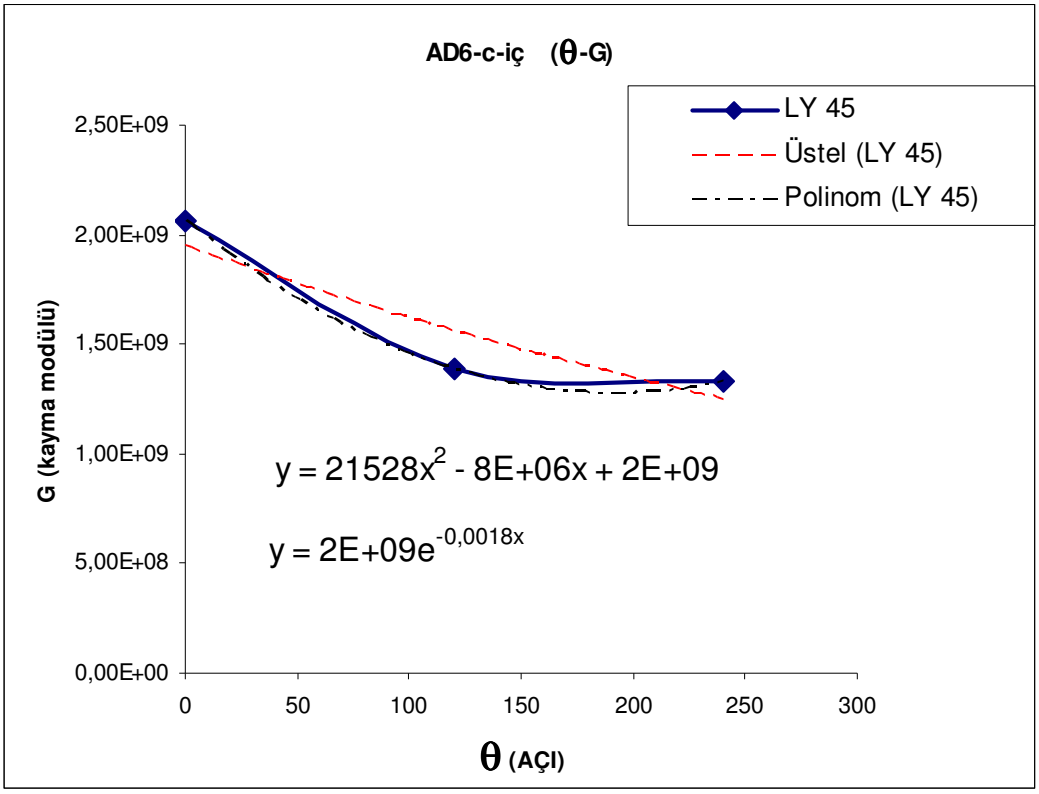


Şekil 7.34. AD6-c-ÇBB numunesi üzerinde bulunan G1-G2-G3 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği

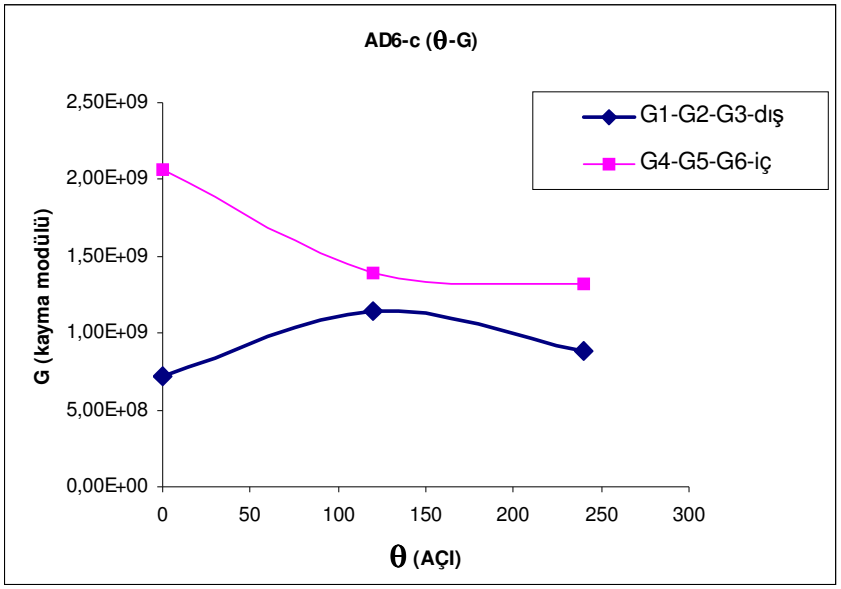
Çizelge 7.31. AD6-c-ÇBB numunesinde iç yüzeye çevresel olarak dizilmiş G4-G5-G6 geyçlerine ait deneysel değerler

AD6-c	z ekseni		ds mm	θ	G (Pa)
Gauge 4-iç	200 mm	θ_1	0	0	2,07E+09
Gauge 5-iç	200 mm	θ_2	36,65	120	1,39E+09
Gauge 6-iç	200 mm	θ_3	73,30	240	1,33E+09

GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°



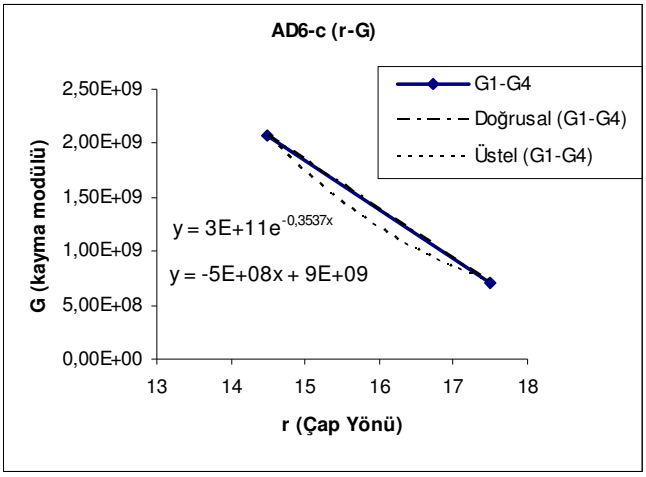
Şekil 7.35. AD6-c-ÇBB numunesi iç yüzeyinde bulunan G4-G5-G6 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği

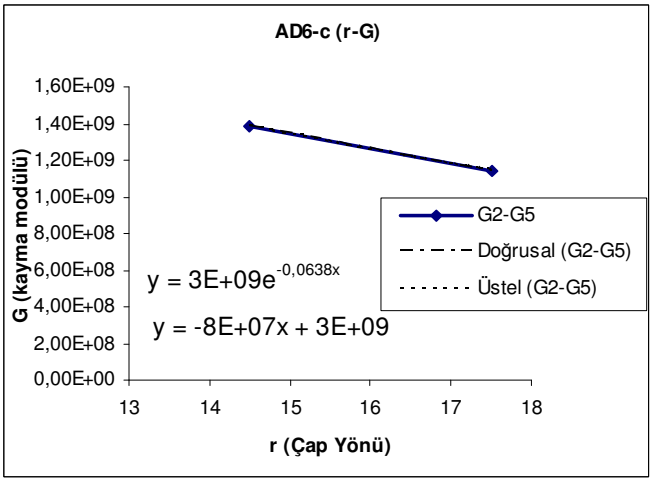


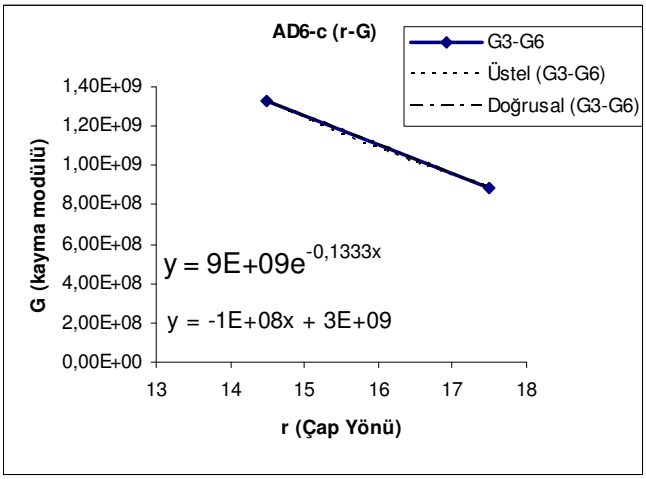
Şekil 7.36. AD6-c-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylerinde bulunan geyçlere ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği

Çizelge 7.32. AD6-c-ÇBB numunesinde aynı yarıçap doğrultusunda dış ve iç yüzeylere ait belirtilen koordinat noktalarından alınan γ-kayma genlemeleri dağılım çizelgeleri

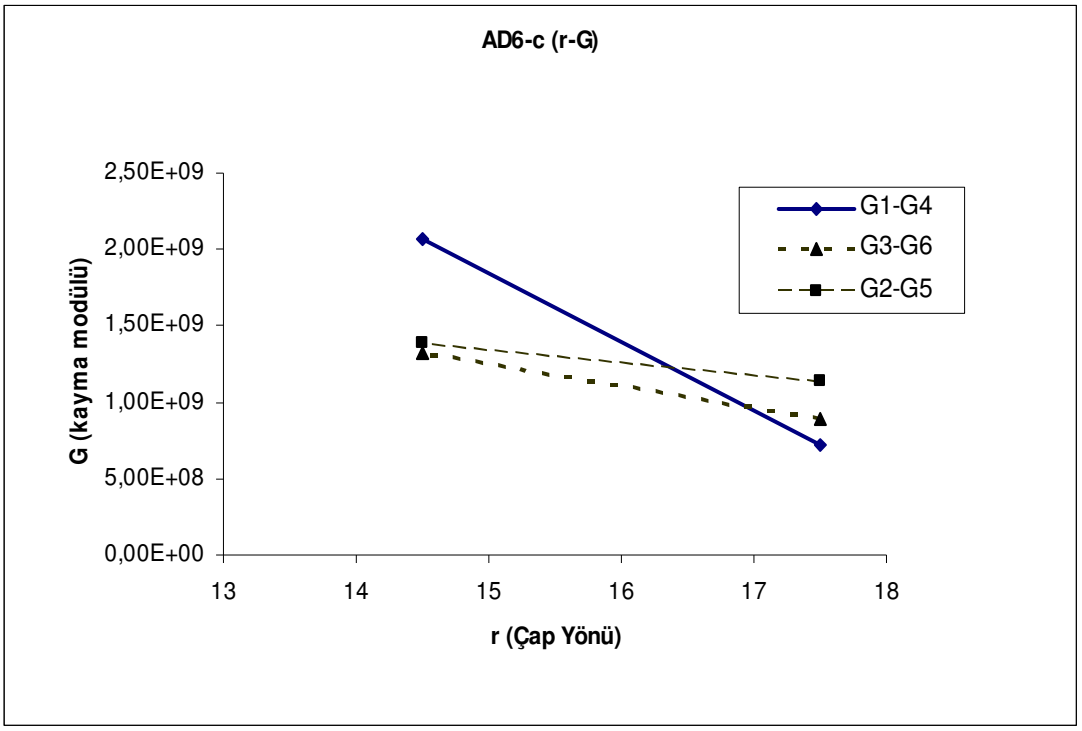
AD6-c	**r ekseni mm**			
Gauge 1	**17,5**	**7,15E+08**	$r_{iç}/r_{dış}$	**0,8286**
Gauge 4-iç	**14,5**	**2,07E+09**	$\gamma_{iç}/\gamma_{dış}$	**0,3025**
GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°				
AD6-c	**r ekseni mm**			
Gauge 2	**17,5**	**1,14E+09**	$r_{iç}/r_{dış}$	**0,8286**
Gauge 5-iç	**14,5**	**1,39E+09**	$\gamma_{iç}/\gamma_{dış}$	**0,8278**
GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°				
AD6-c	**r ekseni mm**			
Gauge 3	**17,5**	**8,89E+08**	$r_{iç}/r_{dış}$	**0,8286**
Gauge 6-iç	**14,5**	**1,33E+09**	$\gamma_{iç}/\gamma_{dış}$	**0,6536**
GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°				





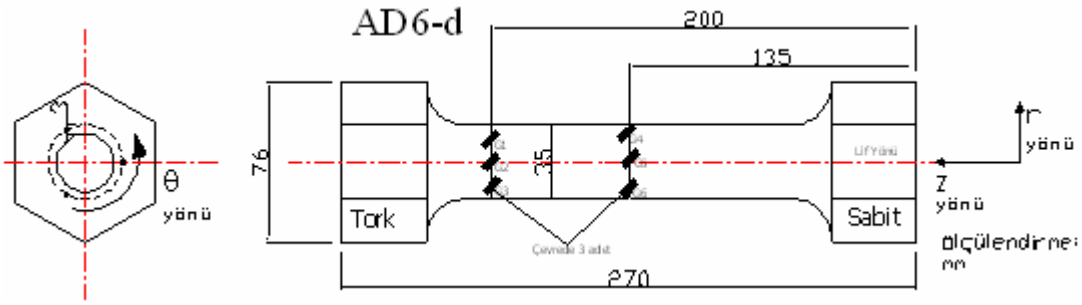


Şekil 7.37. AD6-c-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusundaki grafik ve grafiğin yaklaşık denklem ifadeleri



Şekil 7.38. AD6-c-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusundaki grafiklerin toplamı

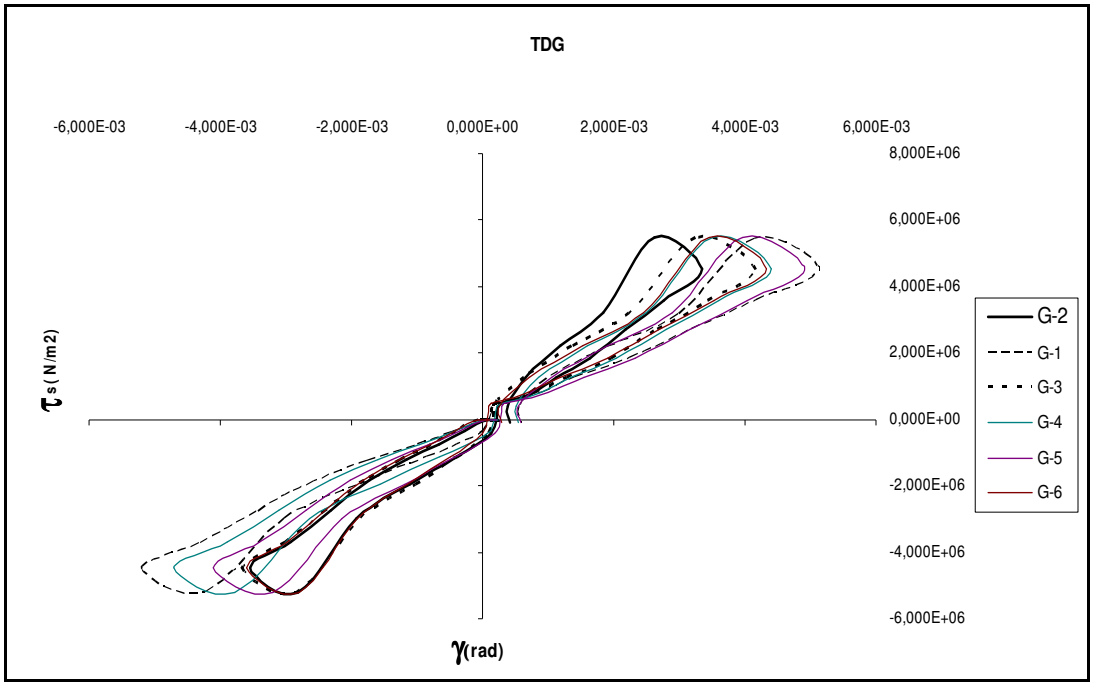
AD6-d numaralı deney sonuçları



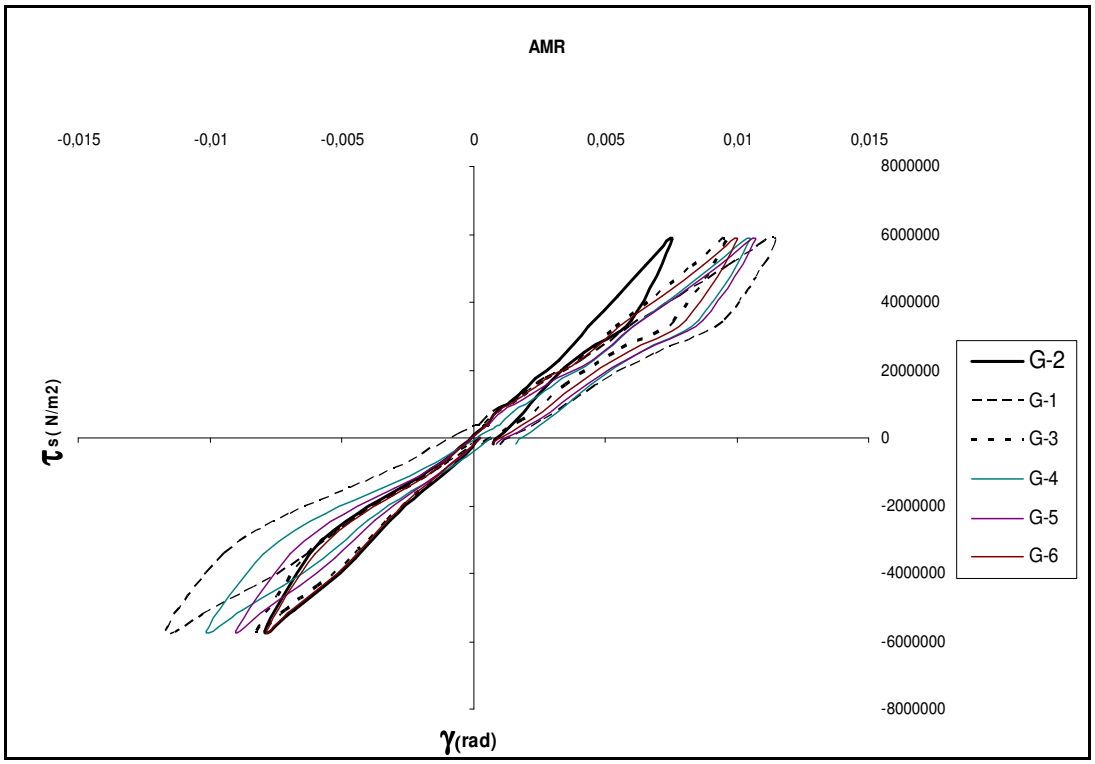
Şekil 7.39. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait şekilsel gösterim

Çizelge 7.33. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait TDG ve AMR cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri

	TDG		
GEYÇ NO	**G(Pa)**	**Z (mm)**	**LİF YÖNÜNE 45°**
Gs=	**2,52E+08**		
G1=	**6,66E+08**	**200**	**LY 45°**
G2=	**9,72E+08**	**200**	**LY 45°**
G3=	**9,89E+08**	**200**	**LY 45°**
G4=	**5,00E+08**	**135**	**LY 45°**
G5=	**5,74E+08**	**135**	**LY 45°**
G6=	**6,78E+08**	**135**	**LY 45°**
	AMR		
GEYÇ NO	**G(Pa)**	**Z (mm)**	
Gs=	**3,22E+08**		**LİF YÖNÜNE 45°**
G1=	**1,78E+10**	**200**	**LY 45°**
G2=	**4,86E+09**	**200**	**LY 45°**
G3=	**9,32E+09**	**200**	**LY 45°**
G4=	**4,26E+09**	**135**	**LY 45°**
G5=	**5,76E+09**	**135**	**LY 45°**
G6=	**2,70E+09**	**135**	**LY 45°**



Şekil 7.40. AD6-d-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği



Şekil 7.41. AD6-c-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait AMR cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği

Çizelge 7.34. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlerin eğim deklemlerine ait çizelgeler

GEYÇ NO	EĞİM DENKLEMİ AMR	m	EĞİM AÇISI (Derece)
G1	y = 5E+08x + 68535	0,5	26,6
G2	y = 7E+08x - 39458	0,7	35,0
G3	y = 6E+08x - 195051	0,6	31,0
G4	y = 5E+08x - 215656	0,5	26,6
G5	y = 5E+08x - 257531	0,5	26,6
G6	y = 6E+08x - 303424	0,6	31,0
GEYÇ NO	**EĞİM DENKLEMİ TDG**	**m**	**EĞİM AÇISI (Derece)**
G1	y = 1E+09x + 44429	1	45,0
G2	y = 1E+09x - 18413	1	45,0
G3	y = 1E+09x - 61775	1	45,0
G4	y = 1E+09x + 41236	1	45,0
G5	y = 1E+09x - 207080	1	45,0
G6	y = 1E+09x - 79569	1	45,0

Çizelge 7.35. AD6-d-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

TDG CODA Hızlı Veri Toplayıcı

Çıktı Dosyası				DIŞ ÇAP (Dd)	35,00	mm	counter	belirsiz			Gs=	2,52E+08			Gg4=	5,00E+08
Deney Tarihi	28.10.2005			YARI ÇAP=C	17,50	mm	set speed	3,8			Gg1=	6,66E+08		55,22	Gg5=	5,74E+08
Aygıt Geçidi 1				J	77886,37	mm4	kayıt aralığı	10	sn		Gg2=	9,72E+08		15,11	Gg6=	6,78E+08
DENEY NO	AD6-d-ÇBB-6G			L	270,00	mm	NEM	6%			Gg3=	9,89E+08				
NUMUNE	ÇAM	BOŞ		İÇ ÇAP (Di)	29	mm	AÇI									
GAUGE ADEDİ	6									KANAL 2	gauge	200 mm				
cins	çam									AÇI	LY 45	G_{g1}=	6,66E+08	21 mm		

VERİ SAYISI	Counter	DERECE	ϕ (rad)	Kayıt aralığı (sn)	TORK (NM)	TORK (Nmm)	τ_S - Kayma gerl (N/M2)	γ_S (rad)		G1 (volt)	VOLT farkı	τ_{G1} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G1}	γ_{S-G1} (rad)		G2 (volt)
							Gs=	-2,52E+08					CİHAZ	FORMÜL		
1	0	0	0,00E+00	0	0,00	0	0,000E+00	0,000E+00		5,17	-0,165	0,0000E+00	2,547E-04	0,00E+00		5,140
2	5	1,5	2,62E-02	10	0,00	0	0,000E+00	1,697E-03		5,16	-0,162	0,0000E+00	2,500E-04	1,26E-03		5,138
3	11	3,3	5,76E-02	20	0,00	0	0,000E+00	3,733E-03		5,15	-0,150	0,0000E+00	2,315E-04	2,77E-03		5,131
4	17	5,1	8,90E-02	30	-0,10	-100	-2,247E+04	5,769E-03		5,03	-0,033	-1,6643E+04	5,093E-05	4,27E-03		5,053
5	24	7,2	1,26E-01	40	-1,50	-1500	-3,370E+05	8,145E-03		4,70	0,302	-2,4965E+05	-4,660E-04	6,03E-03		4,828
6	30	9	1,57E-01	50	-3,30	-3300	-7,415E+05	1,018E-02		4,33	0,670	-5,4923E+05	-1,033E-03	7,54E-03		4,564
7	35	10,5	1,83E-01	60	-5,40	-5400	-1,213E+06	1,188E-02		3,86	1,139	-8,9875E+05	-1,756E-03	8,80E-03		4,247
8	41	12,3	2,15E-01	70	-8,20	-8200	-1,842E+06	1,391E-02		3,32	1,676	-1,3648E+06	-2,583E-03	1,03E-02		3,880
9	47	14,1	2,46E-01	80	-12,10	-12100	-2,719E+06	1,595E-02		2,76	2,241	-2,0139E+06	-3,452E-03	1,18E-02		3,495
10	52	15,6	2,72E-01	90	-16,50	-16500	-3,707E+06	1,765E-02		2,19	2,810	-2,7462E+06	-4,327E-03	1,31E-02		3,096
11	57	17,1	2,98E-01	100	-19,90	-19900	-4,471E+06	1,934E-02		1,61	3,393	-3,3120E+06	-5,222E-03	1,43E-02		2,689
12	62	18,6	3,25E-01	110	-23,30	-23300	-5,235E+06	2,104E-02	-2,104E-02	2,25	2,753	-3,8779E+06	-4,239E-03	1,56E-02		3,160
13	57	17,1	2,98E-01	120	-13,30	-13300	-2,988E+06	1,934E-02		3,04	1,957	-2,2136E+06	-3,015E-03	1,43E-02		3,741
14	51	15,3	2,67E-01	130	-8,60	-8600	-1,932E+06	1,731E-02		3,79	1,210	-1,4313E+06	-1,866E-03	1,28E-02		4,283
15	45	13,5	2,36E-01	140	-5,10	-5100	-1,146E+06	1,527E-02		4,44	0,556	-8,4881E+05	-8,577E-04	1,13E-02		4,740
16	39	11,7	2,04E-01	150	-1,80	-1800	-4,044E+05	1,324E-02		4,97	0,026	-2,9958E+05	-4,012E-05	9,80E-03		5,084
17	33	9,9	1,73E-01	160	1,70	1700	3,820E+05	1,120E-02		5,10	-0,104	2,8294E+05	1,605E-04	8,30E-03		5,153
18	26	7,8	1,36E-01	170	1,90	1900	4,269E+05	8,824E-03		5,14	-0,136	3,1623E+05	2,099E-04	6,54E-03		5,170
19	20	6	1,05E-01	180	2,20	2200	4,943E+05	6,787E-03		5,16	-0,155	3,6616E+05	2,392E-04	5,03E-03		5,184
20	14	4,2	7,33E-02	190	2,20	2200	4,943E+05	4,751E-03		5,17	-0,170	3,6616E+05	2,624E-04	3,52E-03		5,194
21	8	2,4	4,19E-02	200	2,60	2600	5,842E+05	2,715E-03		5,28	-0,282	4,3273E+05	4,353E-04	2,01E-03		5,267
22	1	0,3	5,24E-03	210	3,60	3600	8,089E+05	3,394E-04		5,585	-0,585	5,9916E+05	9,033E-04	2,51E-04		5,507
23	-5	-1,5	-2,62E-02	220	5,70	5700	1,281E+06	-1,697E-03		5,907	-0,907	9,4868E+05	1,401E-03	-1,26E-03		5,736
24	-11	-3,3	-5,76E-02	230	8,20	8200	1,842E+06	-3,733E-03		6,452	-1,452	1,3648E+06	2,244E-03	-2,77E-03		6,068
25	-17	-5,1	-8,90E-02	240	12,00	12000	2,696E+06	-5,769E-03		7,06	-2,060	1,9972E+06	3,185E-03	-4,27E-03		6,420
26	-23	-6,9	-1,20E-01	250	15,90	15900	3,573E+06	-7,806E-03		7,692	-2,692	2,6463E+06	4,164E-03	-5,78E-03		6,794
27	-28	-8,4	-1,47E-01	260	20,10	20100	4,516E+06	-9,502E-03		8,327	-3,327	3,3453E+06	5,148E-03	-7,04E-03		7,172
28	-33	-9,9	-1,73E-01	270	24,40	24400	5,482E+06	-1,120E-02	1,120E-02	7,685	-2,685	4,0610E+06	4,153E-03	-8,30E-03		6,696
29	-28	-8,4	-1,47E-01	280	14,30	14300	3,213E+06	-9,502E-03		6,926	-1,926	2,3800E+06	2,977E-03	-7,04E-03		6,190
30	-22	-6,6	-1,15E-01	290	9,80	9800	2,202E+06	-7,466E-03		6,225	-1,225	1,6311E+06	1,892E-03	-5,53E-03		5,763
31	-16	-4,8	-8,38E-02	300	5,60	5600	1,258E+06	-5,430E-03		5,626	-0,626	9,3203E+05	9,666E-04	-4,02E-03		5,421
32	-10	-3	-5,24E-02	310	1,70	1700	3,820E+05	-3,394E-03		5,348	-0,348	2,8294E+05	5,372E-04	-2,51E-03		5,245
33	-4	-1,2	-2,09E-02	320	-0,40	-400	-8,987E+04	-1,357E-03		5,377	-0,377	-6,6574E+04	5,820E-04	-1,01E-03		5,272

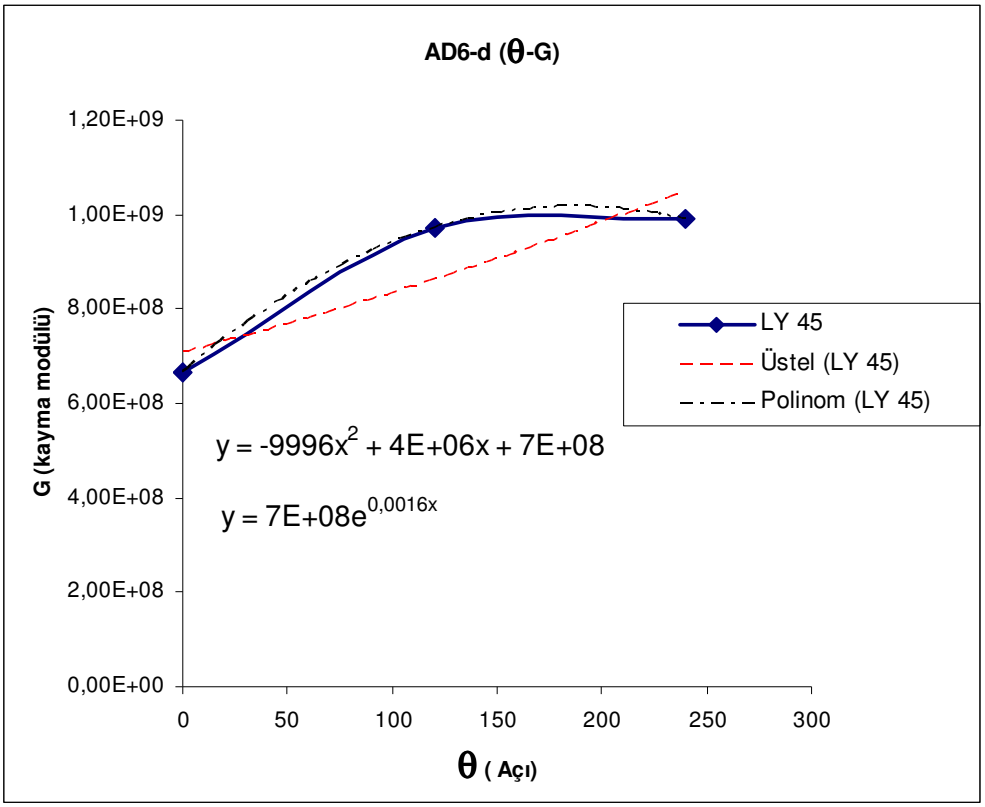
Çizelge 7.35. (Devam) AD6-d-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

KANAL 4	gauge	200 mm				KANAL 5	gauge	135 mm				KANAL 6	gauge	135 mm		
AÇI	LY 45	G_{g3}=	9,89E+08	15 mm		AÇI	LY 45	G_{g4}=	5,00E+08			AÇI	LY 45	G_{g5}=	5,74E+08	5
		CİHAZ	FORMÜL					CİHAZ	FORMÜL					CİHAZ	FORMÜL	
G3 (volt)	VOLT farkı	τ_{G3} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G3}	γ_{S-G3} (rad)		G4 (volt)	VOLT farkı	τ_{G4} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G4}	γ_{S-G4} (rad)		G5 (volt)	VOLT farkı	τ_{G5} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G5}	γ_{S-G5} (rad)
5,038	-0,038	0,000E+00	5,870E-05	0,00E+00		5,143	-0,143	0,000E+00	2,207E-04	0,00E+00		5,131	-0,131	0,000E+00	2,019E-04	0,00E+00
5,035	-0,035	0,000E+00	5,407E-05	1,26E-03		5,140	-0,140	0,000E+00	2,161E-04	8,48E-04		5,128	-0,128	0,000E+00	1,973E-04	8,48E-04
5,026	-0,026	0,000E+00	4,017E-05	2,77E-03		5,133	-0,133	0,000E+00	2,053E-04	1,87E-03		5,121	-0,121	0,000E+00	1,865E-04	1,87E-03
4,952	0,048	-1,664E+04	-7,415E-05	4,27E-03		5,035	-0,035	-1,123E+04	5,402E-05	2,88E-03		5,033	-0,033	-1,123E+04	5,087E-05	2,88E-03
4,730	0,270	-2,497E+05	-4,170E-04	6,03E-03		4,728	0,272	-1,685E+05	-4,197E-04	4,07E-03		4,774	0,226	-1,685E+05	-3,483E-04	4,07E-03
4,484	0,516	-5,492E+05	-7,968E-04	7,54E-03		4,381	0,619	-3,707E+05	-9,548E-04	5,09E-03		4,466	0,534	-3,707E+05	-8,227E-04	5,09E-03
4,173	0,827	-8,987E+05	-1,277E-03	8,80E-03		3,961	1,039	-6,067E+05	-1,602E-03	5,94E-03		4,100	0,900	-6,067E+05	-1,386E-03	5,94E-03
3,817	1,183	-1,365E+06	-1,826E-03	1,03E-02		3,487	1,513	-9,212E+05	-2,332E-03	6,96E-03		3,687	1,313	-9,212E+05	-2,022E-03	6,96E-03
3,436	1,564	-2,014E+06	-2,413E-03	1,18E-02		2,987	2,013	-1,359E+06	-3,102E-03	7,98E-03		3,248	1,752	-1,359E+06	-2,697E-03	7,98E-03
3,038	1,962	-2,746E+06	-3,026E-03	1,31E-02		2,474	2,526	-1,854E+06	-3,890E-03	8,82E-03		2,796	2,204	-1,854E+06	-3,391E-03	8,82E-03
2,618	2,382	-3,312E+06	-3,673E-03	1,43E-02		1,941	3,059	-2,236E+06	-4,709E-03	9,67E-03		2,330	2,670	-2,236E+06	-4,107E-03	9,67E-03
3,167	1,833	-3,878E+06	-2,827E-03	1,56E-02		2,549	2,451	-2,618E+06	-3,775E-03	1,05E-02		2,916	2,084	-2,618E+06	-3,207E-03	1,05E-02
3,795	1,205	-2,214E+06	-1,860E-03	1,43E-02		3,292	1,708	-1,494E+06	-2,632E-03	9,67E-03		3,607	1,393	-1,494E+06	-2,145E-03	9,67E-03
4,339	0,661	-1,431E+06	-1,021E-03	1,28E-02		3,988	1,012	-9,662E+05	-1,561E-03	8,65E-03		4,227	0,773	-9,662E+05	-1,191E-03	8,65E-03
4,755	0,245	-8,488E+05	-3,784E-04	1,13E-02		4,579	0,421	-5,730E+05	-6,495E-04	7,64E-03		4,733	0,267	-5,730E+05	-4,115E-04	7,64E-03
5,062	-0,062	-2,996E+05	9,578E-05	9,80E-03		5,043	-0,043	-2,022E+05	6,636E-05	6,62E-03		5,114	-0,114	-2,022E+05	1,757E-04	6,62E-03
5,101	-0,101	2,829E+05	1,560E-04	8,30E-03		5,145	-0,145	1,910E+05	2,238E-04	5,60E-03		5,184	-0,184	1,910E+05	2,837E-04	5,60E-03
5,101	-0,101	3,162E+05	1,560E-04	6,54E-03		5,175	-0,175	2,135E+05	2,701E-04	4,41E-03		5,201	-0,201	2,135E+05	3,099E-04	4,41E-03
5,106	-0,106	3,662E+05	1,638E-04	5,03E-03		5,192	-0,192	2,472E+05	2,964E-04	3,39E-03		5,216	-0,216	2,472E+05	3,330E-04	3,39E-03
5,114	-0,114	3,662E+05	1,761E-04	3,52E-03		5,206	-0,206	2,472E+05	3,180E-04	2,38E-03		5,231	-0,231	2,472E+05	3,561E-04	2,38E-03
5,236	-0,236	4,327E+05	3,646E-04	2,01E-03		5,304	-0,304	2,921E+05	4,693E-04	1,36E-03		5,343	-0,343	2,921E+05	5,288E-04	1,36E-03
5,516	-0,516	5,992E+05	7,975E-04	2,51E-04		5,578	-0,578	4,044E+05	8,924E-04	1,70E-04		5,646	-0,646	4,044E+05	9,963E-04	1,70E-04
5,832	-0,832	9,487E+05	1,286E-03	-1,26E-03		5,875	-0,875	6,404E+05	1,351E-03	-8,48E-04		6,002	-1,002	6,404E+05	1,546E-03	-8,48E-04
6,264	-1,264	1,365E+06	1,955E-03	-2,77E-03		6,322	-1,322	9,212E+05	2,042E-03	-1,87E-03		6,508	-1,508	9,212E+05	2,327E-03	-1,87E-03
6,730	-1,730	1,997E+06	2,676E-03	-4,27E-03		6,816	-1,816	1,348E+06	2,807E-03	-2,88E-03		7,050	-2,050	1,348E+06	3,165E-03	-2,88E-03
7,219	-2,219	2,646E+06	3,434E-03	-5,78E-03		7,328	-2,328	1,786E+06	3,600E-03	-3,90E-03		7,617	-2,617	1,786E+06	4,042E-03	-3,90E-03
7,695	-2,695	3,345E+06	4,172E-03	-7,04E-03		7,849	-2,849	2,258E+06	4,407E-03	-4,75E-03		8,178	-3,178	2,258E+06	4,911E-03	-4,75E-03
7,089	-2,089	4,061E+06	3,233E-03	-8,30E-03		7,267	-2,267	2,741E+06	3,505E-03	-5,60E-03		7,568	-2,568	2,741E+06	3,967E-03	-5,60E-03
6,440	-1,440	2,380E+06	2,227E-03	-7,04E-03		6,613	-1,613	1,607E+06	2,493E-03	-4,75E-03		6,867	-1,867	1,607E+06	2,882E-03	-4,75E-03
5,875	-0,875	1,631E+06	1,353E-03	-5,53E-03		6,037	-1,037	1,101E+06	1,602E-03	-3,73E-03		6,232	-1,232	1,101E+06	1,901E-03	-3,73E-03
5,404	-0,404	9,320E+05	6,243E-04	-4,02E-03		5,553	-0,553	6,291E+05	8,538E-04	-2,71E-03		5,685	-0,685	6,291E+05	1,056E-03	-2,71E-03
5,099	-0,099	2,829E+05	1,529E-04	-2,51E-03		5,328	-0,328	1,910E+05	5,063E-04	-1,70E-03		5,350	-0,350	1,910E+05	5,396E-04	-1,70E-03
5,138	-0,138	-6,657E+04	2,132E-04	-1,01E-03		5,358	-0,358	-4,494E+04	5,527E-04	-6,79E-04		5,382	-0,382	-4,494E+04	5,890E-04	-6,79E-04

Çizelge 7.36. AD6-d-ÇBB numunesinde dış yüzeye çevresel olarak dizilmiş G1-G2-G3 geyçlerine ait deneysel değerler

AD6-d	z ekseni		ds mm	θ	G (Pa)
Gauge 1	200 mm	θ_1	0	0	6,66E+08
Gauge 2	200 mm	θ_2	36,65	120	9,72E+08
Gauge 3	200 mm	θ_3	73,30	240	9,89E+08

GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°

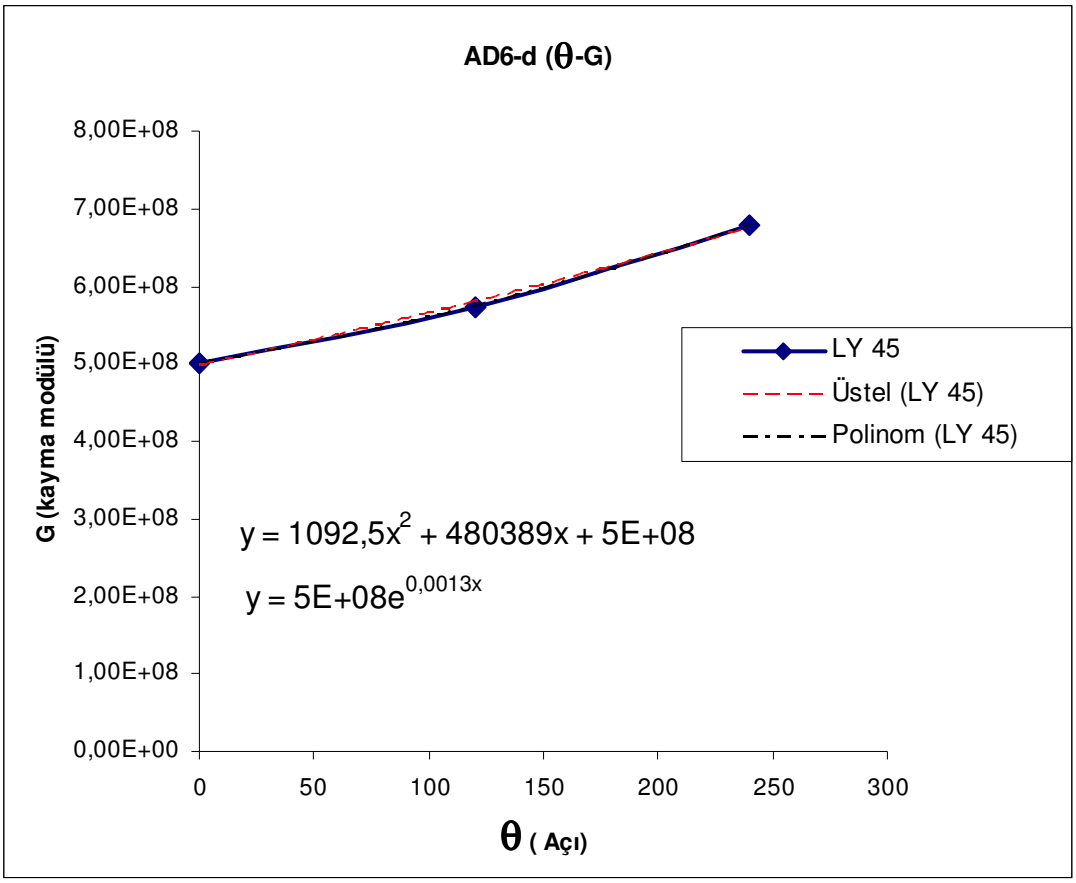


Şekil 7.42. AD6-d-ÇBB numunesi üzerinde bulunan G1-G2-G3 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği

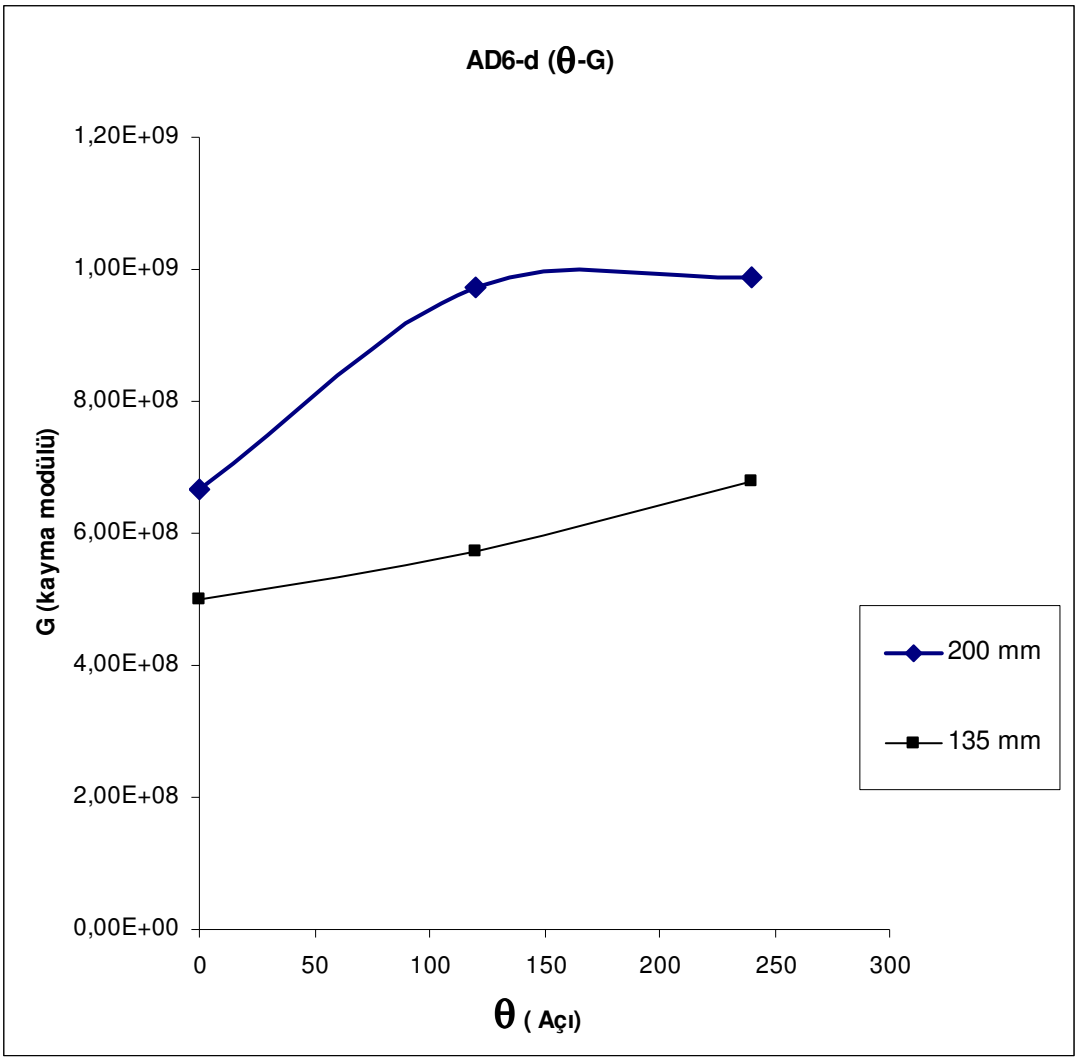
Çizelge 7.37. AD6-d-ÇBB numunesinde iç yüzeye çevresel olarak dizilmiş G4-G5-G6 geyçlerine ait deneysel değerler

AD6-d	z ekseni		ds mm	θ	G (Pa)
Gauge 4	135 mm	θ_1	0	0	**5,00E+08**
Gauge 5	135 mm	θ_2	36,65	120	**5,74E+08**
Gauge 6	135 mm	θ_3	73,30	240	**6,78E+08**

GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°



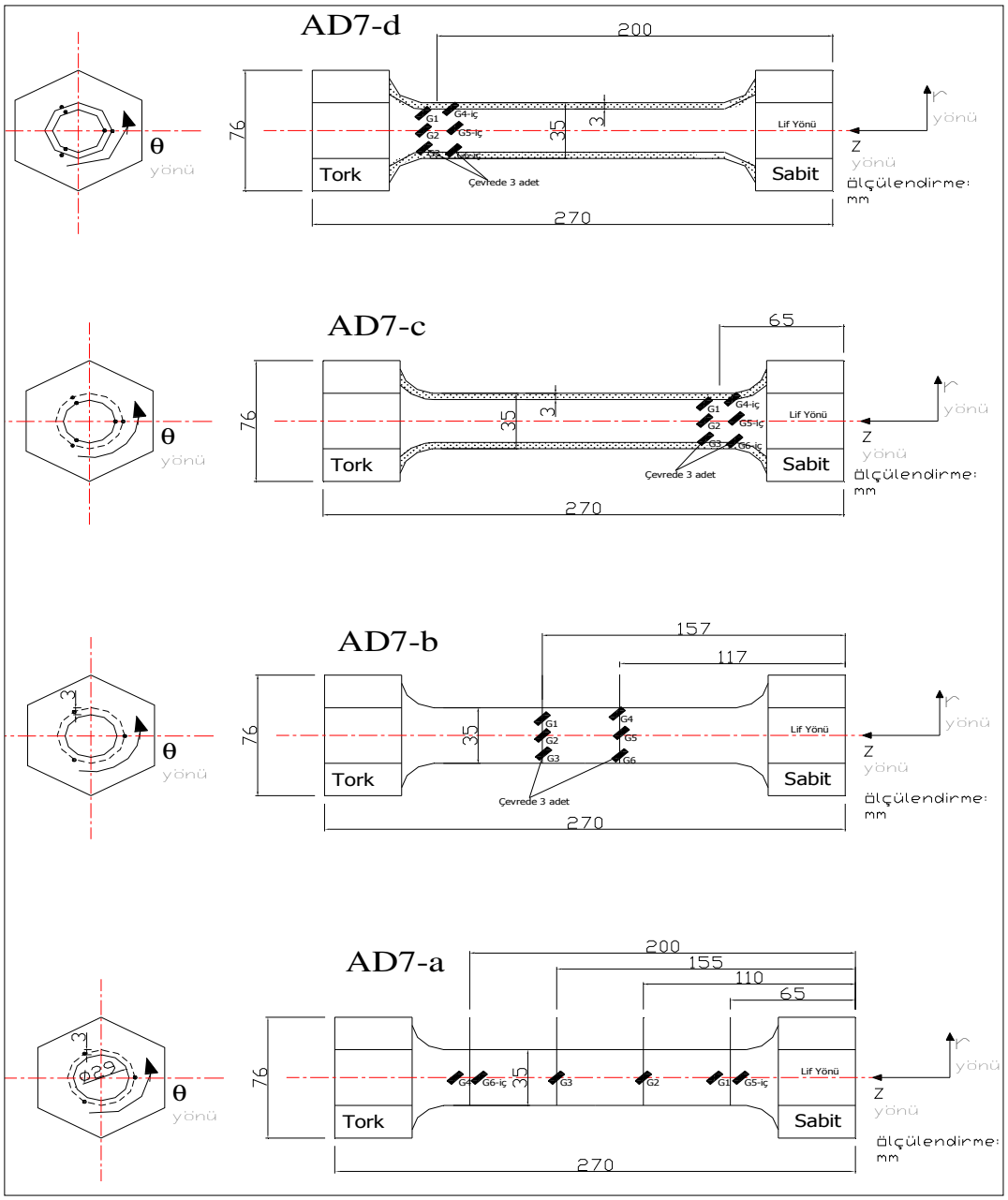
Şekil 7.43. AD6-d-ÇBB numunesi iç yüzeyinde bulunan G4-G5-G6 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ – koordinat değerine bağlı değişim grafiği



Şekil 7.44. AD6-d-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylerinde bulunan geyçlere ait G-kayma modülünün θ – koordinat değerine bağlı değişim grafiği

7.3.3. Lif doğrultularına göre 45^0 açı ile ağaç tüpün iç ve dış yüzeylerine dizilmiş geyçlerle yapılan deneyler

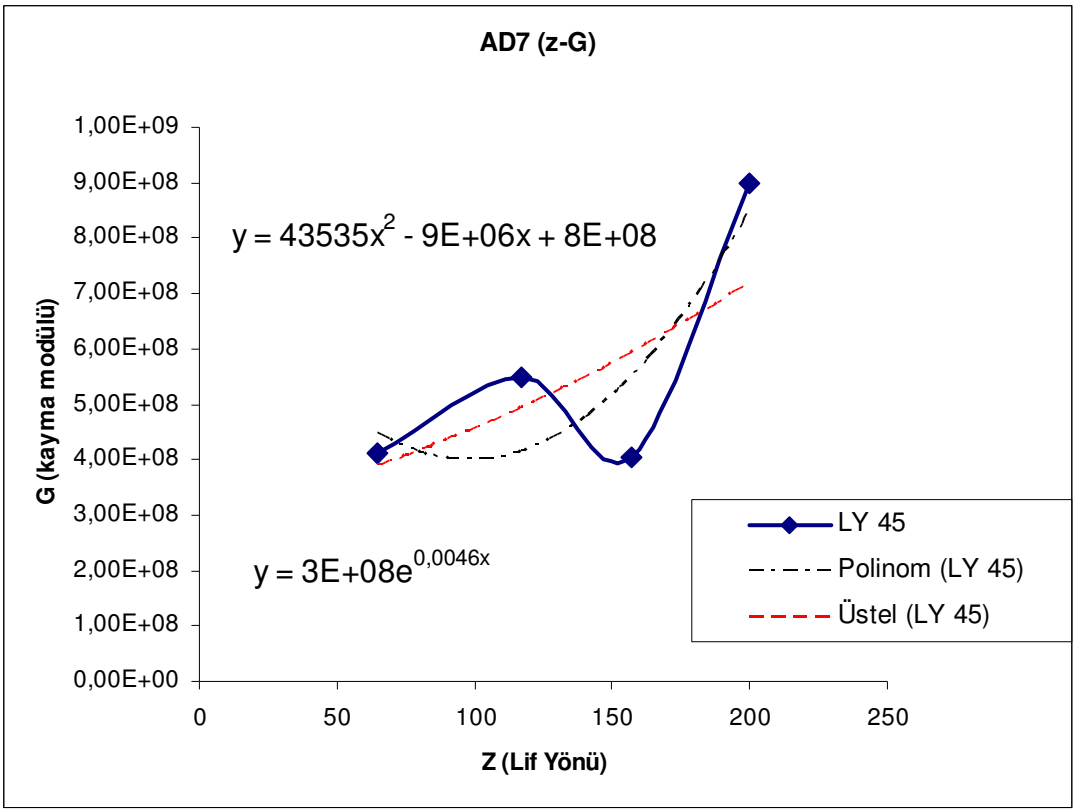
Yedi numaralı numune şekillerine ait, gruplara uygun genel teknik resimler aşağıda verilmiştir. Yapılan bu deneylerden elde edilen z yönüne bağlı G değişim grafikleri de ortak olarak aşağıda verilen grafiklerde yer almaktadır. Bunların dışındaki deneylere ait grafikler alt başlıklar halinde sunulacaktır.



Şekil 7.45. AD7 numaralı deney grubuna ait geyç yerleşiminin şekilsel gösterimi

Çizelge 7.38. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri

DENEY	AD7-b-c-d			
		Z ekseni mm	G(Pa)	
AD7-c	Gauge 1	65	4,11E+08	
AD7-b	Gauge 4	117	5,49E+08	LİF YÖNÜNE 45°
AD7-b	Gauge 1	157	4,03E+08	
AD7-d	Gauge 1	200	8,98E+08	

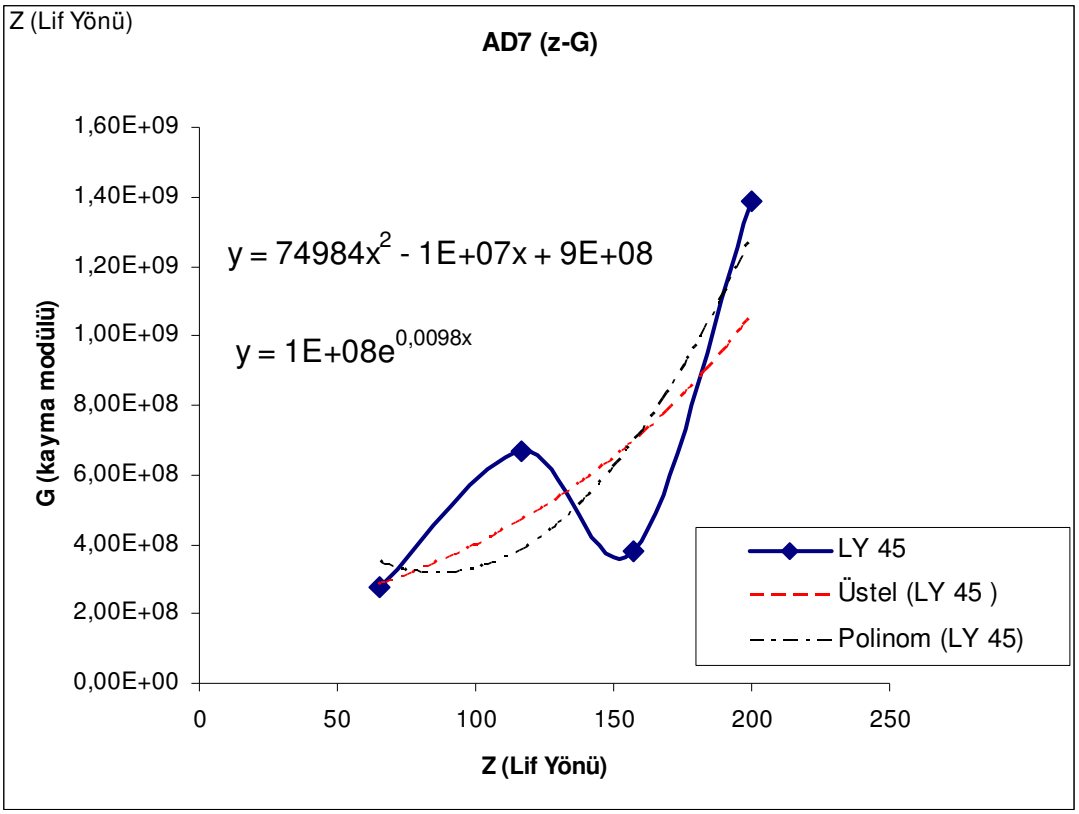


Şekil 7.46. Numune dış yüzeyine lif doğrultuları boyunca 45^0 açı yapacak şekilde belli aralıklarla yapıştırılmış geyçlerden alınan birim deformasyon bilgilerine ait grafikler

Çizelge 7.39 İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri

DENEY AD7-b-c-d

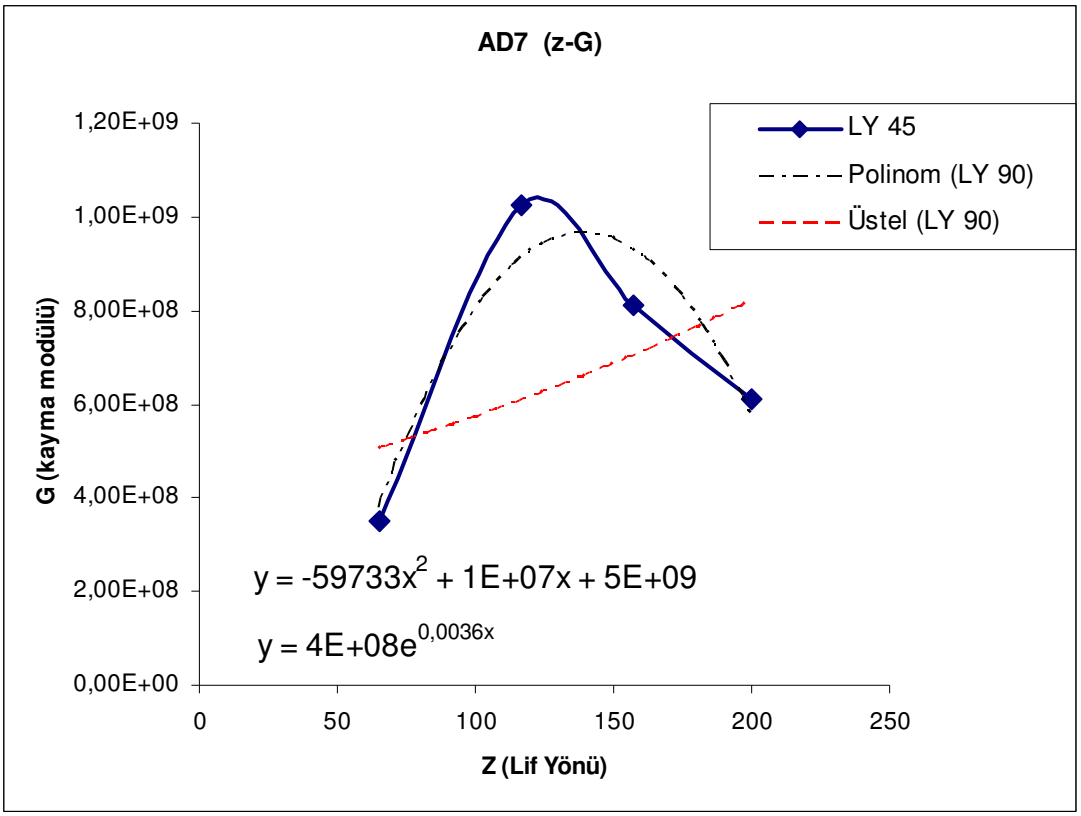
		Z ekseni mm	G(Pa)	
AD7-c	Gauge 2	65	2,74E+08	
AD7-b	Gauge 5	117	6,69E+08	LİF YÖNÜNE 45°
AD7-b	Gauge 2	157	3,81E+08	
AD7-d	Gauge 2	200	1,39E+09	



Şekil 7.47. Numune dış yüzeyine lif doğrultuları boyunca 45^0 açı yapacak şekilde belli aralıklarla yapıştırılmış geyçlerden alınan birim deformasyon bilgilerine ait grafikler

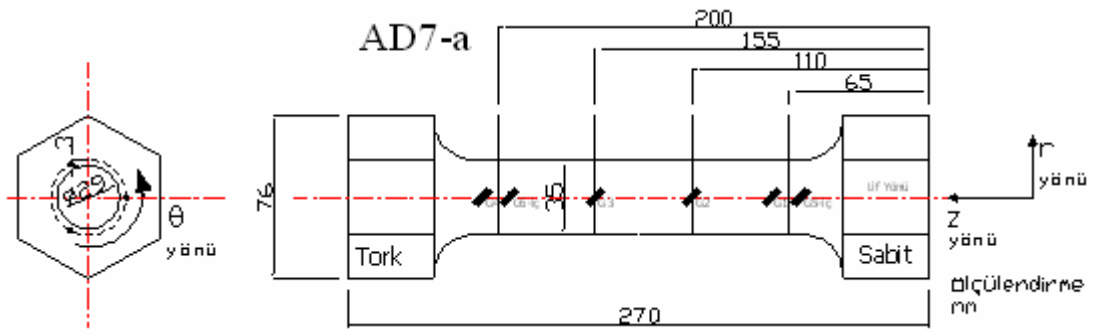
Çizelge 7.40. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri

DENEY	AD7-b-c-d			
		Z ekseni mm	G(Pa)	
AD7-c	Gauge 3	65	3,51E+08	
AD7-b	Gauge 6	117	1,02E+09	LİF YÖNÜNE 45°
AD7-b	Gauge 3	157	8,11E+08	
AD7-d	Gauge 3	200	6,09E+08	



Şekil 7.48. Numune dış yüzeyine lif doğrultuları boyunca 45^0 açı yapacak şekilde belli aralıklarla yapıştırılmış geyçlerden alınan birim deformasyon bilgilerine ait grafikler

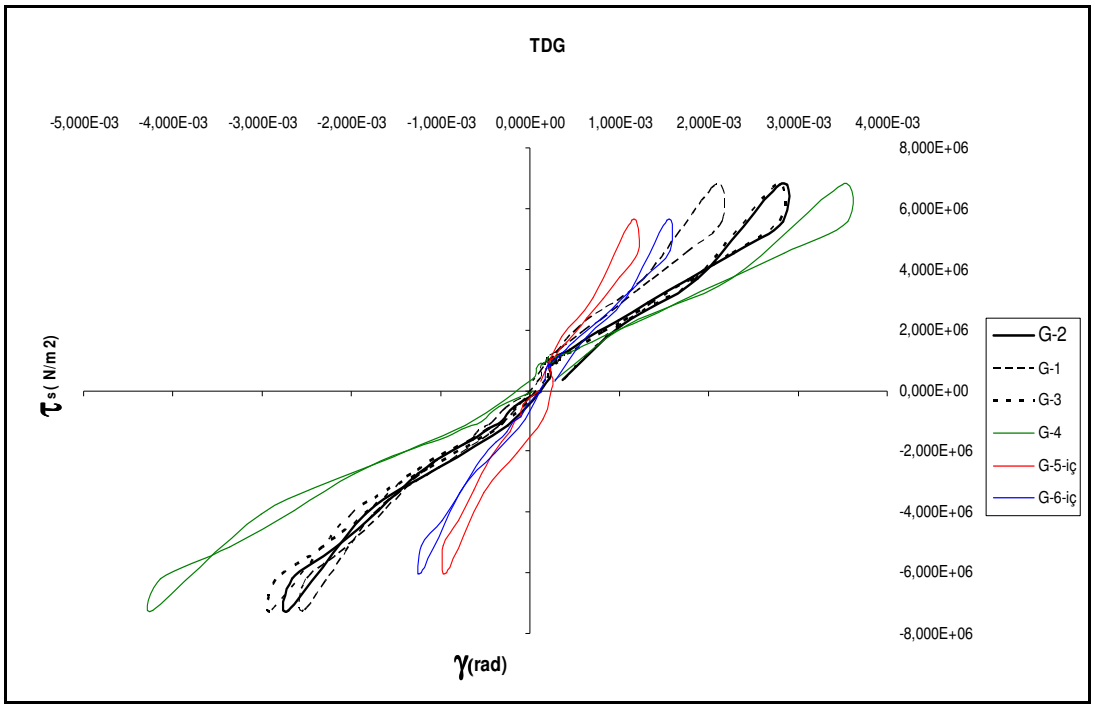
AD7-a numaralı deney sonuçları



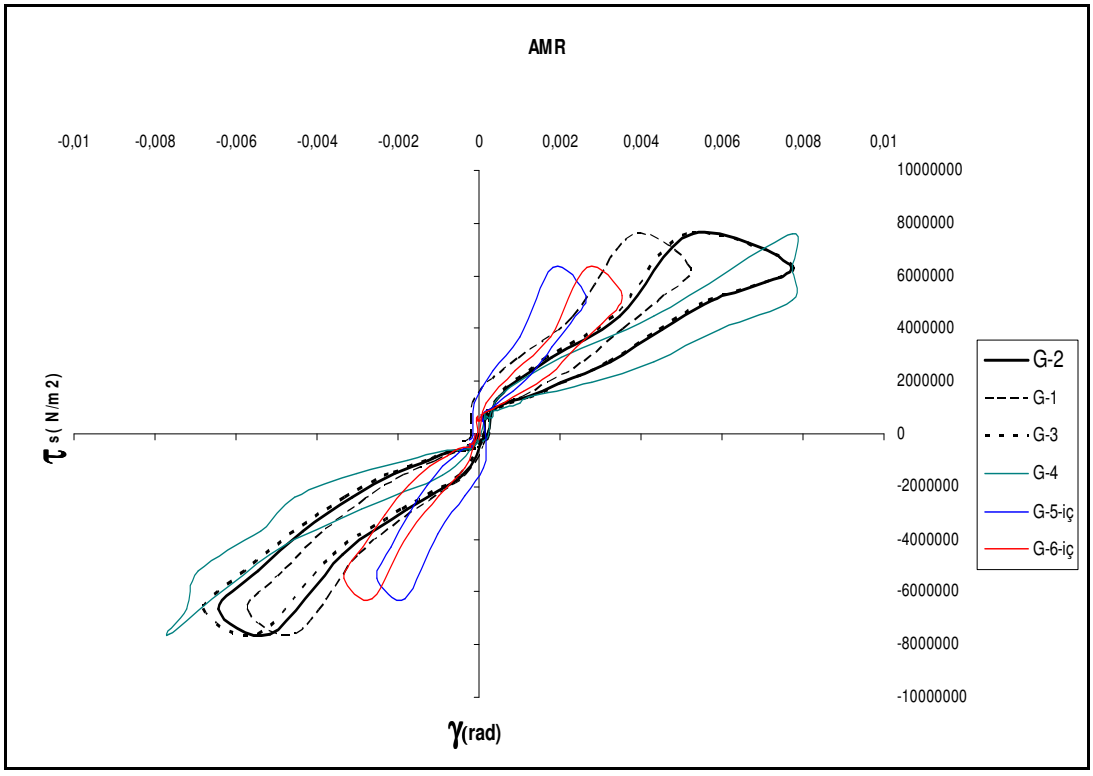
Şekil 7.49. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 2 iç – 4 dış geyçlere ait şekilsel gösterim

Çizelge 7.41. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 2 iç – 4 dış geyçlere ait TDG ve AMR cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri

	TDG		
GEYÇ NO	**G(Pa)**	**Z (mm)**	**LİF YÖNÜ**
Gs=	**3,51E+08**		
G1=	**6,40E+08**	**65**	**LY 45°**
G2=	**9,77E+08**	**110**	**LY 45°**
G3=	**1,28E+09**	**155**	**LY 45°**
G4=	**1,16E+09**	**200**	**LY 45°**
G5-iç=	**1,57E+09**	**65**	**LY 45°**
G6-iç=	**3,69E+09**	**200**	**LY 45°**
	AMR		
GEYÇ NO	**G(Pa)**	**Z (mm)**	**LİF YÖNÜ**
Gs=	**5,08E+07**		
G1=	**3,09E+08**	**65**	**LY 45°**
G2=	**4,23E+08**	**110**	**LY 45°**
G3=	**5,84E+08**	**155**	**LY 45°**
G4=	**6,09E+08**	**200**	**LY 45°**
G5-iç=	**6,57E+08**	**65**	**LY 45°**
G6-iç=	**1,50E+09**	**200**	**LY 45°**



Şekil 7.50. AD7-a-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği



Şekil 7.51. AD7-a-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait AMR cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği

Çizelge 7.42. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 2 iç – 4 dış geyçlere ait eğim deklemlerine ait çizelgeler

GEYÇ NO	EĞİM DENKLEMİ AMR	m	EĞİM AÇISI (Derece)
G1	y = 1E+09x + 185711	1	45,0
G2	y = 1E+09x + 41728	1	45,0
G3	y = 1E+09x + 87804	1	45,0
G4	y = 8E+08x + 92653	0,8	38,7
G5-iç	y = 2E+09x + 128543	2	63,4
G6-iç	y = 2E+09x + 147858	2	63,4
GEYÇ NO	**EĞİM DENKLEMİ TDG**	**m**	**EĞİM AÇISI (Derece)**
G1	y = 3E+09x + 308733	3	71,6
G2	y = 2E+09x - 48482	2	63,4
G3	y = 2E+09x + 7564	2	63,4
G4	y = 3E+09x + 308733	3	71,6
G5-iç	y = 5E+09x - 469963	5	78,7
G6-iç	y = 4E+09x - 393701	4	76,0

Çizelge 7.43. AD7-a-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

TDG CODA Hızlı Veri Toplayıcı

Çıktı Dosyası				DIŞ ÇAP (Dd)	35,00	mm	counter	belirsiz			Gs=	3,51E+08			Gg4=	1,16E+09
Deney Tarihi	16.10.2005			YARI ÇAP=C	17,50	mm	set speed	3,8			Gg1=	6,40E+08		1,83	Gg5-iç=	1,57E+09
Aygıt Geçidi 1				J	77886,37	mm4	kayıt aralığı	10	sn		Gg2=	9,77E+08		2,79	Gg6-iç=	3,69E+09
DENEY NO	7-a-ÇBB-(2)-6G45			L	270,00	mm	NEM	6%			Gg3=	1,28E+09				
NUMUNE	çam	BOŞ		İÇ ÇAP (Di)	29	mm	AÇI									
GAUGE ADEDİ	6									KANAL 2	gauge		65 mm			
cins	çam									AÇI	LY 45	G_{g1}=	6,40E+08	21 mm		

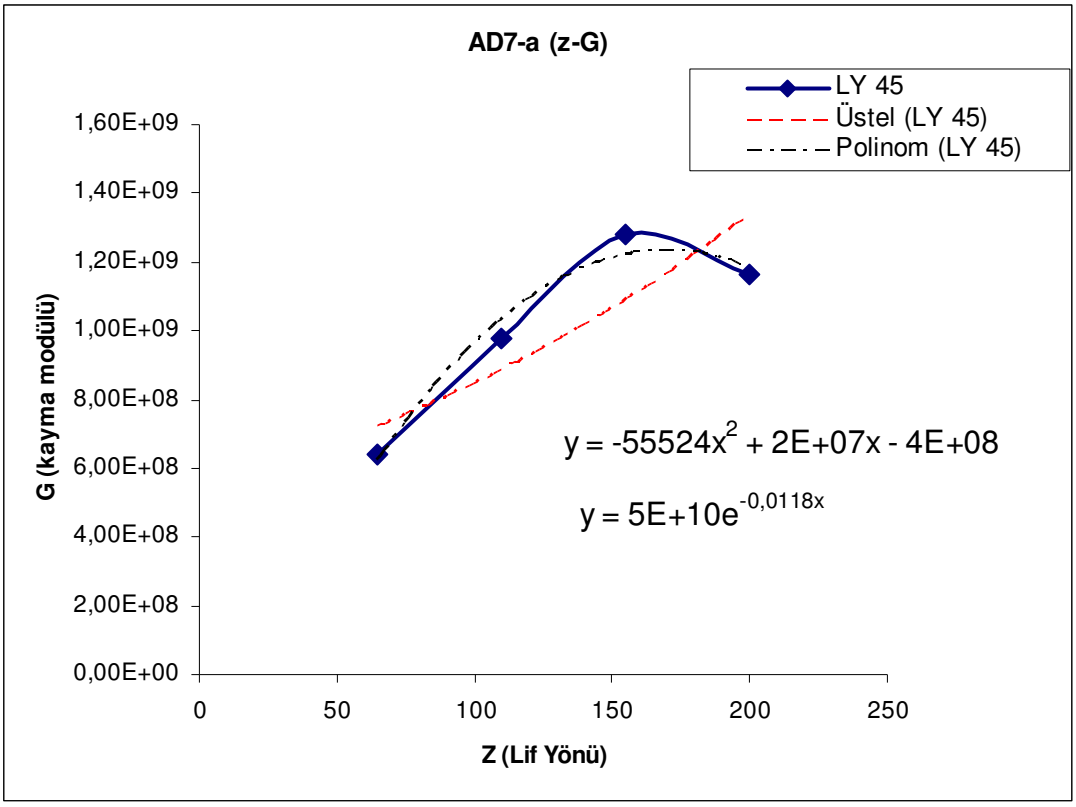
								Gs=	-3,51E+08					CİHAZ	FORMÜL			
VERİ SAYISI	Counter	DERECE	θ (rad)	Kayıt aralığı (sn)	TORK (NM)	TORK (Nmm)	τ_S - Kayma gerl (N/M2)	γ_S (rad)		G1 (volt)	VOLT farkı	τ_{G1} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G1}	γ_{S-G1} (rad)		G2 (volt)
1	0	0	0,00E+00	0	0,00	0	0,000E+00	0,000E+00		5,02	-0,018	0,0000E+00	2,778E-05	0,00E+00		5,070
2	5	1,5	2,62E-02	10	-2,30	-2300	-5,168E+05	1,697E-03		4,83	0,175	-1,2441E+05	-2,700E-04	4,09E-04		4,886
3	12	3,6	6,28E-02	20	-4,60	-4600	-1,034E+06	4,072E-03		4,72	0,280	-2,4882E+05	-4,320E-04	9,80E-04		4,789
4	18	5,4	9,42E-02	30	-5,60	-5600	-1,258E+06	6,109E-03		4,63	0,372	-3,0291E+05	-5,739E-04	1,47E-03		4,684
5	24	7,2	1,26E-01	40	-7,20	-7200	-1,618E+06	8,145E-03		4,56	0,441	-3,8946E+05	-6,804E-04	1,96E-03		4,584
6	30	9	1,57E-01	50	-9,10	-9100	-2,045E+06	1,018E-02		4,41	0,592	-4,9223E+05	-9,132E-04	2,45E-03		4,415
7	36	10,8	1,88E-01	60	-12,20	-12200	-2,741E+06	1,222E-02		4,19	0,807	-6,5991E+05	-1,245E-03	2,94E-03		4,181
8	42	12,6	2,20E-01	70	-17,60	-17600	-3,954E+06	1,425E-02		3,93	1,068	-9,5200E+05	-1,647E-03	3,43E-03		3,893
9	48	14,4	2,51E-01	80	-23,00	-23000	-5,168E+06	1,629E-02		3,65	1,349	-1,2441E+06	-2,080E-03	3,92E-03		3,582
10	53	15,9	2,78E-01	90	-27,60	-27600	-6,201E+06	1,799E-02		3,37	1,635	-1,4929E+06	-2,520E-03	4,33E-03		3,265
11	58	17,4	3,04E-01	100	-32,20	-32200	-7,235E+06	1,968E-02	-1,968E-02	3,36	1,637	-1,7417E+06	-2,523E-03	4,74E-03		3,243
12	53	15,9	2,78E-01	110	-18,10	-18100	-4,067E+06	1,799E-02		3,87	1,129	-9,7905E+05	-1,741E-03	4,33E-03		3,797
13	48	14,4	2,51E-01	120	-11,20	-11200	-2,516E+06	1,629E-02		4,35	0,653	-6,0582E+05	-1,007E-03	3,92E-03		4,337
14	41	12,3	2,15E-01	130	-5,10	-5100	-1,146E+06	1,391E-02		4,79	0,211	-2,7586E+05	-3,256E-04	3,35E-03		4,838
15	34	10,2	1,78E-01	140	1,70	1700	3,820E+05	1,154E-02		5,07	-0,074	9,1955E+04	1,142E-04	2,78E-03		5,138
16	29	8,7	1,52E-01	150	3,30	3300	7,415E+05	9,842E-03		5,08	-0,079	1,7850E+05	1,219E-04	2,37E-03		5,143
17	22	6,6	1,15E-01	160	4,00	4000	8,987E+05	7,466E-03		5,10	-0,104	2,1636E+05	1,605E-04	1,80E-03		5,158
18	16	4,8	8,38E-02	170	3,90	3900	8,763E+05	5,430E-03		5,10	-0,104	2,1096E+05	1,605E-04	1,31E-03		5,155
19	9	2,7	4,71E-02	180	3,80	3800	8,538E+05	3,054E-03		5,11	-0,106	2,0555E+05	1,636E-04	7,35E-04		5,160
20	3	0,9	1,57E-02	190	4,90	4900	1,101E+06	1,018E-03		5,13	-0,126	2,6505E+05	1,945E-04	2,45E-04		5,167
21	-3	-0,9	-1,57E-02	200	4,20	4200	9,437E+05	-1,018E-03		5,12	-0,121	2,2718E+05	1,868E-04	-2,45E-04		5,160
22	-9	-2,7	-4,71E-02	210	4,10	4100	9,212E+05	-3,054E-03		5,145	-0,145	2,2177E+05	2,238E-04	-7,35E-04		5,189
23	-15	-4,5	-7,85E-02	220	5,10	5100	1,146E+06	-5,091E-03		5,138	-0,138	2,7586E+05	2,130E-04	-1,23E-03		5,194
24	-22	-6,6	-1,15E-01	230	5,50	5500	1,236E+06	-7,466E-03		5,177	-0,177	2,9750E+05	2,732E-04	-1,80E-03		5,238
25	-28	-8,4	-1,47E-01	240	6,00	6000	1,348E+06	-9,502E-03		5,223	-0,223	3,2455E+05	3,442E-04	-2,29E-03		5,292
26	-34	-10,2	-1,78E-01	250	7,20	7200	1,618E+06	-1,154E-02		5,294	-0,294	3,8946E+05	4,538E-04	-2,78E-03		5,370
27	-41	-12,3	-2,15E-01	260	8,70	8700	1,955E+06	-1,391E-02		5,389	-0,389	4,7059E+05	6,005E-04	-3,35E-03		5,490
28	-47	-14,1	-2,46E-01	270	10,40	10400	2,337E+06	-1,595E-02		5,512	-0,512	5,6255E+05	7,905E-04	-3,84E-03		5,643
29	-53	-15,9	-2,78E-01	280	12,90	12900	2,898E+06	-1,799E-02		5,675	-0,675	6,9778E+05	1,042E-03	-4,33E-03		5,858
30	-59	-17,7	-3,09E-01	290	16,30	16300	3,662E+06	-2,002E-02		5,89	-0,890	8,8169E+05	1,375E-03	-4,82E-03		6,149
31	-65	-19,5	-3,40E-01	300	20,10	20100	4,516E+06	-2,206E-02		6,134	-1,134	1,0872E+06	1,752E-03	-5,31E-03		6,481
32	-71	-21,3	-3,72E-01	310	24,90	24900	5,595E+06	-2,410E-02		6,4	-1,400	1,3469E+06	2,163E-03	-5,80E-03		6,842
33	-76	-22,8	-3,98E-01	320	30,20	30200	6,786E+06	-2,579E-02	2,579E-02	6,33	-1,330	1,6336E+06	2,055E-03	-6,21E-03		6,816
34	-70	-21	-3,67E-01	330	16,50	16500	3,707E+06	-2,376E-02		5,817	-0,817	8,9250E+05	1,262E-03	-5,72E-03		6,217
35	-65	-19,5	-3,40E-01	340	9,60	9600	2,157E+06	-2,206E-02		5,358	-0,358	5,1928E+05	5,527E-04	-5,31E-03		5,668
36	-58	-17,4	-3,04E-01	350	1,60	1600	3,595E+05	-1,968E-02		5,016	-0,016	8,6546E+04	2,469E-05	-4,74E-03		5,241

Çizelge 7.43. (Devam) AD7-a-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

KANAL 4	gauge	155 mm				KANAL 5	gauge	200 mm				KANAL 6	gauge	65 mm		
AÇI	LY 45	G_{g3}=	1,28E+09	15 mm		AÇI	LY 45	G_{g4}=	1,16E+09			AÇI	LY 45	$G_{g5\text{-}iç}$=	1,57E+09	5
		CİHAZ	FORMÜL					CİHAZ	FORMÜL					CİHAZ	FORMÜL	
G3 (volt)	VOLT farkı	τ_{G3} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G3}	$\gamma_{S\text{-}G3}$ (rad)		G4 (volt)	VOLT farkı	τ_{G4} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G4}	$\gamma_{S\text{-}G4}$ (rad)		G5 (volt)	VOLT farkı	τ_{G5} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G5}	$\gamma_{S\text{-}G5}$ (rad)
5,074	-0,074	0,000E+00	1,143E-04	0,00E+00		5,026	-0,026	0,000E+00	4,013E-05	0,00E+00		5,060	-0,060	0,000E+00	9,249E-05	0,00E+00
4,896	0,104	-2,967E+05	-1,606E-04	9,74E-04		4,772	0,228	-3,828E+05	-3,518E-04	1,26E-03		4,952	0,048	-1,244E+05	-7,398E-05	4,09E-04
4,799	0,201	-5,933E+05	-3,105E-04	2,34E-03		4,652	0,348	-7,656E+05	-5,369E-04	3,02E-03		4,923	0,077	-2,488E+05	-1,187E-04	9,80E-04
4,686	0,314	-7,223E+05	-4,849E-04	3,51E-03		4,505	0,495	-9,320E+05	-7,636E-04	4,52E-03		4,889	0,111	-3,029E+05	-1,711E-04	1,47E-03
4,571	0,429	-9,287E+05	-6,625E-04	4,68E-03		4,344	0,656	-1,198E+06	-1,012E-03	6,03E-03		4,857	0,143	-3,895E+05	-2,204E-04	1,96E-03
4,383	0,617	-1,174E+06	-9,527E-04	5,84E-03		4,083	0,917	-1,515E+06	-1,414E-03	7,54E-03		4,789	0,211	-4,922E+05	-3,252E-04	2,45E-03
4,132	0,868	-1,574E+06	-1,340E-03	7,01E-03		3,726	1,274	-2,030E+06	-1,964E-03	9,05E-03		4,701	0,299	-6,599E+05	-4,608E-04	2,94E-03
3,822	1,178	-2,270E+06	-1,818E-03	8,18E-03		3,287	1,713	-2,929E+06	-2,640E-03	1,06E-02		4,593	0,407	-9,520E+05	-6,271E-04	3,43E-03
3,490	1,510	-2,967E+06	-2,330E-03	9,35E-03		2,811	2,189	-3,828E+06	-3,372E-03	1,21E-02		4,481	0,519	-1,244E+06	-7,996E-04	3,92E-03
3,153	1,847	-3,560E+06	-2,849E-03	1,03E-02		2,315	2,685	-4,594E+06	-4,135E-03	1,33E-02		4,369	0,631	-1,493E+06	-9,721E-04	4,33E-03
3,131	1,869	-4,153E+06	-2,883E-03	1,13E-02		2,256	2,744	-5,359E+06	-4,225E-03	1,46E-02		4,396	0,604	-1,742E+06	-9,305E-04	4,74E-03
3,712	1,288	-2,335E+06	-1,988E-03	1,03E-02		3,048	1,952	-3,012E+06	-3,008E-03	1,33E-02		4,662	0,338	-9,790E+05	-5,208E-04	4,33E-03
4,274	0,726	-1,445E+06	-1,121E-03	9,35E-03		3,810	1,190	-1,864E+06	-1,835E-03	1,21E-02		4,901	0,099	-6,058E+05	-1,526E-04	3,92E-03
4,799	0,201	-6,578E+05	-3,105E-04	7,99E-03		4,530	0,470	-8,488E+05	-7,251E-04	1,03E-02		5,096	-0,096	-2,759E+05	1,480E-04	3,35E-03
5,126	-0,126	2,193E+05	1,947E-04	6,62E-03		5,021	-0,021	2,829E+05	3,241E-05	8,55E-03		5,165	-0,165	9,195E+04	2,544E-04	2,78E-03
5,136	-0,136	4,257E+05	2,101E-04	5,65E-03		5,048	-0,048	5,492E+05	7,408E-05	7,29E-03		5,153	-0,153	1,785E+05	2,359E-04	2,37E-03
5,153	-0,153	5,159E+05	2,364E-04	4,29E-03		5,079	-0,079	6,657E+05	1,219E-04	5,53E-03		5,148	-0,148	2,164E+05	2,282E-04	1,80E-03
5,155	-0,155	5,030E+05	2,395E-04	3,12E-03		5,087	-0,087	6,491E+05	1,343E-04	4,02E-03		5,143	-0,143	2,110E+05	2,204E-04	1,31E-03
5,158	-0,158	4,901E+05	2,441E-04	1,75E-03		5,096	-0,096	6,325E+05	1,482E-04	2,26E-03		5,140	-0,140	2,055E+05	2,158E-04	7,35E-04
5,177	-0,177	6,320E+05	2,735E-04	5,84E-04		5,131	-0,131	8,155E+05	2,022E-04	7,54E-04		5,136	-0,136	2,650E+05	2,097E-04	2,45E-04
5,172	-0,172	5,417E+05	2,657E-04	-5,84E-04		5,123	-0,123	6,990E+05	1,898E-04	-7,54E-04		5,131	-0,131	2,272E+05	2,019E-04	-2,45E-04
5,204	-0,204	5,288E+05	3,152E-04	-1,75E-03		5,162	-0,162	6,824E+05	2,500E-04	-2,26E-03		5,140	-0,140	2,218E+05	2,158E-04	-7,35E-04
5,223	-0,223	6,578E+05	3,446E-04	-2,92E-03		5,194	-0,194	8,488E+05	2,994E-04	-3,77E-03		5,136	-0,136	2,759E+05	2,097E-04	-1,23E-03
5,272	-0,272	7,094E+05	4,203E-04	-4,29E-03		5,260	-0,260	9,154E+05	4,013E-04	-5,53E-03		5,158	-0,158	2,975E+05	2,436E-04	-1,80E-03
5,333	-0,333	7,739E+05	5,146E-04	-5,46E-03		5,336	-0,336	9,986E+05	5,187E-04	-7,04E-03		5,182	-0,182	3,245E+05	2,806E-04	-2,29E-03
5,411	-0,411	9,287E+05	6,351E-04	-6,62E-03		5,455	-0,455	1,198E+06	7,025E-04	-8,55E-03		5,216	-0,216	3,895E+05	3,330E-04	-2,78E-03
5,529	-0,529	1,122E+06	8,176E-04	-7,99E-03		5,607	-0,607	1,448E+06	9,372E-04	-1,03E-02		5,267	-0,267	4,706E+05	4,116E-04	-3,35E-03
5,678	-0,678	1,341E+06	1,048E-03	-9,16E-03		5,805	-0,805	1,731E+06	1,243E-03	-1,18E-02		5,331	-0,331	5,625E+05	5,103E-04	-3,84E-03
5,883	-0,883	1,664E+06	1,365E-03	-1,03E-02		6,073	-1,073	2,147E+06	1,657E-03	-1,33E-02		5,416	-0,416	6,978E+05	6,414E-04	-4,33E-03
6,154	-1,154	2,102E+06	1,784E-03	-1,15E-02		6,427	-1,427	2,713E+06	2,205E-03	-1,48E-02		5,529	-0,529	8,817E+05	8,157E-04	-4,82E-03
6,466	-1,466	2,593E+06	2,267E-03	-1,27E-02		6,840	-1,840	3,345E+06	2,844E-03	-1,63E-02		5,651	-0,651	1,087E+06	1,004E-03	-5,31E-03
6,808	-1,808	3,212E+06	2,797E-03	-1,38E-02		7,304	-2,304	4,144E+06	3,562E-03	-1,78E-02		5,785	-0,785	1,347E+06	1,211E-03	-5,80E-03
6,777	-1,777	3,895E+06	2,749E-03	-1,48E-02		7,258	-2,258	5,026E+06	3,491E-03	-1,91E-02		5,739	-0,739	1,634E+06	1,140E-03	-6,21E-03
6,188	-1,188	2,128E+06	1,837E-03	-1,36E-02		6,457	-1,457	2,746E+06	2,251E-03	-1,76E-02		5,463	-0,463	8,925E+05	7,139E-04	-5,72E-03
5,643	-0,643	1,238E+06	9,938E-04	-1,27E-02		5,707	-0,707	1,598E+06	1,092E-03	-1,63E-02		5,231	-0,231	5,193E+05	3,561E-04	-5,31E-03
5,238	-0,238	2,064E+05	3,677E-04	-1,13E-02		5,182	-0,182	2,663E+05	2,809E-04	-1,46E-02		5,079	-0,079	8,655E+04	1,218E-04	-4,74E-03

Çizelge 7.44. AD7-a-ÇBB numunesinde dış yüzeye lif doğrultusu boyunca belirli aralıklarla dizilmiş olan G1-G2-G3-G4 geyçlerine ait deneysel değerler

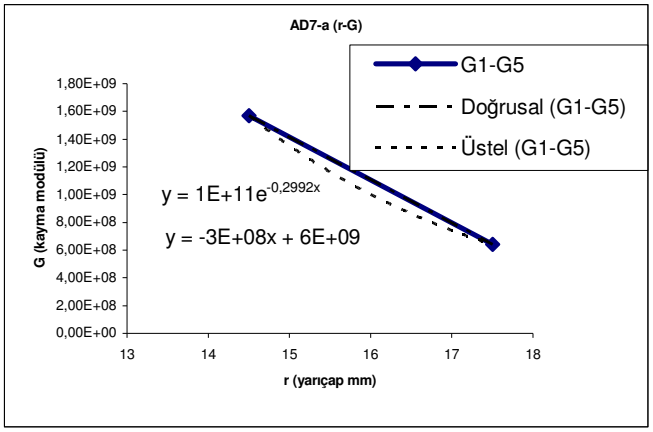
AD7-a	Z ekseni mm	G(Pa)	
Gauge 1	65	6,40E+08	GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°
Gauge 2	110	9,77E+08	
Gauge 3	155	1,28E+09	
Gauge 4	200	1,16E+09	

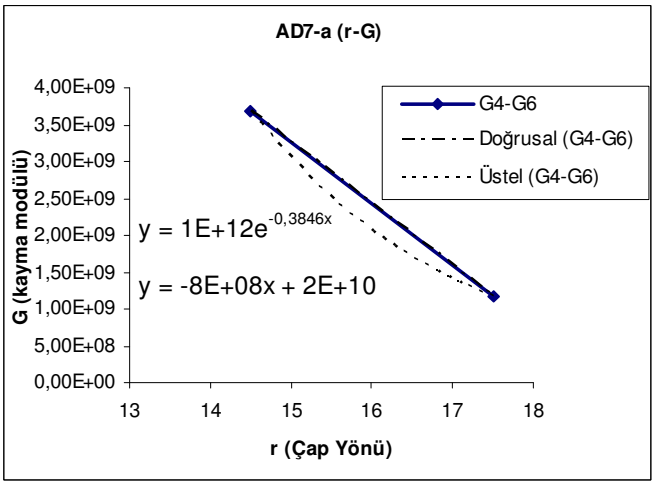


Şekil 7.52. AD7-a-ÇBB numunesi üzerinde bulunan G1-G2-G3-G4 geyçlerine ait G-kayma modülünün Z– lif yönü koordinat değerine bağlı değişim grafiği

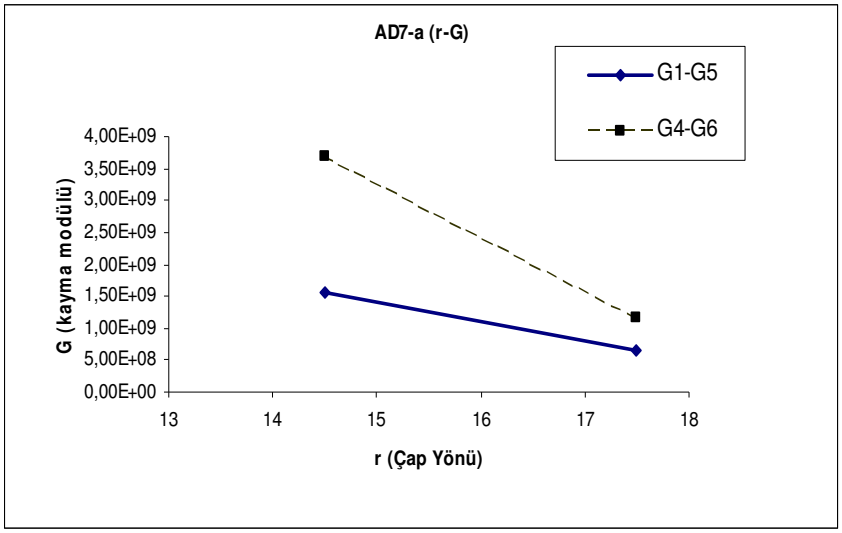
Çizelge 7.45. AD7-a-ÇBB numunesinde aynı yarıçap doğrultusunda dış ve iç yüzeylere ait belirtilen koordinat noktalarından alınan γ-kayma genlemeleri dağılım çizelgeleri

	r ekseni mm	G		
Gauge 1	17,5	6,40E+08	$r_{iç}/r_{dış}$	0,8286
Gauge 5-iç	14,5	1,57E+09	$\gamma_{iç}/\gamma_{dış}$	0,3688
GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°				
	r ekseni mm	G		
Gauge 4	17,5	1,16E+09	$r_{iç}/r_{dış}$	0,8286
Gauge 6-iç	14,5	3,69E+09	$\gamma_{iç}/\gamma_{dış}$	0,2893
GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°				



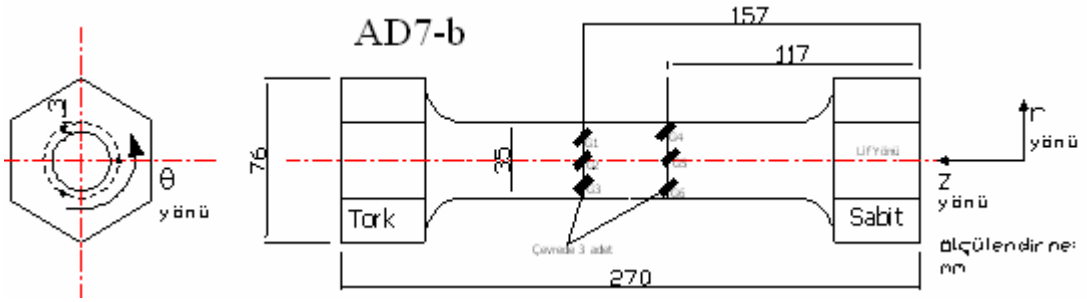


Şekil 7.53. AD7-a-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusundaki grafik ve grafiğin yaklaşık denklem ifadeleri



Şekil 7.54. AD7-a-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusundaki grafiklerin toplamı

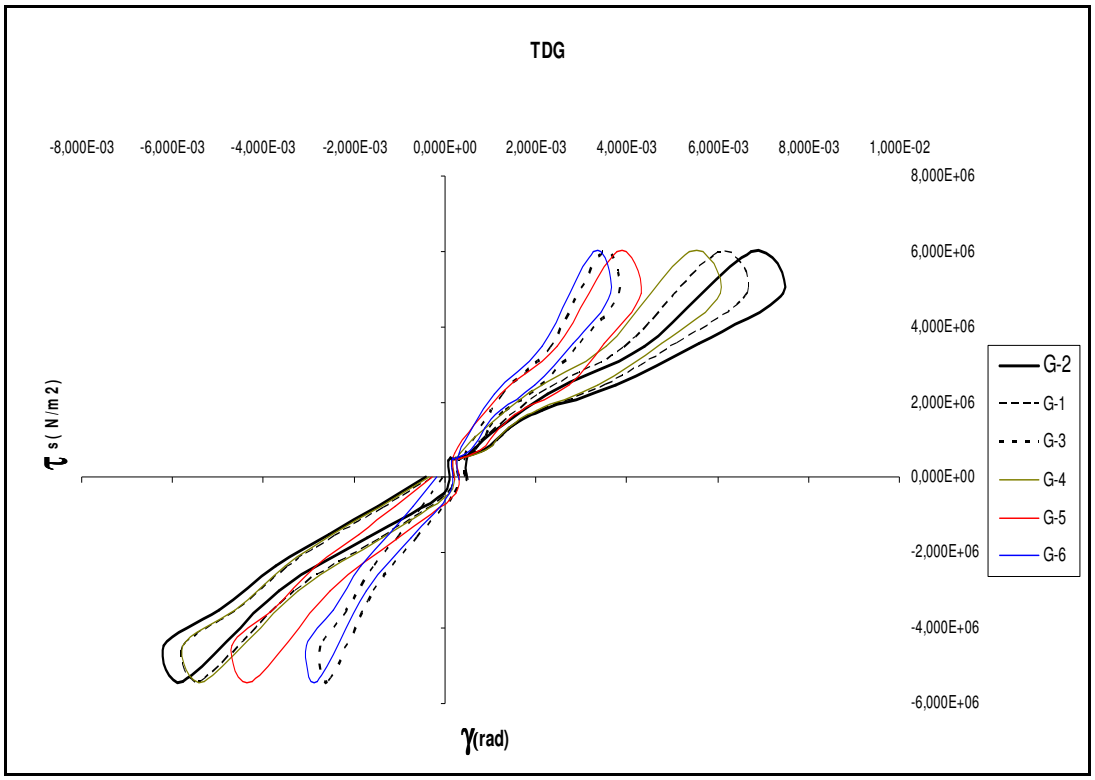
AD7-b numaralı deney sonuçları



Şekil 7.55. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait şekilsel gösterim

Çizelge 7.46. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri

GEYÇ NO	TDG G(Pa)	Z (mm)	LİF YÖNÜ
Gs=	3,93E+08		
G1=	4,03E+08	157	LY 45°
G2=	3,81E+08	157	LY 45°
G3=	8,11E+08	157	LY 45°
G4=	5,49E+08	117	LY 45°
G5=	6,69E+08	117	LY 45°
G6=	1,02E+09	117	LY 45°



Şekil 7.56. AD7-b-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği

Çizelge 7.47. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 6 dış geyçlerin eğim deklemlerine ait çizelgeler

GEYÇ NO	EĞİM DENKLEMİ	m	EĞİM AÇISI (Derece)
G1	y = 8E+08x + 42724	0,8	38,7
G2	y = 8E+08x + 56905	0,8	38,7
G3	y = 2E+09x - 292679	2	63,4
G4	y = 9E+08x + 136217	0,9	42,0
G5	y = 1E+09x + 193767	1	45,0
G6	y = 2E+09x - 26957	2	63,4

Çizelge 7.48. AD7-b-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

TDG CODA Hızlı Veri Toplayıcı

Çıktı Dosyası				DIŞ ÇAP (Dd)	35,00	mm	counter	belirsiz			Gs=	3,93E+08			Gg4=	5,49E+08
Deney Tarihi	28.10.2005			YARI ÇAP=C	17,50	mm	set speed	3,8			Gg1=	4,03E+08		1,02	Gg5=	6,69E+08
Aygıt Geçidi 1				J	77886,37	mm4	kayıt aralığı	10	sn		Gg2=	3,81E+08		0,97	Gg6=	1,02E+09
DENEY NO	7-b-ÇBB-(2)-6G45			L	270,00	mm	NEM	6%			Gg3=	8,11E+08				
NUMUNE	çam	BOŞ		İÇ ÇAP (Di)	29	mm	AÇI									
GAUGE ADEDİ	6									KANAL 2	gauge	117 mm				
cins	çam									AÇI	LY 45	G_{g1}=	4,03E+08	21 mm		

								Gs=	-3,93E+08					CİHAZ	FORMÜL			
VERİ SAYISI	Counter	DERECE	θ (rad)	Kayıt aralığı (sn)	TORK (NM)	TORK (Nmm)	τ_S - Kayma gerl (N/M2)	γ_S (rad)		G1 (volt)	VOLT farkı	τ_{G1} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G1}	γ_{S-G1} (rad)		G2 (volt)
1	0	0	0,00E+00	0	0,00	0	0,000E+00	0,000E+00		4,80	0,201	0,0000E+00	-3,102E-04	0,00E+00		4,725
2	6	1,8	3,14E-02	10	-3,40	-3400	-7,639E+05	2,036E-03		4,13	0,875	-3,3104E+05	-1,349E-03	8,82E-04		4,034
3	14	4,2	7,33E-02	20	-6,70	-6700	-1,505E+06	4,751E-03		3,42	1,576	-6,5234E+05	-2,429E-03	2,06E-03		3,331
4	20	6	1,05E-01	30	-10,40	-10400	-2,337E+06	6,787E-03		2,74	2,265	-1,0126E+06	-3,489E-03	2,94E-03		2,567
5	27	8,1	1,41E-01	40	-15,70	-15700	-3,528E+06	9,163E-03		2,01	2,995	-1,5286E+06	-4,611E-03	3,97E-03		1,763
6	34	10,2	1,78E-01	50	-19,90	-19900	-4,471E+06	1,154E-02		1,24	3,762	-1,9375E+06	-5,788E-03	5,00E-03		0,969
7	41	12,3	2,15E-01	60	-24,00	-24000	-5,392E+06	1,391E-02	-1,391E-02	1,50	3,498	-2,3367E+06	-5,383E-03	6,03E-03		1,231
8	35	10,5	1,83E-01	70	-13,40	-13400	-3,011E+06	1,188E-02		2,85	2,148	-1,3047E+06	-3,309E-03	5,15E-03		2,611
9	29	8,7	1,52E-01	80	-7,10	-7100	-1,595E+06	9,842E-03		4,09	0,912	-6,9128E+05	-1,406E-03	4,26E-03		3,883
10	21	6,3	1,10E-01	90	-1,80	-1800	-4,044E+05	7,127E-03		5,05	-0,048	-1,7526E+05	7,408E-05	3,09E-03		4,979
11	14	4,2	7,33E-02	100	2,00	2000	4,494E+05	4,751E-03		5,11	-0,114	1,9473E+05	1,760E-04	2,06E-03		5,053
12	6	1,8	3,14E-02	110	2,30	2300	5,168E+05	2,036E-03		5,14	-0,138	2,2394E+05	2,130E-04	8,82E-04		5,072
13	-1	-0,3	-5,24E-03	120	2,20	2200	4,943E+05	-3,394E-04		5,17	-0,172	2,1420E+05	2,655E-04	-1,47E-04		5,106
14	-9	-2,7	-4,71E-02	130	3,20	3200	7,190E+05	-3,054E-03		5,59	-0,592	3,1157E+05	9,141E-04	-1,32E-03		5,548
15	-17	-5,1	-8,90E-02	140	5,80	5800	1,303E+06	-5,769E-03		5,94	-0,937	5,6471E+05	1,447E-03	-2,50E-03		5,917
16	-24	-7,2	-1,26E-01	150	7,90	7900	1,775E+06	-8,145E-03		6,37	-1,366	7,6918E+05	2,110E-03	-3,53E-03		6,388
17	-32	-9,6	-1,68E-01	160	11,00	11000	2,472E+06	-1,086E-02		7,28	-2,277	1,0710E+06	3,521E-03	-4,71E-03		7,441
18	-39	-11,7	-2,04E-01	170	15,80	15800	3,550E+06	-1,324E-02		8,29	-3,291	1,5384E+06	5,093E-03	-5,74E-03		8,625
19	-46	-13,8	-2,41E-01	180	21,80	21800	4,898E+06	-1,561E-02		9,30	-4,304	2,1225E+06	6,666E-03	-6,76E-03		9,817
20	-53	-15,9	-2,78E-01	190	26,70	26700	5,999E+06	-1,799E-02	1,799E-02	8,87	-3,872	2,5996E+06	5,994E-03	-7,79E-03		9,365
21	-46	-13,8	-2,41E-01	200	15,40	15400	3,460E+06	-1,561E-02		7,53	-2,531	1,4994E+06	3,914E-03	-6,76E-03		7,846
22	-40	-12	-2,09E-01	210	9,80	9800	2,202E+06	-1,357E-02		6,31	-1,310	9,5417E+05	2,024E-03	-5,88E-03		6,457
23	-32	-9,6	-1,68E-01	220	2,90	2900	6,516E+05	-1,086E-02		5,333	-0,333	2,8236E+05	5,141E-04	-4,71E-03		5,346
24	-25	-7,5	-1,31E-01	230	-0,30	-300	-6,741E+04	-8,484E-03		5,314	-0,314	-2,9209E+04	4,847E-04	-3,68E-03		5,314

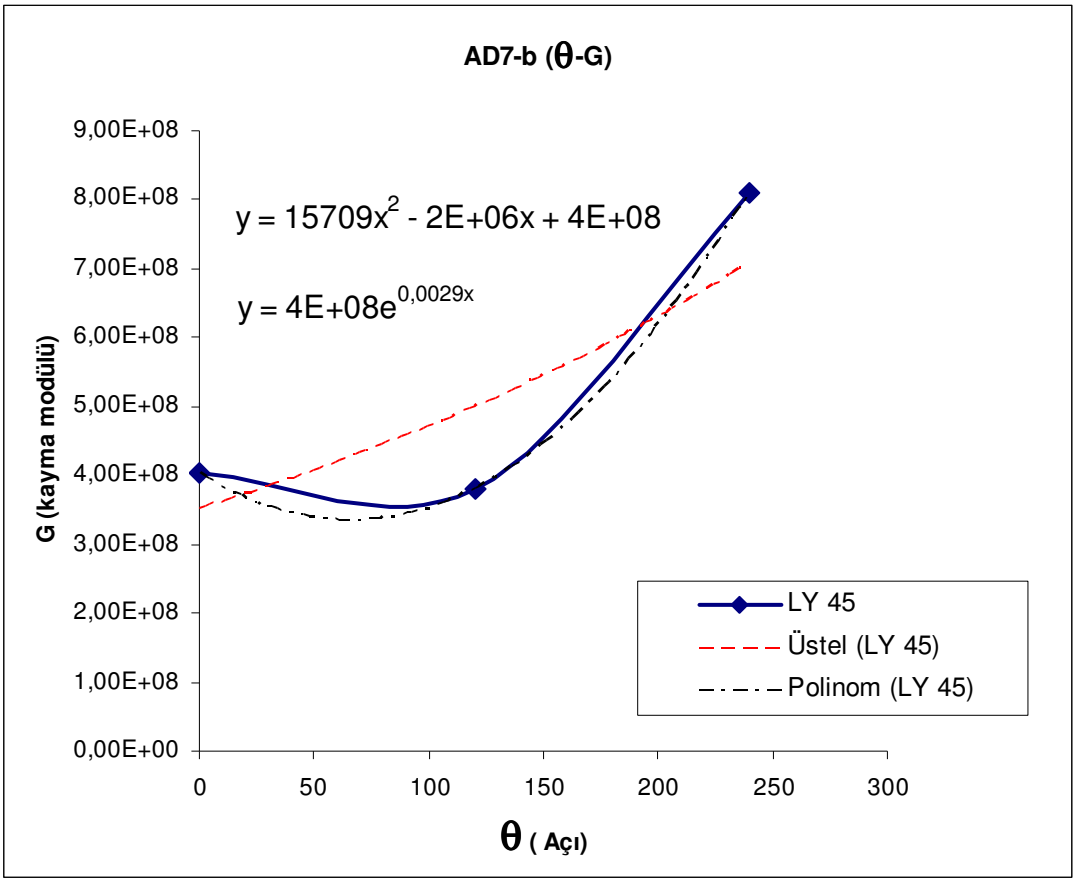
Çizelge 7.48. (Devam) AD7-b-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

KANAL 4	gauge	117 mm				KANAL 5	gauge	157 mm				KANAL 6	gauge	157 mm		
AÇI	LY 45	G_{g3}=	8,11E+08	15 mm		AÇI	LY 45	G_{g4}=	5,49E+08			AÇI	LY 45	G_{g5}=	6,69E+08	
		CİHAZ	FORMÜL					CİHAZ	FORMÜL					CİHAZ	FORMÜL	
G3 (volt)	VOLT farkı	τ_{G3} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G3}	γ_{S-G3} (rad)		G4 (volt)	VOLT farkı	τ_{G4} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G4}	γ_{S-G4} (rad)		G5 (volt)	VOLT farkı	τ_{G5} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G5}	γ_{S-G5} (rad)
4,960	0,040	0,000E+00	-6,179E-05	0,00E+00		4,774	0,226	0,000E+00	-3,487E-04	0,00E+00		4,813	0,187	0,000E+00	-2,882E-04	0,00E+00
4,657	0,343	-3,310E+05	-5,297E-04	8,82E-04		4,083	0,917	-4,442E+05	-1,414E-03	1,18E-03		4,288	0,712	-4,442E+05	-1,097E-03	1,18E-03
4,339	0,661	-6,523E+05	-1,021E-03	2,06E-03		3,387	1,613	-8,754E+05	-2,486E-03	2,76E-03		3,768	1,232	-8,754E+05	-1,897E-03	2,76E-03
3,961	1,039	-1,013E+06	-1,604E-03	2,94E-03		2,711	2,289	-1,359E+06	-3,526E-03	3,95E-03		3,153	1,847	-1,359E+06	-2,843E-03	3,95E-03
3,582	1,418	-1,529E+06	-2,188E-03	3,97E-03		1,993	3,007	-2,051E+06	-4,629E-03	5,33E-03		2,530	2,470	-2,051E+06	-3,800E-03	5,33E-03
3,219	1,781	-1,938E+06	-2,747E-03	5,00E-03		1,255	3,745	-2,600E+06	-5,762E-03	6,71E-03		1,949	3,051	-2,600E+06	-4,691E-03	6,71E-03
3,350	1,650	-2,337E+06	-2,546E-03	6,03E-03		1,558	3,442	-3,136E+06	-5,297E-03	8,09E-03		2,244	2,756	-3,136E+06	-4,239E-03	8,09E-03
3,990	1,010	-1,305E+06	-1,559E-03	5,15E-03		2,896	2,104	-1,751E+06	-3,242E-03	6,91E-03		3,348	1,652	-1,751E+06	-2,543E-03	6,91E-03
4,608	0,392	-6,913E+05	-6,054E-04	4,26E-03		4,110	0,890	-9,276E+05	-1,373E-03	5,72E-03		4,332	0,668	-9,276E+05	-1,029E-03	5,72E-03
5,138	-0,138	-1,753E+05	2,132E-04	3,09E-03		5,055	-0,055	-2,352E+05	8,489E-05	4,14E-03		5,148	-0,148	-2,352E+05	2,282E-04	4,14E-03
5,167	-0,167	1,947E+05	2,580E-04	2,06E-03		5,114	-0,114	2,613E+05	1,760E-04	2,76E-03		5,160	-0,160	2,613E+05	2,467E-04	2,76E-03
5,177	-0,177	2,239E+05	2,735E-04	8,82E-04		5,131	-0,131	3,005E+05	2,022E-04	1,18E-03		5,165	-0,165	3,005E+05	2,544E-04	1,18E-03
5,194	-0,194	2,142E+05	2,997E-04	-1,47E-04		5,162	-0,162	2,874E+05	2,500E-04	-1,97E-04		5,182	-0,182	2,874E+05	2,806E-04	-1,97E-04
5,436	-0,436	3,116E+05	6,738E-04	-1,32E-03		5,575	-0,575	4,181E+05	8,878E-04	-1,78E-03		5,504	-0,504	4,181E+05	7,772E-04	-1,78E-03
5,646	-0,646	5,647E+05	9,985E-04	-2,50E-03		5,905	-0,905	7,578E+05	1,398E-03	-3,35E-03		5,775	-0,775	7,578E+05	1,195E-03	-3,35E-03
5,871	-0,871	7,692E+05	1,346E-03	-3,53E-03		6,305	-1,305	1,032E+06	2,016E-03	-4,74E-03		6,100	-1,100	1,032E+06	1,697E-03	-4,74E-03
6,371	-1,371	1,071E+06	2,120E-03	-4,71E-03		7,175	-2,175	1,437E+06	3,363E-03	-6,31E-03		6,767	-1,767	1,437E+06	2,728E-03	-6,31E-03
6,933	-1,933	1,538E+06	2,991E-03	-5,74E-03		8,085	-3,085	2,064E+06	4,773E-03	-7,70E-03		7,270	-2,270	2,064E+06	3,505E-03	-7,70E-03
7,477	-2,477	2,123E+06	3,834E-03	-6,76E-03		8,906	-3,906	2,848E+06	6,047E-03	-9,08E-03		7,790	-2,790	2,848E+06	4,310E-03	-9,08E-03
7,228	-2,228	2,600E+06	3,448E-03	-7,79E-03		8,476	-3,476	3,488E+06	5,380E-03	-1,05E-02		7,443	-2,443	3,488E+06	3,773E-03	-1,05E-02
6,488	-1,488	1,499E+06	2,301E-03	-6,76E-03		7,294	-2,294	2,012E+06	3,547E-03	-9,08E-03		6,598	-1,598	2,012E+06	2,466E-03	-9,08E-03
5,805	-0,805	9,542E+05	1,244E-03	-5,88E-03		6,164	-1,164	1,280E+06	1,798E-03	-7,89E-03		5,797	-0,797	1,280E+06	1,229E-03	-7,89E-03
5,289	-0,289	2,824E+05	4,466E-04	-4,71E-03		5,216	-0,216	3,789E+05	3,334E-04	-6,31E-03		5,133	-0,133	3,789E+05	2,050E-04	-6,31E-03
5,287	-0,287	-2,921E+04	4,435E-04	-3,68E-03		5,204	-0,204	-3,920E+04	3,149E-04	-4,93E-03		5,140	-0,140	-3,920E+04	2,158E-04	-4,93E-03

Çizelge 7.49. AD7-b-ÇBB numunesinde dış yüzeye çevresel olarak dizilmiş G1-G2-G3 geyçlerine ait deneysel değerler

AD7-b	z ekseni		ds mm	θ	G (Pa)
Gauge 1	157 mm	θ_1	0	0	4,03E+08
Gauge 2	157 mm	θ_2	36,65	120	3,81E+08
Gauge 3	157 mm	θ_3	73,30	240	8,11E+08

GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°

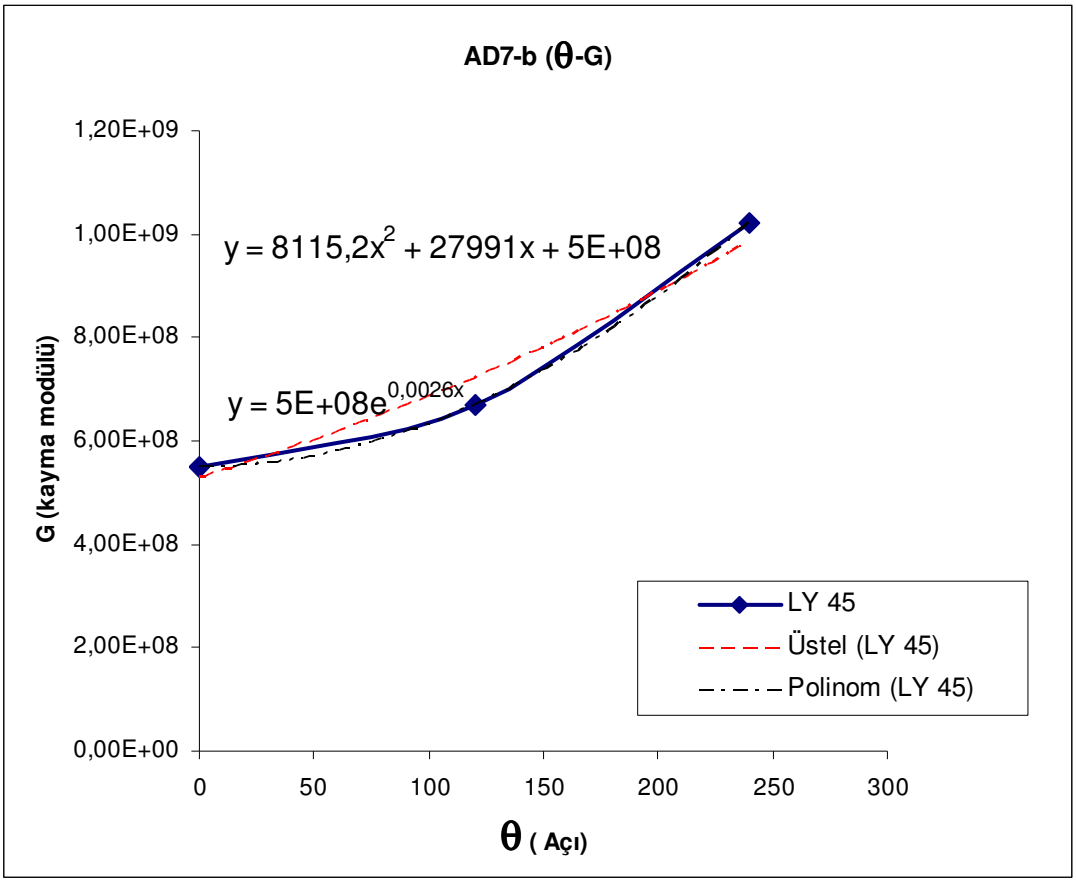


Şekil 7.57. AD7-b-ÇBB numunesi üzerinde bulunan G1-G2-G3 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği

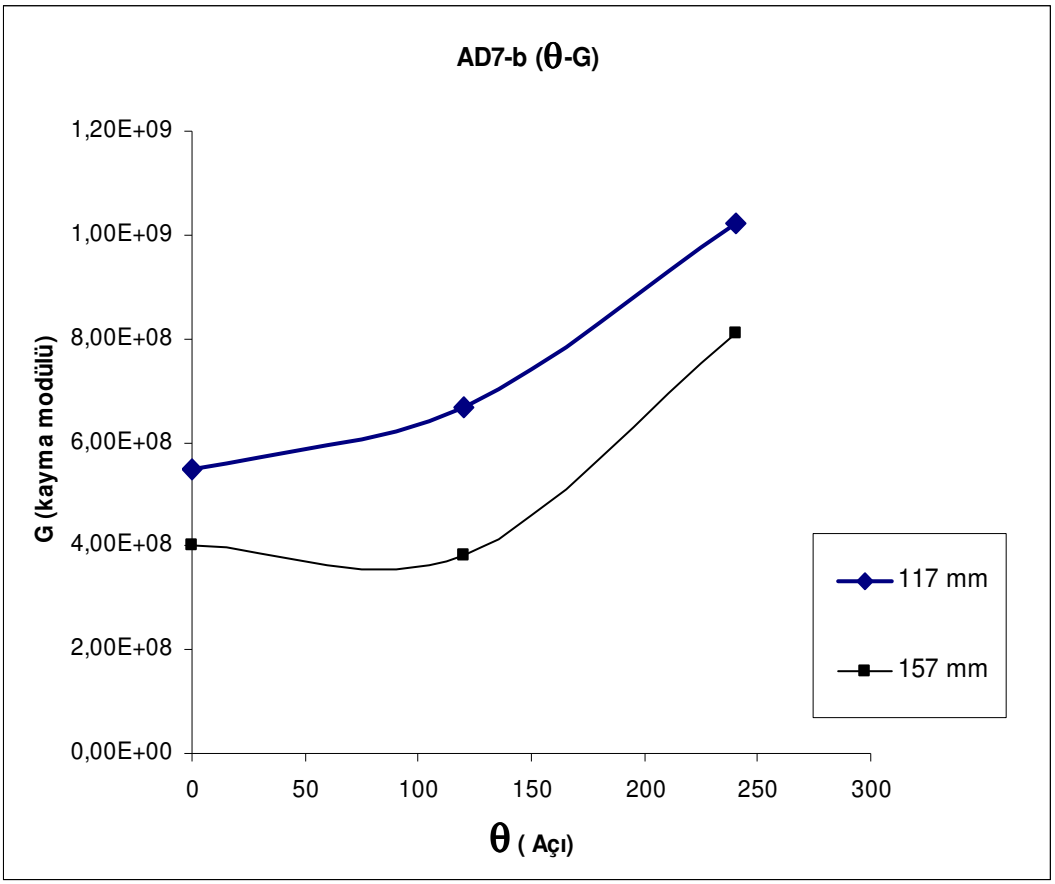
Çizelge 7.50. AD7-b-ÇBB numunesinde iç yüzeye çevresel olarak dizilmiş G4-G5-G6 geyçlerine ait deneysel değerler

AD7-b	z ekseni		ds mm	θ	G (Pa)
Gauge 4	117 mm	θ_1	0	0	5,49E+08
Gauge 5	117 mm	θ_2	36,65	120	6,69E+08
Gauge 6	117 mm	θ_3	73,30	240	1,02E+09

GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°

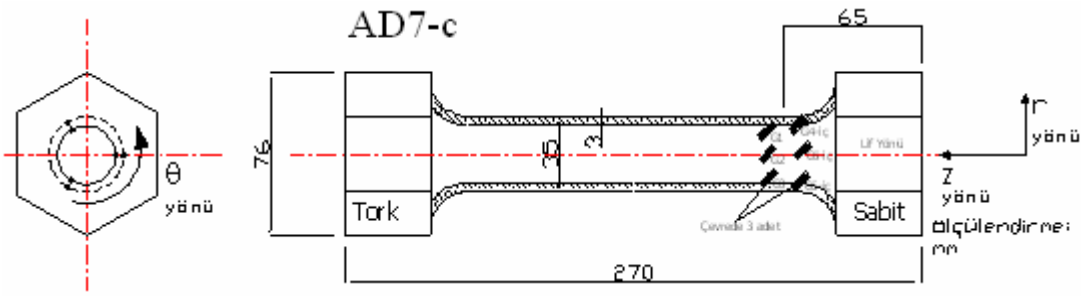


Şekil 7.58. AD7-b-ÇBB numunesi iç yüzeyinde bulunan G4-G5-G6 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ – koordinat değerine bağlı değişim grafiği



Şekil 7.59. AD7-b-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylerinde bulunan geyçlere ait G-kayma modülünün θ – koordinat değerine bağlı değişim grafiği

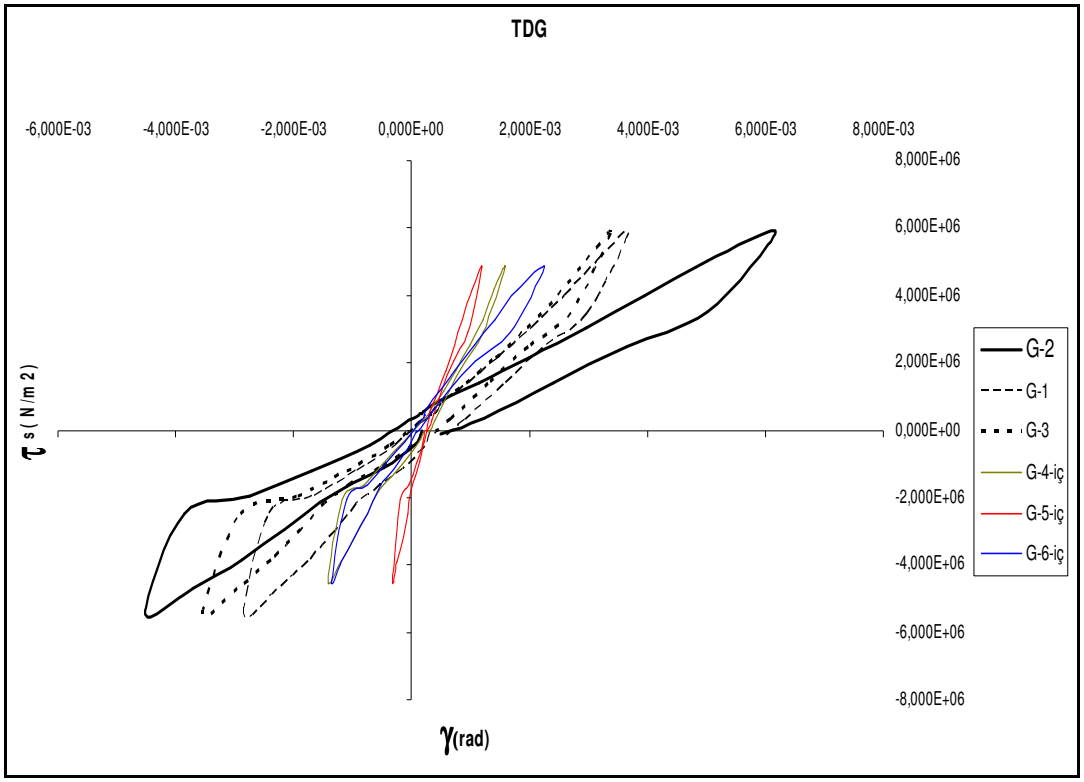
AD7-c numaralı deney sonuçları



Şekil 7.60. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait şekilsel gösterim

Çizelge 7.51. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri

GEYÇ NO	TDG G(Pa)	Z (mm)	LİF YÖNÜ
Gs=	3,53E+08	65	
G1=	4,11E+08	65	LY 45°
G2=	2,74E+08	65	LY 45°
G3=	3,51E+08	65	LY 45°
G4-iç=	7,91E+08	65	LY 45°
G5-iç=	2,35E+09	65	LY 45°
G6-iç=	8,90E+08	65	LY 45°



Şekil 7.61. AD7-c-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği

Çizelge 7.52. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlerin eğim deklemlerine ait çizelgeler

GEYÇ NO	EĞİM DENKLEMİ	m	EĞİM AÇISI (Derece)
G1	y = 2E+09x - 380766	2	63,4
G2	y = 1E+09x - 187568	1	45,0
G3	y = 1E+09x + 28537	1	45,0
G4-iç	y = 3E+09x - 250482	3	71,6
G5-iç	y = 6E+09x - 2E+06	6	80,5
G6-iç	y = 2E+09x - 292447	2	63,4

Çizelge 7.53. AD7-c-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

Çıktı Dosyası				DIŞ ÇAP (Dd)	35,00	mm	counter	belirsiz			Gs=	3,53E+08			Gg4-iç=	7,91E+08			
Deney Tarihi	30.10.2005			YARI ÇAP=C	17,50	mm	set speed	3,8			Gg1=	4,11E+08		1,16	Gg5-iç=	2,35E+09			
Aygıt Geçidi 1				J	77886,37	mm4	kayıt aralığı	10	sn		Gg2=	2,74E+08		0,78	Gg6-iç=	8,90E+08			
DENEY NO	7-c-ÇBB-(2)-6G45			L	270,00	mm	NEM	6%			Gg3=	3,51E+08							
NUMUNE	çam	BOŞ		İÇ ÇAP (Di)	29	mm	AÇI												
GAUGE ADEDİ	6									KANAL 2	gauge		65 mm						K
cins	çam									AÇI	LY 45	G_{g1}=	4,11E+08						
							Gs=	-3,53E+08					CİHAZ	FORMÜL					
VERİ SAYISI	Counter	DERECE	θ (rad)	Kayıt aralığı (sn)	TORK (NM)	TORK (Nmm)	τ_S - Kayma gerl (N/M2)	γ_S (rad)		G1 (volt)	VOLT farkı	τ_{G1} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G1}	γ_{S-G1} (rad)		G2 (volt)			
1	0	0	0,00E+00	0	0,00	0	0,000E+00	0,000E+00		5,20	-0,201	0,0000E+00	3,103E-04	0,00E+00		5,114			
2	5	1,5	2,62E-02	10	-1,90	-1900	-4,269E+05	1,697E-03		5,14	-0,136	-1,0277E+05	2,099E-04	4,09E-04		5,031			
3	12	3,6	6,28E-02	20	-5,00	-5000	-1,123E+06	4,072E-03		4,90	0,104	-2,7046E+05	-1,605E-04	9,80E-04		4,698			
4	18	5,4	9,42E-02	30	-7,10	-7100	-1,595E+06	6,109E-03		4,65	0,355	-3,8405E+05	-5,477E-04	1,47E-03		4,349			
5	23	6,9	1,20E-01	40	-9,50	-9500	-2,135E+06	7,806E-03		4,39	0,612	-5,1387E+05	-9,440E-04	1,88E-03		3,983			
6	29	8,7	1,52E-01	50	-13,20	-13200	-2,966E+06	9,842E-03		4,15	0,846	-7,1400E+05	-1,305E-03	2,37E-03		3,600			
7	34	10,2	1,78E-01	60	-17,10	-17100	-3,842E+06	1,154E-02		3,86	1,139	-9,2496E+05	-1,756E-03	2,78E-03		3,126			
8	40	12	2,09E-01	70	-20,80	-20800	-4,673E+06	1,357E-02		3,51	1,488	-1,1251E+06	-2,294E-03	3,27E-03		2,591			
9	46	13,8	2,41E-01	80	-24,20	-24200	-5,437E+06	1,561E-02	-1,561E-02	3,16	1,845	-1,3090E+06	-2,843E-03	3,76E-03		2,054			
10	39	11,7	2,04E-01	90	-11,10	-11100	-2,494E+06	1,324E-02		3,44	1,564	-6,0041E+05	-2,411E-03	3,19E-03		2,486			
11	34	10,2	1,78E-01	100	-8,80	-8800	-1,977E+06	1,154E-02		3,92	1,078	-4,7600E+05	-1,662E-03	2,78E-03		3,214			
12	29	8,7	1,52E-01	110	-5,30	-5300	-1,191E+06	9,842E-03		4,39	0,607	-2,8668E+05	-9,363E-04	2,37E-03		3,902			
13	23	6,9	1,20E-01	120	-1,90	-1900	-4,269E+05	7,806E-03		4,83	0,172	-1,0277E+05	-2,654E-04	1,88E-03		4,540			
14	18	5,4	9,42E-02	130	1,00	1000	2,247E+05	6,109E-03		5,10	-0,104	5,4091E+04	1,605E-04	1,47E-03		4,926			
15	11	3,3	5,76E-02	140	2,10	2100	4,718E+05	3,733E-03		5,24	-0,238	1,1359E+05	3,674E-04	8,99E-04		5,082			
16	4	1,2	2,09E-02	150	2,30	2300	5,168E+05	1,357E-03		5,27	-0,265	1,2441E+05	4,091E-04	3,27E-04		5,104			
17	-2	-0,6	-1,05E-02	160	2,30	2300	5,168E+05	-6,787E-04		5,27	-0,272	1,2441E+05	4,199E-04	-1,63E-04		5,116			
18	-8	-2,4	-4,19E-02	170	2,40	2400	5,392E+05	-2,715E-03		5,28	-0,280	1,2982E+05	4,322E-04	-6,54E-04		5,128			
19	-15	-4,5	-7,85E-02	180	3,90	3900	8,763E+05	-5,091E-03		5,37	-0,372	2,1096E+05	5,743E-04	-1,23E-03		5,304			
20	-21	-6,3	-1,10E-01	190	6,20	6200	1,393E+06	-7,127E-03		5,62	-0,624	3,3537E+05	9,635E-04	-1,72E-03		5,734			
21	-27	-8,1	-1,41E-01	200	9,60	9600	2,157E+06	-9,163E-03		5,95	-0,954	5,1928E+05	1,473E-03	-2,21E-03		6,288			
22	-33	-9,9	-1,73E-01	210	13,50	13500	3,033E+06	-1,120E-02		6,322	-1,322	7,3023E+05	2,042E-03	-2,70E-03		6,930			
23	-39	-11,7	-2,04E-01	220	17,70	17700	3,977E+06	-1,324E-02		6,681	-1,681	9,5741E+05	2,598E-03	-3,19E-03		7,565			
24	-44	-13,2	-2,30E-01	230	22,40	22400	5,033E+06	-1,493E-02		7,035	-2,035	1,2116E+06	3,146E-03	-3,59E-03		8,261			
25	-49	-14,7	-2,57E-01	240	26,10	26100	5,864E+06	-1,663E-02	1,663E-02	7,372	-2,372	1,4118E+06	3,668E-03	-4,00E-03		8,991			
26	-44	-13,2	-2,30E-01	250	15,60	15600	3,505E+06	-1,493E-02		6,916	-1,916	8,4382E+05	2,962E-03	-3,59E-03		8,254			
27	-38	-11,4	-1,99E-01	260	11,10	11100	2,494E+06	-1,290E-02		6,437	-1,437	6,0041E+05	2,220E-03	-3,10E-03		7,368			
28	-31	-9,3	-1,62E-01	270	6,20	6200	1,393E+06	-1,052E-02		6	-1,000	3,3537E+05	1,545E-03	-2,53E-03		6,554			
29	-26	-7,8	-1,36E-01	280	1,60	1600	3,595E+05	-8,824E-03		5,585	-0,585	8,6546E+04	9,033E-04	-2,12E-03		5,800			
30	-19	-5,7	-9,95E-02	290	-0,50	-500	-1,123E+05	-6,448E-03		5,368	-0,368	-2,7046E+04	5,681E-04	-1,55E-03		5,321			

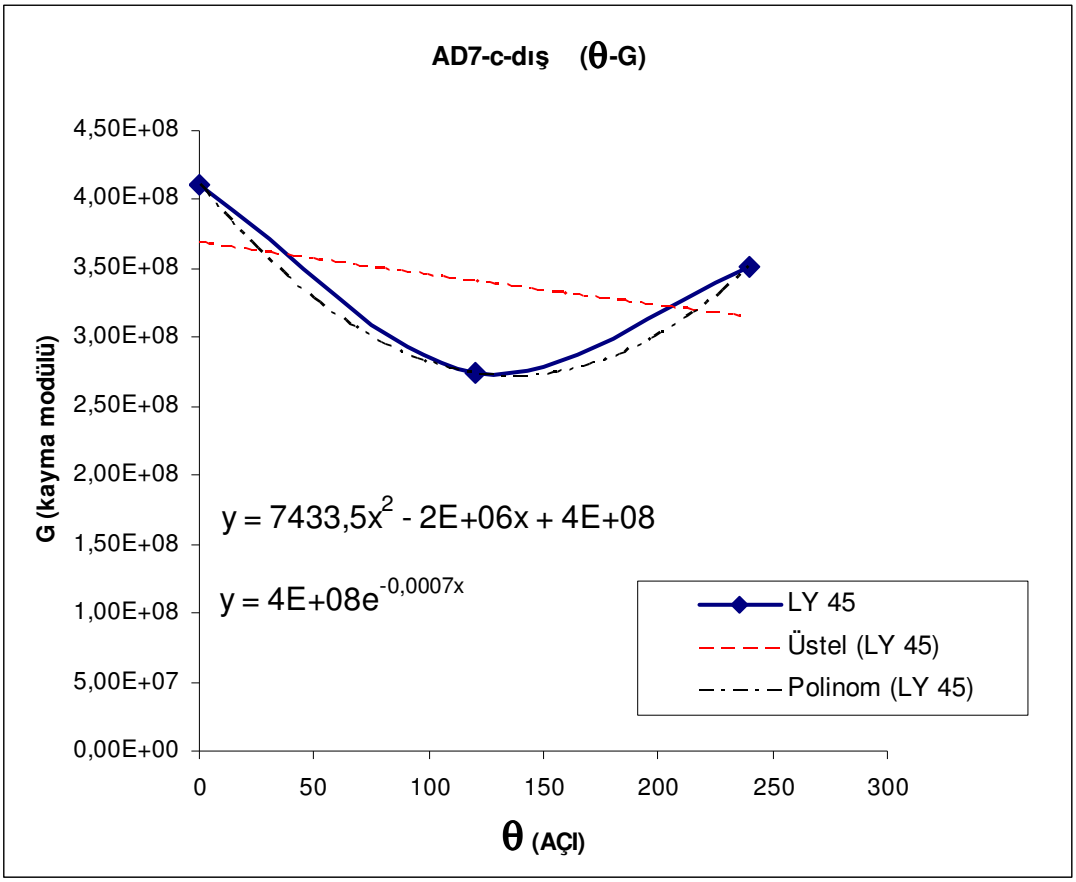
Çizelge 7.53. (Devam) AD7-c-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

KANAL 4	gauge	65 mm				KANAL 5	gauge	65 mm				KANAL 6	gauge	65 mm		
AÇI	LY 45	G_{g3}=		3,51E+08		AÇI	LY 45	$G_{g4\text{-}iç}$=		7,91E+08		AÇI	LY 45	$G_{g5\text{-}iç}$=		2,35E+09
			CİHAZ	FORMÜL					CİHAZ	FORMÜL					CİHAZ	FORMÜL
G3 (volt)	VOLT farkı	τ_{G3} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G3}	$\gamma_{S\text{-}G3}$ (rad)		G4 (volt)	VOLT farkı	τ_{G4} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G4}	$\gamma_{S\text{-}G4}$ (rad)		G5 (volt)	VOLT farkı	τ_{G5} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G5}	$\gamma_{S\text{-}G5}$ (rad)
5,109	-0,109	0,000E+00	1,684E-04	0,00E+00		5,133	-0,133	0,000E+00	2,053E-04	0,00E+00		5,138	-0,138	0,000E+00	2,127E-04	0,00E+00
5,009	-0,009	-1,028E+05	1,390E-05	4,09E-04		5,082	-0,082	-1,028E+05	1,266E-04	4,09E-04		5,131	-0,131	-1,028E+05	2,019E-04	4,09E-04
4,640	0,360	-2,705E+05	-5,560E-04	9,80E-04		4,923	0,077	-2,705E+05	-1,188E-04	9,80E-04		5,092	-0,092	-2,705E+05	1,418E-04	9,80E-04
4,327	0,673	-3,840E+05	-1,039E-03	1,47E-03		4,789	0,211	-3,840E+05	-3,256E-04	1,47E-03		5,040	-0,040	-3,840E+05	6,166E-05	1,47E-03
4,042	0,958	-5,139E+05	-1,479E-03	1,88E-03		4,645	0,355	-5,139E+05	-5,477E-04	1,88E-03		4,994	0,006	-5,139E+05	-9,248E-06	1,88E-03
3,773	1,227	-7,140E+05	-1,894E-03	2,37E-03		4,513	0,487	-7,140E+05	-7,513E-04	2,37E-03		4,960	0,040	-7,140E+05	-6,165E-05	2,37E-03
3,446	1,554	-9,250E+05	-2,398E-03	2,78E-03		4,374	0,626	-9,250E+05	-9,656E-04	2,78E-03		4,906	0,094	-9,250E+05	-1,449E-04	2,78E-03
3,077	1,923	-1,125E+06	-2,966E-03	3,27E-03		4,227	0,773	-1,125E+06	-1,192E-03	3,27E-03		4,842	0,158	-1,125E+06	-2,435E-04	3,27E-03
2,703	2,297	-1,309E+06	-3,542E-03	3,76E-03		4,081	0,919	-1,309E+06	-1,417E-03	3,76E-03		4,786	0,214	-1,309E+06	-3,298E-04	3,76E-03
3,126	1,874	-6,004E+05	-2,891E-03	3,19E-03		4,234	0,766	-6,004E+05	-1,181E-03	3,19E-03		4,874	0,126	-6,004E+05	-1,942E-04	3,19E-03
3,744	1,256	-4,760E+05	-1,938E-03	2,78E-03		4,474	0,526	-4,760E+05	-8,114E-04	2,78E-03		4,969	0,031	-4,760E+05	-4,778E-05	2,78E-03
4,291	0,709	-2,867E+05	-1,095E-03	2,37E-03		4,696	0,304	-2,867E+05	-4,690E-04	2,37E-03		5,060	-0,060	-2,867E+05	9,249E-05	2,37E-03
4,767	0,233	-1,028E+05	-3,599E-04	1,88E-03		4,908	0,092	-1,028E+05	-1,420E-04	1,88E-03		5,143	-0,143	-1,028E+05	2,204E-04	1,88E-03
5,084	-0,084	5,409E+04	1,298E-04	1,47E-03		5,079	-0,079	5,409E+04	1,219E-04	1,47E-03		5,179	-0,179	5,409E+04	2,759E-04	1,47E-03
5,204	-0,204	1,136E+05	3,152E-04	8,99E-04		5,165	-0,165	1,136E+05	2,547E-04	8,99E-04		5,197	-0,197	1,136E+05	3,037E-04	8,99E-04
5,226	-0,226	1,244E+05	3,492E-04	3,27E-04		5,184	-0,184	1,244E+05	2,840E-04	3,27E-04		5,194	-0,194	1,244E+05	2,991E-04	3,27E-04
5,228	-0,228	1,244E+05	3,523E-04	-1,63E-04		5,187	-0,187	1,244E+05	2,886E-04	-1,63E-04		5,192	-0,192	1,244E+05	2,960E-04	-1,63E-04
5,231	-0,231	1,298E+05	3,569E-04	-6,54E-04		5,187	-0,187	1,298E+05	2,886E-04	-6,54E-04		5,192	-0,192	1,298E+05	2,960E-04	-6,54E-04
5,341	-0,341	2,110E+05	5,269E-04	-1,23E-03		5,233	-0,233	2,110E+05	3,597E-04	-1,23E-03		5,226	-0,226	2,110E+05	3,484E-04	-1,23E-03
5,600	-0,600	3,354E+05	9,273E-04	-1,72E-03		5,355	-0,355	3,354E+05	5,480E-04	-1,72E-03		5,297	-0,297	3,354E+05	4,579E-04	-1,72E-03
5,922	-0,922	5,193E+05	1,425E-03	-2,21E-03		5,490	-0,490	5,193E+05	7,565E-04	-2,21E-03		5,382	-0,382	5,193E+05	5,890E-04	-2,21E-03
6,276	-1,276	7,302E+05	1,973E-03	-2,70E-03		5,639	-0,639	7,302E+05	9,867E-04	-2,70E-03		5,470	-0,470	7,302E+05	7,247E-04	-2,70E-03
6,603	-1,603	9,574E+05	2,480E-03	-3,19E-03		5,783	-0,783	9,574E+05	1,209E-03	-3,19E-03		5,558	-0,558	9,574E+05	8,605E-04	-3,19E-03
6,918	-1,918	1,212E+06	2,968E-03	-3,59E-03		5,910	-0,910	1,212E+06	1,405E-03	-3,59E-03		5,663	-0,663	1,212E+06	1,022E-03	-3,59E-03
7,179	-2,179	1,412E+06	3,372E-03	-4,00E-03		6,022	-1,022	1,412E+06	1,579E-03	-4,00E-03		5,778	-0,778	1,412E+06	1,200E-03	-4,00E-03
6,735	-1,735	8,438E+05	2,684E-03	-3,59E-03		5,788	-0,788	8,438E+05	1,217E-03	-3,59E-03		5,617	-0,617	8,438E+05	9,515E-04	-3,59E-03
6,269	-1,269	6,004E+05	1,962E-03	-3,10E-03		5,590	-0,590	6,004E+05	9,110E-04	-3,10E-03		5,465	-0,465	6,004E+05	7,170E-04	-3,10E-03
5,829	-0,829	3,354E+05	1,282E-03	-2,53E-03		5,419	-0,419	3,354E+05	6,469E-04	-2,53E-03		5,333	-0,333	3,354E+05	5,134E-04	-2,53E-03
5,429	-0,429	8,655E+04	6,630E-04	-2,12E-03		5,258	-0,258	8,655E+04	3,983E-04	-2,12E-03		5,223	-0,223	8,655E+04	3,438E-04	-2,12E-03
5,216	-0,216	-2,705E+04	3,337E-04	-1,55E-03		5,184	-0,184	-2,705E+04	2,840E-04	-1,55E-03		5,165	-0,165	-2,705E+04	2,544E-04	-1,55E-03

Çizelge 7.54. AD7-c-ÇBB numunesinde dış yüzeye çevresel olarak dizilmiş G1-G2-G3 geyçlerine ait deneysel değerler

AD7-c	z ekseni		ds mm	θ	G (Pa)
Gauge 1	65 mm	θ_1	0	0	4,11E+08
Gauge 2	65 mm	θ_2	36,65	120	2,74E+08
Gauge 3	65 mm	θ_3	73,30	240	3,51E+08

GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°

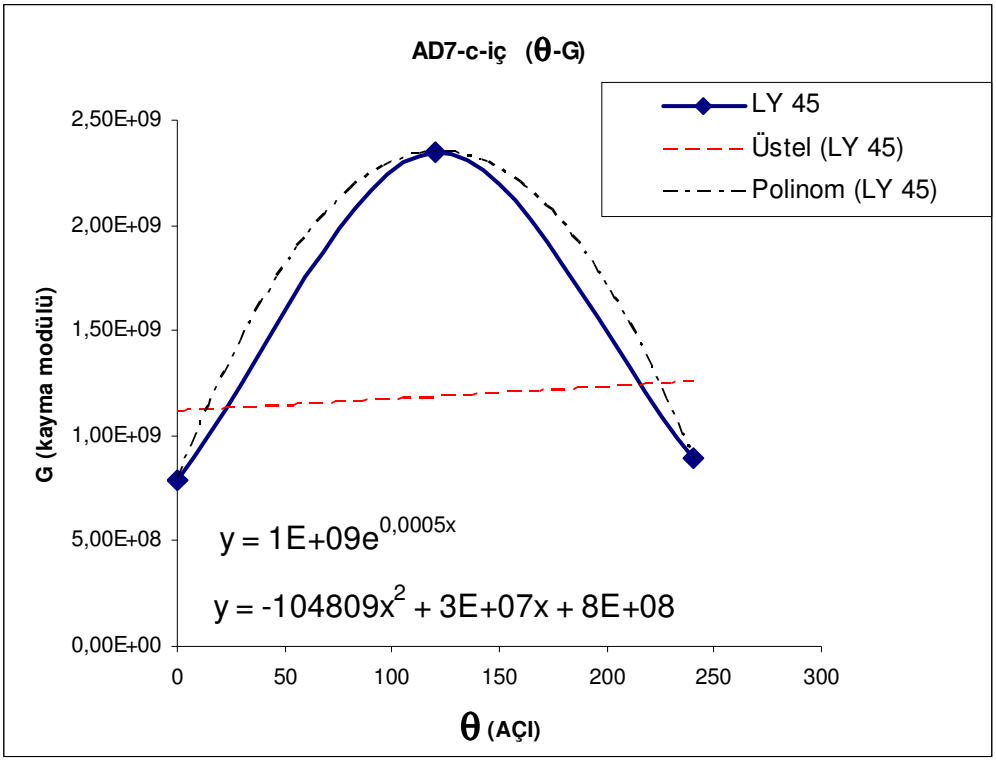


Şekil 7.62. AD7-c-ÇBB numunesi üzerinde bulunan G1-G2-G3 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği

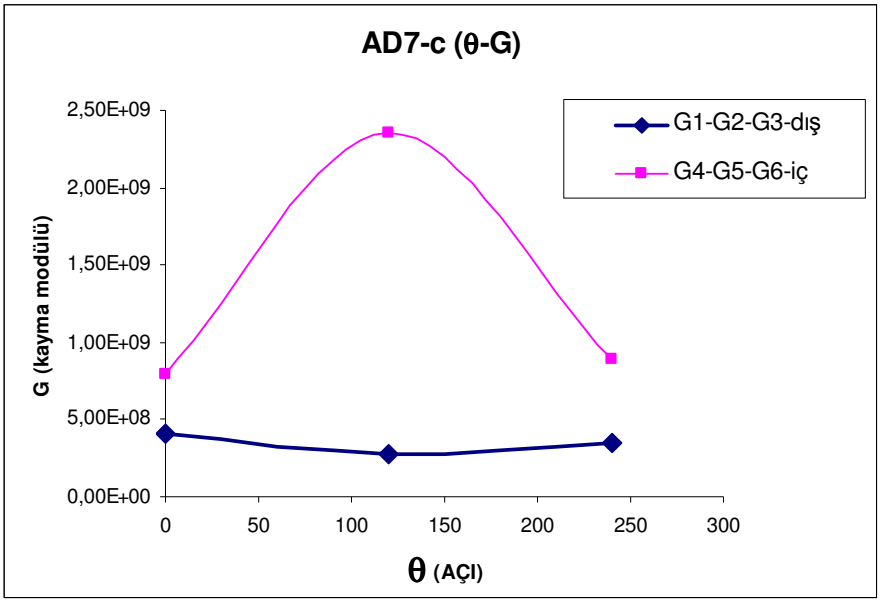
Çizelge 7.55. AD7-c-ÇBB numunesinde iç yüzeye çevresel olarak dizilmiş G4-G5-G6 geyçlerine ait deneysel değerler

AD7-c	z ekseni		ds mm	θ	G (Pa)
Gauge 4-iç	65 mm	θ_1	0	0	**7,91E+08**
Gauge 5-iç	65 mm	θ_2	36,65	120	**2,35E+09**
Gauge 6-iç	65 mm	θ_3	73,30	240	**8,90E+08**

GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°



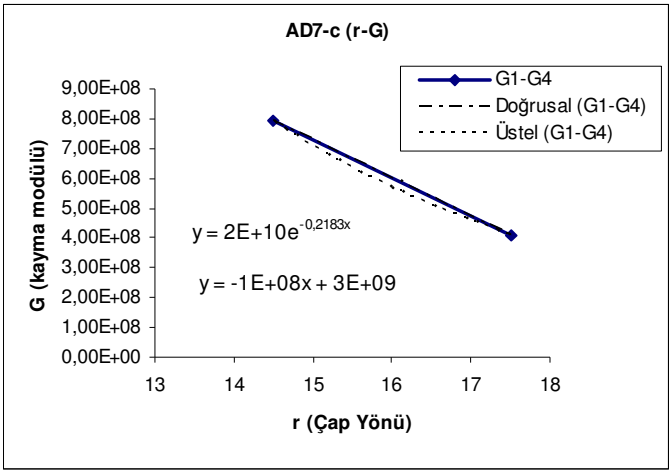
Şekil 7.63. AD7-c-ÇBB numunesi iç yüzeyinde bulunan G4-G5-G6 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği

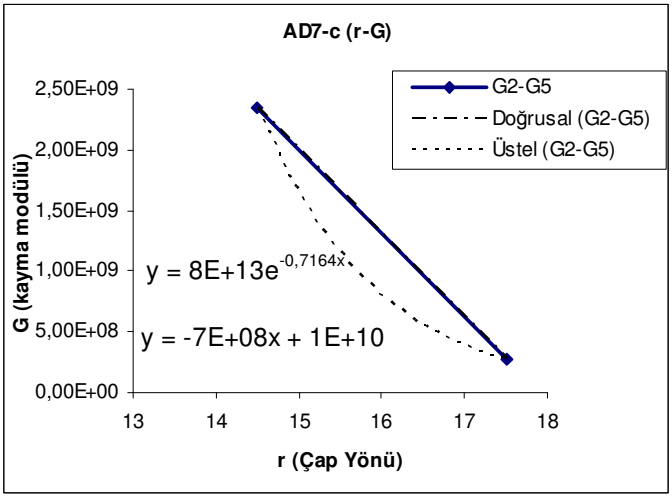


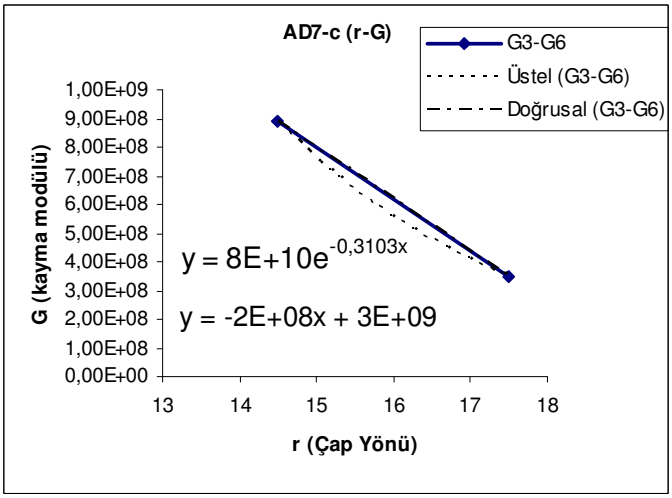
Şekil 7.64. AD7-c-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylerinde bulunan geyçlere ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği

Çizelge 7.56. AD7-c-ÇBB numunesinde aynı yarıçap doğrultusunda dış ve iç yüzeylere ait belirtilen koordinat noktalarından alınan γ-kayma genlemeleri dağılım çizelgeleri

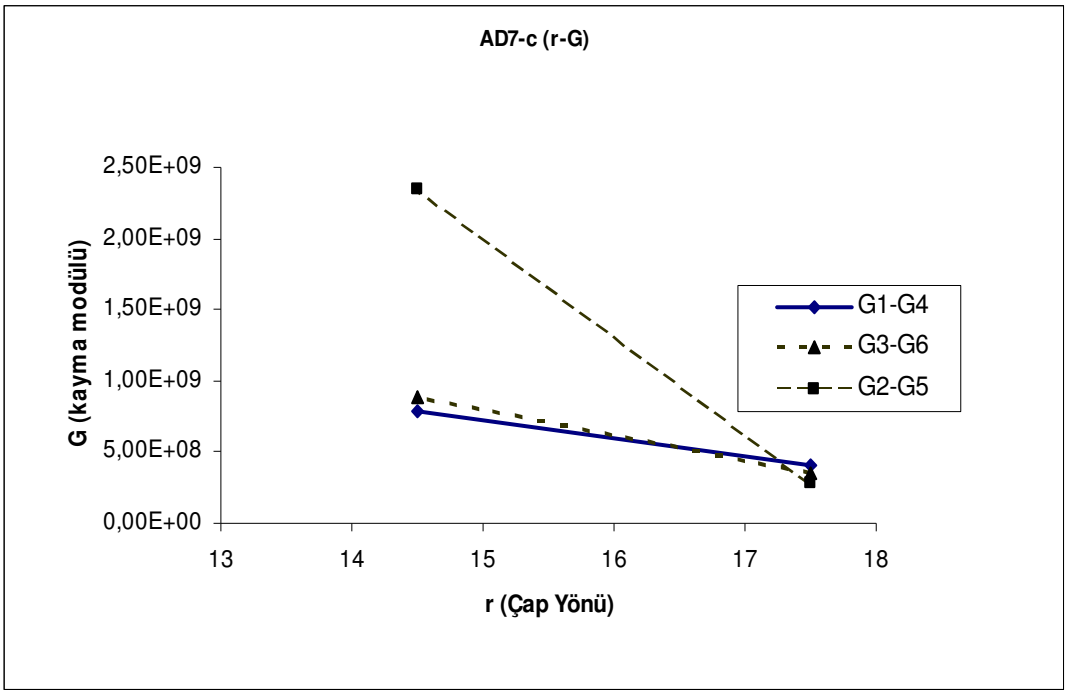
	r ekseni mm	G		
Gauge 1	17,5	4,11E+08	$r_{iç}/r_{dış}$	0,8286
Gauge 4-iç	14,5	7,91E+08	$\gamma_{iç}/\gamma_{dış}$	0,4985
GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°				
	r ekseni mm	G		
Gauge 2	17,5	2,74E+08	$r_{iç}/r_{dış}$	0,8286
Gauge 5-iç	14,5	2,35E+09	$\gamma_{iç}/\gamma_{dış}$	0,0729
GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°				
	r ekseni mm	G		
Gauge 3	17,5	3,51E+08	$r_{iç}/r_{dış}$	0,8286
Gauge 6-iç	14,5	8,90E+08	$\gamma_{iç}/\gamma_{dış}$	0,3820
GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°				





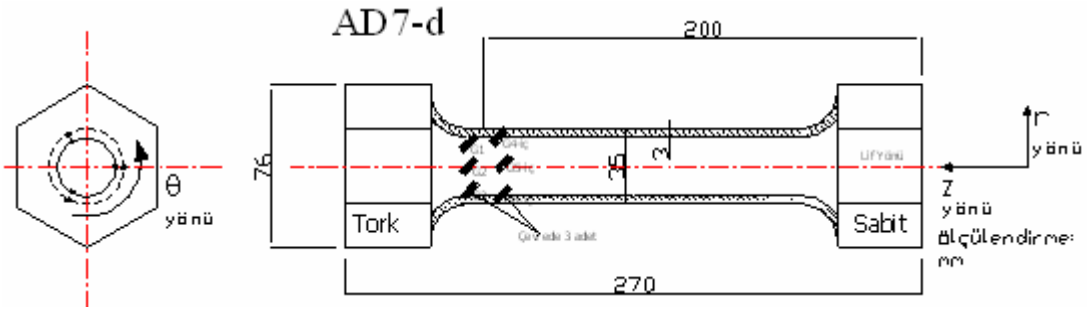


Şekil 7.65. AD7-c-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusundaki grafik ve grafiğin yaklaşık denklem ifadeleri



Şekil 7.66. AD7-c-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusuna bağlı grafiklerin toplamı

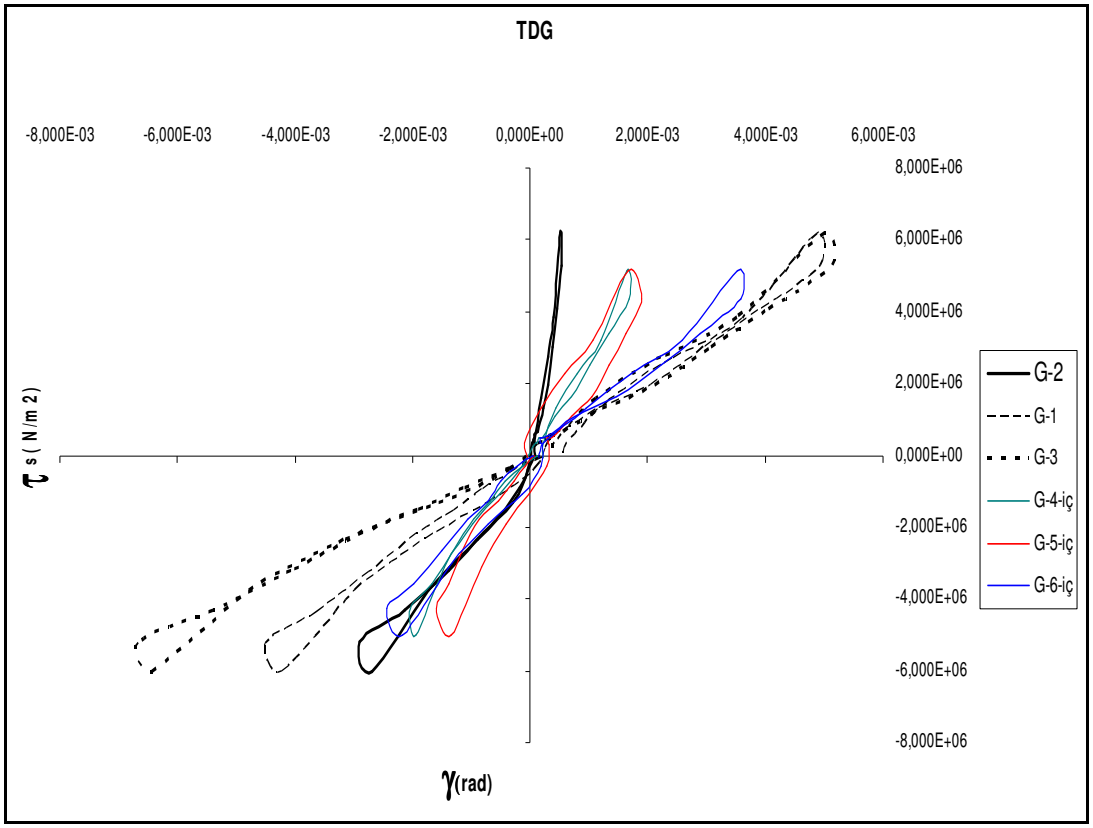
AD7-d numaralı deney sonuçları



Şekil 7.67. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait şekilsel gösterim

Çizelge7.57. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri

GEYÇ NO	TDG G(Pa)	Z (mm)	LİF YÖNÜ
Gs=	3,26E+08		
G1=	8,98E+08	200	LY 45°
G2=	1,39E+09	200	LY 45°
G3=	6,09E+08	200	LY 45°
G4-iç=	1,95E+09	200	LY 45°
G5-iç=	2,45E+09	200	LY 45°
G6-iç=	1,73E+09	200	LY 45°



Şekil 7.68. AD7-d-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği

Çizelge 7.58. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlerin eğim deklemlerine ait çizelgeler

GEYÇ NO	EĞİM DENKLEMİ	m	EĞİM AÇISI (Derece)
G1	y = 1E+09x - 182246	1	45,0
G2	y = 3E+09x + 920267	3	71,6
G3	y = 9E+08x + 306769	0,9	42,0
G4-iç	y = 2E+09x + 170347	2	63,4
G5-iç	y = 3E+09x - 263727	3	71,6
G6-iç	y = 2E+09x - 392357	2	63,4

Çizelge 7.59. AD7-d-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

TDG CODA Hızlı Veri Toplayıcı

Çıktı Dosyası				DIŞ ÇAP (Dd)	35,00	mm	counter	belirsiz			Gs=	3,26E+08		Gg4-iç=	1,95E+09
Deney Tarihi	30.10.2005			YARI ÇAP=C	17,50	mm	set speed	3,8			Gg1=	8,98E+08	2,76	Gg5-iç=	2,45E+09
Aygıt Geçidi 1				J	77886,37	mm4	kayıt aralığı	10	sn		Gg2=	1,39E+09	4,25	Gg6-iç=	1,73E+09
DENEY NO	7-d-ÇBB-(2)-6G45			L	270,00	mm	NEM	6%			Gg3=	6,09E+08			
NUMUNE	çam	BOŞ		İÇ ÇAP (Di)	29	mm	AÇI								
GAUGE ADEDİ	6									KANAL 2	gauge	200 mm			K
cins	çam									AÇI	LY 45	G_{g1}=	8,98E+08	21 mm	

VERİ SAYISI	Counter	DERECE	ϕ (rad)	Kayıt aralığı (sn)	TORK (NM)	TORK (Nmm)	τ_S - Kayma gerl (N/M2)	γ_S (rad)		G1 (volt)	VOLT farkı	τ_{G1} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G1}	γ_{S-G1} (rad)		G2 (volt)
							Gs=	-3,26E+08					CİHAZ	FORMÜL		
1	0	0	0,00E+00	0	0,00	0	0,000E+00	0,000E+00		5,13	-0,133	0,0000E+00	2,053E-04	0,00E+00		5,043
2	7	2,1	3,67E-02	10	-0,10	-100	-2,247E+04	2,376E-03		5,13	-0,131	-1,6643E+04	2,022E-04	1,76E-03		5,043
3	14	4,2	7,33E-02	20	-1,60	-1600	-3,595E+05	4,751E-03		4,84	0,160	-2,6629E+05	-2,469E-04	3,52E-03		4,991
4	21	6,3	1,10E-01	30	-3,90	-3900	-8,763E+05	7,127E-03		4,47	0,534	-6,4909E+05	-8,238E-04	5,28E-03		4,886
5	27	8,1	1,41E-01	40	-6,70	-6700	-1,505E+06	9,163E-03		4,15	0,849	-1,1151E+06	-1,309E-03	6,79E-03		4,723
6	34	10,2	1,78E-01	50	-9,50	-9500	-2,135E+06	1,154E-02		3,74	1,256	-1,5811E+06	-1,936E-03	8,55E-03		4,484
7	40	12	2,09E-01	60	-14,30	-14300	-3,213E+06	1,357E-02		3,22	1,781	-2,3800E+06	-2,745E-03	1,01E-02		4,100
8	46	13,8	2,41E-01	70	-19,10	-19100	-4,292E+06	1,561E-02		2,64	2,360	-3,1789E+06	-3,635E-03	1,16E-02		3,607
9	52	15,6	2,72E-01	80	-23,00	-23000	-5,168E+06	1,765E-02		2,07	2,929	-3,8280E+06	-4,510E-03	1,31E-02		3,116
10	57	17,1	2,98E-01	90	-26,80	-26800	-6,022E+06	1,934E-02	-1,934E-02	2,26	2,739	-4,4604E+06	-4,218E-03	1,43E-02		3,248
11	52	15,6	2,72E-01	100	-16,70	-16700	-3,752E+06	1,765E-02		3,07	1,928	-2,7795E+06	-2,971E-03	1,31E-02		3,873
12	45	13,5	2,36E-01	110	-10,40	-10400	-2,337E+06	1,527E-02		3,84	1,164	-1,7309E+06	-1,795E-03	1,13E-02		4,427
13	37	11,1	1,94E-01	120	-5,80	-5800	-1,303E+06	1,256E-02		4,54	0,458	-9,6532E+05	-7,066E-04	9,30E-03		4,811
14	30	9	1,57E-01	130	-1,70	-1700	-3,820E+05	1,018E-02		5,05	-0,045	-2,8294E+05	6,945E-05	7,54E-03		4,974
15	23	6,9	1,20E-01	140	1,50	1500	3,370E+05	7,806E-03		5,20	-0,197	2,4965E+05	3,041E-04	5,78E-03		5,028
16	16	4,8	8,38E-02	150	1,90	1900	4,269E+05	5,430E-03		5,22	-0,216	3,1623E+05	3,334E-04	4,02E-03		5,040
17	9	2,7	4,71E-02	160	2,10	2100	4,718E+05	3,054E-03		5,23	-0,228	3,4951E+05	3,519E-04	2,26E-03		5,048
18	2	0,6	1,05E-02	170	2,50	2500	5,617E+05	6,787E-04		5,24	-0,241	4,1609E+05	3,720E-04	5,03E-04		5,053
19	-6	-1,8	-3,14E-02	180	2,90	2900	6,516E+05	-2,036E-03		5,36	-0,355	4,8266E+05	5,480E-04	-1,51E-03		5,082
20	-14	-4,2	-7,33E-02	190	5,80	5800	1,303E+06	-4,751E-03		5,76	-0,761	9,6532E+05	1,175E-03	-3,52E-03		5,143
21	-20	-6	-1,05E-01	200	8,80	8800	1,977E+06	-6,787E-03		6,32	-1,322	1,4646E+06	2,042E-03	-5,03E-03		5,201
22	-26	-7,8	-1,36E-01	210	13,40	13400	3,011E+06	-8,824E-03		6,918	-1,918	2,2302E+06	2,965E-03	-6,54E-03		5,253
23	-32	-9,6	-1,68E-01	220	18,20	18200	4,089E+06	-1,086E-02		7,538	-2,538	3,0291E+06	3,925E-03	-8,04E-03		5,299
24	-39	-11,7	-2,04E-01	230	23,50	23500	5,280E+06	-1,324E-02		8,195	-3,195	3,9112E+06	4,944E-03	-9,80E-03		5,343
25	-45	-13,5	-2,36E-01	240	27,70	27700	6,224E+06	-1,527E-02	1,527E-02	8,151	-3,151	4,6102E+06	4,875E-03	-1,13E-02		5,333
26	-40	-12	-2,09E-01	250	17,10	17100	3,842E+06	-1,357E-02		7,324	-2,324	2,8460E+06	3,593E-03	-1,01E-02		5,260
27	-34	-10,2	-1,78E-01	260	12,30	12300	2,764E+06	-1,154E-02		6,562	-1,562	2,0471E+06	2,414E-03	-8,55E-03		5,194
28	-27	-8,1	-1,41E-01	270	7,00	7000	1,573E+06	-9,163E-03		5,868	-0,868	1,1650E+06	1,341E-03	-6,79E-03		5,123
29	-19	-5,7	-9,95E-02	280	1,80	1800	4,044E+05	-6,448E-03		5,394	-0,394	2,9958E+05	6,083E-04	-4,78E-03		5,050
30	-13	-3,9	-6,81E-02	290	-0,30	-300	-6,741E+04	-4,412E-03		5,363	-0,363	-4,9930E+04	5,604E-04	-3,27E-03		5,055

Çizelge 7.59. (Devam) AD7-d-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

KANAL 4	gauge	200 mm		
AÇI	LY 45	G_{g3}=	6,09E+08	15 mm
		CİHAZ	FORMÜL	

G3 (volt)	VOLT farkı	τ_{G3} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G3}	γ_{S-G3} (rad)
5,106	-0,106	0,000E+00	1,638E-04	0,00E+00
5,109	-0,109	-1,664E+04	1,684E-04	1,76E-03
4,769	0,231	-2,663E+05	-3,568E-04	3,52E-03
4,269	0,731	-6,491E+05	-1,129E-03	5,28E-03
3,753	1,247	-1,115E+06	-1,924E-03	6,79E-03
3,153	1,847	-1,581E+06	-2,849E-03	8,55E-03
2,361	2,639	-2,380E+06	-4,068E-03	1,01E-02
1,499	3,501	-3,179E+06	-5,393E-03	1,16E-02
0,669	4,331	-3,828E+06	-6,667E-03	1,31E-02
0,830	4,170	-4,460E+06	-6,420E-03	1,43E-02
1,893	3,107	-2,779E+06	-4,788E-03	1,31E-02
2,962	2,038	-1,731E+06	-3,143E-03	1,13E-02
3,995	1,005	-9,653E+05	-1,551E-03	9,30E-03
4,779	0,221	-2,829E+05	-3,413E-04	7,54E-03
5,082	-0,082	2,497E+05	1,267E-04	5,78E-03
5,155	-0,155	3,162E+05	2,395E-04	4,02E-03
5,197	-0,197	3,495E+05	3,044E-04	2,26E-03
5,219	-0,219	4,161E+05	3,384E-04	5,03E-04
5,375	-0,375	4,827E+05	5,795E-04	-1,51E-03
5,792	-0,792	9,653E+05	1,224E-03	-3,52E-03
6,374	-1,374	1,465E+06	2,125E-03	-5,03E-03
6,996	-1,996	2,230E+06	3,088E-03	-6,54E-03
7,629	-2,629	3,029E+06	4,070E-03	-8,04E-03
8,320	-3,320	3,911E+06	5,143E-03	-9,80E-03
8,230	-3,230	4,610E+06	5,003E-03	-1,13E-02
7,260	-2,260	2,846E+06	3,498E-03	-1,01E-02
6,437	-1,437	2,047E+06	2,222E-03	-8,55E-03
5,714	-0,714	1,165E+06	1,104E-03	-6,79E-03
5,265	-0,265	2,996E+05	4,095E-04	-4,78E-03
5,311	-0,311	-4,993E+04	4,806E-04	-3,27E-03

KANAL 5	gauge	200 mm		
AÇI	LY 45	$G_{g4\text{-}iç}$=	1,95E+09	
		CİHAZ	FORMÜL	

G4 (volt)	VOLT farkı	τ_{G4} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G4}	γ_{S-G4} (rad)
5,074	-0,074	0,000E+00	1,142E-04	0,00E+00
5,072	-0,072	-1,664E+04	1,111E-04	1,76E-03
4,921	0,079	-2,663E+05	-1,219E-04	3,52E-03
4,728	0,272	-6,491E+05	-4,197E-04	5,28E-03
4,559	0,441	-1,115E+06	-6,804E-04	6,79E-03
4,379	0,621	-1,581E+06	-9,579E-04	8,55E-03
4,154	0,846	-2,380E+06	-1,305E-03	1,01E-02
3,910	1,090	-3,179E+06	-1,681E-03	1,16E-02
3,675	1,325	-3,828E+06	-2,043E-03	1,31E-02
3,736	1,264	-4,460E+06	-1,949E-03	1,43E-02
4,051	0,949	-2,779E+06	-1,463E-03	1,31E-02
4,361	0,639	-1,731E+06	-9,857E-04	1,13E-02
4,662	0,338	-9,653E+05	-5,215E-04	9,30E-03
4,916	0,084	-2,829E+05	-1,296E-04	7,54E-03
5,043	-0,043	2,497E+05	6,636E-05	5,78E-03
5,077	-0,077	3,162E+05	1,188E-04	4,02E-03
5,087	-0,087	3,495E+05	1,343E-04	2,26E-03
5,096	-0,096	4,161E+05	1,482E-04	5,03E-04
5,145	-0,145	4,827E+05	2,238E-04	-1,51E-03
5,270	-0,270	9,653E+05	4,168E-04	-3,52E-03
5,455	-0,455	1,465E+06	7,025E-04	-5,03E-03
5,656	-0,656	2,230E+06	1,013E-03	-6,54E-03
5,866	-0,866	3,029E+06	1,337E-03	-8,04E-03
6,088	-1,088	3,911E+06	1,681E-03	-9,80E-03
6,071	-1,071	4,610E+06	1,654E-03	-1,13E-02
5,780	-0,780	2,846E+06	1,205E-03	-1,01E-02
5,519	-0,519	2,047E+06	8,013E-04	-8,55E-03
5,284	-0,284	1,165E+06	4,384E-04	-6,79E-03
5,153	-0,153	2,996E+05	2,362E-04	-4,78E-03
5,148	-0,148	-4,993E+04	2,284E-04	-3,27E-03

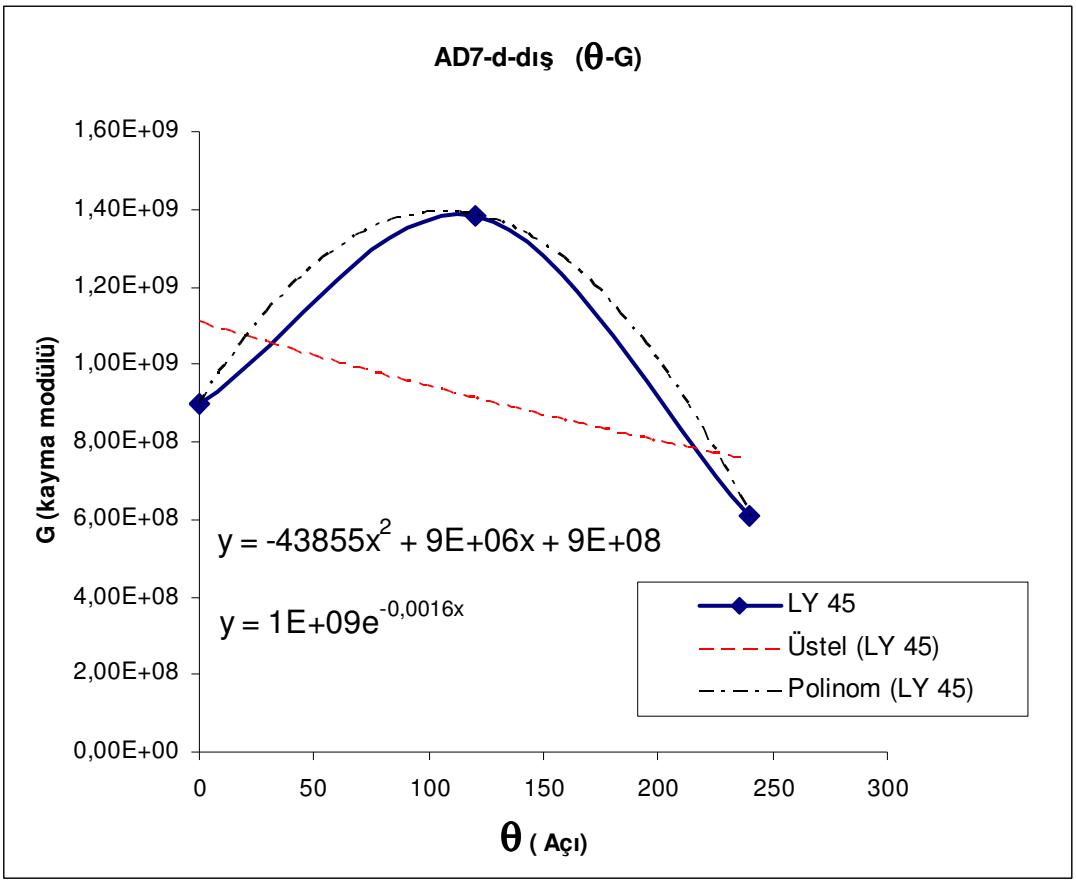
KANAL 6	gauge	200 mm	
AÇI	LY 45	$G_{g5\text{-}iç}$=	2,45E+09
		CİHAZ	FORMÜL

G5 (volt)	VOLT farkı	τ_{G5} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G5}	γ_{S-G5} (rad)
5,035	-0,035	0,000E+00	5,395E-05	0,00E+00
5,038	-0,038	-1,664E+04	5,857E-05	1,76E-03
4,952	0,048	-2,663E+05	-7,398E-05	3,52E-03
4,818	0,182	-6,491E+05	-2,805E-04	5,28E-03
4,652	0,348	-1,115E+06	-5,363E-04	6,79E-03
4,444	0,556	-1,581E+06	-8,566E-04	8,55E-03
4,254	0,746	-2,380E+06	-1,149E-03	1,01E-02
4,098	0,902	-3,179E+06	-1,389E-03	1,16E-02
3,963	1,037	-3,828E+06	-1,597E-03	1,31E-02
4,125	0,875	-4,460E+06	-1,348E-03	1,43E-02
4,464	0,536	-2,779E+06	-8,258E-04	1,31E-02
4,737	0,263	-1,731E+06	-4,053E-04	1,13E-02
4,991	0,009	-9,653E+05	-1,387E-05	9,30E-03
5,179	-0,179	-2,829E+05	2,759E-04	7,54E-03
5,204	-0,204	2,497E+05	3,145E-04	5,78E-03
5,199	-0,199	3,162E+05	3,068E-04	4,02E-03
5,194	-0,194	3,495E+05	2,991E-04	2,26E-03
5,189	-0,189	4,161E+05	2,914E-04	5,03E-04
5,258	-0,258	4,827E+05	3,978E-04	-1,51E-03
5,455	-0,455	9,653E+05	7,016E-04	-3,52E-03
5,685	-0,685	1,465E+06	1,056E-03	-5,03E-03
5,868	-0,868	2,230E+06	1,339E-03	-6,54E-03
6,056	-1,056	3,029E+06	1,629E-03	-8,04E-03
6,234	-1,234	3,911E+06	1,904E-03	-9,80E-03
6,083	-1,083	4,610E+06	1,671E-03	-1,13E-02
5,697	-0,697	2,846E+06	1,075E-03	-1,01E-02
5,382	-0,382	2,047E+06	5,890E-04	-8,55E-03
5,128	-0,128	1,165E+06	1,973E-04	-6,79E-03
4,940	0,060	2,996E+05	-9,248E-05	-4,78E-03
4,979	0,021	-4,993E+04	-3,237E-05	-3,27E-03

Çizelge 7.60. AD7-d-ÇBB numunesinde dış yüzeye çevresel olarak dizilmiş G1-G2-G3 geyçlerine ait deneysel değerler

AD7-d	z ekseni		ds mm	θ	G (Pa)
Gauge 1	200 mm	θ_1	0	0	8,98E+08
Gauge 2	200 mm	θ_2	36,65	120	1,39E+09
Gauge 3	200 mm	θ_3	73,30	240	6,09E+08

GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°

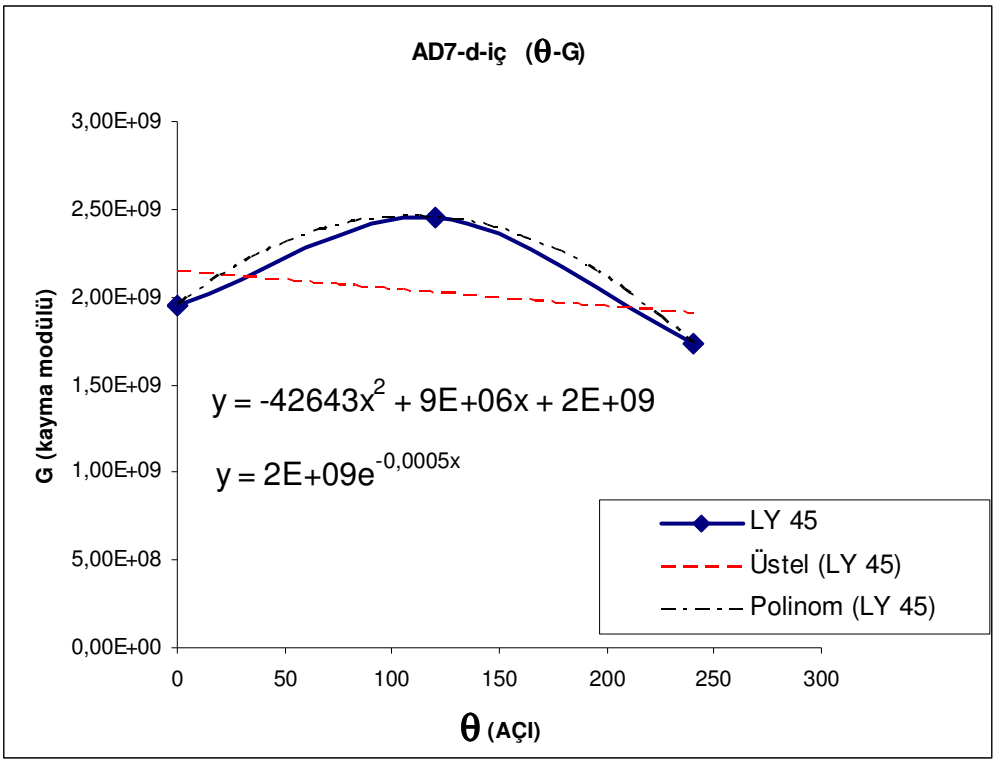


Şekil 7.69. AD7-d-ÇBB numunesi üzerinde bulunan G1-G2-G3 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği

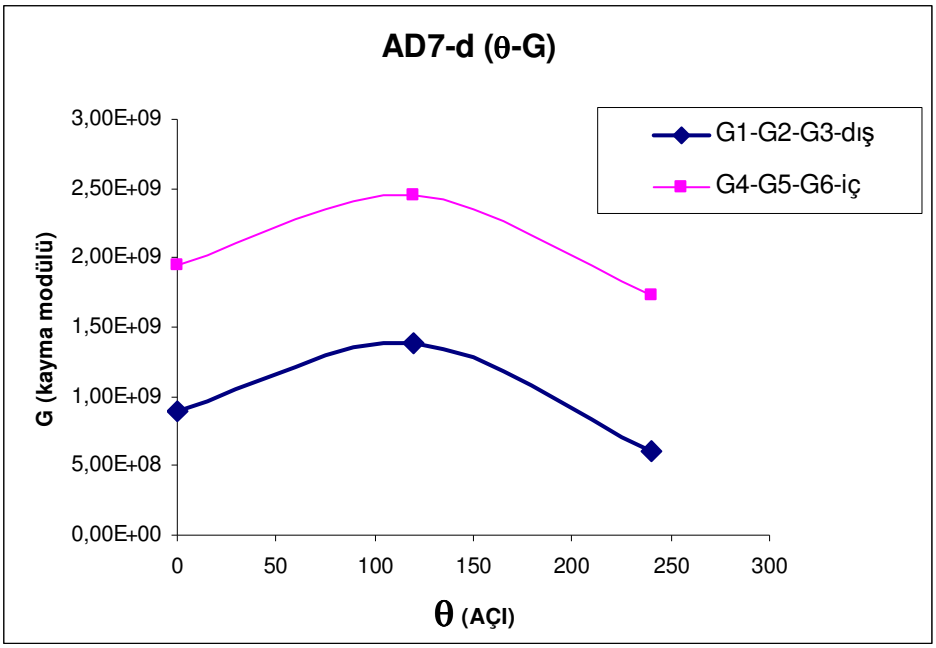
Çizelge 7.61. AD7-d-ÇBB numunesinde iç yüzeye çevresel olarak dizilmiş G4-G5-G6 geyçlerine ait deneysel değerler

AD7-d	z ekseni		ds mm	θ	G (Pa)
Gauge 4-iç	200 mm	θ_1	0	0	**1,95E+09**
Gauge 5-iç	200 mm	θ_2	36,65	120	**2,45E+09**
Gauge 6-iç	200 mm	θ_3	73,30	240	**1,73E+09**

GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°



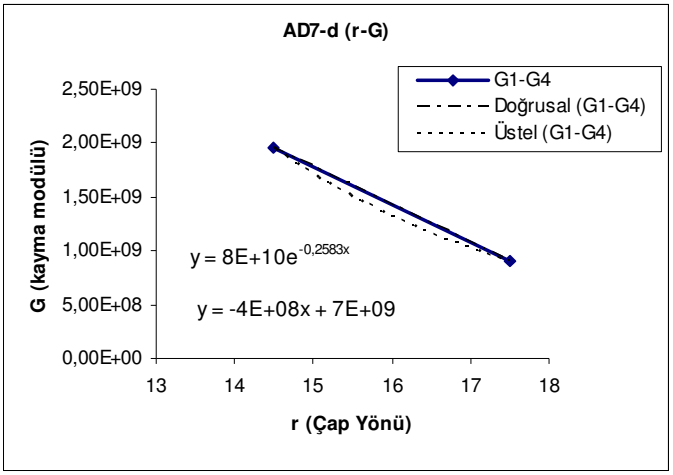
Şekil 7.70. AD7-d-ÇBB numunesi iç yüzeyinde bulunan G4-G5-G6 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği

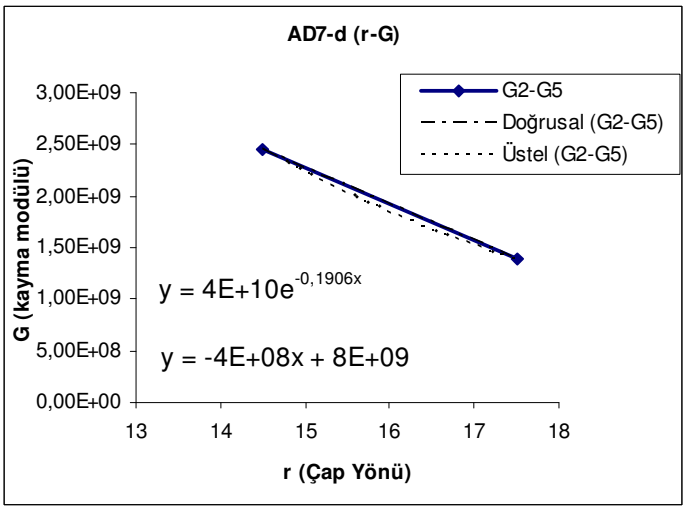


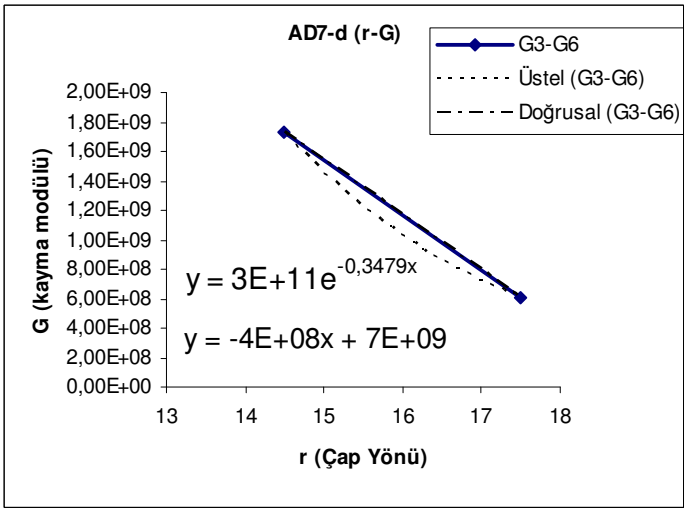
Şekil 7.71. AD7-d-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylerinde bulunan geyçlere ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği

Çizelge 7.62. AD7-d-ÇBB numunesinde aynı yarıçap doğrultusunda dış ve iç yüzeylere ait belirtilen koordinat noktalarından alınan γ-kayma genlemeleri dağılım çizelgeleri

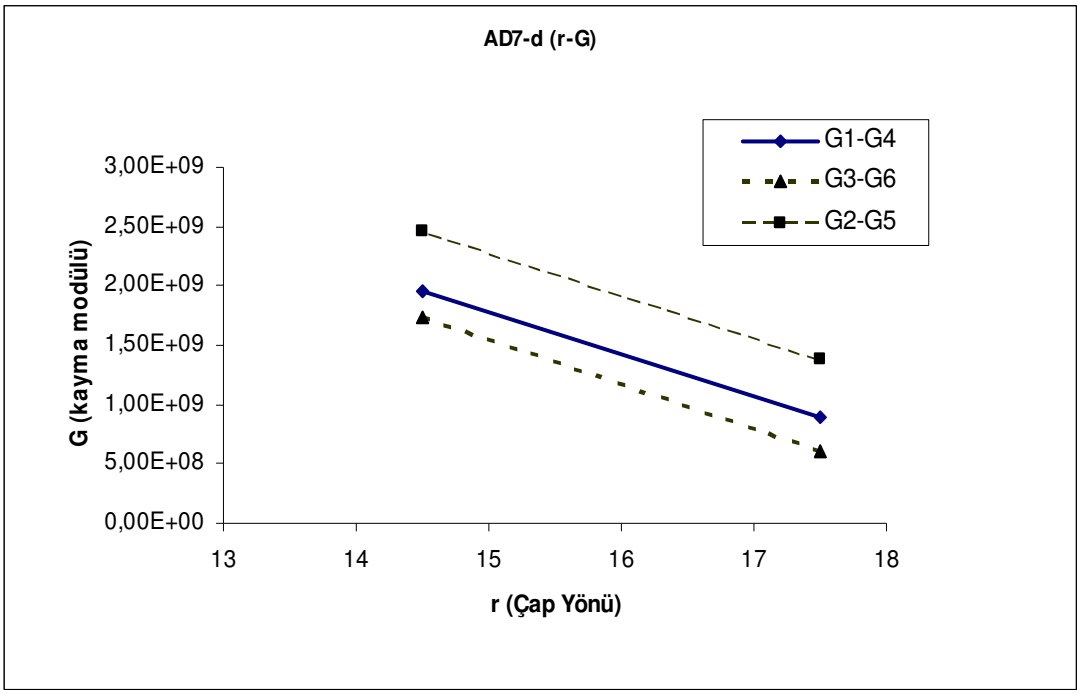
	r ekseni mm	G		
Gauge 1	**17,5**	**8,98E+08**	$r_{iç}/r_{dış}$	**0,8286**
Gauge 4-iç	**14,5**	**1,95E+09**	$\gamma_{iç}/\gamma_{dış}$	**0,4620**
GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°				
	r ekseni mm	**G**		
Gauge 2	**17,5**	**1,39E+09**	$r_{iç}/r_{dış}$	**0,8286**
Gauge 5-iç	**14,5**	**2,45E+09**	$\gamma_{iç}/\gamma_{dış}$	**0,5007**
GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°				
	r ekseni mm	**G**		
Gauge 3	**17,5**	**6,09E+08**	$r_{iç}/r_{dış}$	**0,8286**
Gauge 6-iç	**14,5**	**1,73E+09**	$\gamma_{iç}/\gamma_{dış}$	**0,3383**
GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°				







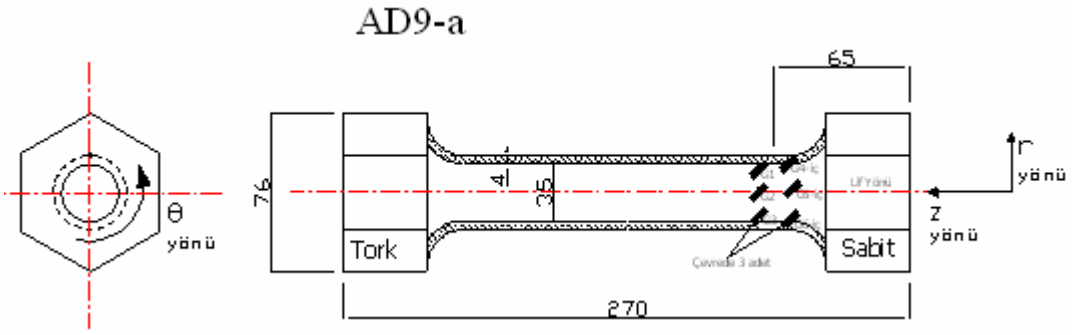
Şekil 7.72. AD7-d-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusundaki grafik ve grafiğin yaklaşık denklem ifadeleri



Şekil 7.73. AD7-d-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusuna bağlı grafiklerin toplamı

7.3.4. Numunenin gerilme yoğunlaşması beklenen başlangıç ve bitiş bölgelerinde lif doğrultularına 45^0 açı ile ağaç tüpün iç ve dış yüzeylerine dizilmiş geyçlerle yapılan deneyler

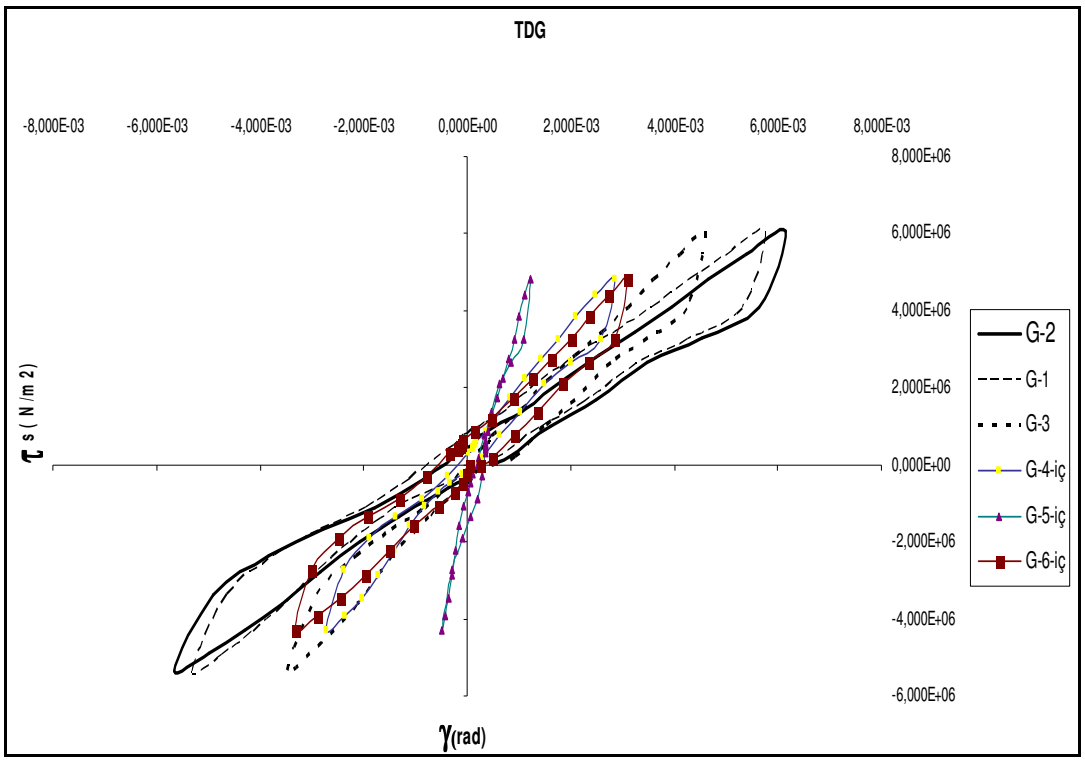
AD9-a numaralı deney sonuçları



Şekil 7.74. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait şekilsel gösterim

Çizelge 7.63. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri

GEYÇ NO	TDG G(Pa)	Z (mm)	LİF YÖNÜ
Gs=	3,77E+08	65	
G1=	2,49E+08	65	LY 45°
G2=	2,24E+08	65	LY 45°
G3=	3,56E+08	65	LY 45°
G4-iç=	4,94E+08	65	LY 45°
G5-iç=	2,10E+09	65	LY 45°
G6-iç=	3,76E+08	65	LY 45°



Şekil 7.75. AD9-a-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği

Çizelge 7.64. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlerin eğim deklemlerine ait çizelgeler

GEYÇ NO	EĞİM DENKLEMİ TDG	m	EĞİM AÇISI (Derece)
G1	y = 9E+08x + 306682	0,9	42,0
G2	y = 9E+08x + 115742	0,9	42,0
G3	y = 1E+09x - 303366	1	45,0
G4-iç	y = 2E+09x + 176917	2	63,4
G5-iç	y = 5E+09x - 1E+06	5	78,7
G6-iç	y = 1E+09x + 265960	1	45,0

Çizelge 7.65. AD9-a-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

TDG CODA Hızlı Veri Toplayıcı

Çıktı Dosyası			DIŞ ÇAP (Dd)	35,00	mm	counter	belirsiz		Gs=	3,77E+08	Gg4-iç= 4,94E+08
Deney Tarihi	30.10.2005		YARI ÇAP=C	17,50	mm	set speed	3,8		Gg1=	2,49E+08	Gg5-iç= 2,10E+09
Aygıt Geçidi 1			J	77886,37	mm4	kayıt aralığı	10	sn	Gg2=	2,24E+08	Gg6-iç= 3,76E+08
DENEY NO	AD9-a-ÇBB-6G		L	270,00	mm	NEM	6%		Gg3=	3,56E+08	
NUMUNE	ÇAM	BOŞ	İÇ ÇAP (Di)	28	mm	AÇI					
GAUGE ADEDİ	6										

KANAL 2 gauge 65 mm K

cins çam — değişebilen hücreler — AÇI LY 45 — G_{g1}= 2,49E+08

Gs= -3,77E+08

VERİ SAYISI	Counter	DERECE	ϕ (rad)	Kayıt aralığı (sn)	TORK (NM)	TORK (Nmm)	τ_S - Kayma gerl (N/M2)	γ_S (rad)		G1 (volt)	VOLT farkı	τ_{G1} - kayma gerl (N/M2)	CİHAZ γ_{G1}	FORMÜL γ_{S-G1} (rad)		G2 (volt)
1	0	0	0,00E+00	0	0,00	0	0,000E+00	0,000E+00		5,01	-0,011	0,0000E+00	1,698E-05	0,00E+00		5,079
2	6	1,8	3,14E-02	10	-1,40	-1400	-3,146E+05	2,036E-03		4,86	0,136	-7,5728E+04	-2,099E-04	4,90E-04		4,969
3	11	3,3	5,76E-02	20	-2,70	-2700	-6,067E+05	3,733E-03		4,56	0,436	-1,4605E+05	-6,726E-04	8,99E-04		4,755
4	15	4,5	7,85E-02	30	-4,00	-4000	-8,987E+05	5,091E-03		4,26	0,739	-2,1636E+05	-1,140E-03	1,23E-03		4,527
5	20	6	1,05E-01	40	-6,00	-6000	-1,348E+06	6,787E-03		3,92	1,078	-3,2455E+05	-1,662E-03	1,63E-03		4,147
6	24	7,2	1,26E-01	50	-8,80	-8800	-1,977E+06	8,145E-03		3,51	1,491	-4,7600E+05	-2,298E-03	1,96E-03		3,646
7	29	8,7	1,52E-01	60	-12,40	-12400	-2,786E+06	9,842E-03		3,09	1,911	-6,7073E+05	-2,945E-03	2,37E-03		3,153
8	33	9,9	1,73E-01	70	-16,00	-16000	-3,595E+06	1,120E-02		2,69	2,314	-8,6546E+05	-3,565E-03	2,70E-03		2,674
9	37	11,1	1,94E-01	80	-19,20	-19200	-4,314E+06	1,256E-02		2,30	2,700	-1,0386E+06	-4,158E-03	3,02E-03		2,203
10	41	12,3	2,15E-01	90	-21,80	-21800	-4,898E+06	1,391E-02		1,92	3,083	-1,1792E+06	-4,746E-03	3,35E-03		1,746
11	45	13,5	2,36E-01	100	-23,80	-23800	-5,348E+06	1,527E-02	-1,527E-02	1,55	3,449	-1,2874E+06	-5,308E-03	3,68E-03		1,306
12	41	12,3	2,15E-01	110	-15,10	-15100	-3,393E+06	1,391E-02		1,99	3,015	-8,1678E+05	-4,642E-03	3,35E-03		1,812
13	36	10,8	1,88E-01	120	-10,60	-10600	-2,382E+06	1,222E-02		2,58	2,421	-5,7337E+05	-3,729E-03	2,94E-03		2,510
14	31	9,3	1,62E-01	130	-7,50	-7500	-1,685E+06	1,052E-02		3,16	1,840	-4,0568E+05	-2,835E-03	2,53E-03		3,182
15	26	7,8	1,36E-01	140	-4,90	-4900	-1,101E+06	8,824E-03		3,73	1,271	-2,6505E+05	-1,960E-03	2,12E-03		3,839
16	21	6,3	1,10E-01	150	-1,70	-1700	-3,820E+05	7,127E-03		4,28	0,722	-9,1955E+04	-1,114E-03	1,72E-03		4,452
17	16	4,8	8,38E-02	160	1,80	1800	4,044E+05	5,430E-03		4,76	0,243	9,7364E+04	-3,749E-04	1,31E-03		4,950
18	11	3,3	5,76E-02	170	2,30	2300	5,168E+05	3,733E-03		4,87	0,131	1,2441E+05	-2,022E-04	8,99E-04		5,082
19	6	1,8	3,14E-02	180	2,60	2600	5,842E+05	2,036E-03		4,88	0,116	1,4064E+05	-1,790E-04	4,90E-04		5,096
20	0	0	0,00E+00	190	2,70	2700	6,067E+05	0,000E+00		4,91	0,087	1,4605E+05	-1,343E-04	0,00E+00		5,123
21	-5	-1,5	-2,62E-02	200	3,00	3000	6,741E+05	-1,697E-03		4,92	0,079	1,6227E+05	-1,219E-04	-4,09E-04		5,136
22	-10	-3	-5,24E-02	210	3,50	3500	7,864E+05	-3,394E-03		4,962	0,038	1,8932E+05	-5,864E-05	-8,17E-04		5,179
23	-15	-4,5	-7,85E-02	220	4,90	4900	1,101E+06	-5,091E-03		5,226	-0,226	2,6505E+05	3,488E-04	-1,23E-03		5,416
24	-20	-6	-1,05E-01	230	6,50	6500	1,460E+06	-6,787E-03		5,509	-0,509	3,5159E+05	7,859E-04	-1,63E-03		5,731
25	-25	-7,5	-1,31E-01	240	9,70	9700	2,179E+06	-8,484E-03		5,924	-0,924	5,2468E+05	1,427E-03	-2,04E-03		6,195
26	-30	-9	-1,57E-01	250	12,60	12600	2,831E+06	-1,018E-02		6,376	-1,376	6,8155E+05	2,126E-03	-2,45E-03		6,647
27	-34	-10,2	-1,78E-01	260	15,30	15300	3,438E+06	-1,154E-02		6,84	-1,840	8,2759E+05	2,844E-03	-2,78E-03		7,099
28	-38	-11,4	-1,99E-01	270	18,10	18100	4,067E+06	-1,290E-02		7,309	-2,309	9,7905E+05	3,570E-03	-3,10E-03		7,558
29	-43	-12,9	-2,25E-01	280	21,50	21500	4,831E+06	-1,459E-02		7,775	-2,775	1,1630E+06	4,292E-03	-3,51E-03		8,022
30	-47	-14,1	-2,46E-01	290	24,40	24400	5,482E+06	-1,595E-02		8,252	-3,252	1,3198E+06	5,032E-03	-3,84E-03		8,501
31	-51	-15,3	-2,67E-01	300	26,90	26900	6,044E+06	-1,731E-02	1,731E-02	8,718	-3,718	1,4551E+06	5,755E-03	-4,17E-03		8,979
32	-47	-14,1	-2,46E-01	310	18,10	18100	4,067E+06	-1,595E-02		8,422	-3,422	9,7905E+05	5,296E-03	-3,84E-03		8,654
33	-43	-12,9	-2,25E-01	320	14,80	14800	3,325E+06	-1,459E-02		7,753	-2,753	8,0055E+05	4,258E-03	-3,51E-03		7,941
34	-38	-11,4	-1,99E-01	330	11,80	11800	2,651E+06	-1,290E-02		7,101	-2,101	6,3828E+05	3,248E-03	-3,10E-03		7,258
35	-33	-9,9	-1,73E-01	340	7,60	7600	1,708E+06	-1,120E-02		6,469	-1,469	4,1109E+05	2,270E-03	-2,70E-03		6,613
36	-28	-8,4	-1,47E-01	350	4,40	4400	9,886E+05	-9,502E-03		5,89	-0,890	2,3800E+05	1,375E-03	-2,29E-03		6,046
37	-23	-6,9	-1,20E-01	360	1,00	1000	2,247E+05	-7,806E-03		5,355	-0,355	5,4091E+04	5,480E-04	-1,88E-03		5,536
38	-18	-5,4	-9,42E-02	370	-0,10	-100	-2,247E+04	-6,109E-03		5,136	-0,136	-5,4091E+03	2,099E-04	-1,47E-03		5,314

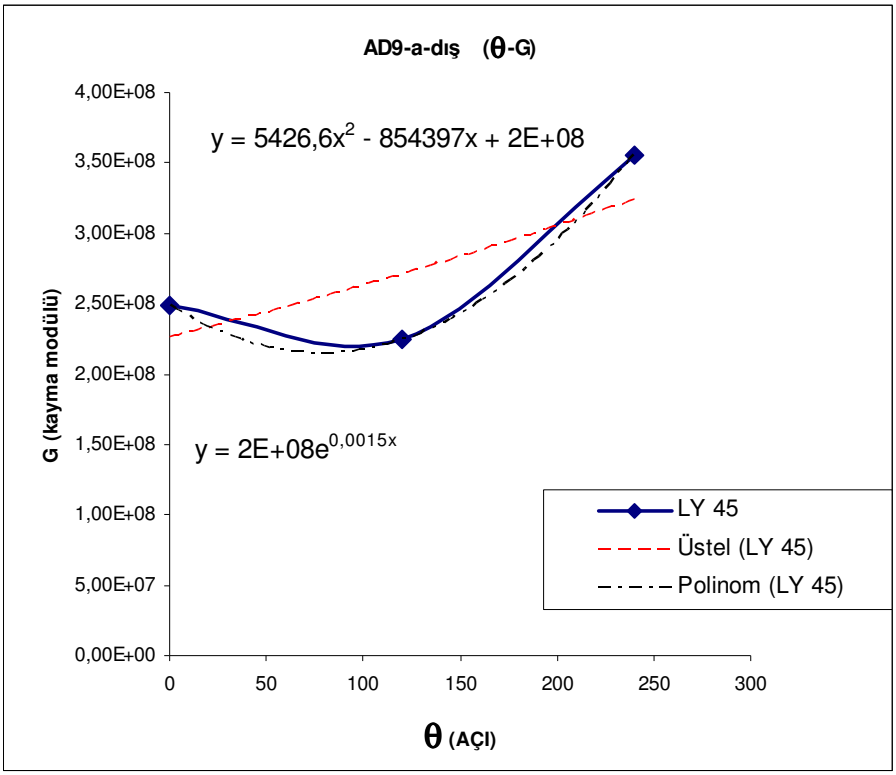
Çizelge 7.65. (Devam) AD9-a-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

KANAL 4	gauge	65 mm				KANAL 5	gauge	65 mm				KANAL 6	gauge	65 mm		
AÇI	LY 45	G_{g3}=	3,56E+08			AÇI	LY 45	$G_{g4\text{-}iç}$=	4,94E+08			AÇI	LY 45	$G_{g5\text{-}iç}$=	2,10E+09	5
			CİHAZ	FORMÜL					CİHAZ	FORMÜL					CİHAZ	FORMÜL
G3 (volt)	VOLT farkı	τ_{G3} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G3}	$\gamma_{S\text{-}G3}$ (rad)		G4 (volt)	VOLT farkı	τ_{G4} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G4}	$\gamma_{S\text{-}G4}$ (rad)		G5 (volt)	VOLT farkı	τ_{G5} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G5}	$\gamma_{S\text{-}G5}$ (rad)
5,126	-0,126	0,000E+00	1,947E-04	0,00E+00		5,023	-0,023	0,000E+00	3,550E-05	0,00E+00		5,077	-0,077	0,000E+00	1,187E-04	0,00E+00
5,053	-0,053	-7,573E+04	8,188E-05	4,90E-04		4,943	0,057	-7,573E+04	-8,796E-05	4,90E-04		5,070	-0,070	-7,573E+04	1,079E-04	4,90E-04
4,906	0,094	-1,460E+05	-1,452E-04	8,99E-04		4,786	0,214	-1,460E+05	-3,302E-04	8,99E-04		5,048	-0,048	-1,460E+05	7,399E-05	8,99E-04
4,752	0,248	-2,164E+05	-3,830E-04	1,23E-03		4,632	0,368	-2,164E+05	-5,678E-04	1,23E-03		5,011	-0,011	-2,164E+05	1,696E-05	1,23E-03
4,515	0,485	-3,245E+05	-7,489E-04	1,63E-03		4,466	0,534	-3,245E+05	-8,238E-04	1,63E-03		4,957	0,043	-3,245E+05	-6,628E-05	1,63E-03
4,208	0,792	-4,760E+05	-1,223E-03	1,96E-03		4,278	0,722	-4,760E+05	-1,114E-03	1,96E-03		4,904	0,096	-4,760E+05	-1,480E-04	1,96E-03
3,907	1,093	-6,707E+05	-1,687E-03	2,37E-03		4,085	0,915	-6,707E+05	-1,411E-03	2,37E-03		4,855	0,145	-6,707E+05	-2,235E-04	2,37E-03
3,612	1,388	-8,655E+05	-2,142E-03	2,70E-03		3,885	1,115	-8,655E+05	-1,719E-03	2,70E-03		4,811	0,189	-8,655E+05	-2,913E-04	2,70E-03
3,319	1,681	-1,039E+06	-2,593E-03	3,02E-03		3,687	1,313	-1,039E+06	-2,024E-03	3,02E-03		4,769	0,231	-1,039E+06	-3,560E-04	3,02E-03
3,026	1,974	-1,179E+06	-3,045E-03	3,35E-03		3,465	1,535	-1,179E+06	-2,366E-03	3,35E-03		4,725	0,275	-1,179E+06	-4,238E-04	3,35E-03
2,745	2,255	-1,287E+06	-3,477E-03	3,68E-03		3,236	1,764	-1,287E+06	-2,718E-03	3,68E-03	0,51215	4,684	0,316	-1,287E+06	-4,870E-04	3,68E-03
3,123	1,877	-8,168E+05	-2,895E-03	3,35E-03		3,448	1,552	-8,168E+05	-2,392E-03	3,35E-03		4,813	0,187	-8,168E+05	-2,882E-04	3,35E-03
3,607	1,393	-5,734E+05	-2,149E-03	2,94E-03		3,778	1,222	-5,734E+05	-1,884E-03	2,94E-03		4,945	0,055	-5,734E+05	-8,477E-05	2,94E-03
4,059	0,941	-4,057E+05	-1,453E-03	2,53E-03		4,107	0,893	-4,057E+05	-1,377E-03	2,53E-03		5,048	-0,048	-4,057E+05	7,399E-05	2,53E-03
4,484	0,516	-2,650E+05	-7,968E-04	2,12E-03		4,437	0,563	-2,650E+05	-8,685E-04	2,12E-03		5,126	-0,126	-2,650E+05	1,942E-04	2,12E-03
4,862	0,138	-9,195E+04	-2,132E-04	1,72E-03		4,752	0,248	-9,195E+04	-3,827E-04	1,72E-03		5,184	-0,184	-9,195E+04	2,837E-04	1,72E-03
5,167	-0,167	9,736E+04	2,580E-04	1,31E-03		5,013	-0,013	9,736E+04	2,006E-05	1,31E-03		5,228	-0,228	9,736E+04	3,515E-04	1,31E-03
5,250	-0,250	1,244E+05	3,863E-04	8,99E-04		5,070	-0,070	1,244E+05	1,080E-04	8,99E-04		5,233	-0,233	1,244E+05	3,592E-04	8,99E-04
5,260	-0,260	1,406E+05	4,017E-04	4,90E-04		5,077	-0,077	1,406E+05	1,188E-04	4,90E-04		5,228	-0,228	1,406E+05	3,515E-04	4,90E-04
5,272	-0,272	1,460E+05	4,203E-04	0,00E+00		5,087	-0,087	1,460E+05	1,343E-04	0,00E+00		5,228	-0,228	1,460E+05	3,515E-04	0,00E+00
5,284	-0,284	1,623E+05	4,388E-04	-4,09E-04		5,094	-0,094	1,623E+05	1,451E-04	-4,09E-04		5,228	-0,228	1,623E+05	3,515E-04	-4,09E-04
5,319	-0,319	1,893E+05	4,929E-04	-8,17E-04		5,116	-0,116	1,893E+05	1,790E-04	-8,17E-04		5,231	-0,231	1,893E+05	3,561E-04	-8,17E-04
5,470	-0,470	2,650E+05	7,263E-04	-1,23E-03		5,233	-0,233	2,650E+05	3,597E-04	-1,23E-03		5,255	-0,255	2,650E+05	3,931E-04	-1,23E-03
5,685	-0,685	3,516E+05	1,059E-03	-1,63E-03		5,348	-0,348	3,516E+05	5,372E-04	-1,63E-03		5,302	-0,302	3,516E+05	4,656E-04	-1,63E-03
6,015	-1,015	5,247E+05	1,569E-03	-2,04E-03		5,531	-0,531	5,247E+05	8,198E-04	-2,04E-03		5,375	-0,375	5,247E+05	5,782E-04	-2,04E-03
6,354	-1,354	6,815E+05	2,094E-03	-2,45E-03		5,722	-0,722	6,815E+05	1,115E-03	-2,45E-03		5,451	-0,451	6,815E+05	6,954E-04	-2,45E-03
6,686	-1,686	8,276E+05	2,608E-03	-2,78E-03		5,927	-0,927	8,276E+05	1,432E-03	-2,78E-03		5,526	-0,526	8,276E+05	8,111E-04	-2,78E-03
7,016	-2,016	9,790E+05	3,119E-03	-3,10E-03		6,137	-1,137	9,790E+05	1,756E-03	-3,10E-03		5,592	-0,592	9,790E+05	9,129E-04	-3,10E-03
7,336	-2,336	1,163E+06	3,616E-03	-3,51E-03		6,359	-1,359	1,163E+06	2,100E-03	-3,51E-03		5,656	-0,656	1,163E+06	1,012E-03	-3,51E-03
7,663	-2,663	1,320E+06	4,123E-03	-3,84E-03		6,606	-1,606	1,320E+06	2,482E-03	-3,84E-03		5,726	-0,726	1,320E+06	1,120E-03	-3,84E-03
7,973	-2,973	1,455E+06	4,604E-03	-4,17E-03		6,850	-1,850	1,455E+06	2,859E-03	-4,17E-03		5,795	-0,795	1,455E+06	1,226E-03	-4,17E-03
7,734	-2,734	9,790E+05	4,233E-03	-3,84E-03		6,674	-1,674	9,790E+05	2,587E-03	-3,84E-03		5,702	-0,702	9,790E+05	1,083E-03	-3,84E-03
7,245	-2,245	8,005E+05	3,474E-03	-3,51E-03		6,303	-1,303	8,005E+05	2,013E-03	-3,51E-03		5,543	-0,543	8,005E+05	8,373E-04	-3,51E-03
6,779	-1,779	6,383E+05	2,752E-03	-3,10E-03		5,961	-0,961	6,383E+05	1,484E-03	-3,10E-03		5,411	-0,411	6,383E+05	6,337E-04	-3,10E-03
6,344	-1,344	4,111E+05	2,078E-03	-2,70E-03		5,661	-0,661	4,111E+05	1,021E-03	-2,70E-03		5,302	-0,302	4,111E+05	4,656E-04	-2,70E-03
5,951	-0,951	2,380E+05	1,470E-03	-2,29E-03		5,409	-0,409	2,380E+05	6,314E-04	-2,29E-03		5,211	-0,211	2,380E+05	3,253E-04	-2,29E-03
5,585	-0,585	5,409E+04	9,041E-04	-1,88E-03		5,192	-0,192	5,409E+04	2,964E-04	-1,88E-03		5,143	-0,143	5,409E+04	2,204E-04	-1,88E-03
5,424	-0,424	-5,409E+03	6,552E-04	-1,47E-03		5,126	-0,126	-5,409E+03	1,945E-04	-1,47E-03		5,128	-0,128	-5,409E+03	1,973E-04	-1,47E-03

Çizelge 7.66. AD9-a-ÇBB numunesinde dış yüzeye çevresel olarak dizilmiş G1-G2-G3 geyçlerine ait deneysel değerler

AD9-a	z ekseni		ds mm	θ	G (Pa)
Gauge 1	65 mm	θ_1	0	0	2,49E+08
Gauge 2	65 mm	θ_2	36,65	120	2,24E+08
Gauge 3	65 mm	θ_3	73,30	240	3,56E+08

GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°

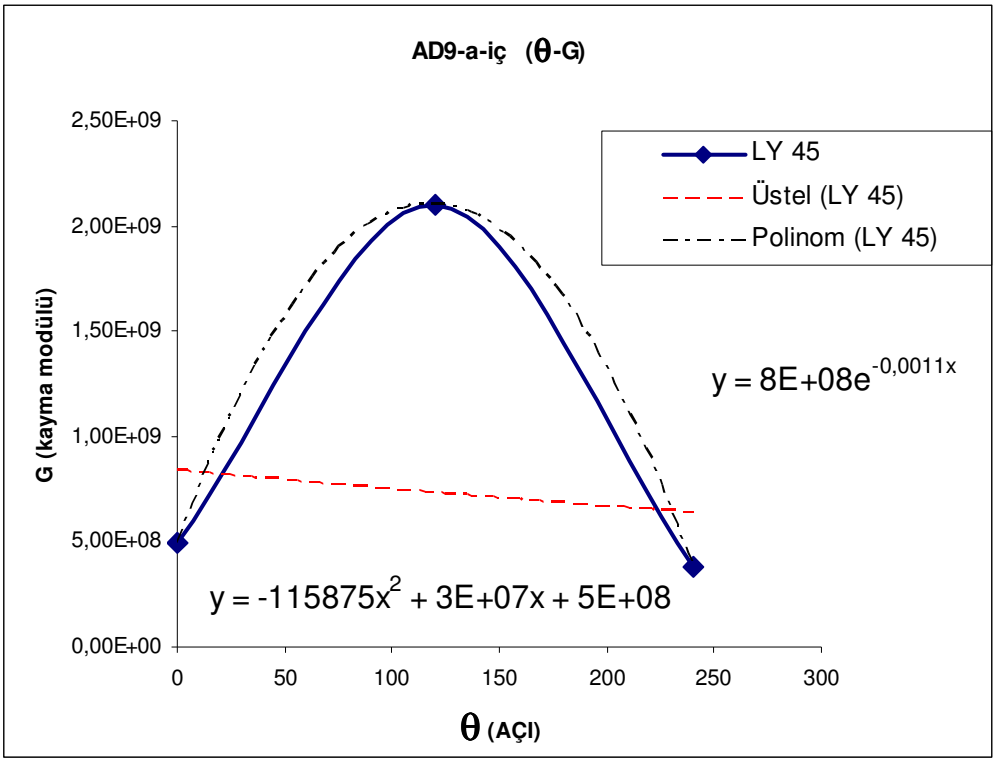


Şekil 7.76. AD9-a-ÇBB numunesi üzerinde bulunan G1-G2-G3 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği

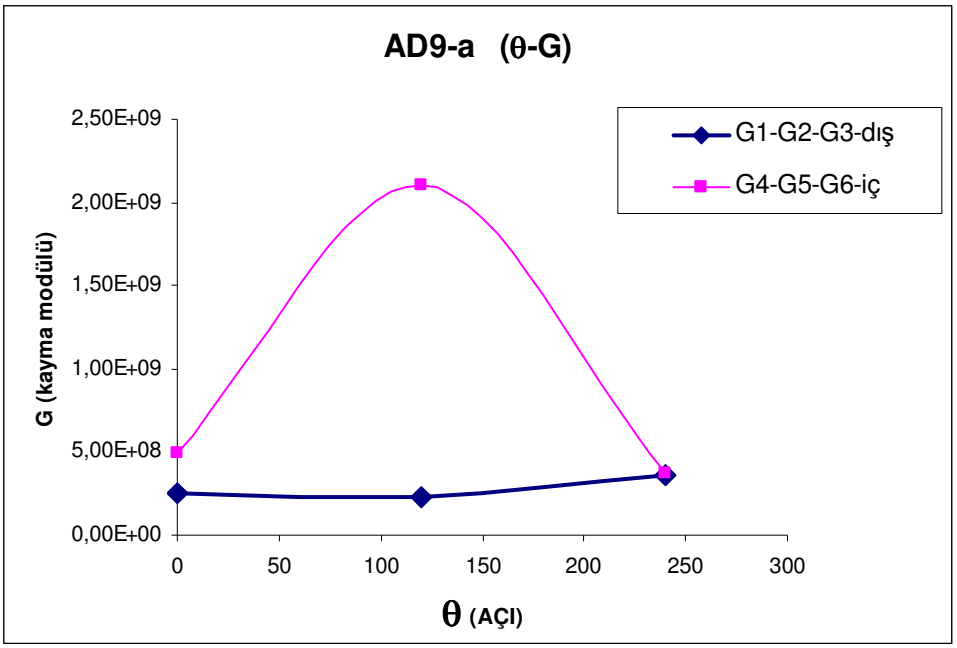
Çizelge 7.67. AD9-a-ÇBB numunesinde iç yüzeye çevresel olarak dizilmiş G4-G5-G6 geyçlerine ait deneysel değerler

AD9-a	z ekseni		ds mm	θ	G (Pa)
Gauge 4-iç	65 mm	θ_1	0	0	4,94E+08
Gauge 5-iç	65 mm	θ_2	36,65	120	2,10E+09
Gauge 6-iç	65 mm	θ_3	73,30	240	3,76E+08

GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°



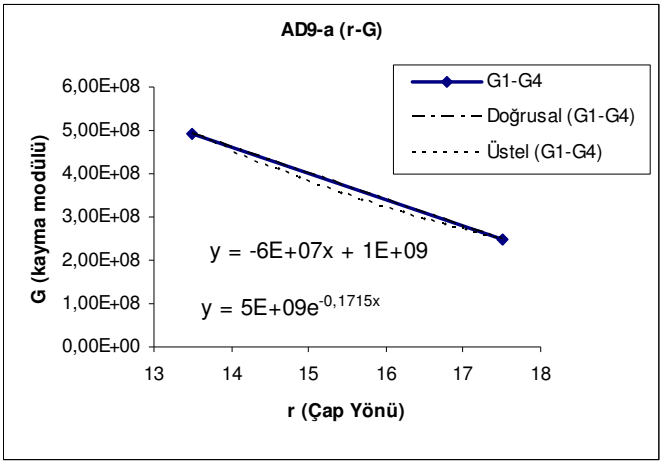
Şekil 7.77. AD9-a-ÇBB numunesi iç yüzeyinde bulunan G4-G5-G6 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği

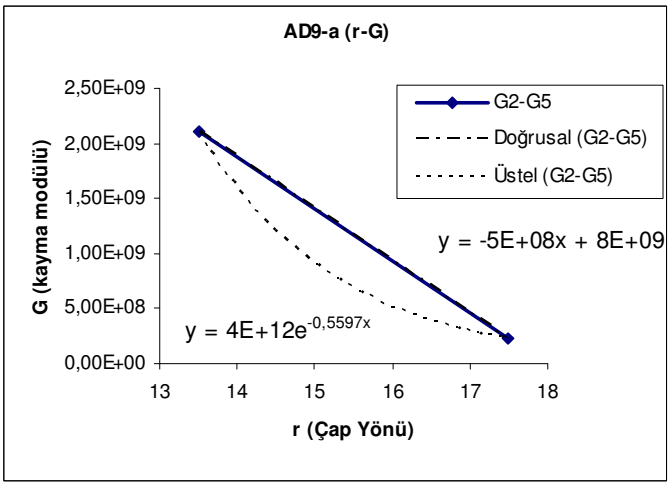


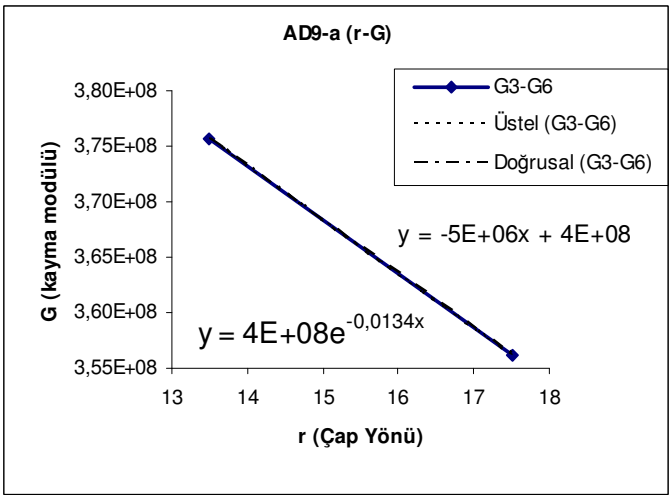
Şekil 7.78. AD9-a-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylerinde bulunan geyçlere ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği

Çizelge 7.68. AD9-a-ÇBB numunesinde aynı yarıçap doğrultusunda dış ve iç yüzeylere ait belirtilen koordinat noktalarından alınan γ-kayma genlemeleri dağılım çizelgeleri

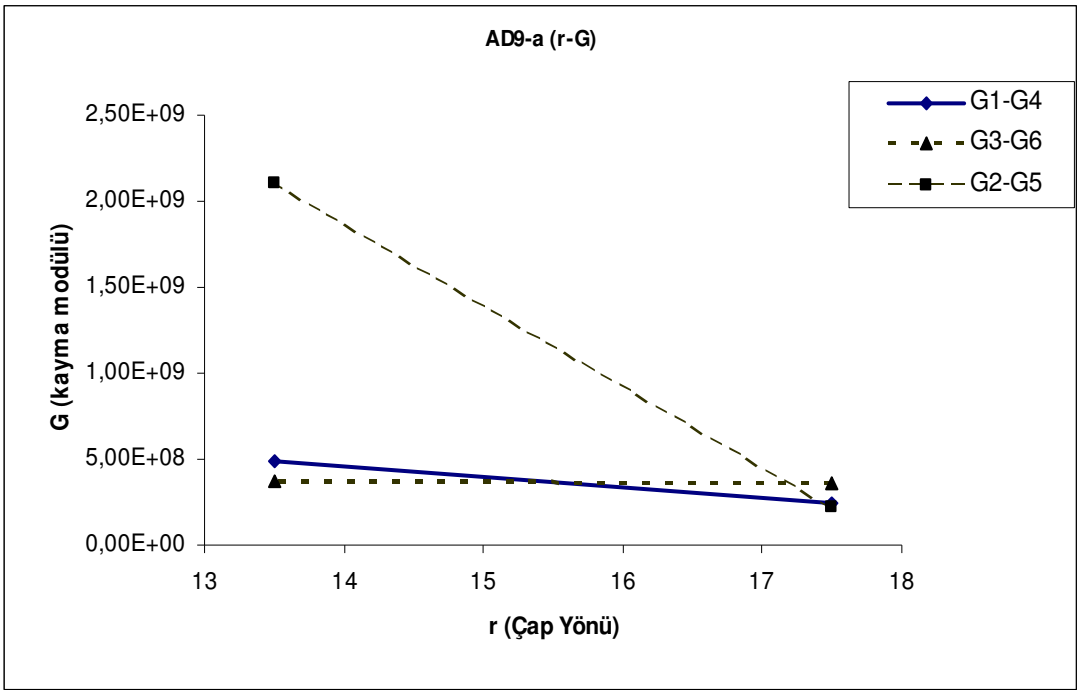
	r ekseni mm	G		
Gauge 1	17,5	2,49E+08	$r_{iç}/r_{dış}$	0,7714
Gauge 4-iç	13,5	4,94E+08	$\gamma_{iç}/\gamma_{dış}$	0,5121
GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°				
	r ekseni mm	G		
Gauge 2	17,5	2,24E+08	$r_{iç}/r_{dış}$	0,7714
Gauge 5-iç	13,5	2,10E+09	$\gamma_{iç}/\gamma_{dış}$	0,0859
GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°				
	r ekseni mm	G		
Gauge 3	17,5	3,56E+08	$r_{iç}/r_{dış}$	0,7714
Gauge 6-iç	13,5	3,76E+08	$\gamma_{iç}/\gamma_{dış}$	0,9533
GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°				





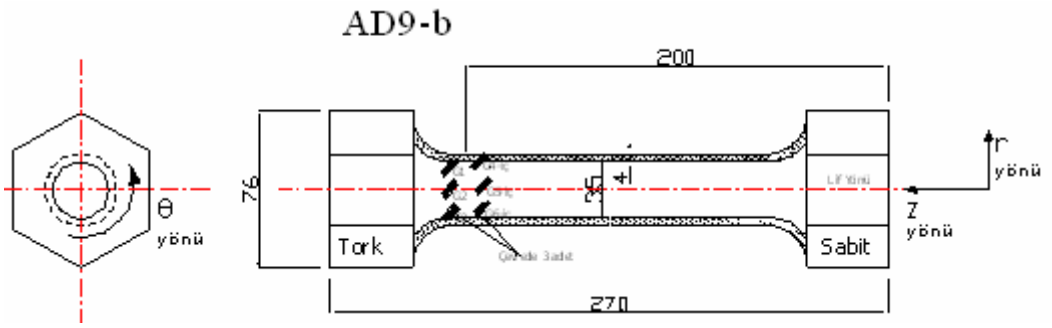


Şekil 7.79. AD9-a-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusundaki grafik ve grafiğin yaklaşık denklem ifadeleri



Şekil 7.80. AD9-a-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusuna bağlı grafiklerin toplamı

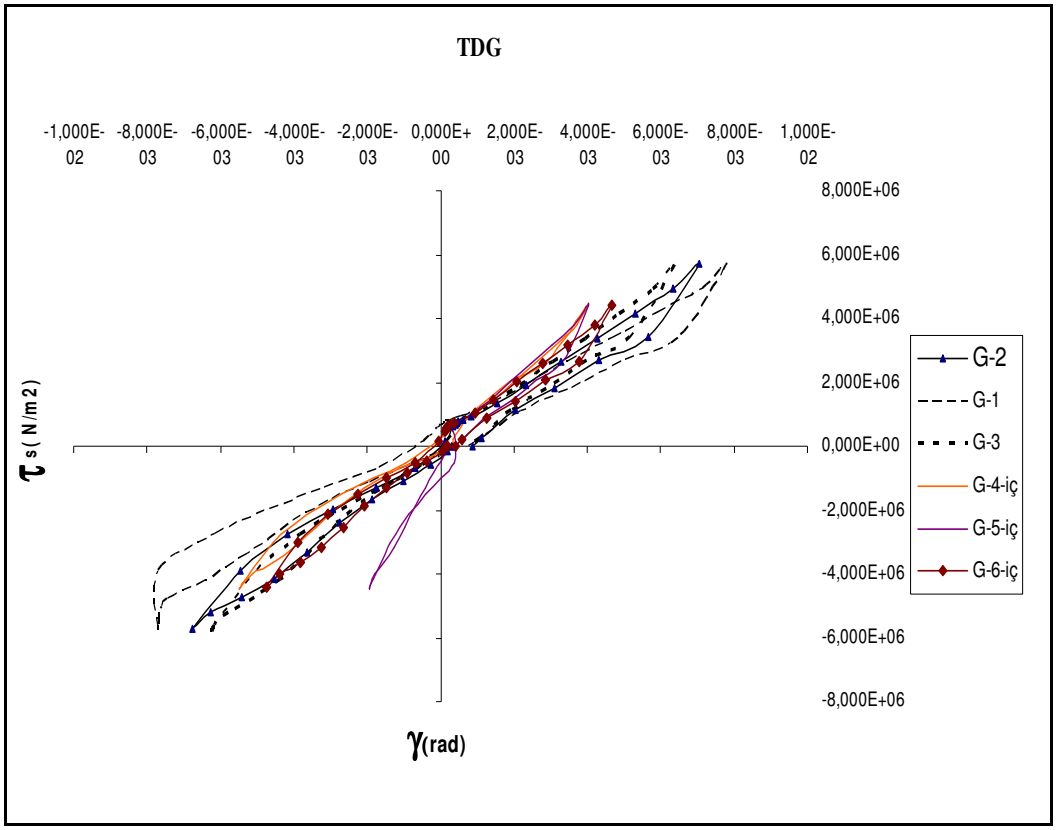
AD9-b numaralı deney sonuçları



Şekil 7.81. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait şekilsel gösterim

Çizelge 7.69. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45^0 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlere ait TDG cihazından elde edilen verilerden hesaplanan ortalama G değerleri

GEYÇ NO	TDG G(Pa)	Z (mm)	LİF YÖNÜ
Gs=	3,64E+08		
G1=	4,93E+08	200	LY 45°
G2=	5,99E+08	200	LY 45°
G3=	6,58E+08	200	LY 45°
G4-iç=	7,46E+08	200	LY 45°
G5-iç=	2,00E+09	200	LY 45°
G6-iç=	8,70E+08	200	LY 45°



Şekil 7.82. AD9-b-ÇBB numunesi üzerinde bulunan geyçlere ait TDG cihazından elde edilen τ_s - γ grafiği

Çizelge 7.70. İçi boş çam numune üzerinde lif yönü ile 45 açı yapacak şekilde yerleştirilmiş 3 iç – 3 dış geyçlerin eğim deklemlerine ait çizelgeler

GEYÇ NO	EĞİM DENKLEMİ TDG	m	EĞİM AÇISI (Derece)
G1	y = 6E+08x + 226751	0,6	31,0
G2	y = 8E+08x - 120422	0,8	38,7
G3	y = 8E+08x - 78995	0,8	38,7
G4-iç	y = 8E+08x + 319021	0,8	38,7
G5-iç	y = 1E+09x - 741853	1	45,0
G6-iç	y = 9E+08x + 39382	0,9	42,0

Çizelge 7.71. AD9-b-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

TDG CODA Hızlı Veri Toplayıcı

Çıktı Dosyası				DIŞ ÇAP (Dd)	35,00	mm	counter	belirsiz				Gs=	3,64E+08		Gg4-iç=	7,46E+08
Deney Tarihi	30.10.2005			YARI ÇAP=C	17,50	mm	set speed	3,8				Gg1=	4,93E+08		Gg5-iç=	2,00E+09
Aygıt Geçidi 1				J	77886,37	mm4	kayıt aralığı	10	sn			Gg2=	5,99E+08		Gg6-iç=	8,70E+08
DENEY NO	AD9-a-ÇBB-6G			L	270,00	mm	NEM	6%				Gg3=	6,58E+08			
NUMUNE	ÇAM	BOŞ		İÇ ÇAP (Di)	27	mm	AÇI									
GAUGE ADEDİ	6									KANAL 2	gauge		200 mm			
cins	çam									AÇI	LY 45	G_{G1}=	4,93E+08			

								Gs=	-3,64E+08					CİHAZ	FORMÜL		
VERİ SAYISI	Counter	DERECE	ϕ (rad)	Kayıt aralığı (sn)	TORK (NM)	TORK (Nmm)	τ_S - Kayma gerl (N/M2)	γ_S (rad)		G1 (volt)	VOLT farkı	τ_{G1} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G1}	γ_{S-G1} (rad)		G2 (volt)
1	0	0	0,00E+00	0	0,00	0	0,000E+00	0,000E+00		5,14	-0,138	0,0000E+00	2,130E-04	0,00E+00		5,192
2	5	1,5	2,62E-02	10	-0,10	-100	-2,247E+04	1,697E-03		5,13	-0,133	-1,6643E+04	2,053E-04	1,26E-03		5,194
3	10	3	5,24E-02	20	-0,80	-800	-1,797E+05	3,394E-03		4,97	0,031	-1,3315E+05	-4,784E-05	2,51E-03		5,126
4	15	4,5	7,85E-02	30	-2,60	-2600	-5,842E+05	5,091E-03		4,41	0,590	-4,3273E+05	-9,101E-04	3,77E-03		4,821
5	20	6	1,05E-01	40	-4,80	-4800	-1,078E+06	6,787E-03		3,72	1,283	-7,9888E+05	-1,978E-03	5,03E-03		4,347
6	25	7,5	1,31E-01	50	-7,50	-7500	-1,685E+06	8,484E-03		3,01	1,994	-1,2483E+06	-3,072E-03	6,28E-03		3,788
7	30	9	1,57E-01	60	-10,70	-10700	-2,404E+06	1,018E-02		2,29	2,709	-1,7808E+06	-4,172E-03	7,54E-03		3,214
8	35	10,5	1,83E-01	70	-14,80	-14800	-3,325E+06	1,188E-02		1,56	3,437	-2,4632E+06	-5,290E-03	8,80E-03		2,625
9	39	11,7	2,04E-01	80	-18,40	-18400	-4,134E+06	1,324E-02		0,84	4,160	-3,0624E+06	-6,399E-03	9,80E-03		2,042
10	43	12,9	2,25E-01	90	-21,10	-21100	-4,741E+06	1,459E-02		0,14	4,861	-3,5118E+06	-7,473E-03	1,08E-02		1,475
11	47	14,1	2,46E-01	100	-23,10	-23100	-5,190E+06	1,595E-02		0,00	5,000	-3,8446E+06	-7,685E-03	1,18E-02		0,921
12	51	15,3	2,67E-01	110	-25,50	-25500	-5,730E+06	1,731E-02	-1,731E-02	0,00	5,000	-4,2441E+06	-7,685E-03	1,28E-02		0,589
13	48	14,4	2,51E-01	120	-17,30	-17300	-3,887E+06	1,629E-02		0,00	5,000	-2,8793E+06	-7,685E-03	1,21E-02		1,443
14	43	12,9	2,25E-01	130	-12,20	-12200	-2,741E+06	1,459E-02		0,98	4,016	-2,0305E+06	-6,178E-03	1,08E-02		2,286
15	38	11,4	1,99E-01	140	-8,70	-8700	-1,955E+06	1,290E-02		1,96	3,037	-1,4480E+06	-4,675E-03	9,55E-03		3,092
16	32	9,6	1,68E-01	150	-5,80	-5800	-1,303E+06	1,086E-02		2,95	2,053	-9,6532E+05	-3,163E-03	8,04E-03		3,856
17	27	8,1	1,41E-01	160	-2,90	-2900	-6,516E+05	9,163E-03		3,90	1,100	-4,8266E+05	-1,696E-03	6,79E-03		4,557
18	22	6,6	1,15E-01	170	0,80	800	1,797E+05	7,466E-03		4,72	0,277	1,3315E+05	-4,274E-04	5,53E-03		5,087
19	16	4,8	8,38E-02	180	2,70	2700	6,067E+05	5,430E-03		4,98	0,016	4,4937E+05	-2,469E-05	4,02E-03		5,226
20	10	3	5,24E-02	190	3,00	3000	6,741E+05	3,394E-03		5,03	-0,028	4,9930E+05	4,321E-05	2,51E-03		5,255
21	5	1,5	2,62E-02	200	3,30	3300	7,415E+05	1,697E-03		5,07	-0,070	5,4923E+05	1,080E-04	1,26E-03		5,282
22	0	0	0,00E+00	210	3,50	3500	7,864E+05	0,000E+00		5,096	-0,096	5,8252E+05	1,482E-04	0,00E+00		5,309
23	-6	-1,8	-3,14E-02	220	3,80	3800	8,538E+05	-2,036E-03		5,201	-0,201	6,3245E+05	3,103E-04	-1,51E-03		5,402
24	-11	-3,3	-5,76E-02	230	4,20	4200	9,437E+05	-3,733E-03		5,346	-0,346	6,9902E+05	5,341E-04	-2,77E-03		5,551
25	-17	-5,1	-8,90E-02	240	6,00	6000	1,348E+06	-5,769E-03		5,9	-0,900	9,9861E+05	1,390E-03	-4,27E-03		6,010
26	-22	-6,6	-1,15E-01	250	8,50	8500	1,910E+06	-7,466E-03		6,515	-1,515	1,4147E+06	2,341E-03	-5,53E-03		6,520
27	-26	-7,8	-1,36E-01	260	11,70	11700	2,629E+06	-8,824E-03		7,245	-2,245	1,9473E+06	3,471E-03	-6,54E-03		7,136
28	-31	-9,3	-1,62E-01	270	15,00	15000	3,370E+06	-1,052E-02		8,015	-3,015	2,4965E+06	4,664E-03	-7,79E-03		7,780
29	-36	-10,8	-1,88E-01	280	18,40	18400	4,134E+06	-1,222E-02		8,808	-3,808	3,0624E+06	5,895E-03	-9,05E-03		8,440
30	-40	-12	-2,09E-01	290	22,00	22000	4,943E+06	-1,357E-02		9,617	-4,617	3,6616E+06	7,152E-03	-1,01E-02		9,118
31	-45	-13,5	-2,36E-01	300	25,50	25500	5,730E+06	-1,527E-02	1,527E-02	10	-5,000	4,2441E+06	7,748E-03	-1,13E-02		9,558
32	-40	-12	-2,09E-01	310	15,20	15200	3,415E+06	-1,357E-02		9,167	-4,167	2,5298E+06	6,453E-03	-1,01E-02		8,672
33	-36	-10,8	-1,88E-01	320	12,00	12000	2,696E+06	-1,222E-02		8,173	-3,173	1,9972E+06	4,910E-03	-9,05E-03		7,805
34	-31	-9,3	-1,62E-01	330	8,10	8100	1,820E+06	-1,052E-02		7,25	-2,250	1,3481E+06	3,479E-03	-7,79E-03		7,021
35	-26	-7,8	-1,36E-01	340	5,10	5100	1,146E+06	-8,824E-03		6,405	-1,405	8,4881E+05	2,171E-03	-6,54E-03		6,322
36	-20	-6	-1,05E-01	350	1,20	1200	2,696E+05	-6,787E-03		5,658	-0,658	1,9972E+05	1,016E-03	-5,03E-03		5,731
37	-15	-4,5	-7,85E-02	360	-0,10	-100	-2,247E+04	-5,091E-03		5,441	-0,441	-1,6643E+04	6,808E-04	-3,77E-03		5,573

Çizelge 7.71. (Devam) AD9-b-ÇBB numunesine ait deneysel değerlerin toplanarak hesaplandığı veri çizelgesi

KANAL 4	gauge	200 mm		
AÇI	LY 45	G_{g3}=	6,58E+08	
		CİHAZ	FORMÜL	
G3 (volt)	VOLT farkı	τ_{G3} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G3}	γ_{S-G3} (rad)
5,140	-0,140	0,000E+00	2,163E-04	0,00E+00
5,143	-0,143	-1,664E+04	2,209E-04	1,26E-03
5,035	-0,035	-1,331E+05	5,407E-05	2,51E-03
4,642	0,358	-4,327E+05	-5,529E-04	3,77E-03
4,161	0,839	-7,989E+05	-1,295E-03	5,03E-03
3,658	1,342	-1,248E+06	-2,071E-03	6,28E-03
3,155	1,845	-1,781E+06	-2,846E-03	7,54E-03
2,657	2,343	-2,463E+06	-3,613E-03	8,80E-03
2,161	2,839	-3,062E+06	-4,376E-03	9,80E-03
1,685	3,315	-3,512E+06	-5,107E-03	1,08E-02
1,219	3,781	-3,845E+06	-5,823E-03	1,18E-02
0,960	4,040	-4,244E+06	-6,221E-03	1,28E-02
1,761	3,239	-2,879E+06	-4,991E-03	1,21E-02
2,532	2,468	-2,030E+06	-3,805E-03	1,08E-02
3,272	1,728	-1,448E+06	-2,666E-03	9,55E-03
3,971	1,029	-9,653E+05	-1,588E-03	8,04E-03
4,608	0,392	-4,827E+05	-6,054E-04	6,79E-03
5,136	-0,136	1,331E+05	2,101E-04	5,53E-03
5,270	-0,270	4,494E+05	4,172E-04	4,02E-03
5,287	-0,287	4,993E+05	4,435E-04	2,51E-03
5,306	-0,306	5,492E+05	4,728E-04	1,26E-03
5,326	-0,326	5,825E+05	5,037E-04	0,00E+00
5,387	-0,387	6,325E+05	5,980E-04	-1,51E-03
5,499	-0,499	6,990E+05	7,712E-04	-2,77E-03
5,939	-0,939	9,986E+05	1,452E-03	-4,27E-03
6,422	-1,422	1,415E+06	2,199E-03	-5,53E-03
6,984	-1,984	1,947E+06	3,070E-03	-6,54E-03
7,565	-2,565	2,497E+06	3,971E-03	-7,79E-03
8,151	-3,151	3,062E+06	4,880E-03	-9,05E-03
8,737	-3,737	3,662E+06	5,790E-03	-1,01E-02
9,118	-4,118	4,244E+06	6,383E-03	-1,13E-02
8,322	-3,322	2,530E+06	5,146E-03	-1,01E-02
7,553	-2,553	1,997E+06	3,952E-03	-9,05E-03
6,857	-1,857	1,348E+06	2,873E-03	-7,79E-03
6,230	-1,230	8,488E+05	1,902E-03	-6,54E-03
5,668	-0,668	1,997E+05	1,032E-03	-5,03E-03
5,497	-0,497	-1,664E+04	7,681E-04	-3,77E-03

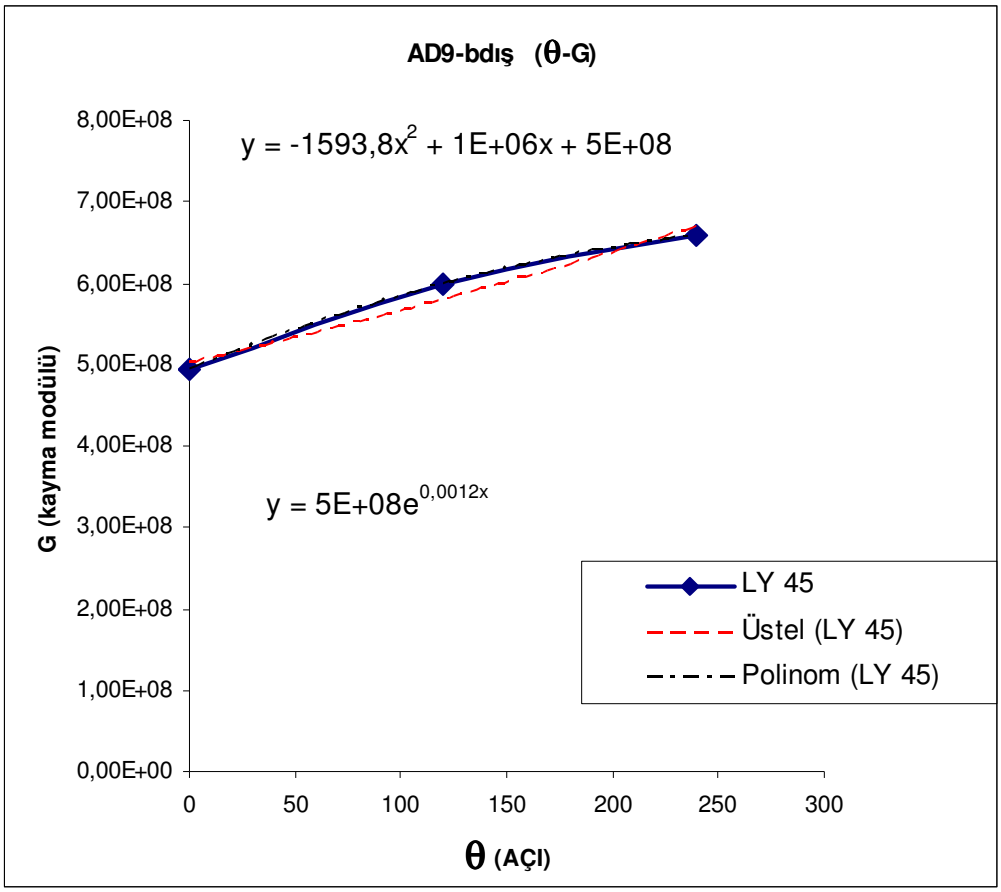
KANAL 5	gauge	200 mm		
AÇI	LY 45	$G_{g4\text{-}iç}$=	7,46E+08	
		CİHAZ	FORMÜL	
G4 (volt)	VOLT farkı	τ_{G4} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G4}	γ_{S-G4} (rad)
5,116	-0,116	0,000E+00	1,790E-04	0,00E+00
5,111	-0,111	-1,664E+04	1,713E-04	1,26E-03
5,009	-0,009	-1,331E+05	1,389E-05	2,51E-03
4,618	0,382	-4,327E+05	-5,894E-04	3,77E-03
4,120	0,880	-7,989E+05	-1,357E-03	5,03E-03
3,648	1,352	-1,248E+06	-2,084E-03	6,28E-03
3,206	1,794	-1,781E+06	-2,765E-03	7,54E-03
2,794	2,206	-2,463E+06	-3,398E-03	8,80E-03
2,400	2,600	-3,062E+06	-4,004E-03	9,80E-03
2,024	2,976	-3,512E+06	-4,582E-03	1,08E-02
1,663	3,337	-3,845E+06	-5,136E-03	1,18E-02
1,455	3,545	-4,244E+06	-5,455E-03	1,28E-02
2,037	2,963	-2,879E+06	-4,562E-03	1,21E-02
2,635	2,365	-2,030E+06	-3,643E-03	1,08E-02
3,231	1,769	-1,448E+06	-2,726E-03	9,55E-03
3,822	1,178	-9,653E+05	-1,816E-03	8,04E-03
4,396	0,604	-4,827E+05	-9,317E-04	6,79E-03
4,952	0,048	1,331E+05	-7,408E-05	5,53E-03
5,140	-0,140	4,494E+05	2,161E-04	4,02E-03
5,167	-0,167	4,993E+05	2,578E-04	2,51E-03
5,192	-0,192	5,492E+05	2,964E-04	1,26E-03
5,206	-0,206	5,825E+05	3,180E-04	0,00E+00
5,277	-0,277	6,325E+05	4,276E-04	-1,51E-03
5,377	-0,377	6,990E+05	5,820E-04	-2,77E-03
5,639	-0,639	9,986E+05	9,867E-04	-4,27E-03
5,934	-0,934	1,415E+06	1,443E-03	-5,53E-03
6,288	-1,288	1,947E+06	1,990E-03	-6,54E-03
6,662	-1,662	2,497E+06	2,568E-03	-7,79E-03
7,028	-2,028	3,062E+06	3,135E-03	-9,05E-03
7,397	-2,397	3,662E+06	3,706E-03	-1,01E-02
7,585	-2,585	4,244E+06	3,998E-03	-1,13E-02
6,882	-1,882	2,530E+06	2,909E-03	-1,01E-02
6,261	-1,261	1,997E+06	1,948E-03	-9,05E-03
5,795	-0,795	1,348E+06	1,228E-03	-7,79E-03
5,463	-0,463	8,488E+05	7,148E-04	-6,54E-03
5,209	-0,209	1,997E+05	3,226E-04	-5,03E-03
5,226	-0,226	-1,664E+04	3,488E-04	-3,77E-03

KANAL 6	gauge	200 mm		
AÇI	LY 45	$G_{g5\text{-}iç}$=	2,00E+09	5
		CİHAZ	FORMÜL	
G5 (volt)	VOLT farkı	τ_{G5} - kayma gerl (N/M2)	γ_{G5}	γ_{S-G5} (rad)
5,092	-0,092	0,000E+00	1,418E-04	0,00E+00
5,096	-0,096	-1,664E+04	1,480E-04	1,26E-03
5,087	-0,087	-1,331E+05	1,341E-04	2,51E-03
5,006	-0,006	-4,327E+05	9,248E-06	3,77E-03
4,884	0,116	-7,989E+05	-1,788E-04	5,03E-03
4,725	0,275	-1,248E+06	-4,238E-04	6,28E-03
4,557	0,443	-1,781E+06	-6,826E-04	7,54E-03
4,369	0,631	-2,463E+06	-9,721E-04	8,80E-03
4,181	0,819	-3,062E+06	-1,262E-03	9,80E-03
4,002	0,998	-3,512E+06	-1,537E-03	1,08E-02
3,827	1,173	-3,845E+06	-1,806E-03	1,18E-02
3,739	1,261	-4,244E+06	-1,942E-03	1,28E-02
4,103	0,897	-2,879E+06	-1,382E-03	1,21E-02
4,437	0,563	-2,030E+06	-8,674E-04	1,08E-02
4,745	0,255	-1,448E+06	-3,930E-04	9,55E-03
5,023	-0,023	-9,653E+05	3,545E-05	8,04E-03
5,233	-0,233	-4,827E+05	3,592E-04	6,79E-03
5,267	-0,267	1,331E+05	4,116E-04	5,53E-03
5,216	-0,216	4,494E+05	3,330E-04	4,02E-03
5,204	-0,204	4,993E+05	3,145E-04	2,51E-03
5,197	-0,197	5,492E+05	3,037E-04	1,26E-03
5,194	-0,194	5,825E+05	2,991E-04	0,00E+00
5,238	-0,238	6,325E+05	3,669E-04	-1,51E-03
5,316	-0,316	6,990E+05	4,872E-04	-2,77E-03
5,587	-0,587	9,986E+05	9,052E-04	-4,27E-03
5,890	-0,890	1,415E+06	1,373E-03	-5,53E-03
6,239	-1,239	1,947E+06	1,912E-03	-6,54E-03
6,598	-1,598	2,497E+06	2,466E-03	-7,79E-03
6,972	-1,972	3,062E+06	3,044E-03	-9,05E-03
7,358	-2,358	3,662E+06	3,642E-03	-1,01E-02
7,617	-2,617	4,244E+06	4,042E-03	-1,13E-02
7,150	-2,150	2,530E+06	3,320E-03	-1,01E-02
6,686	-1,686	1,997E+06	2,602E-03	-9,05E-03
6,225	-1,225	1,348E+06	1,890E-03	-7,79E-03
5,780	-0,780	8,488E+05	1,203E-03	-6,54E-03
5,394	-0,394	1,997E+05	6,075E-04	-5,03E-03
5,241	-0,241	-1,664E+04	3,715E-04	-3,77E-03

Çizelge 7.72. AD9-b-ÇBB numunesinde dış yüzeye çevresel olarak dizilmiş G1-G2-G3 geyçlerine ait deneysel değerler

AD9-b	z ekseni		ds mm	θ	G (Pa)
Gauge 1	200 mm	θ_1	0	0	4,93E+08
Gauge 2	200 mm	θ_2	36,65	120	5,99E+08
Gauge 3	200 mm	θ_3	73,30	240	6,58E+08

GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°

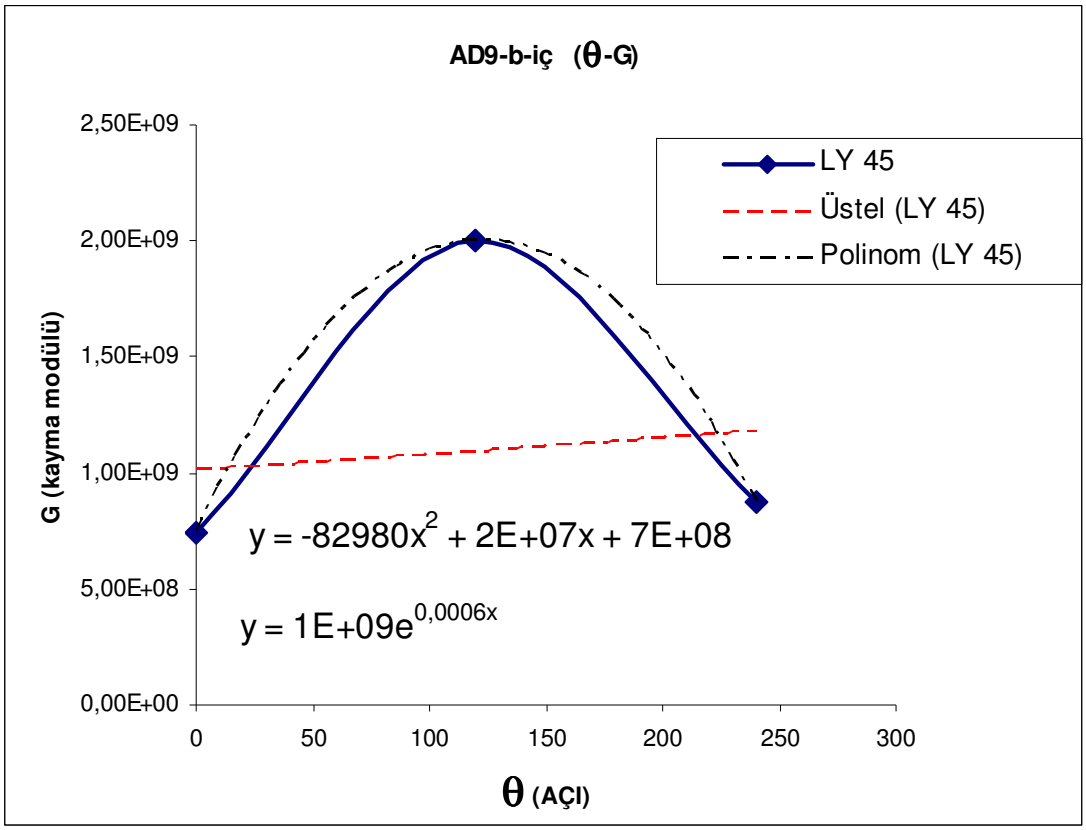


Şekil 7.83. AD9-b-ÇBB numunesi üzerinde bulunan G1-G2-G3 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği

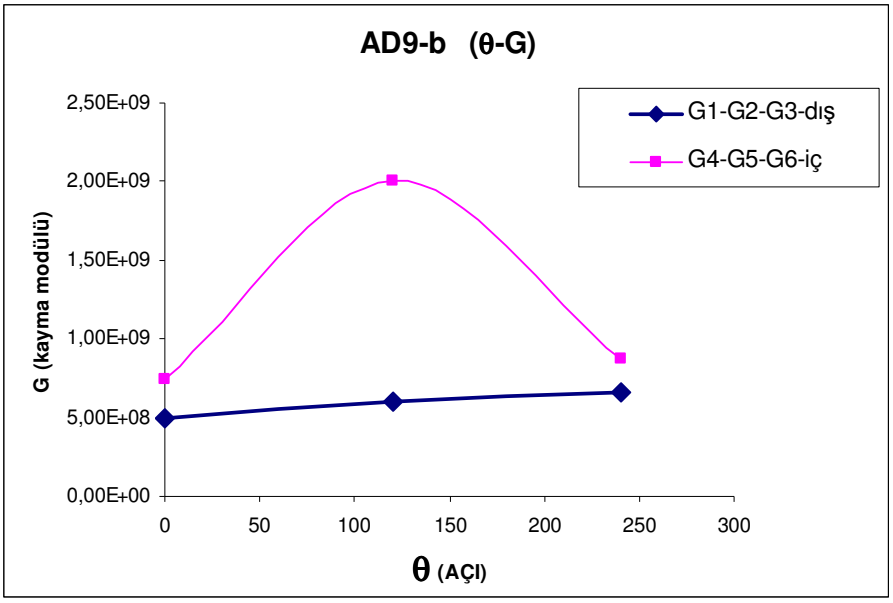
Çizelge 7.73. AD9-b-ÇBB numunesinde iç yüzeye çevresel olarak dizilmiş G4-G5-G6 geyçlerine ait deneysel değerler

AD9-b	z ekseni		ds mm	θ	G (Pa)
Gauge 4-iç	200 mm	θ_1	0	0	7,46E+08
Gauge 5-iç	200 mm	θ_2	36,65	120	2,00E+09
Gauge 6-iç	200 mm	θ_3	73,30	240	8,70E+08

GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°



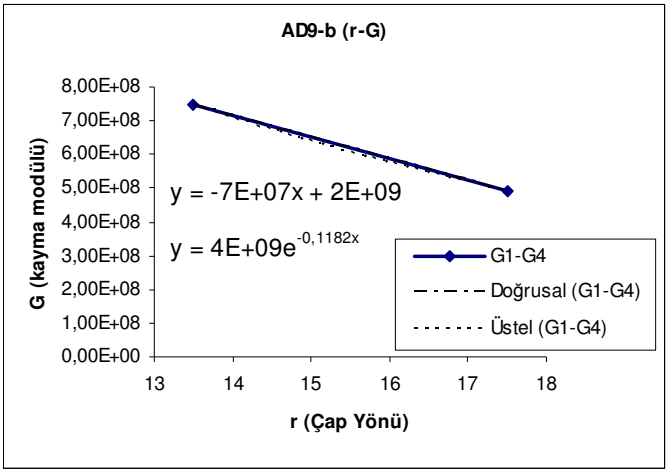
Şekil 7.84. AD9-b-ÇBB numunesi iç yüzeyinde bulunan G4-G5-G6 geyçlerine ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği

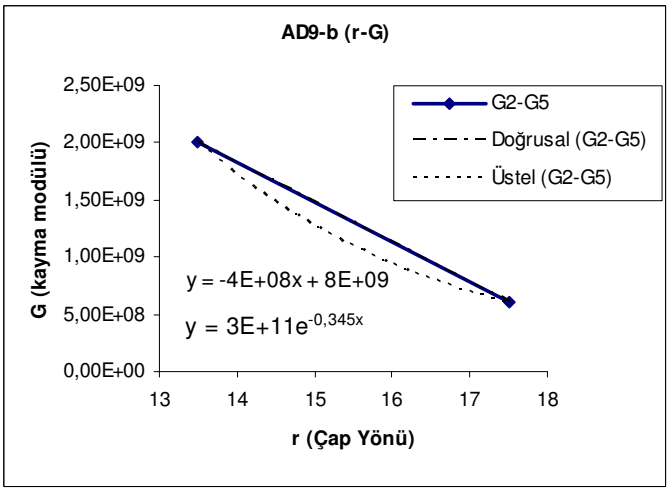


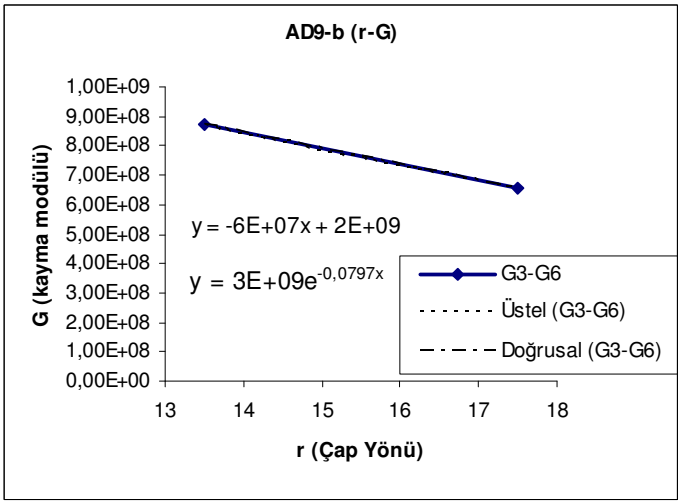
Şekil 7.85. AD9-b-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylerinde bulunan geyçlere ait G-kayma modülünün θ– koordinat değerine bağlı değişim grafiği

Çizelge 7.74. AD9-b-ÇBB numunesinde aynı yarıçap doğrultusunda dış ve iç yüzeylere ait belirtilen koordinat noktalarından alınan γ-kayma genlemeleri dağılım çizelgeleri

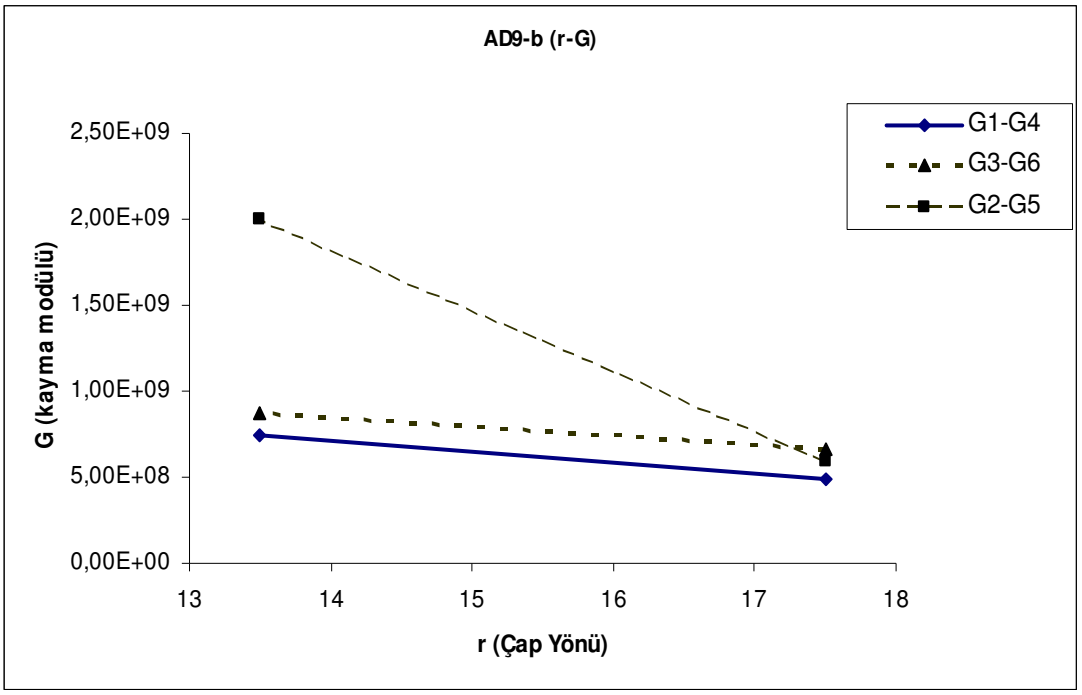
	r ekseni mm	G		
Gauge 1	17,5	4,93E+08	$r_{iç}/r_{dış}$	0,7714
Gauge 4-iç	13,5	7,46E+08	$\gamma_{iç}/\gamma_{dış}$	0,7098
GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°				
	r ekseni mm	G		
Gauge 2	17,5	5,99E+08	$r_{iç}/r_{dış}$	0,7714
Gauge 5-iç	13,5	2,00E+09	$\gamma_{iç}/\gamma_{dış}$	0,2871
GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°				
	r ekseni mm	G		
Gauge 3	17,5	6,58E+08	$r_{iç}/r_{dış}$	0,7714
Gauge 6-iç	13,5	8,70E+08	$\gamma_{iç}/\gamma_{dış}$	0,7602
GEYÇLER LİF YÖNÜNE 45°				







Şekil 7.86. AD9-b-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusundaki grafik ve grafiğin yaklaşık denklem ifadeleri



Şekil 7.87. AD9-b-ÇBB numunesinde iç ve dış yüzeylere belirli θ aralıklarıyla yapıştırılmış olan geyçlerden alınan bilginin r doğrultusuna bağlı grafiklerin toplamı

8. SONUÇLAR

Burulma deneyleri ile doğal kompozit olan ağaç numunelerin G-kayma modülünü bulmak için iki çeşit data toplama cihazı kullanılarak Tork'a (T) karşı voltaj değişim değerleri hafızalarda toplanmıştır.

Toplanan bu değerler hazırlanan otomatik hesaplamalı Excel dosyalarında yerlerine konarak ϕ- birim dönme açısı, γ- birim deformasyon değeri, τ- kayma gerilmesi ve J- kutupsal atalet momenti hesaplanmıştır. Ayrıca numune üzerine yapıştırılan geyç sayısı kadar G-kayma modülü hesaplanarak tablonun üst kısmında görüntülenmektedir. Veri toplama Tablosu yedi kanal için programlanmıştır. Tablonun kullanımı ile ilgili bilgiler bölüm 7.2.'de detaylı olarak verilmiştir.

8.1. Birinci Grup Geyçsiz Deneyler

Birinci grup deneylere ait G-kayma modülünün ortalama değerlerinin elde edilişleri ve ilgili grafikler bölüm 5'te verilmiştir. ÇBB'ye ait ortalama G-kayma modülü değeri 3,12 x 10^8 Pa (Çizelge Ek 3.2.), MBD'ye ait ortalama G-kayma modülü değeri 3,97 x 10^8 Pa (Çizelge Ek 3.1.), ÇBD'ye ait ortalama G-kayma modülü değeri 2,91 x 10^8 Pa (Çizelge Ek 3.3.), GBB'ye ait ortalama G-kayma modülü değeri 4,39 x 10^8 Pa (Çizelge Ek 3.4.), GBD'ye ait ortalama G-kayma modülü değeri 4,01 x 10^8 Pa (Çizelge Ek 3.5.), KBB'ye ait ortalama G-kayma modülü değeri 3,86 x 10^8 Pa (Çizelge Ek 3.6.), KBD'ye ait ortalama G-kayma modülü değeri 3,45 x 10^8 Pa (Çizelge Ek 3.8.), MBB'ye ait ortalama G-kayma modülü değeri 3,64 x 10^8 Pa (Çizelge Ek 3.9.), KBD'ye ait ortalama G-kayma modülü değeri 3,34 x 10^8 Pa (Çizelge Ek 3.10.) olarak hesaplanmıştır.

Grafiklerin τ ekseni dikkate alındığında, τ-γ eğrilerinin eğimlerinin grafiğin pozitif eksenine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni malzemenin lif yönlerinde burulması sırasında tepkisi lif yönü tersine göre daha düşük olmasıdır.

Örneğin pozitif bölgedeki D41 ÇBD+8‘de G = 3,44 x 10^8 Pa iken negatif eksendeki D22 ÇBD-2‘de G = 2,88x 10^8 Pa olarak daha düşük görülmektedir.

Meşe ağacı için örnek verecek olursak pozitif τ bölgesindeki D53 MBD-2’de G = 4,27 x 10^8 Pa iken negatif eksendeki bölgesindeki D54 MBD-3’de G = 2,91 x 10^8 Pa olarak daha düşük görülmektedir. Ayrıca pozitif yöndeki grafikler lineer bir dağılım gösterirken negatif bölgede pabolik bir dağılım göstermektedir.

Şekil 5.10’da görülen içi dolu ve boş çam numunelere ait grafiklerden görüleceği üzere içi boş numuneler dolulara göre daha esnek davranmakta ve daha düşük gerilme yüklemeleri taşımaktadır. Buna göre genellikle daha uzun süreli kayma gerilmelerini taşıyarak daha fazla deforme olabilmektedirler. D8-ÇKB buna bir örnektir.

Şekil 5.11’de verilen içi dolu ve boş küçük gürgen numunelere ait grafikten de görüleceği üzere kestane ve çam numunelere ait grafik eğimleri 1,50 x 10^7 - 2,00 x 10^7 N/mm^2 τ değeri arasında γ eksenine paralel bir davranış izlerken, gürgen numuneye ait grafikte eğim 1,50 x 10^7 - 3,00 x 10^7 N/mm^2 τ değerleri arasında lineer bir dağılım göstermektedir. Şekil 5.13’te içi dolu demir numunelere ait grafik görülmektedir. Bu grafikte homojen bir malzemenin τ-γ grafiğine bir örnek olarak verilmiştir.

8.2. Birinci Grup Geyçli Deneyler

Şekil 5.15‘de görülen içi dolu numuneye ait grafik; diğer D20-21-42-43-44-45 nolu deneylere ait Şekil 5.16 – 5.25 arasındaki grafiklerim içi boş olduğu için karşılaştırılabilirler. İçi dolu numunenin G değeri Çizelge 5.3’te görüldüğü gibi ortalama kayma değeri olarak 2,84 x 10^8 Pa, lif yönüne yapıştırıldığı takdirde 6,05 x 10^8 Pa olmaktadır. Diğer 6 grup deneylere ait değerler Çizelge 5.2‘de görülmekte olup yapıştırılan geyçlere göre G kayma modüllerinin basma yönündeki geyçler için

% 170 - % 61 arasında farklılık görülmektedir. Aynı numunelerde çekme yönünde ise % 130 - % 70 oran aralığında G değişimleri gözlenmektedir.

Bu nedenlerle orta ana eksene 45^0 açı ile yapıştırılan geyçlerle tam uyumlu bir sonuç elde edilemeyeceği görülmüştür. Lf doğrultularına göre 0^0 – 45^0 ve 90^0 açılarla yapıştırılmış geyçlere göre elde edilen Çizelge 8.1. ve Çizelge 8.3. değerlerine bakarak G farklılıkları şu şekilde bulunmuştur. 0^0 için % 79 - % 440, 45^0 için % 75 - % 313 ve 90^0 için % 16,2 - % 19,4 olarak görülmüştür.

Şekil 6.4 – 6.11 grafikleri arasındaki burulma deneyleri 8 x 10^6 – (-8) x 10^6 Pa gerilme değerleri arasında tekrarlanarak yapılmıştır. Çalışılan limit değerler aynı olduğu için karşılaştırma yapılabilir. Buna göre tork'un uygulandığı uçtan sabit başlığın olduğu yere doğru ilerledikçe lif yönüne yapıştırılmış geyçlerden alınan bilgilere göre G-kayma modülleri % 526 - % 84 oranında büyümektedir.

Grafiklerden görüldüğü gibi ileri ve geri yüklemeler sonucu τ-γ grafiğinde görülen eğrilerin arasında kalan alan malzemenin yüklemeler sonucunda içinde depoladığı toplam potansiyel enerjiye eşit olduğu bilinmektedir. Numuneden numuneye ve geyçten geyce bu alanların değiştiği görülmüştür. Bu denklemlerin eğri denklemleri çıkarıldığı takdirde toplam enerjileri saptanabilmektedir. Bölüm 7'de bu ifadeler bulunarak belirtilmiştir.

Ayrıca grafiklerden görüldüğü üzere başlangıç noktaları olan $\tau = 0$, $\gamma = 0$ noktalarına her seferinde geri dönmektedirler. Bu nedenle malzemenin nonlineer elastik (doğrusal olmayan) bir davranış gösterdiği de görülmektedir.

8.3. İkinci Grup Geyçli Deneyler

Yukarıdaki bölümlerde açıklandığı üzere G-kayma modülü değişimleri numuneden numuneye ve geyçlerin yapıştırılma açılarına göre bir miktar farklılık göstermektedir. Bundan dolayı koordinat bağımlı grafiksel G değişimlerinin doğru

olacağı düşünülmüştür. Bölüm 7‘de de görülmekte olan bütün grafikler buna göre karşılaştırılabilir. Sonuç olarak aşağıdaki maddeler görülmüştür.

a) Numunede r yönündeki değişimler lineerdir. Çünkü grafikler iç ve dış olmak üzere iki noktaya göre çizilmektedir. Örnek olarak Şekil 7.86 gibi.
b) θ yönündeki değişimler paraboliktir. $ax^2 + bx + c$ denkleminde lif yönüne 45^0 ‘deki geyçlerde a katsayıları $10^3 – 10^4$, b katsayıları $10^5 – 10^6$, c katsayıları $10^8 – 10^9$ arasında değişmektedir. Lif yönüne 0^0 ‘deki geyçlerde ise a katsayıları 10^5, b katsayıları 10^8, c katsayıları 10^{10} mertebesindedirler.
c) z yönündeki değişimler parabolik denklemler ile ifade edilmiştir. a katsayıları içi boş numunelerde $10^3 – 10^4$, b katsayıları $10^5 – 10^7$, c katsayıları $10^7 – 10^9$ arasında değişmektedir. İçi dolu numunelerde ise a katsayıları $10^3 – 10^5$, b katsayıları $10^6 – 10^8$, c katsayıları mutlak olarak $10^8 – 10^{10}$ arasında değişmektedir.

Yukarıdaki G-kayma modülü değişimlerine ait parabolik ve üstel fonksiyonlar kullanılarak G_f (r), G_f (θ), G_f (z)‘lar görülmüştür. Böylece bu fonksiyonları ileride yapılacak çalışmalarda kullanarak Eş. 3.25. ve Eş. 3.27.‘de verilen transvers izotrop kompozit malzemeler için genel Hooke kanunu içerisinde bulunan C_{ij} , S_{ij} elastik sabitleri en genel hal için tanımlanabilecektir.

KAYNAKLAR

1. Eriç, M., "Yapı Fiziği ve Malzemesi", 2. Basım, ***Literatür Yayınları***, İstanbul, 35-46 (2002).

2. Timings, R. L., "Malzeme Teknolojisi Seviye 3 (çev: Rıza Gürbüz)", ***Longman London and New York***, 15-17 (1995).

3. Green, R. E. (Ed.), "Machinery's Handbook", 25th Edition, ***Industrial Pres Inc.***, New York, 71-80 (1996).

4. Teknik Destek Gurubu, "Çok Kanallı Veri Toplama Sistemleri Kullanım Kılavuzu", ***TDG Endüstriyel Çözümler***, Ankara, 3-5 (2004).

5. Odabaşı, Y., "Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları", 3. Basım, ***Beta Basım,*** Kırklareli, 1-7 (2000).

6. Hibbeler, R. C., "Mechanics of Materials", 4th Edition, ***Prentice Hall Inc***., New York, 105-110 (2000).

7. Topkaya, H., "Mukavemet Elastik Cisimlerin Statiği", 3. Baskı, ***Güven Kitabevi,*** Ankara, 316-320 (1978).

8. Yayla, P., "Cisimlerin Mukavemeti", 2. Basım, ***Çağlayan Kitabevi***, İstanbul, 36-39 (2001).

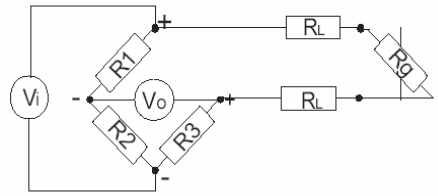
9. Mallick, P. K., "Composites Engineering Handbook", 2th Edition, ***Marcel Dekker Inc.***, New York, 33-57 (1997).

EKLER

EK-1 GEYÇ BAĞLANTILARI VE ÖZELLİKLERİ

Bağlantı Kablolarının Özdirenç Etkisi

Tek pullu çeyrek köprü ölçümlerinde pul, ölçüm sistemine uzun bir kabloyla bağlanır. Bu kablonun özdirenci, ölçüm sonuçlarını olumsuz yönde etkiler. Tek bir damarının toplam iç direnci R_L olan bir kablo, köprünün bir koluna toplam 2 x R_L kadar bir direnç ekler (Şekil Ek 1.3).



Şekil Ek 1.1 Çeyrek köprüde kablo direnç şeması

$$Vo = -\frac{1}{2}\left[\frac{\frac{R_L}{R_G}+\frac{GF\times\varepsilon}{2}}{1+\frac{R_L}{R_G}+\frac{GF\times\varepsilon}{2}}\right]\times Vi\times GAIN \quad \text{(volts)} \qquad [1.1]$$

Tek bir gerinim pulunun 0,2mm çapında ve 10 metre uzunluğundaki bakır bir kabloyla ölçüm sistemine bağlanması yaklaşık:

$$R_L = \rho\frac{L}{A} \quad \Omega = 5{,}66\ \Omega \qquad [1.2]$$

5,66 Ω'luk bir direnç ilave eder ki bu son derece yüksek bir değerdir. Burada; ρ , L , A sırasıyla özdirenç katsayısı (bakır 0,0178Ω mm/m), kablo uzunluğu (m), kablo kesit alanı (mm^2)'dır. Ara bağlantı kablosunu direncini azaltmak için kablonun kesiti artırılmalı ve mümkün olan en kısası kullanılmalıdır.

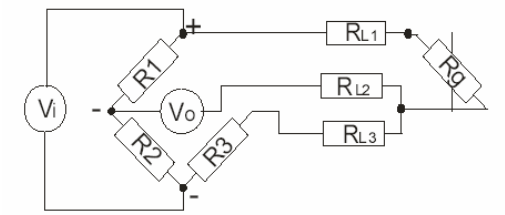
0,2 mm'lik çapı olan, 10 metre uzunluğundaki bakır kabloya bağlanan 120Ω'luk (GF=2) gerinim pulu GAIN =500 ve Vi = 5 voltta

$$Vo = -1250\left[\frac{0{,}0471+\varepsilon}{1{,}0471+\varepsilon}\right] \quad \text{(Volts)} \qquad [1.3]$$

olarak hesaplanabilir. Bu formüle dikkat edilirse, ölçülen gerinim, kablo direncinin pulun direncine oranı kadar hata yapacaktır. Ölçüm yapmadan önce kullanılan kablonun direnci hesaplanarak sonuçlar bu oranda düzeltilmelidir.

Bağlantı Kablolarının Sıcaklık Değişimi Etkisi

Bağlantı kablolarının dirençleri sıcaklıkla da değişmektedir. Ortam sıcaklığındaki 1-2 derecelik değişim, gerinimdeğerinde 10 – 20 με'lik bir değişime neden olur (4). Sıcaklık değişiminin kompanze edilmesi zordur. Bu yüzden çeyrek köprü bağlantılarında 3 telli yaklaşım tercih edilir (Şekil Ek 1.2).

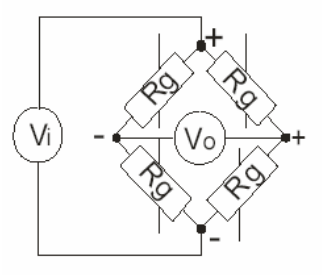


Şekil Ek 1.2. Çeyrek köprüde 3 telli bağlantı şeması

Bağlantı kablosunun R_{L1} ve R_{L3} dirençli damarları ikaz akımını taşırlar ve sıcaklık değişimlerinden eş miktarda etkileneceklerinden aralarındaki oran sabit kalır. R_{L2} üzerinden de çok az bir ölçme akımı (15 -20 nA) akacağından, bu hattaki direnç değişimi ölçüm sonuçlarını etkilemez.

Tam Köprü Bağlantısı

Çeyrek köprü bağlantının hassasiyeti iyi olmadığından genlikle tam köprü bağlantılar tercih edilir (Şekil Ek 1.3).



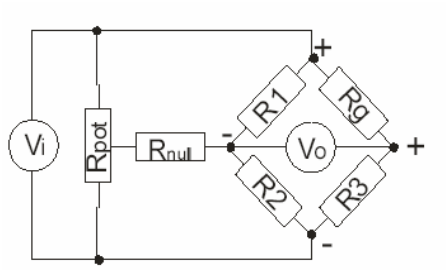
Şekil Ek 1.3. Tam köprü bağlantı şeması

$$Vo = -GF \times \varepsilon \times Vi \times GAIN \text{ (volts)} \quad [1.4]$$

Köprünün Elektriksel Sıfırının Alınması

Veri toplama sisteminin ölçüm aralığından tam olarak yararlanabilmek amacıyla wheatstone köprüsün herhangi bir fiziksel yükleme yapılmadan önce elektriksel olarak sıfırlanması gerekir.

Köprü veri toplama sisteminin yazılım kısmından sıfırlanabilir. Ölçüm başlamadan önceki okunan değer, sürekli yapılan ölçümlerden çıkartılarak, yazılımda sıfırlama işlemi yapılabilir. Öte yandan köprü yükseltme devrelerinde yükselteçler bir gerilimle ofsetlenerek sıfırlama işlemi gerçekleştirilir. Bunun için çok turlu potansiyometreler yada sayısal potansiyometreler kullanılır. Kanala bağlanacak her pullu gerinim ölçer için ayar yapılması gerekir. Öte yandan köprü haricen de sıfırlanabilir. Endüstriyel olarak üretilen birçok gerinim ölçerli sensör harici sıfırlama devreleriyle üretilmiştir (Şekil Ek 1.4).

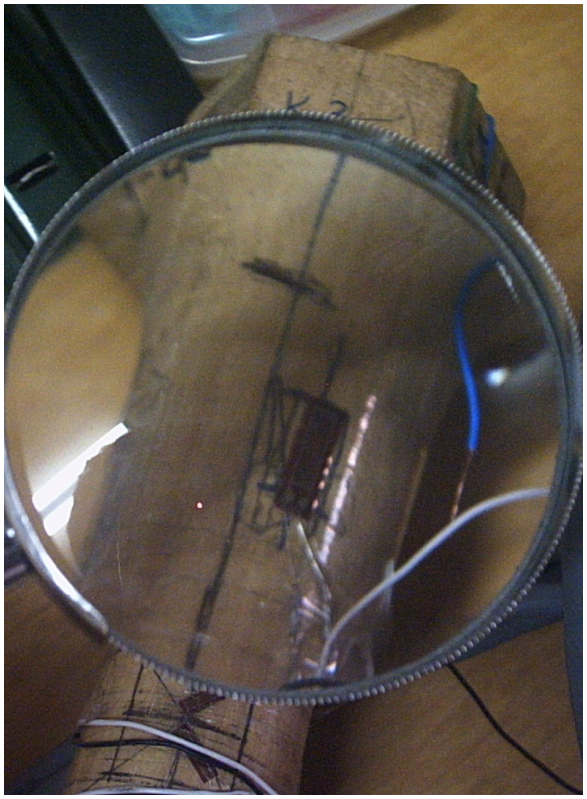


Şekil Ek 1.4. Harici köprü sıfırlama devre şeması

Çizelge Ek 1.1. ile gerinim pulu ile oluşturulan köprüler ve ilgili formülleri verilmektedir.

Çizelge Ek 1.1. Gerinim pulu denklemleri çizelgesi

Biçim	**Denklem**
¼ Köprü	$\varepsilon = -\frac{4V_r}{GF}(1+2V_r)$
Bending ½ köprü	$\varepsilon = -\frac{2V_r}{GF}$
Poisson ½ köprü	$\varepsilon = -\frac{4V_r}{GF}[(1+\nu)-2V_r(\nu-1)]$
Bending tam köprü	$\varepsilon = -\frac{V_r}{GF}$
Bending poisson tam köprü	$\varepsilon = -\frac{2V_r}{GF}(\nu+1)$
Poisson tam köprü	$\varepsilon = -\frac{2V_r}{GF}[(1+\nu)-V_r(\nu-1)]$
ε= gerinim $V_r = \left(\frac{Vo}{Vi}\right)yüklü - \left(\frac{Vo}{Vi}\right)yüksüz$ GF = pul için gerinim faktörü ν = poisson oranı	

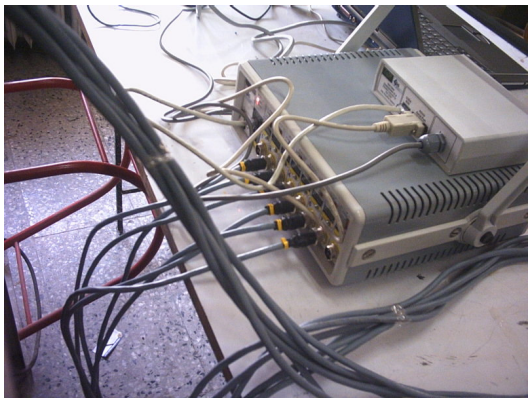


Resim Ek 1.1. Gerinim pulunun numune üzerindeki görünümü

EK-2 DENEY DÜZENEĞİ DONANIMI VE YAZILIMI

Deney Düzeneği Veri Aktarım Cihazı

Tez çalışmasının yürütülmesinde TDG AI8A veri aktarım cihazı deneyler süresince yazılımı ile birlikte kullanılmıştır. Cihaz ve yazılım yardımı ile elde edilen değerler doğal kompozit olan ağaç malzemenin kayma modülü hakkında bilgi ve fikir edinmemizi sağlamıştır. Biz deneylerimizde aşağıda da tarifleri belirtilen bağlantı şekillerinden çeyrek köprü bağlantıyı kullandık. Tüm deney numunelerinde tekli geyçler kullanarak deney numunesi üzerinde çalışmalarımızı yürüttük. Aşağıda TDG AI8A veri aktarım cihazı bağlantı şekilleri verilmiştir.



Resim Ek 2.1. TDG AI8A veri aktarım cihazının ön ve arka görünüşü

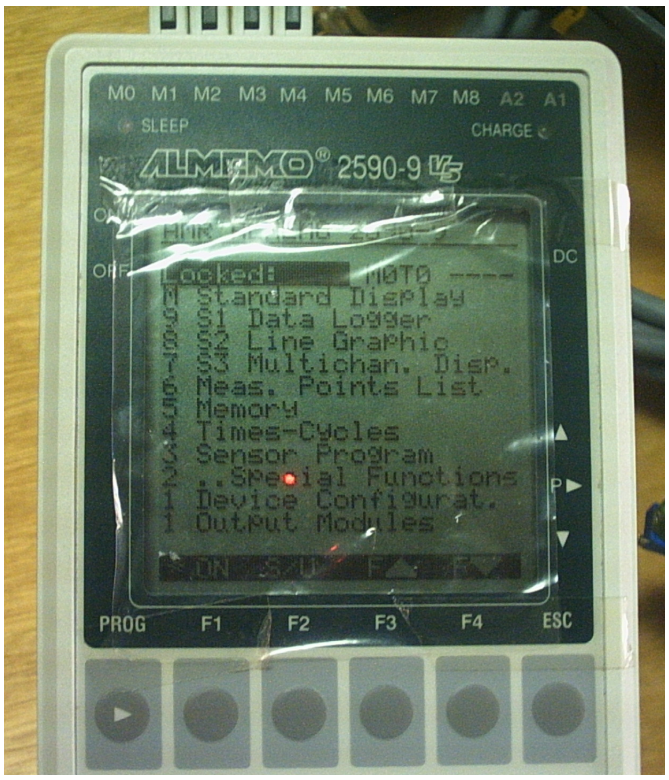
AMR – ALMEMO 2590-9 Veri Toplama Cihazı

TDG AI8A veri aktarım cihazı deneyler süresince yazılımı ile birlikte kullanılmıştır. Kullandığımız bu cihazın doğruluğunu kontrol etmek amacı ile ALMEMO 2590-9 adını verdiğimiz veri toplama cihazı ile test yapılmıştır. Bu testin yapılma amacı cihazdan elde ettiğimiz verilerin ne kadar doğru olduğunu görmektir. Bu cihaz TDG AI8A gibi ayrı bir yazılım paketinin bilgisayarda çalıştırılması ile kullanılmamaktadır. Cihazın kendi içerisinde bir yazılım bulunmaktadır. Bu yazılım cihazın ana menüsünden kontrol edilebilmektedir.

Resim Ek 2.2. ALMEMO 2590-9 veri aktarım cihazının ön görünüşü

ALMEMO 2590-9 veri toplama cihazı TDG veri toplama cihazının çalışma mantığı ile aynıdır. Aralarındaki fark ise veriyi alıp depolama görevi yapan yazılımdır. Bu yazılım ALMEMO‘da cihazın kendi içerisinde bulunup bilgisayara gerek kalmadan çalışmaktadır. Veriyi cihaz kendi içerisinde toplar ve daha sonra herhangi bir bilgisayara bağlanarak AMR adı verilen yazılım yardımı ile depolanan veriyi bilgisayara aktarabiliriz. Yani deney sırasında herhangi bir bilgisayar ile eş zamanlı

olarak çalışmasına gerek yoktur. TDG cihazında ise prensipler tamamen aynıdır. Fakat deney esnasında daha önceki bölümlerde anlatılan yazılım paketi bilgisayarda eş zamanlı olarak çalıştırılmak zorundadır. Veri ancak bu şekilde bilgisayarda depolanabilmektedir. ALMEMO 2590-9 veri toplama cihazı üzerinde bulunan tuşlar yardımı ile menü kontrol edilebilmektedir. Resim Ek 2.3'de cihazın menü kısmında bulunan bölümler görülmektedir. Bu bölümler kullanılarak ölçüm ayarları ve değişik ölçümler kolaylıkla yapılabilmektedir.



Resim Ek 2.3. ALMEMO 2590-9 veri aktarım cihazı menüsü

Burulma numuneleri üzerinde bulunan geyçlerden veriler yine aynı şekilde TDG cihazında kullanılan izolasyonlu kablolar ile yapılmaktadır. Veri karşılaştırması sonucu elde edilen kayma modülü değerleri ilerleyen bölümlerde verilecektir.

Resim Ek 2.4. Veri aktarım kablosu ile burulma numunesinin bağlantısı

ALMEMO 2590-9 veri aktarım cihazında cihaz ile kablo arasındaki bağlantı bir devre aracılığı ile yapılmaktadır. Bu devre içerisinde voltaj ayarlaması yapılarak elde edilen küçük voltaj farkları yükseltilerek cihaza aktarılır. Böylece cihaz çok küçük değişimleri bile algılayabilmektedir. Resim Ek 2.5'te görülen bağlantı cihazın veri toplayabilmesini sağlamaktadır. Toplanan veriler başka bir kablo aracılığı ile bilgisayara kolaylıkla aktarılabilir.

Resim Ek 2.5. Veri aktarım kablosu ile geyçler arasındaki bağlantıyı sağlayan soketler

Resim Ek 2.6. Veri aktarım kablosu ile cihaz arasında bağlantıyı sağlayan devre

Resim Ek 2.7. ALMEMO 2590-9 Veri toplama cihazı bağlantısının genel görünüşü

EK-3 KAYMA MODÜLÜ ÖLÇÜM DENYLERİNİN İSTATİSTİKSEL SONUÇLARI

Deneyler sonucu hesapladığımız kayma modülü değerlerinin çeşitli istatistik değerleri bu bölümde hesaplanmıştır. Gruplamalar yine önceki bölümlerde olduğu gibi büyük, içi dolu ve boş çam, meşe, gürgen ve kestane numuneleri olarak yapılmıştır.

Aşağıdaki çizelgelerde ifade edilen terimlerin karşılıkları şu şekildedir.

Median : Orta değer
Mode : En çok elde edilen değer
Mean : Ortalama değer (Average)
Range : Maksimum ve minimum değerler arasındaki fark
Standart Deviation : Standart sapma
Skewness : Çarpıklık
Kurtosis : Basıklık
Data : İstatistik değerleri hesaplanan mevcut veriler

Çizelge Ek 3.1. MBD numunelerine ait kayma modüllerinin istatistik değerleri

	Data
1	4,73E+08
2	4,27E+08
3	2,91E+08

Measures of Central tendency

Mean	3,97E+08	Median	427000000	Mode	#YOK

Measures of Dispersion

	If the data is of a Sample	If the data is of a Population		
Variance	8,956E+15	5,971E+15	Range	182000000
St. Dev.	94636145	77270089	IQR	91000000

Higher Moments

	If the data is of a Sample	If the data is of a Population
Skewness	-1,283164	-0,523849
(Relative) Kurtosis	#SAYI/0!	-1,5

Percentile and Percentile Rank Calculations

x	x-th Percentile	y	Percentile rank of y
50	427000000	#########	50
80	454600000	454600000	80
90	463800000	463800000	90

Quartiles

1st Quartile	359000000		
Median	427000000	IQR	91000000
3rd Quartile	450000000		

Other Statistics

Sum	1,191E+09
Size	3
Maximum	473000000
Minimum	291000000

Chebyshev's Theorem observation

Data points within	1,5	Std. Devns from mean	3
		out of	3
		which is	100,00%
		Minimum predicted by Chebyshev's Theorem	55,56%
		Minimum predicted by Empirical Rule	95,61%

Çizelge Ek 3.2. ÇBB numunelerine ait kayma modüllerinin istatistik değerleri

Measures of Central tendency

Mean	3,12E+08	Median	317000000	Mode	225000000

Measures of Dispersion

	If the data is of a			
	Sample	Population		
Variance	1,445E+16	1,376E+16	Range	549900000
St. Dev.	120220903	117323588	IQR	124000000

Higher Moments

	If the data is of a	
	Sample	Population
Skewness	1,5059821	1,3962036
(Relative) Kurtosis	4,0468854	2,8728064

Percentile and Percentile Rank Calculations

x	x-th Percentile	y	Percentile rank of y
50	317000000	#########	50
80	377000000	377000000	80
90	405000000	405000000	90

Quartiles

1st Quartile	225000000		
Median	317000000	IQR	124000000
3rd Quartile	349000000		

Other Statistics

Sum	6,542E+09
Size	21
Maximum	692000000
Minimum	142100000

Chebyshev's Theorem observation

Data points within	1,5	Std. Devns from mean	20
		out of	21
		which is	95,24%
		Minimum predicted by Chebyshev's Theorem	55,56%

	Data
1	1,68E+08
2	1,91E+08
3	1,42E+08
4	2,25E+08
5	3,17E+08
6	3,49E+08
7	4,64E+08
8	2,70E+08
9	3,25E+08
10	3,43E+08
11	4,05E+08
12	3,79E+08
13	3,21E+08
14	2,71E+08
15	6,92E+08
16	2,25E+08
17	2,36E+08
18	3,38E+08
19	3,77E+08
20	3,03E+08
21	2,01E+08

Çizelge Ek 3.3. ÇBD numunelerine ait kayma modüllerinin istatistik değerleri

Measures of Central tendency

Mean	2,91E+08	Median	286000000	Mode	284000000

Measures of Dispersion

	If the data is of a			
	Sample	Population		
Variance	9,916E+14	8,677E+14	Range	96000000
St. Dev.	31490361	29456536	IQR	27500000

Higher Moments

	If the data is of a	
	Sample	Population
Skewness	0,4094829	0,3283167
(Relative) Kurtosis	-0,199004	-0,76143

Percentile and Percentile Rank Calculations

x	x-th Percentile	y	Percentile rank of y
50	286000000	#########	50
80	314000000	314000000	80
90	330000000	330000000	90

Quartiles

1st Quartile	277750000		
Median	286000000	IQR	27500000
3rd Quartile	305250000		

Other Statistics

Sum	2,33E+09
Size	8
Maximum	344000000
Minimum	248000000

Chebyshev's Theorem observation

Data points within	1,5	Std. Devns from mean	7
		out of	8
		which is	87,50%
		Minimum predicted by Chebyshev's Theorem	55,56%

	Data
1	2,84E+08
2	2,88E+08
3	3,24E+08
4	2,59E+08
5	2,84E+08
6	2,48E+08
7	2,99E+08
8	3,44E+08

Çizelge Ek 3.4. GBB numunelerine ait kayma modüllerinin istatistik değerleri

	Data
1	4,57E+08
2	4,64E+08
3	3,97E+08

Measures of Central tendency

Mean	4,39E+08	Median	457000000	Mode	#YOK

Measures of Dispersion

	If the data is of a			
	Sample	Population		
Variance	1,356E+15	9,042E+14	Range	67000000
St. Dev.	36828431	30070288	IQR	33500000

Higher Moments

	If the data is of a	
	Sample	Population
Skewness	-1,661921	-0,678476
(Relative) Kurtosis	#SAYI/0!	-1,5

Percentile and Percentile Rank Calculations

x	x-th Percentile	y	Percentile rank of y
50	457000000	#########	50
80	461200000	461200000	80
90	462600000	462600000	90

Quartiles

1st Quartile	427000000		
Median	457000000	IQR	33500000
3rd Quartile	460500000		

Other Statistics

Sum	1,318E+09
Size	3
Maximum	464000000
Minimum	397000000

Chebyshev's Theorem observation

Data points within	1,5	Std. Devns from mean	3
		out of	3
		which is	100,00%
		Minimum predicted by Chebyshev's Theorem	55,56%

Çizelge Ek 3.5. GBD numunelerine ait kayma modüllerinin istatistik değerleri

Measures of Central tendency

Mean	4,01E+08	Median	392000000	Mode	#YOK

Measures of Dispersion

	If the data is of a			
	Sample	Population		
Variance	4,263E+14	2,842E+14	Range	38000000
St. Dev.	20647841	16858891	IQR	19000000

Higher Moments

	If the data is of a	
	Sample	Population
Skewness	1,6184886	0,6607452
(Relative) Kurtosis	#SAYI/0!	-1,5

Percentile and Percentile Rank Calculations

x	x-th Percentile	y	Percentile rank of y
50	392000000	#########	50
80	411800000	411800000	80
90	418400000	418400000	90

Quartiles

1st Quartile	389500000		
Median	392000000	IQR	19000000
3rd Quartile	408500000		

Other Statistics

Sum	1,204E+09
Size	3
Maximum	425000000
Minimum	387000000

Chebyshev's Theorem observation

Data points within	1,5	Std. Devns from mean	3
		out of	3
		which is	100,00%
		Minimum predicted by Chebyshev's Theorem	55,56%

	Data
1	3,87E+08
2	4,25E+08
3	3,92E+08

Çizelge Ek 3.6. KBB numunelerine ait kayma modüllerinin istatistik değerleri

Measures of Central tendency

Mean	3,86E+08	Median	396000000	Mode	#YOK

Measures of Dispersion

	If the data is of a			
	Sample	Population		
Variance	7,177E+15	6,152E+15	Range	259500000
St. Dev.	84717528	78433190	IQR	43000000

Higher Moments

	If the data is of a	
	Sample	Population
Skewness	-1,789884	-1,380926
(Relative) Kurtosis	4,0659801	0,9441584

Percentile and Percentile Rank Calculations

x	x-th Percentile	y	Percentile rank of y
50	396000000	#########	50
80	443400000	443400000	80
90	459400000	459400000	90

Quartiles

1st Quartile	386000000		
Median	396000000	IQR	43000000
3rd Quartile	429000000		

Other Statistics

Sum	2,705E+09
Size	7
Maximum	469000000
Minimum	209500000

Chebyshev's Theorem observation

Data points within	1,5	Std. Devns from mean	6
		out of	7
		which is	85,71%
		Minimum predicted by Chebyshev's Theorem	55,56%
		Minimum predicted by Empirical Rule	86,64%

	Data
1	2,10E+08
2	4,69E+08
3	4,53E+08
4	4,05E+08
5	3,80E+08
6	3,92E+08
7	3,96E+08

Çizelge Ek 3.7. DKD numunelerine ait kayma modüllerinin istatistik değerleri

	Data
1	-1,57E+10
2	-1,52E+10
3	-1,57E+10

Measures of Central tendency

Mean	-1,6E+10	Median	-1,57E+10	Mode	#YOK

Measures of Dispersion

	If the data is of a Sample	If the data is of a Population		
Variance	7,872E+16	5,248E+16	Range	500000000
St. Dev.	280576330	229089614	IQR	250000000

Higher Moments

	If the data is of a Sample	If the data is of a Population
Skewness	1,7106966	0,698389
(Relative) Kurtosis	#SAYI/0!	-1,5

Percentile and Percentile Rank Calculations

x	x-th Percentile	y	Percentile rank of y
50	-1,57E+10	#########	50
80	-1,54E+10	-1,539E+10	80
90	-1,53E+10	-1,529E+10	90

Quartiles

1st Quartile	-1,57E+10		
Median	-1,57E+10	IQR	250000000
3rd Quartile	-1,54E+10		

Other Statistics

Sum	-4,66E+10
Size	3
Maximum	-1,52E+10
Minimum	-1,57E+10

Chebyshev's Theorem observation

Data points within	1,5	Std. Devns from mean	3
		out of	3
		which is	100,00%
		Minimum predicted by Chebyshev's Theorem	55,56%
		Minimum predicted by Empirical Rule	86,64%

Çizelge Ek 3.8. KBD numunelerine ait kayma modüllerinin istatistik değerleri

Measures of Central tendency

Mean	3,45E+08	Median	334500000	Mode	#YOK

Measures of Dispersion

	If the data is of a Sample	If the data is of a Population		
Variance	2,155E+15	1,616E+15	Range	98000000
St. Dev.	46421080	40201835	IQR	61250000

Higher Moments

	If the data is of a Sample	If the data is of a Population
Skewness	0,7740627	0,4469053
(Relative) Kurtosis	-1,680599	-1,42408

Percentile and Percentile Rank Calculations

x	x-th Percentile	y	Percentile rank of y
50	334500000	#########	50
80	377400000	377400000	80
90	391200000	391200000	90

Quartiles

1st Quartile	309250000		
Median	334500000	IQR	61250000
3rd Quartile	370500000		

Other Statistics

Sum	1,381E+09
Size	4
Maximum	405000000
Minimum	307000000

Chebyshev's Theorem observation

Data points within	1,5	Std. Devns from mean	4
		out of	4
		which is	100,00%
		Minimum predicted by Chebyshev's Theorem	55,56%
		Minimum predicted by Empirical Rule	86,64%

	Data
1	3,07E+08
2	4,05E+08
3	3,10E+08
4	3,59E+08

Çizelge Ek 3.9. MBB numunelerine ait kayma modüllerinin istatistik değerleri

Measures of Central tendency

Mean	3,64E+08	Median	378000000	Mode	#YOK

Measures of Dispersion

	If the data is of a			
	Sample	Population		
Variance	3,355E+15	2,796E+15	Range	153000000
St. Dev.	57922074	52875378	IQR	71500000

Higher Moments

	If the data is of a	
	Sample	Population
Skewness	-0,705408	-0,515157
(Relative) Kurtosis	-0,650112	-1,080039

Percentile and Percentile Rank Calculations

x	x-th Percentile	y	Percentile rank of y
50	378000000	#########	50
80	404000000	404000000	80
90	415000000	415000000	90

Quartiles

1st Quartile	331750000		
Median	378000000	IQR	71500000
3rd Quartile	403250000		

Other Statistics

Sum	2,183E+09
Size	6
Maximum	426000000
Minimum	273000000

Chebyshev's Theorem observation

Data points within	1,5	Std. Devns from mean	5
		out of	6
		which is	83,33%
		Minimum predicted by Chebyshev's Theorem	55,56%
		Minimum predicted by Empirical Rule	86,64%

	Data
1	3,24E+08
2	3,55E+08
3	4,01E+08
4	4,26E+08
5	4,04E+08
6	2,73E+08

Çizelge Ek 3.10. KBD numunelerine ait (lif yönünün tersine yüklenmiş) kayma modüllerinin istatistik değerleri

	Data
1	2,83E+08
2	3,28E+08
3	3,90E+08

Measures of Central tendency

Mean	3,34E+08	Median	328000000	Mode	#YOK

Measures of Dispersion

	If the data is of a			
	Sample	Population		
Variance	2,886E+15	1,924E+15	Range	107000000
St. Dev.	53724606	43865957	IQR	53500000

Higher Moments

	If the data is of a	
	Sample	Population
Skewness	0,4693623	0,1916164
(Relative) Kurtosis	#SAYI/0!	-1,5

Percentile and Percentile Rank Calculations

x	x-th Percentile	y	Percentile rank of y
50	328000000	#########	50
80	365200000	365200000	80
90	377600000	377600000	90

Quartiles

1st Quartile	305500000		
Median	328000000	IQR	53500000
3rd Quartile	359000000		

Other Statistics

Sum	1,001E+09
Size	3
Maximum	390000000
Minimum	283000000

Chebyshev's Theorem observation

Data points within	1,5	Std. Devns from mean	3
		out of	3
		which is	100,00%
		Minimum predicted by Chebyshev's Theorem	55,56%
		Minimum predicted by Empirical Rule	86,64%

EK-4 KOMPOZİT, PLASTİK ve DİĞER MALZEMELERE AİT TABLO DEĞERLERİ

Çizelge Ek 4.1. Çeşitli ağaç cinslerine ait mekanik özellikler

Mechanical Properties[1] of Commercially Important U.S. Grown Woods

Use the first number in each column for GREEN wood; use the second number for DRY wood.	Static Bending: Modulus of Rupture (10^3 psi)		Static Bending: Work to Max Load (in.-lb/in.^{3})		Maximum Crushing Strength (10^3 psi)		Compression Strength Perpendicular to Grain (psi)		Shear Strength Parallel to Grain (psi)		Tensile Strength Perp. to Grain (psi)	
Basswood, American	5.0	8.7	5.3	7.2	2.22	4.73	170	370	600	990	280	350
Cedar, N. white	4.2	6.5	5.7	4.8	1.90	3.96	230	310	620	850	240	240
Cedar, W. red	5.2	7.5	5.0	5.8	2.77	4.56	240	460	770	990	230	220
Douglas Fir, coast[2]	7.7	12.4	7.6	9.9	3.78	7.23	380	800	900	1,130	300	340
Douglas Fir, interior W.	7.7	12.6	7.2	10.6	3.87	7.43	420	760	940	1,290	290	350
Douglas Fir, interior N.	7.4	13.1	8.1	10.5	3.47	6.90	360	770	950	1,400	340	390
Douglas Fir, interior S.	6.8	11.9	8.0	9.0	3.11	6.23	340	740	950	1,510	250	330
Fir, balsam	5.5	9.2	4.7	5.1	2.63	5.28	190	404	662	944	180	180
Hemlock, Eastern	6.4	8.9	6.7	6.8	3.08	5.41	360	650	850	1,060	230	...
Hemlock, Mountain	6.3	11.5	11.0	10.4	2.88	6.44	370	860	930	1,540	330	...
Hemlock, Western	6.6	11.3	6.9	8.3	3.36	7.20	280	550	860	1,290	290	340
Pine, E. white	4.9	9.9	5.2	8.3	2.44	5.66	220	580	680	1,170	250	420
Pine, Virginia	7.3	13.0	10.9	13.7	3.42	6.71	390	910	890	1,350	400	380
Pine, W. white	4.7	9.7	5.0	8.8	2.43	5.04	190	470	680	1,040	260	...
Redwood, old-growth	7.5	10.0	7.4	6.9	4.20	6.15	420	700	800	940	260	240
Redwood, young-growth	5.9	7.9	5.7	5.2	3.11	5.22	270	520	890	1,110	300	250
Spruce, Engelmann	4.7	9.3	5.1	6.4	2.18	4.48	200	410	640	1,200	240	350
Spruce, red	6.0	10.8	6.9	8.4	2.72	5.54	260	550	750	1,290	220	350
Spruce, white	5.0	9.4	6.0	7.7	2.35	5.18	210	430	640	970	220	360

Data taken from *Wood Handbook*, U.S. Department of Agriculture.

Çizelge Ek 4.2. Doğal ahşap malzeme özellikleri

Ağaç Cinsi	Fiziksel Özellikler			Mekanik Özellikler N/mm²								
	Birim ağırlık Δ gr/cm³	Deformasyon α %	Isı iletkenlik katsayısı λ W/m.K	$\sigma_{çekme}$ $\sigma_{//}$	$\sigma_{çekme}$ $\sigma_{\perp}$	$\sigma_{basınç}$ $\sigma_{//}$	$\sigma_{basınç}$ $\sigma_{\perp}$	Makaslama τ	Eğilme σ	Elastiklik modülü E	Brinell sertlik H	
Çam	0.50	12.3	0.13	104	2.1	37.9	4.6	3.6	64.8	10200	23	7
Ladin	0.43	11.5	–	–	–	31.1	4	–	69	8300	37	14
Köknar	0.43	12.2	–	62	1.5	37.4	4.5	4.6	73	8300	19	14
Kayın	0.86	15.5	0.20	66	2.3	36.5	12	5.4	87	12500	56	25
Meşe	0.89	12.2	0.20	90	4	61	11	11	98	11700	64	41
Kavak	0.45	12.8	–	–	1.7	40	2.7	6.8	52	7000	23	10
Gürgen	0.83	16.2	–	135	24.5	66	12	7.4	130	16200	71	36
Dişbudak	0.85	13.2	0.20	165	7	52	11	12	120	13400	65	–
Ihlamur	0.53	14.9	–	85	–	52	–	4.5	106	7400	–	16
Kestane	0.58	13.3	–	135	–	47	–	8	89.6	9000	38	18
Karaağaç	0.64	13.2	–	90	4	56	10	7	89	11000	44	30

Çizelge Ek 4.3. Doğal ahşap malzemede emniyet gerilmeleri

Ahşap Malzeme Kalitesi	$\sigma_{eğilme}$	$\sigma_{//çekme}$	$\sigma_{//basınç}$	$\sigma_{\perp basınç}$	$\tau_{//makaslama}$
Kiriş kadron I	11	8.5-10	8.5-10	2-3	0.9-1
Kiriş kadron II	7-7.5	0	6-7	2-3	0.9-1
Kalas I - II	13-14	10.5-11	11.0-12	2-3	0.9-1.2
Kalas III	11	8.5-10	8.5-10	2-3	0.9-1

(İlk değerler iğne, ikinci değerler geniş yapraklı ağaçlar içindir.)

Çizelge Ek 4.4. Yapay ahşap malzeme özellikleri

Tür	Ahşaptan Üretilmiş Yapay Malzemeler		Boyut			Fiziksel Özellikler				Mekanik Özellikler N/mm²				
			Kalınlık mm	En cm	Boy cm	Birim ağırlık Δ gr/cm³	Suda şişme % 24 saat	Isı iletkenlik λ W/m.K	Ses emicilik β dB	$\sigma_{çekme}$	$\sigma_{basınç}$	$\sigma_{eğilme}$	Esneklik modülü E
Prese kaplama	Kontrplak		3 24 tolerans: +0.2 –0.5	125 170 tolerans: ± 5	220 210	0.45 0.50	3-4	0.13	0.25 0.05	// 50 100	–	61.4	9000
										⊥ 28 70	–	57	5000
Prese aglomere	Talaş levha		15 100		200	0.57-0.36	–	0.17	0.04 0.70	–	–	40 170	–
	Yonga levha		8 50	122	246	0.56-0.40	5.5-7	0.15	0.25 0.36	12.3-11 8.5-7	–	16.5 14	2300 2000
	Lif levha	Gözenekli	1.2 3.7	30 122	60 244	0.02-0.40	30-100	0.06	0.04 0.74	0.5-1.6	0.6-2	1.4 2.4	–
		Sert	0.4 5	122	366 480	0.40-1.45	15-30	–	0.13 0.72	1.7-45	–	2 65	–
Prese masif	Lignostone		Özel üretim			1.4	–	–	–	250	150	250	–
	Emprenye ahşap		Özel üretim			0.94	6.7-3.2	–	–	85	150	140	14000 21700

Çizelge Ek 4.5. Seramik malzemelerin tipik özellikleri

Typical Properties of Ceramic Materials

Material		Density* (lb/in³)	Dielectric Strength (V/mil)	Coeff. of Expansion† (10^{-6} in/in-°F)	Flexural Strength (10^3 psi)	Mohs's Hardness‡	Operating Temperature (°F)	Tensile Strength (10^3 psi)	Compressive Strength (10^3 psi)	Thermal Conductivity§ (Btu-ft-hr-ft²-°F)
Machinable Glass Ceramic		0.09	1000	4.1–7.0		48 Ra	1472	. . .	50	0.85
		0.11	400	6	15	5.5	700	. . .	40	0.24
		0.10	380	5.2	14	5.0	1100	. . .	32	0.34
Glass-Mica	Machining Grades	0.09–0.10	400	10.5–11.2	12.5–13	90 Rh	750	6	40–45	0.24–0.29
		0.10	380	9.4	11	90 Rh	1100	5	32	0.34
	Molding Grades	0.13–0.17	300–325	11–11.5	9–10	90 Rh	700–750	6–6.5	33–35	0.29–0.31
		0.14	350	10.3	9	90 Rh	1300	6	30	0.3
Aluminum Silicate		0.10	80	2.5	4.5	1–2	1000	. . .	12	0.92
		0.08	100	2.9	10	6.0	2100	. . .	25	0.75
Alumina Silicate		0.08	70	. . .	. . .	. . .	2370	. . .	. . .	0.38
Silica Foam		0.03	80	0.3	0.4	NA	2000	. . .	1.4	0.10
TiO_2 (Titania)		0.14	100	4.61	20	8	1800	7.5	100	. . .
Lava (Grade A)		0.08	80	1.83	9	6	2000	2.5	40	0.92
Zirconium Phosphate		0.11	NA	0.5	7.5	NA	2800	. . .	30	0.4 (approx.)
ZrO_2		0.21	. . .	6.1	102	1300 V	. . .	. . .	261	1.69
$ZrO_2 \cdot SiO_2$ (Zircon)		0.11	220	1.94	16	7.5	1825	10	90	. . .
$2MgO \cdot SiO_2$ (Forsterite)		0.11	240	5.56	20	7.5	1825	10	85	4.58
$MgO \cdot SiO_2$ (Steatite)		0.09–0.10	210–240	3.83–5.44	18–21	7.5	1825	8.5–10	80–90	3.17–3.42
$2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$ (Cordierite)		0.06	60	0.33	3.4	6.5	2000	2.5	18.5	1.00
		0.08	100–172	1.22–1.28	8–12	7–7.5	2000	3.5–3.7	30–40	1.00
		0.09	200	1.33	15	8	2000	4	50	1.83
Al_2O_3 (Alumina)	94%	0.13	210	3.33	44	9	2700	20	315	16.00
	96%	0.13–0.14	210	3.5–3.7	48–60	9	2600–2800	25	375	20.3–20.7
	99.5%	0.14	200	3.72	70	9	2700	28	380	21.25
	99.9%	0.14	. . .	3.72	72	9	2900	. . .	400	. . .

*Obtain specific gravity by dividing density in lb/in³ by 0.0361; for density in lb/ft³, multiply lb/in³ by 1728; for g/cm³, multiply density in lb/in³ by 27.68; for kg/m³, multiply density in lb/in³ by 27679.9. †To convert coefficient of expansion to 10^{-6} in/in-°C, multiply table value by 1.8. ‡Mohs's Hardness scale is used unless otherwise indicated as follows: Ra and Rh for Rockwell A and H scales, respectively; V for Vickers hardness. §To convert conductivity from Btu-ft/hr-ft²-°F to cal-cm/sec-cm²-°C, divide by 241.9.

Çizelge Ek 4.6. Plastik malzemelerin tipik özellikleri

Typical Properties of Plastics Materials

Material	Density* (lb/in³)	Specific Gravity	Dielectric Strength (V/mil)	Coeff. of Expansion† (10^{-6} in/in-°F)	Tensile Modulus (10^5 psi)	Izod Impact (ft-lb/in of notch)	Flexural Modulus (ksi at 73°F)	% Elongation	Hardness‡	Max. Operating Temp. (°F)
ABS, Extrusion Grade	0.038	1.05	...	53.0	275	7	300	...	105 Rr	200
ABS, High Impact	0.037	1.03	...	...	200	...	330	...	105 Rr	...
Acetal, 20% Glass	0.056	1.55	...	...	1000	0.9	715	...	94 Rm	...
Acetal, Copolymer	0.051	1.41	380	47.0	437	2	400	13	94 Rm	...
Acetyl, Homopolymer	0.051	1.41	...	58.0	310	...	320	...	94 Rm	200
Acrylic	0.043	1.19	500	35.0	400	0.5	400	2.7	94 Rm	180
Azdel	0.043	1.19	500	15.0	750	14	800	2.1	94 Rm	311
CPVC	0.056	1.55	...	34.0	400	3	400	4	...	212
Fiber Glass Sheet	0.067	1.87	...	11.1	...	8	1	...	101 Rm	260
Nylon 6, 30% Glass	0.050	1.39	...	...	1350	2.8	1400	...	119 Rr	...
Nylon 6, Cast	0.042	1.16	295	45.0	380	1.4	450	20	100 Rr	210
Nylon 6/6, Cast	0.047	1.30	...	...	...	...	...	...	...	...
Nylon 6/6, Extruded	0.041	1.14	600	45.0	390	1	...	240	118 Rr	230
Nylon 60L, Cast	0.042	1.16	...	...	...	2.2	...	...	...	...
PET, unfilled	0.049	1.36	1300	39.0	500	0.5	400	70	...	230
PTFE (Teflon)	0.079	2.19	480	50.0	225	3	80	350	...	...
PVC	0.050	1.39	500	29.5	550	0.8	400	31–40	110 Rr	170
PVDF	0.064	1.77	260	60.0	320	3	200	80	100 Rr	180
Phenolics	0.050	1.38	...	11.1	...	2.4	1000	...	100 Rm	248
Polycarbonate	0.043	1.19	380	37.5	345	14	340	110	74 Rm	290
Polyetherimide	0.046	1.27	480	...	430	1.1	480	...	...	...
Polyethylene, HD	0.035	0.97	475	20.0	156	6	160	900	...	180
Polyethylene, UHMW	0.034	0.94	710	19.0	110	No Break	130	450	64 Rr	176
Polymethylpentene	0.030	0.83	...	...	220	2.5	...	...	...	...
Polymid, unfilled	0.051	1.41	560	...	300	1.5	...	...	...	...
Polyphenylene Sulfide	0.047	1.30	380	...	...	0.5	550	...	...	...
Polypropylene	0.033	0.91	600	96.0	155	0.75	200	120	92 Rr	150
Polysulfone	0.045	1.25	425	31.0	360	1.2	390	50	120 Rr	325
Polyurethane	0.038	1.05	...	...	...	...	...	465–520	...	...

*To obtain specific gravity, divide density in lb/in³ by 0.0361; for density in lb/ft³, multiply lb/in³ by 1728; for g/cm³, multiply density in lb/in.³ by 27.68; for kg/m³, multiply density in lb/in³ by 27679.9. † To convert coefficient of expansion to 10^{-6} in/in-°C, multiply table value by 1.8. ‡ Hardness value scales are as follows: Rm for Rockwell M scale; Rr for Rockwell R scale.

ÖZGEÇMİŞ

Emre ULUDOĞAN 1980 yılında Ankara'da doğdu. İlkokulu Ankara Kurtuluş İlkokulu'nda, orta okul ve liseyi Ankara Kurtuluş Lisesi'nde okuduktan sonra 1997 yılında Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü kazanıp 2001 yılında mezun oldu. Eylül 2001 de Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde yüksek lisans programına başladı. Bir süre özel bir firmanın imalat ve montaj biriminde görev aldıktan sonra 2004 yılında endüstriyel tesis ve taşıma sistemleri üzerine faaliyet gösteren çok ortaklı bir firma kurdu. Halen bu firmanın imalat bölümünün sorumluluğunu yürütmektedir.