

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPIŞTIRICI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ TERS Z TİPİ
KOMPOZİT MALZEME BAĞLANTILARININ
MEKANİK ANALİZİ**

Hamit ADİN

Tez Yöneticisi

Prof. Dr. Aydın TURGUT

DOKTORA TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2007

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPIŞTIRICI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ TERS Z TİPİ
KOMPOZİT MALZEME BAĞLANTILARININ
MEKANİK ANALİZİ**

Hamit ADİN

Tez Yöneticisi:

Prof. Dr. Aydın TURGUT

DOKTORA TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2007

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPIŞTIRICI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ TERS Z TİPİ
KOMPOZİT MALZEME BAĞLANTILARININ
MEKANİK ANALİZİ**

Hamit ADİN

Doktora Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez,07/12/2007..... tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Aydın TURGUT (Fırat Ün. Makine Müh. Mekanik A.B.D.)

Üye: Prof. Dr. Sami AKSOY (Dokuz Eylül Ün. Makine Müh. Mekanik A.B.D.)

Üye: Prof. Dr. Mehmet ÜLKER (Fırat Ün. İnşaat Müh. Mekanik A.B.D.)

Üye: Yrd. Doç. Dr. Muhammet KARATON (Fırat Ün. İnşaat Müh. Mekanik A.B.D.)

Üye: Yrd. Doç. Dr. Mustafa GÜR (Fırat Ün. Makine Müh. Mekanik A.B.D.)

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Sayın Prof.Dr. Aydın TURGUT'a, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Sayın Prof. Dr. Onur SAYMAN'a ve Prof. Dr. Sami AKSOY'a, numunelerimin üretilmesinde her türlü yardımlarını esirgemeyen İZOREEL firmasından Sayın Murat EROĞLU'na, deneyler sırasında bana atölyelerindeki çekme makinelerini kullandıran Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı ve Erzurum Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlarına ve Sayın Prof. Dr. Adnan ÖZEL'e, çalışmamın başından en sonuna kadar her türlü desteği ve bilgisini esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Şemsettin TEMİZ'e ve Dr. Mehmet AKTAŞ'a ayrıca geceli gündüzlü çalışmalarım sırasında her türlü bilgi birikimi ile destek veren Sayın Uzman M. Yavuz SOLMAZ'a ve manevi destekleri ile her zaman arkamda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ii
TABLoların LİSTESİ.....	ix
SEMBOLLER.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1.GİRİŞ	1
1.1. Literatür Taramaları.....	5
2. KURAMSAL TEMELLER.....	16
2.1. Yapıştırma Bağlantıları.....	16
2.1.1. Gerilme çeşitleri.....	16
2.1.2. Yapıştırma bağlantı tipleri.....	18
2.2. Yapışma.....	21
2.2.1. Yapışma Teorileri.....	21
2.2.2. Yüzey Islatma.....	23
2.2.3. Camsı Geçiş Sıcaklığı.....	24
2.2.4. Polimerlerin Bozunması.....	25
2.2.5. Fiziksel Yaşlanma.....	25
2.2.6. Kimyasal Yaşlanma.....	26
2.2.7. Hasar mekanizması.....	27
2.2.7.1. Adhezyon.....	27
2.2.7.2. Kohezyon.....	29
2.3. Yapışmayı Etkileyen Faktörler.....	30
2.4. Yapıştırıcılar.....	32
2.4.1. Yapıştırıcılara Konulan Katkı Maddeleri.....	32
2.4.2. Yapıştırıcıların sınıflandırılması.....	33

2.5. Yapıştırıcıların Kürleşme Mekanizmaları.....	36
2.5.1 Anerobik reaksiyonla kürleşen yapıştırıcılar.....	37
2.5.2 Ultraviyole (UV) ışığı ile kürleşen yapıştırıcılar.....	39
2.5.3 Aniyonik reaksiyonla kürleşen yapıştırıcılar(Siyanoakrilatlar).....	42
2.5.4 Aktivatör ile kürleşen yapıştırıcılar (modifiye akrilikler).....	44
2.5.5 Ortam nemi ile kürleşen yapıştırıcılar.....	45
2.5.6 Isı ile kürleşen yapıştırıcılar.....	46
2.6. Yüzey Hazırlama.....	47
2.6.1 Yüzey hazırlama metotları.....	49
2.6.2. Primerler.....	51
2.7. Yapıştırıcı Kullanırken Dikkat Edilecek Hususlar.....	52
3. KOMPOZİT MALZEMELER.....	54
3.1 Giriş.....	54
3.2. Kompozit Malzemelere Genel Bakış.....	54
3.3. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları.....	55
3.4. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri.....	56
3.4.1. Reçine Matriksli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri.....	56
3.4.2. Metal Matriksli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri.....	57
4. MATERYAL ve YÖNTEM.....	58
4.1. Kompozit Levha İmalatı.....	58
4.2. Numune Malzemeleri ve Mekanik Özellikleri.....	60
4.3. Kullanılan Yapıştırıcılar.....	62
4.3.1. Vinylester.....	64
4.3.2. Flexo Tix.....	65
4.4. Yapıştırıcıların Gerilme-Şekil Değiştirme Özelliklerinin Belirlenmesi.....	65
4.4.1. Bulk Numunelerin Hazırlanması.....	65
4.4.2. Bulk Numunelerin Mekanik Davranışının Belirlenmesi.....	67
4.4.2.1. Vinylester Atlac 580 Bulk Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramı.....	69
4.4.2.2. Flexo Tix Bulk Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramı.....	69
4.5. Teorik Analiz.....	71
4.5.1. Elastik analiz.....	71
3.4.2. Elasto-Plastik Sonlu Eleman Analizleri.....	72
4.6. Ansys Sonlu Elemanlar Yazılımı.....	73
5. SONUÇLAR.....	74

5.1. Giriş.....	74
5.2.Deneysel Değerler ile Ansys(SEM) Değerlerinin Karşılaştırılması.....	74
5.3. Sonuçların Grafiklerle Karşılaştırılması.....	79
5.3.1. Vinylester Atlac 580 Yapıştırıcı.....	79
5.3.1.1 Sx Gerilmelerinin Karşılaştırılması.....	79
5.3.1.2 Sy Gerilmelerinin Karşılaştırılması.....	93
5.3.1.3 Sz Gerilmelerinin Karşılaştırılması.....	107
5.3.1.4 Sxy Gerilmelerinin Karşılaştırılması.....	118
5.3.1.5 Sxz Gerilmelerinin Karşılaştırılması.....	129
5.3.1.6 Seqv Gerilmelerinin Karşılaştırılması.....	140
5.3.2. Flexo Tix Yapıştırıcı.....	148
5.3.2.1 Sx Gerilmelerinin Karşılaştırılması.....	148
5.3.2.2 Sy Gerilmelerinin Karşılaştırılması.....	155
5.3.2.3 Sz Gerilmelerinin Karşılaştırılması.....	163
5.3.2.4 Sxy Gerilmelerinin Karşılaştırılması.....	169
5.3.2.5 Sxz Gerilmelerinin Karşılaştırılması.....	175
5.3.2.6 Seqv Gerilmelerinin Karşılaştırılması.....	184
5.4. Yapıştırıcıların Gerilmelerinin Karşılaştırılması.....	190
5.5.GENEL SONUÇLAR.....	214
5.6. ÖZEL SONUÇLAR.....	216
KAYNAKLAR.....	222
ÖZGEÇMİŞ.....	229

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Kaynak, perçin ve yapıştırıcılarla birleştirmede oluşan gerilme yığılmaları	3
Şekil 2.1. Gerilme tipleri.....	17
Şekil 2.2. Bazı yaygın yapıştırma bağlantı tipleri.....	18
Şekil 2.3. Tek tesirli bindirme bağlantısının şekil değiştirmeden önce ve şekil değiştirdikten sonraki görünümü	19
Şekil 2.4. Yüklendi haldeki tek tesirli bindirme bağlantısının deforme olmuş hali ve kayma gerilmesi dağılımı.....	20
Şekil 2.5. Yüklendi haldeki çift tesirli bindirme bağlantısı ve yapıştırıcıda oluşan gerilmeler.....	21
Şekil 2.6. Fiziksel yaşlanma proses şeması	26
Şekil 2.7. Yapıştırma bağlantısında adhezyon ve kohezyon kuvvetleri.....	28
Şekil 2.8. Yapıştırma bağlantısında kırılma.....	30
Şekil 2.9 Anaerobik reaksiyon ile kürleşen yapıştırıcıların kürleşme işlemi.....	38
Şekil 2.10. Anaerobik ürünlerin kürleşme hızını etkileyen faktörler.....	39
Şekil 2.11. UV ile kürleşen yapıştırıcılarda kürleşme işlemi.....	40
Şekil 2.12. Elektromanyetik spektrum.....	40
Şekil 2.13. UV ürünlerin tipik kürleşme davranışı.....	41
Şekil 2.14. Bağıl nemin bir fonksiyonu olarak siyanoakrilat yapıştırıcıların kürleşmesi.....	42
Şekil 2.15. Siyanoakrilat yapıştırıcılarda kürleşme işlemi.....	43
Şekil 2.16. Uygulama ihtiyaçlarına bağlı olarak kullanılan metotlar.....	44
Şekil 2.17. Kürleşme hızı - bağıl nem.....	45
Şekil 2.18. Silikonla yapıştırılmış tipik ek yeri.....	46
Şekil 2.19. Kürleşme süresi-sıcaklık dağılımı.....	47
Şekil 4.1. Kompozit malzeme üretimi.....	58
Şekil 4.2. Birinci bölüm numunelerin çekilmesinde kullanılan universal (INSTRON 1114) çekme cihazı.....	59
Şekil 4.3. İkinci bölüm numunelerin çekilmesinde kullanılan universal (SHIMADZU) çekme cihazı.....	60
Şekil 4.4. Deneylerde kullanılan numune geometrisi.....	61
Şekil 4.5. Bulk numuneler için standart çekme numunesi	65
Şekil 4.6. Bulk numune hazırlarken kullanılan sıcak pres makinesi.....	66

Şekil 4.7. Vinylester Atlac 580 bulk numuneleri.....	69
Şekil 4.8. Vinylester Atlac 580 bulk numunelerin gerilme-şekil değıştirme diyagramı.....	70
Şekil 4.9. Flexo Tix bulk numuneleri.....	70
Şekil 4.10. Flexo Tix numunelerin gerilme-şekil değıştirme diyagramı.....	71
Şekil 4.11. Numunelerin sonlu elemanlara bölünmüş hali.....	72
Şekil 5.1. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	79
Şekil 5.2. $t=3$ mm ve $b=20$ mm olduğunda α (açı) etkisi	80
Şekil 5.3. $t=5$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi	80
Şekil 5.4. $t=5$ mm ve $b=15$ mm olduğunda α (açı) etkisi	81
Şekil 5.5. $t=6$ mm ve $b=15$ mm olduğunda α (açı) etkisi	81
Şekil 5.6. $t=6$ mm ve $b=20$ mm olduğunda α (açı) etkisi	82
Şekil 5.7. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi	82
Şekil 5.8. $t=5$ mm ve $b=15$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	83
Şekil 5.9. $t=5$ mm ve $b=20^\circ$ olduğunda α (açı) etkisi	83
Şekil 5.10. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi	84
Şekil 5.11. $t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi	84
Şekil 5.12. $t=3$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	85
Şekil 5.13. $t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	85
Şekil 5.14. $t=6$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	86
Şekil 5.15. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	86
Şekil 5.16. $t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	87
Şekil 5.17. $t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	87
Şekil 5.18. $t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	88
Şekil 5. 19. $b=10$ m ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi	89
Şekil 5.20. $b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	89
Şekil 5.21. $b=15$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	90
Şekil 5.22. $b=20$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	90
Şekil 5.23. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	91
Şekil 5.24. $b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	91
Şekil 5.25. $b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	92
Şekil 5.26. $b=20$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	92
Şekil 5.27. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	93
Şekil 5.28. $t=3$ mm ve $b=20$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	94
Şekil 5.29. $t=5$ mm ve $b=10^\circ$ olduğunda α (açı) etkisi	94

Şekil 5.30. $t=5$ mm ve $b=15$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	95
Şekil 5.31. $t=6$ mm ve $b=20$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	95
Şekil 5.32. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	96
Şekil 5.33. $t=5$ mm ve $b=15$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	96
Şekil 5.34. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	97
Şekil 5.35. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	98
Şekil 5.36. $t=3$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	98
Şekil 5.37. $t=5$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	99
Şekil 5.38. $t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	99
Şekil 5.39. $t=6$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	100
Şekil 5.40. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	100
Şekil 5.41. $t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	101
Şekil 5.42. $t=3$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	101
Şekil 5.43. $t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	102
Şekil 5.44. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	102
Şekil 5.45. $b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	103
Şekil 5.46. $b=20$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	104
Şekil 5.47. $b=20$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	104
Şekil 5.48. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	105
Şekil 5.49. $b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	105
Şekil 5.50. $b=15$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	106
Şekil 5.51. $b=15$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	106
Şekil 5.52. $b=20$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	107
Şekil 5.53. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	107
Şekil 5.54. $t=3$ mm ve $b=20$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	108
Şekil 5.55. $t=5$ mm ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	108
Şekil 5.56. $t=5$ mm ve $b=15$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	109
Şekil 5.57. $t=5$ mm ve $b=15$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	109
Şekil 5.58. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	110
Şekil 5.59. $t=5$ mm ve $b=15$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	111
Şekil 5.60. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	111
Şekil 5.61. $t=3$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	112
Şekil 5.62. $t=5$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	111
Şekil 5.63. $t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	113

Şekil 5.64. $t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	114
Şekil 5.65. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	115
Şekil 5.66. $b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	115
Şekil 5.67. $b=20$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	116
Şekil 5.68. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	116
Şekil 5.69. $b=15$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	117
Şekil 5.70. $b=20$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	118
Şekil 5.71. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	118
Şekil 5.72. $t=5$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	119
Şekil 5.73. $t=5$ mm ve $b=20$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	120
Şekil 5.74. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	120
Şekil 5.75. $t=5$ mm ve $b=15^\circ$ olduğunda α (açı) etkisi.....	121
Şekil 5.76. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	122
Şekil 5.77. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	122
Şekil 5.78. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	123
Şekil 5.79. $t=3$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	124
Şekil 5.80. $t=3$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	124
Şekil 5.81. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	125
Şekil 5.82. $b=15$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	125
Şekil 5.83. $b=15$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	126
Şekil 5.84. $b=20$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	126
Şekil 5.85. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	127
Şekil 5.86. $b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	127
Şekil 5.87. $b=15$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	128
Şekil 5.88. $b=20$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	129
Şekil 5.89. $b=20$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	129
Şekil 5.90. $t=3$ mm ve $b=10$ olduğunda α (açı) etkisi.....	130
Şekil 5.91. $t=5$ mm ve $b=10$ olduğunda α (açı) etkisi.....	130
Şekil 5.92. $t=6$ mm ve $b=10$ olduğunda α (açı) etkisi.....	131
Şekil 5.93. $t=6$ mm ve $b=15$ olduğunda α (açı) etkisi.....	131
Şekil 5.94. $t=3$ mm ve $b=10$ olduğunda α (açı) etkisi.....	132
Şekil 5.95. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	133
Şekil 5.96. $t=3$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	134
Şekil 5.97. $t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	134

Şekil 5.98. $t=6$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	135
Şekil 5.99. $t=6$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	135
Şekil 5.100. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	136
Şekil 5.101. $t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	136
Şekil 5.102. $t=5$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	137
Şekil 5.103. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	138
Şekil 5.104. $b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	138
Şekil 5.105. $b=15$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	139
Şekil 5.106. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	139
Şekil 5.107. $b=15$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	140
Şekil 5.108. $t=3$ mm ve $b=10$ olduğunda α (açı) etkisi.....	141
Şekil 5.109. $t=5$ mm ve $b=15$ olduğunda α (açı) etkisi.....	141
Şekil 5.110. $t=3$ mm ve $b=10$ olduğunda α (açı) etkisi.....	142
Şekil 5.111. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	143
Şekil 5.112. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	144
Şekil 5.113. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	144
Şekil 5.114. $t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	145
Şekil 5.115. $b=10$ mm ve $\alpha=45$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	146
Şekil 5.116. $b=10$ mm ve $\alpha=75$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	146
Şekil 5.117. $b=20$ mm ve $\alpha=45$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	147
Şekil 5.118. $b=10$ mm ve $\alpha=45$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	147
Şekil 5.119. $b=15$ mm ve $\alpha=45$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	148
Şekil 5.120. $t=3$ mm ve $b=10$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	149
Şekil 5.121. $t=3$ mm ve $b=10$ olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	149
Şekil 5.122. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	150
Şekil 5.123. $t=6$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	151
Şekil 5.124. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	151
Şekil 5.125. $t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	152
Şekil 5.126. $\alpha=45^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda b (genişlik) etkisi.....	152
Şekil 5.127. $\alpha=75^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda b (genişlik) etkisi.....	153
Şekil 5.128. $\alpha=45^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda b (genişlik) etkisi.....	154
Şekil 5.129. $\alpha=60^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda b (genişlik) etkisi.....	155
Şekil 5.130. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	155
Şekil 5.131. $t=6$ mm ve $b=15$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	156

Şekil 5.132. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi	157
Şekil 5.133. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	157
Şekil 5.134. $t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	158
Şekil 5.135. $t=6$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	158
Şekil 5.136. $t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	159
Şekil 5.137. $\alpha=60^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda b (genişlik) etkisi.....	160
Şekil 5.138. $\alpha=60^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda b (genişlik) etkisi.....	160
Şekil 5.139. $\alpha=60^\circ$ ve $b=15$ mm olduğunda b (genişlik) etkisi.....	160
Şekil 5.140. $\alpha=45^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda b (genişlik) etkisi.....	161
Şekil 5.141. $\alpha=60^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda b (genişlik) etkisi.....	162
Şekil 5.142. $\alpha=75^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda b (genişlik) etkisi.....	162
Şekil 5.143. $\alpha=75^\circ$ ve $b=15$ mm olduğunda b (genişlik) etkisi.....	163
Şekil 5.144. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	163
Şekil 5.145. $t=6$ mm ve $b=15$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	164
Şekil 5.146. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	164
Şekil 5.147. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda α (açı) etkisi.....	165
Şekil 5.148. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda α (açı) etkisi.....	166
Şekil 5.149. $t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda α (açı) etkisi.....	166
Şekil 5.150. $\alpha=75^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	167
Şekil 5.151. $\alpha=60^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	167
Şekil 5.152. $\alpha=45^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	168
Şekil 5.153. $\alpha=60^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda n t (kalınlık) etkisi.....	168
Şekil 5.154. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	169
Şekil 5.155. $t=5$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	169
Şekil 5.156. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	170
Şekil 5.157. $t=5$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	170
Şekil 5.158. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	171
Şekil 5.159. $t=6$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	172
Şekil 5.160. $\alpha=45^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	173
Şekil 5.161. $\alpha=60^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	173
Şekil 5.162. $\alpha=75^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	174
Şekil 5.163. $\alpha=45^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	174
Şekil 5.164. $\alpha=60^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	175
Şekil 5.165. $\alpha=75^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	175

Şekil 5.166. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	176
Şekil 5.167. $t=5$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	176
Şekil 5.168. $t=5$ mm ve $b=15$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	177
Şekil 5.169. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	177
Şekil 5.170. $t=5$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	178
Şekil 5.171. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	178
Şekil 5.172. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	179
Şekil 5.173. $t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	179
Şekil 5.174. $t=5$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	180
Şekil 5.175. $t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	180
Şekil 5.176. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	181
Şekil 5.177. $\alpha=45^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	182
Şekil 5.178. $\alpha=60^\circ$ ve $b=15$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	182
Şekil 5.179. $\alpha=75^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	183
Şekil 5.180. $\alpha=45^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	183
Şekil 5.181. $\alpha=75^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	184
Şekil 5.182. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	185
Şekil 5.183. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi.....	185
Şekil 5.184. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	186
Şekil 5.185. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	187
Şekil 5.186. $t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi.....	187
Şekil 5.187. $\alpha=75^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	188
Şekil 5.188. $\alpha=60^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	188
Şekil 5.189. $\alpha=45^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	189
Şekil 5.190. $\alpha=60^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	190
Şekil 5.191. $\alpha=75^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi.....	190
Şekil 5.192. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması.....	191
Şekil 5.193. $t=6$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması.....	191
Şekil 5.194. $t=6$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması.....	192
Şekil 5.195. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b etkisinin karşılaştırılması.....	192
Şekil 5.196. $t=6$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b etkisinin karşılaştırılması.....	193
Şekil 5.197. $t=6$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b etkisinin karşılaştırılması.....	193
Şekil 5.198. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t etkisinin karşılaştırılması.....	194
Şekil 5.199. $b=20$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t etkisinin karşılaştırılması.....	195

Şekil 5.200. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t etkisinin karşılaştırılması.....	195
Şekil 5.201. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması.....	196
Şekil 5.202. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması.....	197
Şekil 5.203. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b etkisinin karşılaştırılması.....	197
Şekil 5.204. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b etkisinin karşılaştırılması.....	198
Şekil 5.205. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t etkisinin karşılaştırılması.....	199
Şekil 5.206. $b=20$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t etkisinin karşılaştırılması.....	199
Şekil 5.207. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t etkisinin karşılaştırılması.....	200
Şekil 5.208. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması.....	200
Şekil 5.209. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması.....	201
Şekil 5.210. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b etkisinin karşılaştırılması.....	201
Şekil 5.211. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t etkisinin karşılaştırılması.....	202
Şekil 5.212. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t etkisinin karşılaştırılması.....	203
Şekil 5.213. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması.....	204
Şekil 5.214. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması.....	204
Şekil 5.215. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b etkisinin karşılaştırılması.....	205
Şekil 5.216. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b etkisinin karşılaştırılması.....	205
Şekil 5.217. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t etkisinin karşılaştırılması.....	206
Şekil 5.218. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t etkisinin karşılaştırılması.....	207
Şekil 5.219. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması.....	207
Şekil 5.220. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ mm olduğunda b etkisinin karşılaştırılması.....	208
Şekil 5.221. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ mm olduğunda t etkisinin karşılaştırılması.....	209
Şekil 5.222. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ mm olduğunda t etkisinin karşılaştırılması.....	210
Şekil 5.223. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması.....	211
Şekil 5.224. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması.....	211
Şekil 5.225. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ mm olduğunda b etkisinin karşılaştırılması.....	212
Şekil 5.226. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ mm olduğunda t etkisinin karşılaştırılması.....	213
Şekil 5.227. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ mm olduğunda t etkisinin karşılaştırılması.....	213
Şekil 5.228. Koheziv hasar bölgeleri.....	215
Şekil 5.229. Adheziv hasar bölgeleri.....	216

TABLoların LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 2.1. Temel hasar tipleri (ISO 10365).....	29
Tablo 2.2. Pasif ve aktif malzemelerin anaerobik k�rle�meye etkileri.....	37
Tablo 4.1. Kompozit malzemelerin mekanik �zellikleri.....	61
Tablo 4.2. Kompozit malzemelerden yapılan numunelerin geometrik �l��leri.....	63
Tablo 4.3. Çalışmada kullanılan yapısal yapıştırıcılar.....	66
Tablo 4.4. Yapıştırıcıların mekanik �zellikleri.....	71
Tablo 5.1. Yapıştırıcıların ara yüzeyindeki gerilmelerin karşılaştırılması.....	75
Tablo 5.2. Vinylester yapı�tırıcısının ara yüzeyindeki yüklerin karşılaştırılması.....	77
Tablo 5.3. Flexo Tix yapı�tırıcısının ara yüzeyindeki yüklerin karşılaştırılması.....	78

SİMGELER

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

Simge	Açıklama
E	Elastisite modülü(GPa)
G	Kayma modülü (GPa)
$S_x= \sigma_x$	x yönündeki çekme gerilmesi(MPa)
$S_y= \sigma_y$	y yönündeki çekme gerilmesi(MPa)
$S_z= \sigma_z$	z yönündeki çekme gerilmesi(MPa)
$S_{xy}= \tau_{xy}$	x-y düzlemindeki kayma gerilmesi(MPa)
$S_{xz}= \tau_{xz}$	x-z düzlemindeki kayma gerilmesi(MPa)
$S_{eqv}= \sigma_{eqv}$	von Misses gerilmesi(MPa)
ε	Şekil değiştirme(%)
ν	Poisson oranı
γ	Kayma şekil değiştirme(%)
τ	Kayma gerilmesi(MPa)
a	Bindirme mesafesi(mm)
b	Numune genişliği(mm)
t	Numune kalınlığı(mm)
P	Çekme kuvveti(Pa)
θ	Açı(°)
α	Bindirme açısı(°)
π_e	Denge yayılma açısı(°)
W_a	Yapışma işi
W_A^d	Yayılma bileşeni
W_A^h	Hidrojen bağı bileşeni
W_A^p	Dipole-dipole bileşeni
W_A^i	Dipole-induced dipole bileşeni
W_A^{ab}	Asit-baz bileşeni

ÖZET

Doktora Tezi

YAPIŞTIRICI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ TERS Z TİPİ KOMPOZİT MALZEME BAĞLANTILARININ MEKANİK ANALİZİ

Hamit ADİN

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

2007, Sayfa : 229

Endüstriyel yapıştırıcıların fiziksel ve mekanik özelliklerindeki gelişmeler, yapıştırıcı ile birleştirme tekniğinin birçok mühendislik alanında başarıyla kullanılmasına sebep olmuştur. Diğer mekanik bağlama tekniklerine olan üstünlüklerinden dolayı yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılar, birçok araştırmacı tarafından analiz edilmiştir.

Bu çalışmada yapıştırıcı ile birleştirilmiş ters z tipi bağlantının analizi yapılmıştır. Bağlantıyı oluşturan plaka ve destekler kompozit malzemeden yapılmıştır. Bu tür problemlerin çözümünde etkili bir yöntem olan sonlu elemanlar metodu(SEM) kullanılmıştır. Bütün analizler genel amaçlı sonlu elemanlar yazılımı olan Ansys(10.0) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu analizde bağlantı mukavemetinde etkili parametreler olan bindirme mesafesi(a), numune genişliği(b), numune kalınlığı(t) ve bindirme açısı(α) incelenmiştir. Nümerik sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve uygun olduğu görülmüştür. Gerilmeler($S_x, S_y, S_z, S_{xy}, S_{xz}, S_{yz}$), plaka boyutlarına(a,b) bağlı olarak şekiller ve grafiklerle gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Yapıştırıcı, kompozite malzeme, gerilme analizi, Ansys, sonlu elemanlar metodu(SEM).

ABSTRACT

PhD Thesis

MECHANICAL ANALYSIS OF ADHESIVE WITH BONDED INVERSE Z TYPE TIES OF COMPOSITE MATERIALS

Hamit ADİN

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

2007, Page : 229s

The improvements in the physical and mechanical properties of industrial adhesives have caused that adhesive bonding technique has been used successfully in most engineering areas. Due to its some advantages over the other fastening methods, adhesively bonded joints have been analysed by many researchers.

In this study, an adhesively bonded inverse Z type joint has been analysed. The material of the support and horizontal plate which are members of joint was manufactured to be composite materials. The Finite Element Method(FEM) which is very powerful numerical solution technique was used in analysis. All analyses were carried out using the general purposed finite element software Ansys(10.0). In this analysis, the variations of peak stresses, have been investigated, overlap distance(a), model breadth(b), model thickness(t) and overlap angle(α). Experimental results with numerical results are compared and found quite reasonable. Bearing stresses($S_x, S_y, S_z, S_{xy}, S_{xz}, S_{yz}$) which are depending on dimension of the plate(a, b) are shown in figures and graphics.

Key Words : Adhesive, composite material, stress analysis, Ansys, finite element method(FEM).

1.GİRİŞ

Eskiden olduğu gibi, bugünde malzemeleri birbirine eklemek, birleştirmek ve onları bir bütün olarak tüm ömürleri boyunca bir arada tutmak amacıyla birçok malzeme ve teknik kullanılmaktadır. Bunların arasında cıvata, perçin ve çivi gibi malzemeler, kaynak ve lehim gibi teknikler bulunmaktadır. Ancak bu malzeme ve yöntemlerden daha ucuz, pratik ve kullanımı daha basit olan malzeme ve sistemler bulunmaktadır. “Yapıştırıcı” olarak adlandırılan bu malzemeler, plastik, kauçuk v.b. malzemelerden yapılmaktadır. Yapıştırıcıların makine ve yapı elemanlarının bağlantılarında kullanımı giderek artmaktadır. Özellikle uzun zaman periyotlarında bağlantı güvenilirliğinin gerektirdiği havacılık, uzay, otomotiv, altyapı sistemi, tıp, elektronik paketlenme, spor, inşaat ve deniz endüstrilerinde yapıştırıcılar, gün geçtikçe geleneksel bağlantı yöntemleri olan cıvata, perçin, lehim ve kaynağın yerini almaktadır.

Kırılan ve kopan malzemeleri tekrar kullanabilmek için, mekanik birleştirme yöntemleri kullanılabilir. Ancak yapıştırıcılarla yapılan birleştirme daha kolay ve daha uzun ömürlüdür. Bu birleştirmede parçalar eski mukavemetine gelmese bile yine de uzun süre kullanılabilir. Yapıştırıcılarla sadece kırılan ve kopan malzemeleri değil, endüstride yeni kullanıma sunulacak birçok malzemeyi daha kolay ve kısa sürede birleştirmek mümkündür.

Bir yapıştırıcı(adhesive) ASTM(Standard test method for strength properties of adhesives in shear by tension loading) tarafından, “yüzey teması ile malzemeleri bir arada tutabilen madde” olarak tanımlanmıştır[11]. Yapıştırıcının bir başka tanımı ise, “yüzeylere uygulandığında onları bir arada tutabilen ve ayrılmayı önleyen polimerik malzeme”dir[3].

Günümüz dünyasında sistemlerin enerji tüketimini azaltmak için birçok sebep vardır. Yakıtta tasarrufa gitmenin başlıca yollarından bir tanesi sistemlerin ağırlığını azaltmaktır. Sistem elemanlarını birleştirmek için kullanılan geleneksel bağlantı yöntemlerinin yerine daha hafif bir bağlantı şekli olan yapıştırıcıların kullanımı sistemleri daha hafif hale getirmiştir[47].

Metaller mükemmel mekanik ve dayanım özelliklerinden dolayı en fazla tercih edilen malzemelerdir. Hâlbuki metallerin başarımı büyük oranda korozyondan dolayı sınırlanır. Korozyon, metallerin çevresel faktörler etkisinde bozulması olarak tanımlanabilir[62]. Yapısal uygulamalarda kullanılan metallerin çoğu, oksijenli ortamlarda korozyona eğilimlidir ve bu eğilim yüksek sıcaklıklarda daha da artar. Korozyona uğrama oranı sulu ortamlarda daha hızlanır. Çünkü su, korozyonda birincil süreç olan elektrokimyasal reaksiyonlar için uygun bir ortam sağlar. Bisikletlerden köprülere, kovalardan büyük savaş gemilerine bütün yapıların çalışma ömürleri korozyon nedeniyle azalmaktadır[12]. Borularla akışkanın taşındığı bir sistemde, borular korozyona uğradığı zaman, hasarlı bölgenin incelenmesi ve onarımı için

sistem durur. Hasar fazla değilse, genellikle onarım için kaynak tercih edilir ve kusurlu parça genellikle değiştirilir. Eğer hasar onarılamayacak kadar fazla ise, kusurlu parça kesinlikle değiştirilmelidir. Sistem onarım için dururken, zaman, iş gücü ve onarım maliyeti gibi kayıplar oluşur. Ayrıca ekonomik kayıpların yanında kaynakla onarımda patlama gibi tehlikeler söz konusudur. Mesela kusurlu bölge su altında akışkan taşınan bir taşıma ağına ise,

kaynak yapmanın zorluğu daha da artar. Su altında kaynak, gemi teknolojisi gibi zor ve uğraştırıcı çevre şartlarında kaynak yapabilen teknik eleman gerektirir. Bunun gibi kaynak yapmadaki zorluklar ve ekonomik sebepler, yeni ve alternatif bir birleştirme ve onarım metodunu zorunlu kılmıştır[57].

Alternatif bir birleştirme ve onarım metodu olan yapıştırıcıların diğer metotlara göre bir takım avantaj ve dezavantajları vardır. Avantajları,

- Metaller ve polimerler gibi farklı malzemeler birleştirilebilir,
- Düzgün gerilme dağılımı elde edilir (şekil 1.1).
- Esas malzemelerin (adherend) özellikleri bozulmaz,
- Sızdırmazlık elemanı olarak kullanılabilir,
- İnce metal parçalarını etkili bir şekilde birleştirebilir,
- Bağlantılara çok iyi dinamik-yorulma direnci sağlar
- Maliyet yönünden etkili ve uygun bir tekniktir,
- Farklı ve karmaşık geometrilili şekilleri birleştirebilir,
- Daha pürüzsüz aerodinamik yüzeyler elde edilir,
- Korozyon direnci geliştirilebilir,
- Ağırlığı azaltır,
- Titreşimi sönümler.

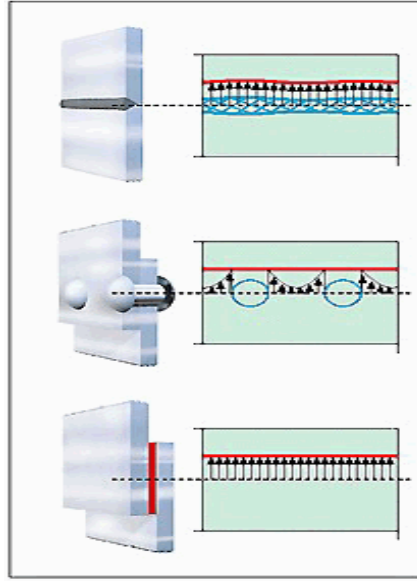
Bu kadar avantaja karşın dezavantajları ise şu şekilde sıralanabilir:

- Kötü ve zor çevre şartlarında uzun çalışma ömrü elde etmek için bir takım yüzey işlemleri gerekebilir,
- Yapıştırıcıların üst çalışma sıcaklıkları sınırlıdır,
- Çekme ve kayma durumlarında mukavemet ve toklukları nispeten düşüktür.

Yapıştırıcı kullanımında, diğer bağlama yöntemleri kadar tehlike söz konusu değildir. Ayrıca yapıştırıcı uygun bir bağlama yöntemi olduğu için çok özel işlemlere de gerek yoktur. İngiltere’de, Denizcilik Araştırma Kurumu tarafından rapor edilen bazı araştırmalara göre Kuzey Denizinde kıyıda çok uzaklarda, denizin ortasında yapıştırıcı kullanılarak çelik yapılar onarılmıştır[16]. Bu tip onarımlarda yapıştırıcı kullanılmadan önce, hem bulk(mekanik özellikleri öğrenmek için çekme numunesi şeklinde kalıba dökülen yapıştırıcı malzemesi) yapıştırıcı ve hem de bağlantıdaki yapıştırıcının mekanik özelliklerine çevre ve ortamın

etkilerinin iyi bir şekilde araştırılması ve bilinmesi gerekir. Aksi takdirde su altında yapıştırma bağlantılarının nasıl davranacağı bilinemez.

Yapıştırıcılar, yüzeylere sürülüp katılaştırıldığında parçaları birbirine bağlama özelliğine sahiptir. Yapıştırıcılar birkaç farklı şekilde sınıflandırılabilir. Tek bileşenli sıvı yapıştırıcılar; iki bileşenli sıvı yapıştırıcılar ve film yapıştırıcılar, fiziksel hallerine göre sınıflandırmayı; metal-metal yapıştırıcılar, kâğıt yapıştırıcılar ve ahşap yapıştırıcılarıdır. Bu malzemeye göre sınıflandırmaktır. Epoksi yapıştırıcılar, siyanoakrilit yapıştırıcılar ve polikloropen yapıştırıcılar da kimyasal formlarına göre sınıflandırmaya birkaç örnektir. Yapıştırma şartlarına göre sınıflandırmaya ise çözücü ile katılan yapıştırıcılar, soğuk katılan yapıştırıcılar ve erimiş durumda uygulanan ve soğuyup sertleştiğinde yapışma sağlayan (hot-melt) yapıştırıcılar örnek gösterilebilir[50].



Şekil 1.1. Kaynak, perçin ve yapıştırıcılarla birleştirmede oluşan gerilme yığılmaları[58]

Birleştirme işleminin başında yapıştırıcının, birleştirilecek yüzeylerle iyi bir temasın sağlanması için sıvı formda olması gerekir. İyi bir temasın sağlanması ıslatma yâda yayılma olarak tanımlanır ve güçlü bir yapıştırma bağlantısının sağlanmasında çok önemli bir faktördür. Yapıştırıcı, yapıştırılan yüzeyi iyice ıslattıktan sonra katı hale geçer. Yapıştırıcının sıvı halden katı hale dönüşümü, çözücünün uzaklaşması, yapıştırıcının soğuması yâda kimyasal reaksiyonlarla sağlanır[16].

Çözücünün uzaklaşması sürecinde yapıştırıcı, çözücülerin veya suyun içinde eridiği yâda yayıldığı için yapıştırılacak yüzeyi ıslatacak kadar viskozitesi düşüktür. Yapıştırıcı, yüzeyi iyi ıslattıktan sonra su yâda çözücüler ortamdaki uzaklaşarak yapıştırıcı katılır. Bu katılma sürecinin en büyük dezavantajı; çözücülerin ortamdaki uzaklaşması zaman alır ve bu da

yapıştırma işlemini yavaşlatır. Yapıştırıcının soğuyarak katılaşması sürecinde, termoplastik yapıştırıcı ısıtılarak viskozitesi düşürülür. Yapıştırıcı yüzeye sürülür ve soğutularak katılaştırılır. Bu katılaşma mekanizması birkaç saniyede meydana gelir. Eğer yapıştırılacak malzeme yüksek ısı iletim katsayısına sahip bir malzeme ise çoğu zaman yapıştırıcı malzeme yüzeyini ısıtma şansına sahip olmadan katılaşabilir. Bu da bağlantının daha zayıf bir bağlantı olmasına sebep olur. Bundan dolayı bu yapıştırıcı türü metaller için tavsiye edilmez [16].

Kimyasal katılaşma sürecinde yapıştırıcı, yüzeyler arasında aynı anda polimerleşen ve reçine olarak kabul edilen monomerlerin yığını olarak yüzeylere uygulanır. Bu yapıştırıcı tipin fiziksel formları; pastaları, tozları, çubukları, yapışkanlı ya da yapışkansız filmleri ve çözücü esaslı düşük viskoziteli sıvıları ya da %100 katıları kapsar. Bazı oda sıcaklığında vulkanize olan silikon lastikler, termoset fenolikler, amino resinler, siyanoakrilitler, anerobikler ve radyasyonla kürleşen polimerler bu guruba girerler. İki bileşenli yapıştırıcılar bu kategoriye girer. Yapıştırıcı yüzeye sürülmeden hemen önce yapıştırıcıya katılaştırıcı katılır, yapıştırıcı yüzeye sürülür ve hemen katılaşır. Kimyasal reaksiyon, nem, ultraviyole ışığı, katılaştırıcının uzaklaştırılması ve oksijenin yokluğu ile de hızlanabilir. Yüksek sıcaklık da bazen kimyasal reaksiyonlara katkıda bulunmakta kullanılır. Kimyasal reaksiyonlarla katılaşmanın bazı avantajları vardır. Suyu yâda çözücülerini gidermek gerekmez ve çoğu zaman reaksiyon oda sıcaklığında gerçekleştiği için ısıtma elemanlarına ihtiyaç olmaz. Bu yapıştırıcı gurubu metaller gibi yüksek ısı iletim katsayısına sahip malzemeler için en iyi yapıştırıcı gurubudur. Diğer katılaşma mekanizmalarla karşılaştırıldığında, kimyasal reaksiyonlarla katılaşan yapıştırıcıların sıcaklık direnci olağanüstüdür. Dolayısıyla bazı dezavantajları vardır. Katılaşma oranı daha yavaştır. Bazı yapıştırıcılarda kısa süre içerisinde yeterli mukavemete elle basarak ulaşılabilir.

Kimyasal reaksiyon ile katılaşan yapıştırıcılar, bağıl olarak yüksek elastisite modülü ve yüksek mukavemet değerlerinden dolayı yapısal yapıştırıcılar olarak da tanımlanır. En fazla kullanılan yapısal yapıştırıcılar epoksi reçinelerden elde edilir.

Epoksilerin mekanik özellikleri büyük oranda sudan etkilenmektedir. Dolayısıyla epoksilerin maruz kalacağı sulu ortamlardaki mekanik davranışlarını belirlemek için suyun epoksi üzerindeki etkisinin bilinmesi gerekir[56,55,32,63,14,81,71]. Son yıllarda epoksi-su iç etkileşimi üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Epoksinin emdiği nemi ölçmek için en fazla kullanılan ve en uygun olan ölçme tekniği, yapıştırıcının nemli ortama maruz bırakılmadan önceki ve nemli ortamda bekletildikten sonraki kütlesini ölçüp ikisi arasındaki kütle farkını hesaplamaktır[44,63,15]. Epoksi tarafından emilen su miktarı, kimyasal yapı, morfoloji ve kürleşme derecesiyle belirlenir[32]. Ayrıca epoksi reçinesinin absorbe ettiği su miktarının sıcaklıkla arttığı gözlenmiştir[100]. Chateausinus *et al.* [21], saf suda bekletilen epoksinin absorbe ettiği nem miktarını Fick kanununu kullanarak belirlemişlerdir. Yüksek sıcaklıklarda

sulu ortama maruz bırakılmış epoksinin yorulma mukavemetinde önemli ölçüde düşüş meydana geldiği görülmüştür[53]. Yüksek sıcaklıklarda nemli ortamlara maruz kalan polimerik malzemelerde meydana gelen bozulmayı belirlemek için X-ray Photoelectron Spectroscopy(XPS) ve Fourier Transform Infrared (FTIR) gibi teknikler kullanılmaktadır ve reçine ile su arasında tersinmez bir iç etkileşim olduğu belirlenmiştir. Shanahan ve arkadaşları[78], suyun epoksinin omurgasını oluşturan zinciri kesebildiğini ifade etmişlerdir. Ploehn ve Wang[72], suyun epoksinin mekanik özelliklerine olan etkilerini incelemek için Dinamik Mekanik Analiz (DMA) tekniğini kullanmışlardır. Suyun, reçinenin camısı geçiş sıcaklığı üzerine etkisi DMA kullanılarak incelenebilir[71]. Epoksinin camısı geçiş sıcaklığının, suyun absorbe edilmesiyle düştüğü gözlenmiştir ve burada suyun plastikleştirici yâda seyreltici etki yaptığı kabul edilmektedir[72].

1.1. Literatür Taramaları

Yapıştırıcıların yukarıda sayılan avantajlarından dolayı birçok çalışmaya konu olmuşlardır. Yapışan malzeme ile yapıştırıcı ara yüzeyindeki süreksiz yapı ve ortamın geometrisinin karmaşıklığı, yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların analizini güçleştirir. Bu nedenle yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılar birçok bilim adamı ve araştırmacının bu alana yönelmesine neden olmuştur. Dolayısıyla bu alanda yapılan teorik ve deneysel çalışmalar çok fazladır. Yapıştırıcıların metal yüzeylerine yapışma ve hasar mekanizmaları yaygın olarak çalışılmıştır.

Adams ve Peppiat [2], yapıştırıcı bağlantısının genişliği boyunca önemli gerilmelerin mevcut olduğunu tespit etmiş ve yapıştırılan malzemeler ile yapıştırıcıdaki kayma gerilmelerinin uygulanan yük doğrultusuna dik yönde de mevcut olduğunu ve yapıştırılan malzemelerde bu gerilmelere Poisson oranının sebep olduğunu ifade etmişlerdir.

Renton ve Vinson [73], yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılarda daha gerçekçi sonuçların alınabilmesi için kayma ve normal gerilmeleri dikkate alarak modellenmesi gerektiğini açıklamışlardır. Bu konudaki ilk çalışmayı yapmışlardır. Çalışmalarında düzlem içi yüklere maruz tek bindirme bağlantısı tarzında birbirine birleştirilmiş iki tabakalı kompozit plakanın lineer elastik davranışını belirlemek için bir analiz metodu sunmuşlardır. Bu analizde şu sonuçlara varmışlardır;

- Yapıştırıcıdaki normal gerilmeler, bindirme bölgesinin uçlarında en yüksek değere ulaşır. Bağlantılar simetrik olmadığı için eğilme oluşur ve düzlem içi yükleme ile artar.
- Aynı tür malzemeler yapıştırılınca kayma ve çekme etkisiyle birleşir. Bağlantı uçlarında yüksek gerilmeler oluşur. Bu gerilmeleri azaltmak için daha az direngen bir yapıştırıcı

kullanmak gerekir.

- Yapıştırılan malzemelerin yük kaldırma kabiliyetinin artırılması kopmanın yapıştırıcıda meydana gelmesine sebep olacaktır. Aksi takdirde yapıştırıcıda kopma beklenmez.
- Bindirme boyu arttırılırsa (bağlantını geri kalan kısmının toplam boyu sabit olması şartıyla) yapıştırıcıda oluşan kayma ve normal gerilmeleri azalacaktır. Ancak belirli bir bindirme boyundan sonra bu etki ortadan kalkacaktır.

Ojalvo ve Eidinoff [65], yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek bindirme bağlantılarındaki gerilme dağılımında yapıştırıcı kalınlığının etkisini araştırmışlardır. Kayma gerilmesi denklemlerinde bazı katsayıları düzenleyerek yapıştırıcıda oluşan soyulma gerilmesi için diferansiyel denklemde ve sınır şartlarında tamamen yeni terimler elde etmişlerdir. Yapıştırıcı kalınlığı ne kadar ince olursa olsun, yapıştırıcı kalınlığı boyunca kayma gerilmesi dağılımının tahmin edilebilir olduğunu belirtmişlerdir. Kayma gerilmesinin yapıştırıcı kalınlığı boyunca değişimine ilaveten, kayma gerilmelerinin yapıştırılan malzeme ve yapıştırıcı ara yüzeyinin iki uç noktasında en yüksek değere ulaştığını ortaya konulmuştur.

Kline [51], Ojalvo ve Eidinoff'a benzer şekilde yapıştırıcı ile birleştirmede gerilme dağılımı üzerine yapıştırıcı kalınlığının etkisini incelemiştir. Kalınlık boyunca gerilmelerin değişimini lineer kabul ederek, kalınlık etkisini de içeren yapıştırıcı tabakasındaki gerilme dağılımında değişken bağlantı parametrelerinin etkisini araştırmıştır.

Delale ve arkadaşları [26], yapıştırıcıyı lineer olmayan özelliklere sahip bir malzeme kabul ederek yapıştırılan malzemenin kalınlığının sabit ve yapıştırma bölgesinin yanal boyutlara göre daha küçük olduğu kabullerini yaparak, iki farklı ortotropik malzemenin yapıştırıcı ile birleştirilmiş yapıları, genelleştirilmiş düzlem şekil değiştirme yaklaşımıyla analiz etmişlerdir.

Aivazzadeh ve arkadaşları [4], değişik tip sonlu elemanlar kullanarak yapıştırıcı ile malzemelerin birleştirildiği bir bağlantının karşılaştırmalı analizini sunmuşlardır. Bir çift bindirme bağlantısını düzlem gerilme problemi kabul ederek;

- Her bir düğüm noktasında iki yer değiştirme bileşeni olmak kaydıyla sekiz serbestlik dereceli klasik dört düğüm noktalı karışık tam elemanı,
- Her bir düğüm noktasında iki yer değiştirme bileşeni, üç gerilme bileşeni olmak kaydıyla yirmi serbestlik dereceli klasik dört düğüm noktalı karışık tam elemanı,
- Ara yüzey elemanları için düğüm noktaları oluşturmayı,
- Eleman ağının sıklığına bağlı olarak ara yüzeydeki kayma ve normal gerilmelerinin uyumalarını,
- Yapıştırıcı ortasındaki bağlantı bölgesi boyunca kayma ve normal gerilmelerinin karşılaştırılmalarını,
- Ara yüzeye yakın yapıştırıcı kısmında kayma ve boylamasına gerilmelerin karşılaştırılması

bakımından test etmişlerdir.

Zienkiewicz ve Taylor [101], Aivazzadeh ve arkadaşlarının analizini biraz geliştirmişlerdir. Çok sık eleman ağları ile sadece yer değiştirme elemanı iyi sonuçlar verirken, tam karışık elemanın biraz düzensiz neticeler verdiğini, fakat ara yüzey elemanının çok daha iyi netice verdiğini göstermişlerdir. Sonuçlar, yapıştırıcının lineer olmayan özelliklerini modelleyebilen lineer olmayan sonlu eleman metodu ve sonlu farklar metodu gibi nümerik teknikler kullanılarak bulmuşlardır.

Sawyer ve Cooper [76], uygulanan düzlem içi kuvvetin tesir hattı ve yapıştırıcı hattı arasındaki açığı azaltabilecek şekilde önceden şekillendirilmesinin yapıştırılan malzemelerin tek bindirme bağlantısındaki yük iletimine katkısını incelemişlerdir. Yük uygulanınca yapıştırılan malzeme deforme olduğu için eğilme momentinin oluşması ve momentin uygulanan kuvvete bağımlı olması nedeniyle de problemin geometrik olarak lineer olmayan bir özelliğe sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Eğilme momenti altında lineer çözümden lineer olmayan davranışa doğru yükü artırarak çözüm yapmışlardır. Bindirme bölgesinin köşe noktasında yapıştırılan malzemedeki bileşke momentin azaldığını ve yapıştırıcıda daha düzenli kayma gerilmelerinin ortaya çıktığını gözlemlemişlerdir.

Apalak ve arkadaşları [7], köşe bağlantılarının analiz edildiği ve tasarlandığı bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında yapıştırıcının lineer elastik izotropik bir malzeme kabul edilerek ve sonlu elemanlar tekniğini kullanarak köşe bağlantılarında oluşturulan yapıştırıcı gerilmelerine ve bağlantının toplam mukavemetine geometri ve malzeme temel özelliklerinin etkilerini incelemişlerdir. Bu bağlantılar, uygulamalarda kullanılacak şekilde ayrıntılı olarak incelenmişlerdir.

Dean ve Duncan [25], hem plastik materyallerin çeşitli standart deneylerinde belirtilen hem de bir yapıştırma bağlantısındaki yapıştırıcı kalınlığı ile karşılaştırılmasına imkan sağlayabilecek şekilde 0.5-4 mm arasında değişen kalınlıklarda bulk numuneler hazırlayarak, yapıştırıcının mekanik özelliklerinin kalınlıkla değişip değişmediğini incelemişlerdir. Numuneler arasındaki değişebilirliğin gözlenebilmesi için, dört ayrı tipte yapısal yapıştırıcıdan (bir ve iki bileşenli epoksiler, iki bileşenli poliüretan ve iki bileşenli akrilik) farklı kalınlıklarda numuneler hazırlayarak test etmişlerdir. Yaptıkları çekme deney sonuçları, numune kalınlığı ile malzeme özelliklerinin değişmediğini göstermiştir. Çalışmalarında sonuç olarak; kalın numunelerin üretilmesinin zor oluşu ve çok ince numunelerin ise burkulmaya maruz kalmalarından dolayı daha kalın numunelerden doğru ve uygun veriler elde etmişlerdir.

Tsai ve Morton [89], yapıştırmanın yapıldığı bölgenin serbest uçlarındaki momentlerin hesaplanması üzerine büyük dönmelerin etkisini analiz etmişler ve yapılan yapıştırma bağlantısı kısa ise, serbest uçlarda oluşan momentler üzerine dönmelerin etkisinin ihmal edilebileceğini

ifade etmişlerdir. Bununla birlikte Tsai ve Morton [89], büyük bindirme uzunlukları için doğru sonuçlar vermediğini, kısa bindirme uzunluklarında ise oldukça doğru sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir. Bu doğruluk büyük deformasyonları içermediğinden halen kısa bindirme uzunlukları için geçerlidir. Oplinger[66]'in modelinde, yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantısının tüm elemanlarındaki büyük dönmeler dikkate alınarak serbest uçlardaki momentler elde edildiğinden, herhangi bir bindirme uzunluğu için oldukça doğru sonuçlar verir.

Tsai ve Morton [89], yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantısında geometrik olarak lineer olmayan deformasyonların ve yapıştırıcı tabakasındaki gerilme dağılımlarının deneysel, sayısal ve teorik analizini yapmışlar ve her üç yöntemle elde ettikleri sonuçların uyum içinde olduğunu ifade etmişlerdir.

Wu ve arkadaşları [94], farklı kalınlık ve uzunluktaki, farklı yapıştırılan malzemeler kullanılarak oluşturulmuş tek tesirli bindirme bağlantıları üzerine geliştirdikleri yöntemi uygulamışlardır.

Yukarıda bahsedilen modellerin tümü gerçekçi olmayan ve bağlantı uçlarında oluşan maksimum kayma gerilmesini içerir[5]. Bu problem uçlarda kayma gerilmelerinin sıfır olduğu bir model için geliştirilmiştir.

Sawa ve arkadaşları [75], çekme yüküne maruz farklı yapıştırılan malzemelerin yapıştırılması ile oluşturulmuş tek tesirli bindirme bağlantısını iki boyutlu elastisite teorisini kullanarak analiz etmişlerdir. Ara yüzeyde oluşan gerilme dağılımı üzerine, yapıştırılan malzeme kalınlığı, yapıştırıcı tabakasının kalınlığı ve yapıştırılan malzemelerin elastisite modül farklarından oluşan etkileri analiz etmişlerdir. Yapıştırılan malzeme kalınlığı ve elastisite modülünün yapıştırmanın yapıldığı bölgenin serbest uçlarında oluşan gerilme dağılımları üzerine son derece büyük bir etkisinin olduğunu göstermişlerdir.

Yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantıları için geliştirilen analitik çözümler üzerine yapılan bu çalışmalar yapıştırma bağlantılarının mekanik davranışlarının anlaşılmasına yönelik önemli bir bakış açısı sağlar. Ayrıca, tasarım kriterlerinin kurulması parametrik çalışmalarda ve deney planlamasında oldukça faydalıdır. Bununla birlikte, gerçek uygulamalarda bu yöntemlerin kullanımı kısıtlayıcı varsayımları ve teorisinin kurulduğu geometrilerden dolayı oldukça sınırlıdır. Bu yöntemlerin çoğu üç boyutlu analizin gerekli olduğu yerlere direkt olarak uygulanamaz.

Sancaktar ve Simmons [74], tek tesirli bindirme bağlantılarının dayanım ve deformasyon davranışı üzerine yapıştırılan malzemedeki oluşturulan çentiğin etkisini incelemişlerdir. Önce, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak en elverişli çentik yeri, boyutları ve geometrisinin tespitini yapmışlardır. Bu parametrik çalışmalardan sonra daha detaylı sonlu elemanlar analiziyle bu verilerin farklı hasar kriterlerine uygulanabilirliğini değerlendirmek için deneysel

sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Deneyisel sonuçlar çentikli numunelerin dayanımının, olmayanlardan %29 daha fazla olduğunu göstermişlerdir. Sonlu elemanlar analizlerinde ise tepe(maksimum) gerilme değerinde %27'lik bir azalma görmüşlerdir

Apalak ve Güneş [9], büyük yer değiştirmelerin etkisini dikkate alarak yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantısında yapıştırıcı ve yapıştırılan malzemelerin ısı özelliklerindeki uyumsuzluktan dolayı oluşan ısıl gerilmeleri, sonlu eleman yöntemiyle incelemişlerdir. Yaptıkları detaylı analizlerin sonucunda, bağlantıdaki en kritik bölgenin yapıştırıcı-yapıştırılan malzeme ara yüzeylerinin serbest uçları olduğunu, alt ve üst yapıştırılan malzeme yüzeylerinde büyük ısıl gerilmelerin oluştuğunu ifade etmişlerdir.

Apalak ve arkadaşları [10], silindirik tek tesirli bindirme bağlantısı üzerinde sonlu elemanlar yöntemiyle yaptıkları diğer bir çalışmada yapıştırıcı tabakasının serbest uçlarında ciddi gerilme yığılmaları ve bunun sonucu olarak silindirik tek tesirli bindirme bağlantısında dikkate değer deformasyonların oluştuğunu göstermişler ve aynı zamanda bindirme uzunluğundaki artışın, yapıştırıcı tabakasının pik gerilme değerlerinde düşüşe sebep olduğunu bildirmişlerdir.

Engin, yapıştırıcı ile birleştirilmiş çift bindirmeli ankastre bağlantıların sonlu elemanlar metodu ile geometrik bakımdan lineer ve lineer olmayan analizini yapmıştır. İlk olarak seçilen bağlantının lineer elastik analizini yapmıştır. İkinci olarak, aynı yükleme şartlarında bağlantının lineer olmayan analizini yapmıştır. Analiz sonucunda yatay plaka serbest ucuna uygulanan çekme kuvveti nedeniyle bağlantıda lineersizliklerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Yapıştırıcı uçlarında ve yatay plakada oluşan yer değiştirme, gerilme ve şekil değiştirmelerde lineersizlik gözlemlenmiştir[30].

Daha evvel yapıştırma bağlantılarının birçok endüstriyel alanda kullanılan popüler bir birleştirme tekniği olduğundan bahsedilmiştir. Son zamanlarda ince levhaların presle şekillendirildiği metal endüstrisinde yapıştırıcı ile birleştirme yöntemi büyük ilgi görmektedir. Bu tip üretim süreçlerinde yapıştırma işlemi genellikle en son safhada gerçekleştirilir. Böyle geleneksel süreçler yerine yapıştırma işlemi, metallere uygulanan presleme işlemiyle aynı anda gerçekleştirilebilirse mükemmel bir üretim tekniği olacaktır. Bununla birlikte bu yeni üretim tekniği, yapıştırıcı tabakasındaki büyük kayma deformasyonlarından dolayı, levhalarda geometrik kusurlar ve delemantasyon (yapıştırıcının kalkması) gibi zorlukları da beraberinde getirir. Bu zorlukların giderilmesi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır[86].

Apalak ve Güneş [9], yapıştırıcı ve yapıştırılan malzemelerin gerilme-şekil değiştirme davranışlarını belirledikten sonra bu verileri kullanarak eğilme momentine maruz tek tesirli bindirme bağlantılarında sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analizi yapmışlardır. Sonuçta, yapıştırılan alüminyum malzemelerde son derece büyük plastik deformasyonların oluştuğunu ve

bindirmenin yapıldığı sağ serbest uçta başlayan çatlakların ilerlemesinin, sol taraftakinden tamamen farklı olduğunu sayısal analiz sonuçlarını deneysel verilerle destekleyerek göstermişlerdir.

Apalak [8], küçük şekil değişimi-büyük yer değiştirme teorisine dayalı sonlu elemanlar yöntemiyle yapıştırıcı ile düzenlenmiş köşe bağlantısında geometrik olarak lineer olmayan gerilme analizi yapmıştır. Analizlerinde, büyük yer değiştirmeleri ve dönmeleri dikkate alan bu teorinin hesaplama zamanını uzatmasına rağmen daha doğru ve gerçekçi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Aynı zamanda yükleme durumuna bağlı olarak, geometrik parametrelerin pik gerilmeler üzerinde dikkate değer etkiler oluşturduğunu bildirmiştir.

Özel ve arkadaşları [67], farklı özelliklere sahip iki farklı yapıştırıcı kullanarak oluşturulmuş ve dört noktadan eğme yükü altında tek tesirli bindirme bağlantısında sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analizi yapmışlar ve elde ettikleri sonuçları deneysel verilerle karşılaştırmışlardır. Sayısal analizle, yapıştırılan malzeme kalınlığının bağlantı performansı üzerine son derece önemli bir etkisinin olduğunu göstermişlerdir.

Yapıştırma bağlantılarının mekanik özellikleri üzerine çevresel faktörlerin etkisinin olup olmadığı araştırılmıştır. Alüminyum malzemeden yapılan numunelerin SBT(Structural Bonding Tapes: bant şeklindeki yapıştırıcılar) tipi yapıştırıcı ile farklı malzeme kalınlığında ve farklı bindirme uzunluğunda yapıştırılarak elde edilen bağlantılar farklı ortamlarda yaşlanmaya maruz bırakılmıştır. Çalışmada şu sonuçlara varılmıştır;

- SBT yapıştırıcılar tuzlu su ortamına göre %100 nemli ortamda daha hızlı bozulur.
- Yaşlanmamış numunelerde kırılma, yapıştırıcı tabakasının içinde fakat ara yüzeye yerde oluşmuştur.
- Yaşlanma miktarına bağlı olarak kırılma, yapıştırıcı içerisinden yapışma bölgesine kaymaktadır.
- Yaşlanan numunelerin kırılma yüzeylerinde iki bölge mevcuttur. Birinci bölge parlak ve pürüzsüzdür, ikinci bölge daha koyu ve pürüzlüdür. Birinci bölge suyun etkisi ile yüzeyden kalkmış olup koroziftir ve kırılma yapıştırıcı/malzeme ara yüzeyinde oluşmuştur. İkinci bölgede kırılma, yükten dolayı ve yapıştırıcı tabakasına ara yüzeyde oluşmuştur. % 100 nemli ortamda bekletilen numunelerin kırılma yüzeyinde birinci bölge, tuzlu su ortamında bekletilen numunelerin kırılma yüzeyindeki birinci bölgeden daha geniştir. Atmosfer ve oda sıcaklığında bekleyen numunelerde suyun etkisi az olduğu için kırılma yüzeyleri yaşlanmayan numunelerin kırılma yüzeylerine benzemektedir[87].

Venables [91], pürüzlülük ve gözeneklilik gibi yüzey karakteristiklerinin bağlantı mukavemetinde kritik bir rol oynadığını ifade etmiştir. Yüksek çözünürlüklü Taramalı Elektron Mikroskobu (XSEM) kullanarak alüminyum ve titanyumun oksitlenme morfolojisini çalışmış

olup pürüzlü ve gözenekli yüzeylerle elde edilen yapıştırma bağlantılarının mekanik iç kilitlenmeden dolayı daha mukavemetli olduğunu belirlemiştir.

Gledhill, Kinloch ve Shaw [33], alın bağlantıların dayanımlarını belirlemek için bir model geliştirmişlerdir. Onların geliştirdiği modelde, yapıştırıcıların çevresel hasarında üç aşamanın olduğunu kabul etmişlerdir. Birinci aşamada, su ara yapıştırıcının bulunduğu yüzeyde birikir ve bu aşamanın süresi suyun yapıştırıcı içine difüzyonu oranı ile alakalıdır. İkinci aşamada, ara yüzeyde hasar meydana gelir. Ara yüzeyde hasarı meydana getiren iki ortak mekanizmanın olduğu kabul edilir. Üçüncü aşamada da yapıştırma bağlantısı birbirinden ayrılır ya da kopar. Bu araştırmacılar, aynı zamanda epoksi-demir oksit ara yüzeyin, kuru ve nemli ortamlar için yapışma işini de hesaplamışlar ve sırasıyla kuru ortam için 291 mJ/m^2 ve nemli ortam için -255 mJ/m^2 olarak bulmuşlardır. Yapışma işindeki bu fark, yapıştırıcıyı oksit tabakasından kaldırmak için kullanılmıştır.

So ve arkadaşları [82], Polimetil metakrilit malzemeden yapılan ucu pah kırılmış ve ucu dikdörtgen iki levha tipi kullanarak bunları iki bileşenli epoksi ile yapıştırmış, bunları saf su ve ağırlıkça %3 tuzlu su ortamında bekletmiştir. Daha sonra bu numunelerden rasgele numune alarak başlangıç mukavemetinin %38'i kadar statik çeki öngerilmesine maruz bırakmışlardır. Bu iki öngerilmeli ve öngerilmesiz numuneleri farklı ortamlarda en çok 60 gün bekletmiş ve farklı zaman dönemlerinde çekme cihazında test etmişlerdir. Yaptığı deneyler sonucunda, suyun epoksida oluşturduğu süneklilik nedeniyle, yaşlanmadan sonra bağlantı mukavemetlerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Yapıştırıcıda meydana gelen yumuşama, gerilme yığılmalarını azaltır, bu da bağlantı mukavemetini artırır.

Zanni-Deffargen ve Shanahan [99], klasik gravimetrik analizi kullanarak 70°C de ve %100 bağıl nemde suyun bulk yapıştırıcı ve burulma numunesi içine difüzyonunu araştırmışlardır. Difüzyon oranı arttıkça elastisite modülü azalır. Bu düşüş yapıştırıcı ile yapıştırılmış silindirik burulma numunelerinde daha hızlı ve daha barizdir. Bulk yapıştırıcıda yaşlanmadan önceki ve sonraki ağırlığı net olarak ölçmek mümkündür ve bulk yapıştırıcı için gravimetrik analiz uygundur. Fakat burulma numunesinde yapıştırıcı ağırlığını ölçmek zordur, bundan dolayı gravimetrik analiz kullanılamaz. Bundan dolayı bu araştırmacılar hem bulk numuneleri için hem de bağlantı numuneleri için kompozit bir yaklaşım geliştirerek D difüzyon katsayısı belirlemişlerdir. Suyun yapıştırıcı içine difüzyonunu iki mekanizmaya ayırmışlardır. İlki su bulk polimerin kalınlığı içine difüze olur ve mekanik özellikleri azaltan klasik yaşlanmaya sebep olur. İkincisi ise su ara yüzey yakınlarına daha hızlı oranda sızar veya yayılır ve daha sonra yapıştırıcı içine difüze olur. Bu ikinci mekanizmanın ara yüzeyde bağlantıyı koparmada provoke ettiği için önemli bir rol oynayabilir.

Bowditch [17], ortam olarak suyun kullanıldığı bir yaşlanma çalışması yapmış, 50°C deki suda 2000 saat bekletilen bir bulk yapıştırıcıdaki mukavemet düşüşünün %90 olduğunu, yaşlanmadan önce ve sonraki kırılma yüzeylerinin çok farklı olduğunu gözlemiştir. Alüminyum alaşımının yapıştırılacak malzeme olarak kullanıldığı ve farklı yüzey temizleme yönteminin uygulandığı başka bir çalışmada yüzey temizleme metodunun düşük sıcaklıklarda yaşlanma mukavemetine etkisinin daha belirgin olduğunu göstermiştir. Diğer bir çalışmada da oda sıcaklığında deniz suyunda bekletilen, yumuşak çelikten imal edilmiş ve epoksiamin ile alın yapıştırılmış burulma numunelerinden statik mukavemetinin %40'ı ile yüklenen numuneler ilk 48 saatte hepsi kırılırken, %20 ile yüklenenler ise 3 yıl dayanmıştır.

Orman ve Kerr [68], epoksi ile yapıştırılmış alüminyum bağlantı numuneleri %5 ve %100 bağıl nem ortamlarında 30 ve 60'ar günlük süreler ile beklettikten sonra, her iki nem oranındaki numunelerin yarısını, ortamdan çıkarır çıkarmaz çekme testine tabi tutmuş, yarısını da ortamdan çıkarttıktan sonra 90°C de 24 saat kuruttuktan sonra çekmiştir. Her iki şekilde de çekme cihazında çekilen numunelerin bağlantı mukavemeti, neme maruz bırakıldıktan sonraki ilk 10 gün içinde mukavemetlerinde bir miktar düşüş olmuş, daha sonraki sürede ise değişiklik olmamıştır. Yine %100 nemde bekletilen numunelerdeki mukavemet düşüşü daha fazla olmuş, fakat her iki nem oranında bekletilen numunelerden fırında kurutulan numuneler, kurutulmayan numunelere göre mukavemetlerinde bir miktar geri dönüşüm sağlanmıştır. Bunun muhtemelen plastikleşmenin tersinir etkisinden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Farklı yüzey işlemleriyle yapılan alüminyum/yapıştırıcı/alüminyum bağlantı mukavemetinin, emdiği su miktarı ile değişimi Brewis ve arkadaşları [19] tarafından yapılan bir çalışma ile gösterilmiştir. Yüzeyi asitle temizlenen ve yüzeyin yağı başka bir çözücü ile temizlenen yüzeylerde mukavemet, emilen su miktarı arttıkça azalmıştır. Bunun kontrolsüz oksit tabakasının hidrolitik kararsızlığından kaynaklandığı kabul edilmektedir. Bu durumda yapıştırıcının plastikleşmesi veya yapıştırıcının su vasıtasıyla yüzeyden kalkması önemsizdir. Bununla beraber, anodize edilen yüzeylerde mukavemet, alınan su miktarıyla orantılı olarak artmıştır. Bu iyi anodize edilen yüzeylerin su saldırısına karşı nispeten daha kararlı olduğu ve kürleşme mekanizmasından kaynaklanan, daralan gerilmelerin rahatlamasından kaynaklanabileceği varsayılmaktadır.

Brockmann ve Hüther [20], yaşlanmaya ve su saldırısına maruz özellikle akrilik türü basınç hassasiyetli yapıştırıcılarda meydana gelen bozulmanın yapıştırıcı ile malzeme arasında oluşan fiziksel bağlarla açıklanamayacağını ifade etmiştir. Yaptığı çalışmada oluşan hasar mekanizmasının anlaşılması için bir dinamik yapışma modeli geliştirmiştir. Basınç hassasiyetli yapıştırıcıların çevresel etkilere maruz kalınca kendi reolojik ve yüksek moleküler

hareketliliğinden dolayı çevresel etkilerle bozulan fiziksel bağları yeni bağlarla değiştirerek daha dayanıklı hale geldiklerini ifade etmişlerdir.

Comyn ve arkadaşları [22], jet yakıtı taşıyan ve alüminyumdan yapılan uçak tankındaki ortam şartlarına maruz bırakılan ve alüminyum malzemeden yapılan yapıştırma bağlantısının durabilitesini incelemiştir. Bunun için su, jet yakıtı ve antifriz ortamı kullanmıştır. Yaptığı çalışmanın sonucunda durabiliteyi incelemek için en uygun yöntemin Fick kanununa göre yapıştırıcının absorbe ettiği sıvı miktarını ölçmenin daha sağlıklı olduğunu ifade etmişlerdir.

Xiao ve Shanahan [93], polimerlerin sıcak ve nemli ortamlardaki yaşlanması esnasında şişme davranışlarını incelemiş, şişmenin bağlantı ara yüzeyinde artık gerilmeleri arttırdığı için polimerin/yapıştırıcının mekanik özelliklerine önemli etkileri olduğunu ifade etmiştir. Diğer yöntemlerden ayrı olarak yapıştırıcının ihtiva ettiği su kütesini ölçmek yerine kendi çalışmasında direk bulk yapıştırıcının hacmindeki değişimi incelemiştir. Şişmenin tamamen tersinir olmadığını ve özellikle yüksek sıcaklıklarda yapıştırıcının mekanik özelliklerinde geri kazanılamayan hasarlar bıraktığını belirlemişlerdir.

Wylde ve Spelt [95], yeni bir hızlandırılmış yaşlandırma yaklaşımı ile iki çeşit yapıştırıcının kırılma özelliklerini çevre şartlarının bir fonksiyonu olarak incelemiştir. Bunun için bir alüminyum plakaya yapıştırıcı sürmüş ve kurutmuş. Kurutma işleminden sonra bunu farklı sıcaklık ve nem ortamlarına maruz bırakmış. Farklı zamanlarda ıslak ya da kuru haldeki plaka ikinci bir plak yapıştırarak oluşturulan yapıştırma bağlantılarını test etmiş ve açığa çıkan kritik şekil değiştirme enerji oranını ölçerek kırılma özelliklerini incelemiştir.

De'Neve ve arkadaşları [27], DGEBA esaslı epoksi yapıştırıcı kullanılarak elde edilmiş burulma yapıştırma bağlantısı ile bulk yapıştırıcı 40, 55 ve 70°C derece sıcaklık ve %98 bağıl nem ortamlarında yaşlanmalarını araştırmışlardır. Değişik zaman dönemlerinde bağlantı mukavemetlerini tespit etmiş ve bulk yapıştırıcı ile bağlantının kırılma yüzeylerini Auger electron spectroscopy (AES) ve X-ray photoelectron spectroscopy ile analiz etmiştir. Uzun yaşlanma dönemlerinde yapıştırma ile karışık korozyon tabakasında hasar meydana geldiği gözlenmiştir.

Hashim [36], deniz taşımacılığında yapıştırıcı kullanımında tek tesirli bindirmeli yapıştırma bağlantılarının fazla nemli ortamlarda her yıl mukavemetinin yaklaşık %10'unu kaybedeceğini ifade etmiştir.

Yapıştırma bağlantısına ön gerilme uygulamak, bağlantı uyumu ve taşmalı(spew fillet) yapıştırma gibi farklı geometrik faktörlerin yapıştırma bağlantısına önemli etkilerinin olduğunu gösteren bir çalışma yapılmıştır[52]. Bu çalışmada, malzeme ön gerilmeli ve ön gerilmemiş, serbest(boşta) tarafı olan ve serbest tarafı olmadan kalın yapıştırılarak elde edilmiştir. Bulk formda üretilen numuneler 30°C'de ve %100 nemde toplam 12 hafta olmak üzere 2 haftada bir

ikişer numune gelişigüzel seçilerek test edilmiştir. Bu çalışma sonucunda ön gerilmenin performansına zararlı etkileri olduğu, bulk numunelerin giderek plastikleşip mukavemet kaybına uğradığı, serbest tarafı olan yapıştırmanın da yaşlandırmayı azalttığı fakat bu azalmanın da kayda değer olmadığı bulunmuştur. Yine bu çalışmada suyun şu üç mekanizmanın biri veya üçünün birleşimi ile bağlantıyı zayıflattığı ifade edilmektedir:

- Plastikleşme gibi tersinir metotlarla yapıştırıcı özelliklerini değiştirme,
- Hidroliz, çatlak ya da yarık gibi tersinmez yollarla yapıştırıcı özelliklerini değiştirme
- Ara yüzeye nüfuz ederek yapıştırıcıyı yüzeyden kaldırma ya da metal oksidin hidrasyonu.

Knox ve Cowling [52], standart hızlandırılmış çevresel test tekniğini kullanarak yüzey temizleme işleminin yapıştırma performansını artıracağını göstermiştir. Çelikler için iyi bir yüzey temizleme yöntemi olan yüzeye kum püskürtmek ve çelik malzemeler için yapışma bağlantısını zayıflatan çelik yüzeyinde oksit tabakasını oluşturmak şeklinde iki yüzey işleminin yapışma mukavemetine etkisini yeni bir test metodu ile inceleyerek yüzeye kum püskürtmenin yapışma mukavemetini arttırdığını tespit etmişlerdir.

Jang ve Lim [43], fiber-takviyeli plastik/lastik yapıştırıcı mukavemetine değişik faktörlerin etkisini incelemek için istatistiksel bir deney tasarım metodu üzerine çalışmışlardır. Karakteristik faktörler olarak 4 farklı çevresel etkiyi, 2 imalat basıncını ve 2 yapıştırma tipini alarak yaptığı istatistiksel çalışmada en önemli faktörün imalat basıncı olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışma sunucunda en uygun şartlara ve en ideal yapıştırma mukavemetine ulaşmışlardır.

Yapıştırma bağlantıların yaşlanması sonucunda oluşan hasar ve kırılma mekanizması video kamerası kullanılarak Court ve arkadaşları [23] tarafından incelenmiştir. Çatlak başlangıcının ve ilerlemesinin daha rahat görülmesi için şeffaf bir malzeme olan Polymetilmatakrilit (PMMA), iki-bileşenli akrilik yapıştırıcı ile tek tesirli bindirme şeklinde yapıştırılmış, 40°C’de ve %95 bağıl nem ortamında toplam 4000 saat (5,5 ay) bekletilmiştir. Farklı zamanlarda dörder numune alınarak çekme cihazında 1 mm/dak’lık çene hızında deney yapılmıştır. Deney esnasında yapıştırma bölgesinde oluşan çatlak oluşması ve ilerlemesi gibi değişimler ve yük-şekil değiştirme miktarı video ile kaydedilmiş ayrıca hasar mekanizmasının daha iyi anlaşılması için hem yaşlanmadan önce hem de yaşlanmadan sonraki kırılma yüzeyleri sonlu elemanlar metodu ile incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda yaşlanma ortamının akrilik yapıştırıcı ve/veya akrilik-PMMA ara yüzeyinin fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştirdiğini, bundan dolayı bağlantıdaki gerilme dağılımının hasar şeklini değiştirerek mukavemeti düşürdüğü saptanmıştır.

Alüminyum alaşımlarının da yüzey hazırlama yöntemlerinin yapıştırma bağlantısının yaşlanmasına etkisini Lunder ve arkadaşları [59] araştırmıştır. Yapılan çalışmada alüminyum

alaşımlarında çok yaygın olarak kullanılan kromik-sülfürik asit çözeltisi de dâhil 7 farklı yüzey temizleme yönteminin etkileri 40°C’de ve %82 bağıl nem ortamında 50 gün bekletilerek farklı testlerle araştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda en iyi yüzey hazırlama yönteminin sıcak sülfürik asit içerisinde AC anodize etme yöntemi olduğu, kromik-sülfürik asit ile yüzey temizleme yönteminde de anodize yöntemiyle aynı sonuçları verdiği fakat sadece çekme mukavemetinde anodize yöntemine göre kayıp olduğunu tespit etmişlerdir.

Abdel Wahab ve arkadaşları [1], sıcak/nemli ortamlara maruz bırakılan yapıştırma bağlantıların durabilitesini sonlu eleman yöntemiyle modellemiştir. Bunun için bağlantıda kullanılan yapıştırıcıyı bulk formda elde ederek bunun hem yaşlanmadan önce hem de ortamdaki su ile tam doymuş haldeki gerilme şekil değiştirme eğrisini çıkartmıştır. Aynı bulk formun difüzyon katsayısını da elde ederek farklı yaşlanma zamanları için difüzyon katsayısından faydalanmış, bu iki eğri arasında iterasyonla eğriler elde etmiştir. Daha sonra her yaşlanma zamanı için kendi eğrisini kullanıp gerilme dağılımını incelemiştir. Yaptığı çalışmada bindirme uzunluğu uçlarında oluşan gerilme yoğunlaşmaları bağlantı yaşlandıkça giderek düşmüştür. Bunun sebebi, yaşlanan bağlantılarda yapıştırıcı şişerek genişlemek isteyecek fakat malzeme buna izin vermeyecektir, dolayısıyla yapıştırıcıda yük olmadığı zaman basma gerilmeleri oluşacaktır. Fakat bağlantıya yük bindiği zaman uçlarda oluşacak çekme gerilmeleri bu basma gerilmeleri tarafından azaltılacaktır.

Bu çalışmanın amacı, Huntsman firmasının ürettiği Vinylester Atlac 580 ve Poliya firmasının ürettiği Flexo Tix yapıştırıcıları ile Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 ve Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 kompozit malzemelerinin birleşiminin gerilme analizini yapmaktır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Yapıştırma Bağlantıları

Yapısal mühendislik tasarımın rasyonel temeli, bir yükleme durumunda yükleri belirleyebilmek ve oluşacak gerilmeleri pratik olarak hesaplayabilmek olmalıdır. Yükleme sistemi genellikle bir fonksiyon ile tanımlanır, fakat mühendis en uygun ve maliyet açısından en etkili çözüme ulaşacak en iyi malzeme ve tasarım tekniğini kullanma becerisine sahip olmalıdır. Bu da sürekli olarak teknolojiye ilerlemeyi gerektirir ve yapısal yük ve gerilmeleri ölçecek modern mühendisliğin önemini artırır[3].

Yapıştırma yoluyla birleştirilecek parçaların bağlantı şekilleri özel olarak tasarlanmalıdır. Gerilme ve yükleri düşünmeksizin yapıştırma bağlantısını tasarlamak hatalıdır. Bağlantı tasarımı genelde iki ana faktöre bağlıdır:

- Çalışma sırasında bağlantının maruz kalacağı kuvvetlerin ve yüklerin yönüne,
- Bağlantının oluşturulabilme kolaylığı ise parçaların imalat yöntemine (döküm, taşlama vb.) ve kullanılan malzemeye bağlıdır.

Eğer yapıştırma bağlantıları, yapıştırıcının çalışma şartlarına uyacak şekilde dikkatlice tasarlanırsa klasik metotlarla sağlanan bağlantılardan daha emniyetli olduğu görülür. Buna rağmen günümüzde yapıştırma bağlantılarına olan talep mekanik bağlantılara olan talepten daha azdır.

2.1.1. Gerilme çeşitleri

Yapıştırma bağlantılarında dört önemli gerilme etkili olur(şekil 2.1). Bunlar; çekme, kesme, soyulma (peel) ve çekme-makaslama(cleavage)dır. Bağlantı mukavemetinden en yüksek verim elde etmek için bu gerilme çeşitleri göz önünde bulundurulmalıdır.

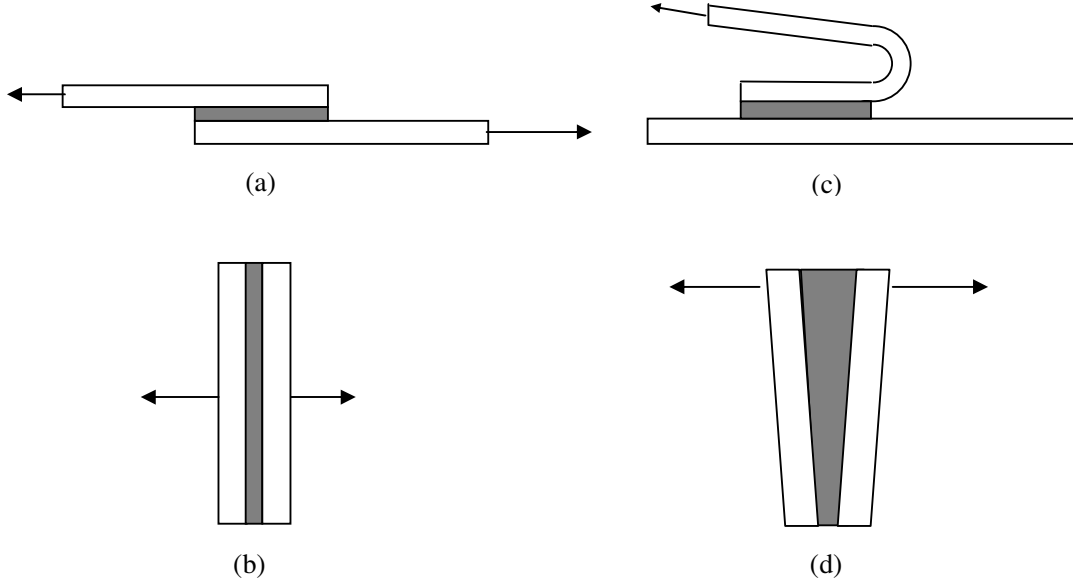
Kesme

Kesme yükleri yapıştırılan alanın tümüne düzgün etki eder (şekil 2.1a). Bu tür yüklemede yapışma alanının tamamının etki altında olması bağlantı ömrünü arttırarak ekonomiklik sağlar. Mümkün olduğu yerlerde bağlantılar yükün büyük bir kısmı kesme yükü olarak iletilebilecek şekilde oluşturulmalıdır.

Çekme

Şekil 2.1.b’de görüldüğü gibi bu tür yüklemede kuvvetler yapıştırıcı tabakasına dik olarak etki etmektedir. Bu kuvvetlerden dolayı olan gerilme, yapışma alanına eşit şekilde dağılmaktadır. Ama bağlantıya sadece bu tür gerilmenin etkidiğinden emin olmak her zaman mümkün değildir. Eğer kuvvetler eksenden kaçık olarak etkimekte ise o zaman yapışma alanına

gerilmenin eşit yayılma avantajı kaybolacak ve bağlantının bozulma ihtimali artacaktır. Önemli olan diğer bir nokta da yapıştırılan malzemenin kalın olması gerektiğidir. Maruz kaldığı yük etkisi ile fark edilir oranda bir eğilme oluşmamalıdır. Eğer durum böyle değilse o zaman gerilme dağılımı eşit olmayacaktır[87].



Şekil 2.1. Gerilme tipleri: (a) Kesme, (b) Çekme (c) Soyulma, (d) Çekme-makaslama

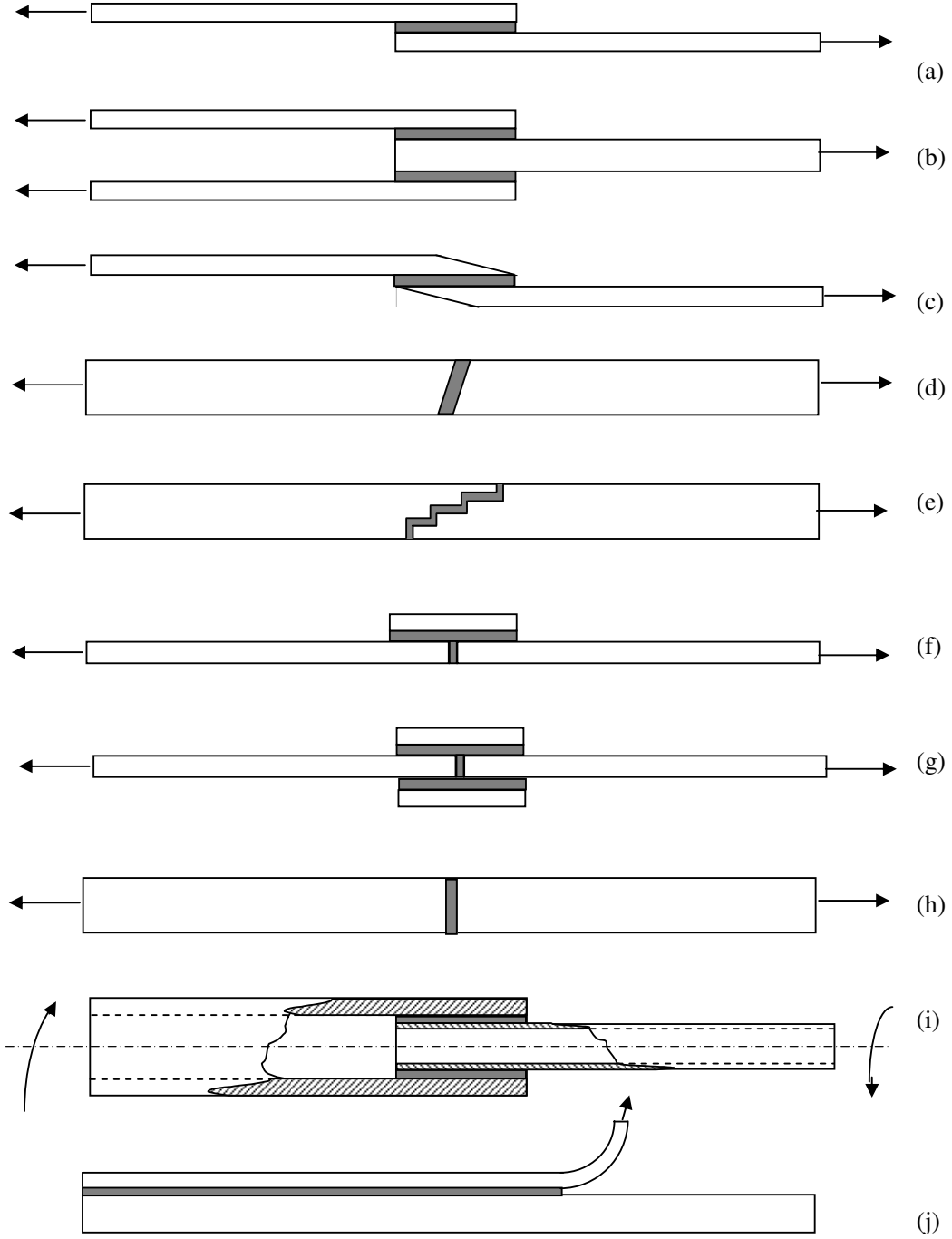
Soyulma

Bu tür gerilmenin oluşması için yapıştırılan malzemelerden biri veya her ikisi de esnek olmalıdır (şekil 2.1.c). Bu tür yüklemde bağlantı sınırında oluşan gerilme çok yüksektir. Bağlantı çok geniş veya yük düşük olmadıkça yapıştırma bağlantısı çabuk bozulacaktır. Mümkün oldukça bu tür yüklemekten kaçınılmalıdır.

Çekme-Makaslama

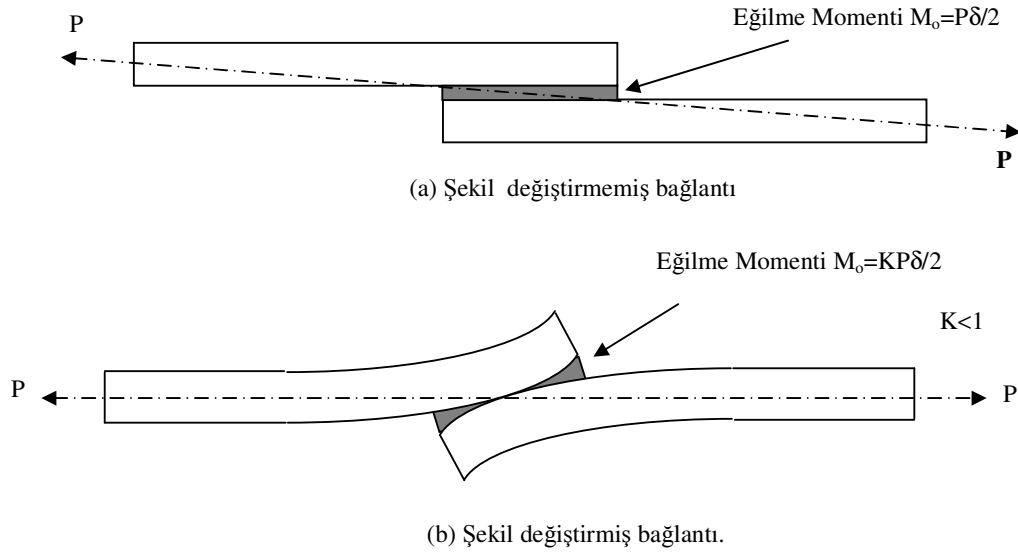
Bu tip yükleme, ekseriyetle eksenden kaçık çekme kuvvetinin veya momentinin sonucudur. Önceki gerilmelerin aksine bu gerilme, yapışma alanına eşit olmayan şekilde etkimekte ve bağlantının bir tarafında yoğunlaşmaktadır. Bu gerilmeyi karşılamak için yeterli derecede yapışma alanına ihtiyaç vardır. Çekme veya kesme gerilmelerine göre bu alan daha fazla olduğu için bu tarz bağlantı tavsiye edilmez; çünkü maliyet artar[48].

2.1.2. Yapıştırma bağlantı tipleri



Şekil 2.2. Bazı yaygın yapıştırma bağlantı tipleri, (a) tek tesirli bindirme, (b) çift tesirli bindirme, (c) boyun bindirme, (d) açılı bindirme, (e) teraslama, (f) tek takviyeli bindirme, (g) çift takviyeli bindirme, (h) alın bağlantı, (i) silindirik bindirme, (j) soyulma[3]

Şekil 2.2.a, tek tesirli bindirme bağlantısını göstermektedir. Bu bağlantı tipi en fazla kullanılan bağlantı tipidir. Yapıştırıcıların test edilmesinde en fazla kullanılan yapılandırma. Bununla beraber oluşan gerilme durumu karmaşıktır. Şekil 2.3.a’da da görüldüğü gibi tek tesirli bindirme bağlantısında yük aynı doğru üzerinde etki etmemektedir. Bu yüzden eğilme momenti oluşur ve şekil 2.3.b’de de görüldüğü gibi sistemde dönme meydana gelir. Yapıştırıcı tabakasında sadece kaymadan dolayı uzama olmaz, aynı zamanda bağlantının uçlarında yırtılma gerilmeleri de oluşur. Bağlantıda çekmeden dolayı uzama fazla olmaz, fakat eğilme oluşur. Özellikle gerilmelerin yüksek olduğu bölgelerde yapışan ve yapıştırıcının ikisi de plastik bölgeye girebilir.



Şekil 2.3. Tek tesirli bindirme bağlantısının şekil değiştirmeden önce ve şekil değiştirdikten sonraki görünümü[3]

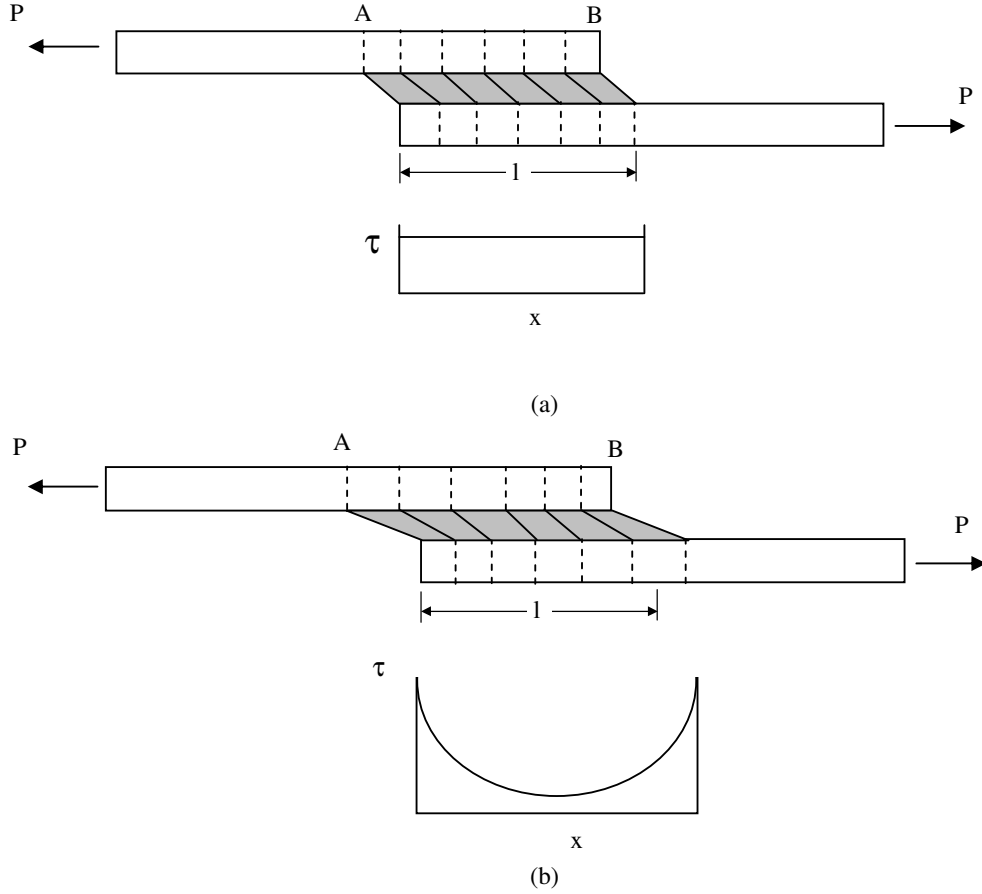
Tek tesirli bindirme bağlantıların kalite kontrolünde numuneler test edilir. Bağlantının yapılışı basittir ve elde edilen sonuçlar hem yapıştırıcı kalitesi hem de malzeme yüzey işlemleri açısından hassastır.

Tek tesirli bindirme bağlantıların basitleştirilmiş analizinde, malzemenin rijit ve yapıştırıcının sadece kayma yönünde şekil değiştirdiği kabul edilir (şekil 2.4.a). Eğer

bağlantının genişliği b , uzunluğu l ve yüklenen kuvvet P ise, kayma gerilmesi $\tau = \frac{P}{bl}$ (N/mm^2)

olur. Malzemede oluşan normal gerilmeler A-B bindirme uzunluğu boyunca lineer azalarak sıfır olur. Şekil 2.4.b’de malzeme rijit yerine elastiktir. Üst levhadaki gerilme, A noktasında maksimum B noktasında ise sıfır olur. A noktasındaki şekil değiştirme, B noktasındaki şekil değiştirmeden daha büyük ve l uzunluğu boyunca azalır. Ara yüzey sürekli kabul edilerek, şekil

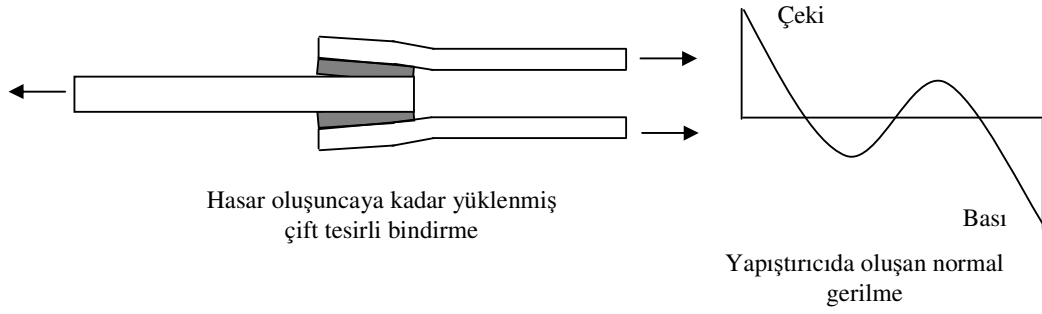
2.4.a’da görülen yapıştırıcının düzgün bölünmüş paralelkenarı, şekil 2.4.b’de görülen bozulmuş şekle döner. Bu olaya diferansiyel kayma denir.



Şekil 2.4. Yüklenmiş haldeki tek tesirli bindirme bağlantısının deforme olmuş hali ve kayma gerilmesi dağılımı: (a) rijit malzeme, (b) elastik malzeme [3]

Şekil 2.2.b’de görülen çift tesirli bindirme bağlantısı kullanılarak eğilme etkisi giderilebilir. Çift tesirli bindirme bağlantısı, iki tek tesirli bindirme bağlantısının alt alta dizilmesi ile elde edilmiştir ve bağlantıda büyük dönmeler oluşmaz. Kalın parçanın yüklendiği tarafta çekme yırtılma gerilmesi oluşurken diğer uçta da bası gerilmesi oluşur(şekil 2.5).

Şekil 2.2’deki diğer bağlantı yapılandırmaları, çoğunlukla gerilme yığılmalarını ve soyulma gerilmelerini azaltacak şekilde yükler için tasarlanmıştır. Tasarımcıların en sevmediği ve kaçındığı gerilme tipi soyulma gerilmesidir. Özellikle düşük yüklerde, tek ve çift bindirme bağlantılarında çoğunlukla kayma gerilmeleri oluşurken, şekil 2.2.j’deki yükleme durumu gibi, bağlantı uçlarında, yırtılmaya neden olan ve soyulma gerilmesi denen yanal normal gerilmeler oluşur. Zaten şekil 2.2.j’de görülen bağlantı şekli, bir çok soyulma deneylerinin temelini oluşturmaktadır[3].



Şekil 2.5. Yüklenmiş haldeki çift tesirli bindirme bağlantısı ve yapıştırıcıda oluşan gerilmeler[3]

2.2. Yapışma

Yapışma, yapıştırıcı ile malzeme arasındaki çekiciliğe denir[50]. Yapıştırıcı ile malzeme birbirleriyle temas edince yapıştırma bağlantısı sistemi doğar. Bu sistem, yapıştırıcıyı, malzemeyi, malzemeye uygulanan uygun yüzey işlemini ve bu üç bileşen arasında oluşan ara yüzey/ara fazı kapsamaktadır. Yapıştırma bağlantılarının dayanıklılığını değerlendirmek için bu bileşenlerin dış yüklere, mekanik ya da çevresel faktörlere karşı nasıl tepki vereceğinin iyi anlaşılması gerekir. Yapıştırma bağlantıların performansı ve dayanıklılığı, bunların dışında malzeme ve yapıştırıcı özelliklerine, malzeme ve yapıştırıcı arasındaki fiziksel-kimyasal iç etkileşime, bağlantı şartlarına, bağlantı geometrisine, bağlantıdaki artık gerilmelere ve yapıştırma hattındaki hatalara bağlıdır. İyi bir yapışma ve maksimum bağlantı performansı verecek yapıştırıcı-malzeme birleşimi için yukarıdaki faktörlerin hesaba katılması gerekir[69].

2.2.1. Yapışma Teorileri

Yapışma mekanizmasını açıklamak için bilim adamları yaklaşık kırk teori ortaya atmışlardır. Bu teoriler, moleküler, mikroskobik ve makroskobik seviyelerdeki kavramları esas almışlardır. Burada bu teorilerden en kapsamlı olan dört teoriden bahsedilecektir. Bu teorilerin hiç birisi tek başına yapışma mekanizmasının bütün yönlerini açıklayamaz. Fakat bağlantının bir özelliğini açıklamak için bir ya da birkaç teoriden faydalanılabilir.

Elektrostatik teorisi

Deryaguin [28], yapıştırıcı ile esas malzeme arasındaki elektron transferinin, yapışmayı doğuran bir çekim şarjı ürettiğini ileri sürmüştür. Yapıştırıcı ile esas malzeme arasındaki bağ kapasitöre benzetmiştir. Kapasitörün plakaları kaldırıldığında, şarj boşalır ve deşarj oluncaya kadar artan bir potansiyel meydana gelir. Bu en fazla tartışılan teorilerden biridir. Çünkü birçok araştırmacı mekanizmada oluşan kuvvetlerin büyüklüğü konusunda aynı fikirde değildirler. Skinner ve arkadaşları [80], hesaplanan elektrostatik kuvvetlerini van der Waals kuvvetleriyle

karşılaştırmış ve metal-yapıştırma bağlantısındaki yapışma işini deneysel olarak ölçmüşlerdir. Elektrostatiğin yapışmaya yaptığı katkının, van der Waals kuvvetlerinin yanında çok küçük olduğu, ölçtüğü yapışma işinin de elektrostatik ve van der Waals kuvvetlerin toplamından daha büyük olduğu sonucunu çıkarmıştır.

Mekanik tutunma teorisi

McBain ve Hopkins [61], bir katı yüzey üzerine sıvı yapıştırıcı sürüldüğü zaman, yapıştırıcının gözeneklere gireceğini, mekanik tutunma olacağını ve dolayısıyla iyi bir yapışma meydana geleceğini söylemiştir. Mekanik tutunma, yapıştırıcının, malzeme yüzeyinden kalkmasını önler. Venables ve arkadaşları [90], yapıştırıcının mekanik tutunma ile yapışmasını artıran bazı alüminyum malzemelerin yüzey işlemlerinin, aslında yüzeyde gözenekleri artırdığını göstermiştir. Gerçekte malzeme yüzeylerini pürüzlendirmek ve yüzeydeki yağ, pas ve benzeri kirleri temizlemek yüzey alanını artırır ve yapıştırıcının yüzeye daha iyi yayılmasını ve ıslatmasını sağlar[45]. Bununla beraber Mittal[64]'ın çalışmalarında ve benzeri çalışmalarda da görülmüştür ki, iyi yapışma, pürüzsüz malzeme yüzeyleri kullanılarak da elde edilebilmiştir. Sonuç olarak mekanik tutunma, yapışma mekanizmasını açıklamada katkı yapan önemli teorilerden biridir.

Difüzyon teorisi

Difüzyon teorisi, biraz mekanik tutunma teorisine benzemektedir. Fakat difüzyon teorisi moleküler seviyededir. Voyutski[92] tarafından geliştirilen difüzyon teorisi iki polimer malzemenin birbirleri içine hareketi yapışma meydana geleceğini ifade eder. Bir yapıştırıcı, esas malzeme içerisinde erimiş halde ve yapıştırıcı katılaşmadan, yeterli miktarda esas malzeme içerisine karıştığı zaman bu mekanizma oluşur. Esas malzemelerden en az biri metal olduğu zaman bu teori geçersiz olur. Fakat bu teoriden eritilebilir polimerler için şu sonuç çıkarılabilir; difüzyonu artıran faktörler yapışmayı da arttırmaktadır[69].

Adsorpsiyon teorisi

Adsorpsiyon teorisi, esas malzeme ile yapıştırıcı arasında iyi bir temas sağlanması şartıyla ara yüzeyde atomlar arası ve moleküller arası kuvvetlerin oluşması sonucu yapışmanın meydana geldiğini ileri sürer. Bu teori, yapıştırıcı biliminde halen en fazla kabul edilen uygulanabilir teoridir. Kinloch[50] ve Sharpe ve Schornhorn[79] tarafından geliştirilmiştir. Yapıştırıcı-esas malzeme ara yüzeyindeki kuvvetler genel olarak iki kategoride gruplanabilir. a) İyonik, kovalent ve metalik bağlar olan birincil kuvvetler. b) van der Waals kuvvetleri, dipole-dipole, induced dipole-dipole, hidrojen bağları ve asit-baz iç etkileşimini kapsayan ikincil kuvvetler[50]. Birincil kuvvetlerin bağ enerjileri 60-1050 KJ/mol arasında değişirken ikincil kuvvetlerin bağ enerjileri 0.08-40 KJ/mol arasında değişir. Birbirinden bir nanometre kadar ayrılan iki katı yüzey arasında oluşan çekim kuvveti yaklaşık 100 MPa olarak hesaplanmış olup

bu değer yapıştırma bağlantısı mukavemetinden daha fazladır[50]. Bu fark bağlantı esnasında oluşan boşluk ve diğer kusurlardan kaynaklanmaktadır. Bağlantı mukavemetinin teorik ve deneysel değerleri arasındaki bu büyük farka rağmen yine de bağlantı mukavemetinin bu kadar yüksek mukavemete sahip olmasının sebebi ikincil bağ kuvvetleridir. Kinloch[50]’a göre bazı durumlarda ara yüzey bağlantısı için yüzey analiz teknikleri fikir vermesine rağmen birincil kuvvetlerin yapıştırma bağlantısındaki katkısını değerlendirmek oldukça zordur.

Kemball[49]’a göre yüzey üzerindeki fizisorbsiyon ve kemisorbsiyon eşitlikleri moleküller arası uzaklığa bağımlıdır. Bu moleküller arası uzaklığa bağımlılık, ikincil kuvvetlere dayanan teorik ve deneysel bağlantı mukavemetlerindeki farklılığın açıklanmasında yardımcı olur. Huntsberger[39], iyi moleküller arası temas, yapıştırıcı yüzeyini ıslatmasını gerektirdiğinden, zayıf yapıştırıcı performansının ise yüzeyi iyi ıslatmadığı ile alakalı olduğunu belirtmiştir.

2.2.2. Yüzey Islatma

Yapışma işi (W_A), Young-Dupre eşitliğinde (Gutowski[35]) olduğu gibi sıvının katı yüzeyi ıslatmasını gerektirir;

$$W_A = \gamma (1 + \cos\theta) + \pi_c \quad (2.1)$$

Burada,

γ : sıvının yüzey gerilimi

θ : ıslatma açısı

π_c : denge yayılma açısı

Fowkes[31], yüksek enerjili sıvıların düşük enerjili yüzeyler üzerindeki denge yayılma açısını sıfır kabul eder. Bu durumda,

$$W_A = \gamma (1 + \cos\theta) \quad (2.2)$$

olur. Fowkes[31]’e göre yapışma işi iç etkileşime giren bütün kuvvetlerin toplamıdır. Örneğin,

$$W_A = W_A^d + W_A^h + W_A^p + W_A^i + W_A^{ab} \quad (2.3)$$

şeklindedir. Burada,

W_A^d = yayılma bileşeni

W_A^h = hidrojen bağı bileşeni

W_A^p =dipole-dipole bileşeni

W_A^i =dipole-induced dipole bileşeni

W_A^{ab} =asit-baz bileşeni

olup Fowkes'a göre W_A^p ve W_A^i , W_A^h ve W_A^{ab} 'ye göre ihmal edilebilir ve hidrojen bağı kuvvetleri asit-baz iç etkileşiminin bir tipi olduğu için yapışma enerjisi şöyle yazılabilir:

$$W_A = W_A^d + W_A^{ab} \quad (2.4)$$

2.2.3. Camsı Geçiş Sıcaklığı

Polimer malzemelerde en önemli sıcaklık camsı geçiş sıcaklığı olup genellikle T_g ile gösterilir. Bütün polimer maddeler için, bu sıcaklığın altına inildiğinde, polimer zincirlerinde hareketliliğin hemen hemen dondurulduğu ve böylece polimer zincirinin hareketsiz hale geldiği bir sıcaklık bulunmaktadır. Bu sıcaklığa camsı geçiş sıcaklığı (glass transition temperature) denir. Polimerler kristal yapıdan sıvı faza geçerken sıcaklığa karşı hacim, serbest enerji veya entropi gibi temel büyüklüklerin değişiminde süreksizlik meydana gelir. Örneğin erime ve donmaları esnasında hacimleri aniden değişir. Camsı geçişin gerçek tabiatı halen termodinamikçiler arasında tartışma konusu olmasına rağmen, büyüklüklerin türevi değiştiği için ikinci dereceden geçiş olması burada yeterlidir. Camsı geçiş sıcaklığının üstünde ve altında mekanik özelliklerde önemli değişiklikler olur. Eğer polimer geçiş sıcaklığının üzerinde kristal yapıda değilse elastik formuna girer. Eğer polimer lineer ve çok düzenli ise geçiş sıcaklığının üzerinde kristal yapıya dönüşür ve gevrekleşir. Bu nedenle polimerler, geçiş sıcaklığının üzerinde polimerlerden beklenen davranışların tersine kristal yapıdaki malzemelerin mekanik özelliklerini gösterir.

Moleküllerin hareketine bağlı olan camsı geçiş sıcaklığı, mekanik deformasyon yoluyla ölçüm esnasındaki test hızına da bağlıdır. Bir polimerin camsı geçiş sıcaklığı, uygun plastikleştiriciler kullanmak suretiyle düşürülebilir. Yapısal yapıştırıcılar rijit yapılarda kullanılır ve mümkün olduğu kadar elastisite modüllerinin yüksek olması istenir. Bu da onların camsı geçiş sıcaklığının altındaki bir sıcaklık ortamında kullanılmasını gerektirir. Bu sıcaklık da genellikle oda sıcaklığı olduğu için, kullanılacak polimer ya da yapıştırıcının camsı geçiş sıcaklığı, oda sıcaklığının üzerine çıkartılmalıdır[3].

2.2.4. Polimerlerin Bozunması

Birleşik bir maddenin daha yalın bileşiklere veya bileşenlere tek yönlü olarak ayrılmasına “bozunma” denir. Başlıca bozunma mekanizmaları şunlardır;

Termik Bozunma

Yüksek sıcaklıklarda polimerler, değişik reaksiyonlar ile bozunurlar. Bu reaksiyonlar için genel bir reaksiyon mekanizması göstermek mümkün değildir. Termik bozunma genellikle oksidatif bozunma ile beraber oluşur[13].

Oksidatif Bozunma

Oksidatif bozunma altında, özellikle havanın oksijeni ile oluşan yavaş bozunma anlaşılır. Bu bozunma reaksiyonları, bütün polimerlerde değişik şekillerde ve hızlarda olur. Oksidatif bozunma reaksiyonu ışık, ısı ve su ile etkilenir.

Havanın oksijenine en az dayanıklı polimerler yapılarında π bağları bulunduran polimerlerdir. Bu reaksiyonlar ışık etkisi ile hızlandıklarından, polimerlerin oksidatif bozunmasını önlemek için, bunların içine anti oksidant adı verilen radikal tutucular veya UV ışınlarını emebilen bileşikler konur[13].

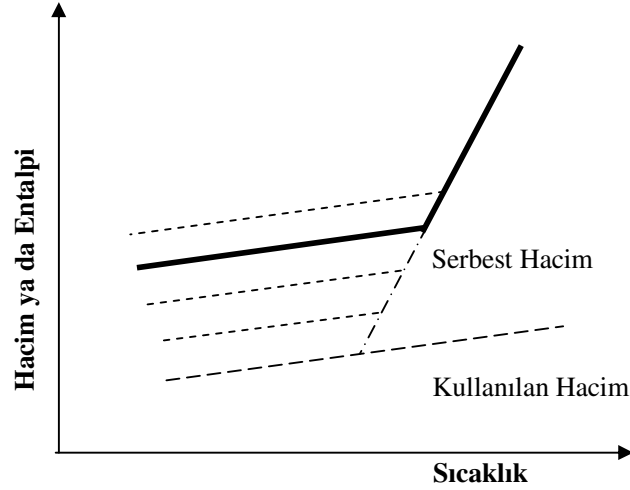
Hidroliz

Oksidatif bozunmanın yanında, en çok oluşan bozunma şekli, hidroliz nedeni ile olanıdır. Hidroliz reaksiyonu, özellikle hetero atomlar üzerinden bağlı temel moleküllerin oluşturdukları polimerlerde (örneğin poli esterler, poli amidler, poli asetaller gibi) oluşur. Ortamda sudan başka asit veya baz bulunduğunda, hidroliz reaksiyonun hızı artar. Bu reaksiyonlar, genellikle oluşabilecekleri polimerler ile beraber incelenmişlerdir.

Hidroliz reaksiyonlar büyük oranda polimerlerin kristalliğine bağlıdır. Polimerler ne kadar kristalli olursa, su difüzyon yoluyla o kadar zor polimer içine girebilir. Bu nedenle örnek olarak suya karşı çok az dayanıklı olan ester gruplarının oluşturduğu terilen, suya yüksek kristalliği nedeni ile çok dayanıklıdır. Selüloz ve pamuk ise suda hidroliz olmaz[13].

2.2.5. Fiziksel Yaşlanma

Bir polimer, T_g camısı geçiş sıcaklığı üzerindeki lastik halden camısı geçiş sıcaklığın altındaki bir sıcaklığa soğutulduğu zaman hemen termodinamik dengeye ulaşamaz[54]. Soğuma halindeki bir polimerin karakteristiği, yapıda aşırı sıkışmış serbest hacimler şeklindedir. Fiziksel yaşlanma, makro moleküllerin denge halinden serbest hacim haline yaklaşmak için kademeli olarak bağlarını değiştiren ve camısı geçiş sıcaklığı altında oluşan bir süreçtir(şekil 2.6).



Şekil 2.6. Fiziksel yaşlanma proses şeması [83]

Denge haline kademeli yaklaşma, polimeri sert ve kırılğan hale getirecek şekilde polimerin mekanik özelliklerini etkiler. Bu da viskoelastik malzemelerde yaşlanma olmaksızın beklenen modülün artmasına ya da kompliansın azalmasına sebep olur. Serbest hacim teorisine göre, serbest hacim, dengeye gelmek için azalınca zincir kısımların hareketliliği engellenir ve yapı daha sert bir yapı olur. Yaşlanma, Struik[83]'in de ifade ettiği gibi bir camı hal karakteristiğidir ve bütün polimer camlarında bulunmuştur. Fiziksel yaşlanmanın etkisi, malzeme hacimsel dengeye ulaşınca kadar devam eder. Bu hacimsel dengeye ulaşma süresi yaşlanma sıcaklığına bağlıdır. Bu sırada mekanik özellikler önemli derecede değişir[84].

2.2.6. Kimyasal Yaşlanma

Fiziksel yaşlanmanın aksine kimyasal yaşlanma, bir ısı tersinmez sürecidir. Bu nedenle oksidasyon gibi kimyasal yaşlanmaya kimyasal bozunma da denir. Bir polimerin oksidasyonu esnasında oluşan kimyasal değişiklikler, esas ve yan zincirlerdeki kimyasal bağların kırılması ve moleküllerin ağırlığının azalması (termoplastikler için) ile karakterize edilebilir. Çok yüksek sıcaklıklarda lineer polimerlerin ayrışmasına depolimerizasyon denir[29]. Polimerlerin temel kimyasındaki bu bozunmalar, modül ve çekme mukavemeti gibi mekanik özelliklerde azalmaya neden olur.

Polimerlerde, oksidasyon reaksiyonu serbest radikal mekanizması sayesinde ilerler[24]. Buna oto-oksidasyon denir. Serbest radikaller, ışık, ısı, kalıntı metal ve oksijen gibi bir takım dış uyarıcılar vasıtasıyla başlatılabilir. Makromoleküllerde, absorbe edilen enerjiler bağ enerjisini aştığı zaman, kimyasal bağların yırtılması serbest radikallerin başlamasına neden olur.

Oto-oksidasyon boyunca, termosetler için çapraz bağlama yoğunluğu ve termoplastikler için molekül ağırlığı ve molekül ağırlığı dağılımını değiştiren molekül zincir makaslaması oluşur.

Oto-oksidasyondan ötürü oluşan bu değişiklikler oksijen dönüşümüne bağlıdır. Bu dönüşüm miktarının ve dolayısıyla bozulma derecesinin, oksijenin kısmi basıncı ve reaksiyon sıcaklığının ikisine de bağlı olduğu söylenebilir[24].

Çevresel faktörlerin yanı sıra, polimerlerin yapısındaki varyasyonlar da bozulmayı etkilemektedir. Dallı polimer zincirleri, dallanma noktalarında daha düşük enerjiye sahip olduğu için iskeletli zincirlere göre oksidasyona karşı daha az kararlıdır. Bir polimerdeki kristallilik seviyesi de büyük oranda bozulma miktarını etkiler. Eğer bir kristal yapısı çok yoğun ise, bu oksijenin polimer içine difüzyonunu önemli derecede kısıtlar. Yarı kristalli polimerlerde oto-oksidasyon, kristallerin küçük yüzey reaksiyonları dışında amorf bölge ile sınırlıdır[24].

Oto-oksidasyon vasıtasıyla bozunma, oksijen difüzyonu ve kimyasal reaksiyon olmak üzere iki ardışık sürece bağlıdır. Bozunma kinetiği, bu iki sürecin oranlarına bağlıdır. Eğer bu iki süreçten biri diğerine göre daha yavaş ise, yavaş olan süreç, bozunma kinetiğinin belirlenmesinde belirleyici süreç olur. Eğer ikisinin de hızı aynı ise bozunma kinetiğinin belirlenmesinde ikisinin de incelenmesi gerekir[85].

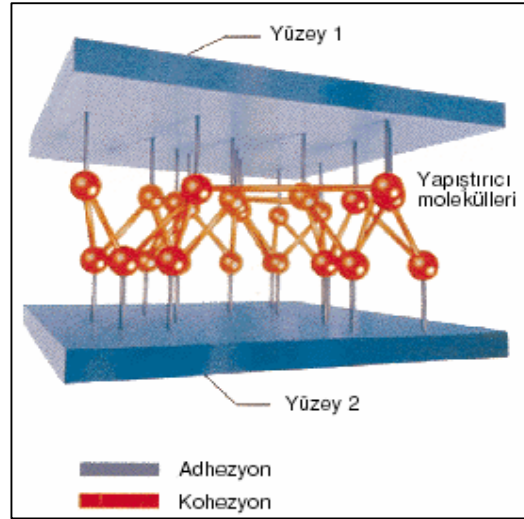
2.2.7. Hasar mekanizması

Yapıştırıcılar, aynı veya farklı malzemeden yapılmış yüzeyler arasında bir çeşit köprüdür. Yapışma şunlara bağlıdır.

- a) Yapıştırıcının yüzeye yapışma kuvveti-adhezyon;
- b) Yapıştırıcının iç kuvveti-kohezyon.

2.2.7.1. Adhezyon

Adhezyon iki maddenin temas yüzeylerindeki yapışma kuvvetleridir. Van der Waals kuvvetleri olarak adlandırılan çekim ve yüzeye tutunma fiziksel olarak yapışmada en önemli faktördür(şekil 2.7). Eğer yapıştırıcı, mekanik olarak işlenmiş yüzeylerdeki pürüzlere tam olarak temas edemezse, bu moleküller arası kuvvetler oldukça zayıflar. Bu nedenle yapıştırıcının yüzey pürüzlerine tam olarak nüfuz etmesi ve bütün yüzeyi ıslatması gerekir.



Şekil 2.7. Yapıştırma bağlantısında adhezyon ve kohezyon kuvvetleri[58]

Dolayısıyla, yapıştırmanın kuvveti, maksimum moleküller arası temas için hem yüzeyin ıslatılmasına, hem de yüzeyin yapışma özelliklerine bağlıdır. Belirli bir yapıştırıcı yüzey gerilimi için ıslatma, yapıştırıcı sürülen yüzeyin yüzey gerilimine ve yapıştırıcının viskozitesine bağlıdır. Yüzeyde kirlerin bulunması da ıslatmayı olumsuz etkiler[58].

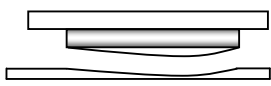
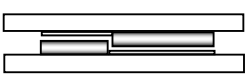
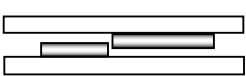
Adhezyon kuvvetleri değişik metotlar kullanılarak arttırılabilir. Bunlar arasında aşındırma, farklı doğrultuda işleme ve dağlama sayılabilir. Sıvı haldeki yapıştırıcının malzemenin gözeneklerine dağılmasını kapiler kuvvetler ve viskozite etkiler[74].

Adheziv kırılma, bir yapıştırma işleminde, uygun olmayan yüzey temizliğinden kaynaklanır ve yapıştırıcı esas malzemenin yüzeyinden kalkar(şekil 2.8.a). Yani yapıştırıcı-yapıştırılan malzeme ara yüzeyinde gözle görülen ayrılmanın olduğu kopma olayıdır(tablo 2.1). Bu istenmeyen bir durumdur.

Temel hasar modellerinin tayini bir yapıştırma bağlantısına uygulanan herhangi bir mekanik testin sonuçlarının daha iyi anlaşılmasını ve hasar çeşitlerinin sınıflandırılmasını sağlar. Temel hasar tipleri tablo 2.1’de gösterilmiştir. Birden fazla hasar modeli oluşmuşsa her bir hasar modelinin yaklaşık yüzde oranı her bir tanımlama sonunda verilmelidir.

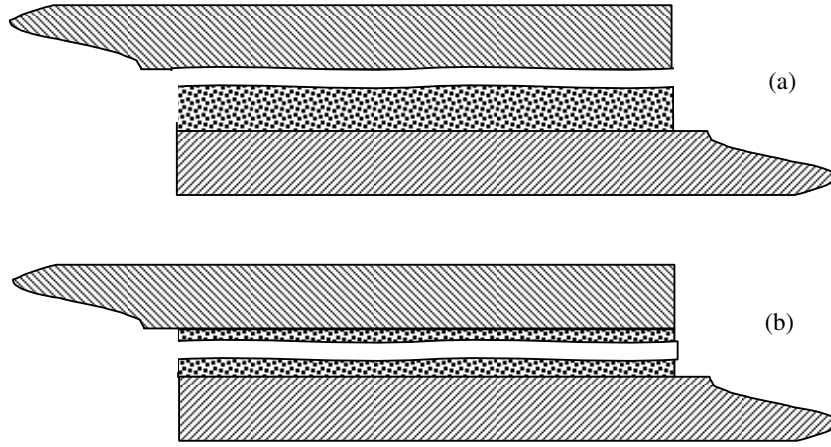
Farklı yükleme şartlarında yapıştırma bağlantılarının veya yapıştırıcının mekanik özelliklerinin tamamıyla anlaşılabilmesi için, hasar tiplerinin karakterize edilmesi gerekir. Bir grup malzeme veya parçanın yapıştırıcı ile bir araya getirildiği yapıştırma bağlantılarında genel olarak iki tip hasar modeliyle (adhezyon ve kohezyon) karşılaşılr[40].

Tablo 2.1. Temel hasar tipleri[40]

Yapıştırılan Malzeme	Hasar Tipleri	Tanımlanma Şekli
	 Yapıştırılan malzemelerin biri veya ikisinde de hasarın oluşması	YH
	 Kohosiv yapıştırılan malzeme hasarı	KYH
	 Kalkma (Deleminasyon) yoluyla hasar	DH
Yapıştırıcı	 Kohezyon hasarı	KH
	 Özel kohezyon hasarı	ÖKH
	 Adhezyon hasarı	AH

2.2.7.2. Kohezyon

Kohezyon yapıştırıcı molekülleri arasında bulunan ve yapıştırıcıyı bir arada tutan kuvvettir. Moleküller arası çekim ve polimer moleküllerin kendi arasında kenetlenmesi kohezyon kuvvetlerine etki eder.



Şekil 2.8. Yapıştırma bağlantısında kırılma: (a) Adheziv kırılma, (b) Koheziv kırılma

Yapıştırma bağlantılarında yüzey temizliği iyi yapılmış ise kırılma, koheziv bir kırılma olup hasar yapıştırıcının kendi içinde meydana gelir(şekil 2.8.b).

Bir zincirin kuvvetinin en zayıf halkası tarafından belirlenmesi kuralına uygun olarak, yapıştırma işleminde adhezyon ve kohezyon kuvvetleri yaklaşık eşit olmalıdır[58].

2.3. Yapışmayı Etkileyen Faktörler

Yapıştırıcılar bazı fiziki ve kimyasal faktörlerin etkisiyle yapışma sağlamaktadırlar. Aşağıda yapışmayı etkileyen faktörlerin en önemlileri yer almaktadır. Yapışmanın gerçekleşmesinde faktörlerden biri veya birden fazlası etkili olabilmektedir. Bir yapıştırıcı için etkili olan faktör diğeri için geçerli olmayabilir. Bu sebeple, yapıştırıcıların yapıştırma fonksiyonlarını yerine getirmesinde yapışmayı sağlayan polimerik madde kadar yapışmadan sorumlu olan fiziksel ve kimyasal faktörlerde önemlidir;

Sıcaklık

Yapıştırıcıların çoğu oda sıcaklığında etkili olurlar. Ancak yüksek sıcaklıkla yapıştırıcı daha etken olur ve yapışma süresi kısalmır. Birçok kimyasal reaksiyonda olduğu gibi sıcaklıkla reaksiyon hızında bir artış olur. Ancak sıcaklığın kontrolü yapılmalıdır. Aksi halde yapıştırıcıyı oluşturan polimerik maddenin bozunması ihtimali ile karşılaşılır. Yapışmada en etkili faktör sıcaklıktır[98]. Sıcaklığın yapıştırıcı malzemeye aşağıdaki gibi etkisi olmaktadır;

- Sıvı halde olan yapıştırıcının viskozitesini düşürür.
- Yapıştırıcının bünyesinde bulunan çözücü maddenin buharlaşarak sistemden ayrılmasını sağlar.
- Termosetlerde olduğu gibi reçinenin pişmesini ve yapıştırmasını sağlar.

- Çözücü içermeyen katı halde olan yapıştırıcıyı eriterek yüzeye yayılmasını sağlar.

Basınç

Film ve bant halinde olan yapıştırıcılar kullanıldıkları zaman hem bulundukları yerin şeklini almaları hem de yapışmalarını sağlamak maksadıyla hafif bir baskı uygulanması etkin olmalarını sağlamaktadır. Basınç uygulaması yapışmanın kısa zamanda olmasını sağlar.

Zaman

Yapıştırıcının kuruyarak, pişerek etkin hale gelmesi için birkaç saniyeden birkaç güne varan bir sürenin geçmesi gerekir. Geçen bu süre yapıştırıcının etkin olma süresidir. Bu süre basınç ve sıcaklıkla düşürülebilir.

Katalizör

Bazı yapıştırıcıların reaksiyonunu artırıcı, başlatıcı ve hızlandırıcı maddelerin formülünde olması gerekir. Bu maksatla kullanılan kimyasal maddelerin her biri değişik sıcaklıkta etkinliklerini göstererek yapışmayı sağlarlar. Termoset ve elastomerik yapıştırıcı türlerinde olduğu gibi tek ve iki bileşenli yapıştırıcılarda katalizörler büyük önem taşımaktadır.

Vulkanizasyon

Bazı elastomerik yapıştırıcılar yapışmayı sağlayabilmeleri için kükürt veya daha başka kimyasal maddelerin yardımıyla vulkanize olarak sertleşirler. İki bileşenli yapıştırıcılar ve kullanılan vulkanizasyon öğeleri sıcaklıkla aktifleşerek etkinliklerini meydana getirirler.

Çözücü

Su ve organik esaslı çözücüler kullanılarak hazırlanan yapıştırıcılar, yapışmayı, ortamdan çözücü maddenin oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıkta buharlaşarak ayrılmasını sağlar.

Oksijen

Bazı yapıştırıcılar etkinliklerini ortamda oksijenin olmadığı zaman gösterirler ve oksijensiz ortamlarda yapışırlar. Oksijenin bulunduğu ortamda bozulmadan uzun süre saklanabilirler.

Rutubet ve Su

Poliüretan, siyanoakrilat ve silikon türü yapıştırıcılar havada bulunan rutubet veya tatbik edildikleri yerdeki su ve rutubet vasıtasıyla reaksiyona girerler ve yapışmayı sağlarlar.

Metal Yüzeyleri

Demir ve bazı metallerin yüzeyine tatbik edilen yapıştırıcılar metal iyonlarıyla reaksiyona girerek yapışmayı sağlarlar[47].

2.4. Yapıştırıcılar

Yapıştırıcıların temel fonksiyonu yüzey teması sağlayarak malzemeleri bir arada tutmaktır. Eski yapıştırıcıların çoğu tek bir elemandan meydana gelirken, bugünün yapıştırıcıları organik, inorganik veya karma olan farklı elemanların karışımı şeklindedir. Bununla beraber eski yapıştırıcılardan bazıları hala kullanılmaktadır. Yapıştırıcı bileşiminin elemanları ekseriyetle yapıştırıcıdan istenen özelliklere göre belirlenir. Yapıştırıcının ana elemanı, bağlantıda “kohezif” ve “adhezif” mukavemeti sağlayan yapıştırma maddesidir. Bu madde ekseriyetle organik reçinedir, fakat bazı durumlarda kauçuk, inorganik bileşim veya doğal ürün de olabilir. Yapıştırıcıyı oluşturan diğer elemanlar bağlantı mukavemetine ilaveten istenen diğer özelliklerin elde edilmesi için kullanılırlar[48]. Aşağıda bu elemanlara örnek verilmektedir.

2.4.1. Yapıştırıcılara Konulan Katkı Maddeleri

Yapıştırıcılara konulan katkı maddeleri şunlardır;

Seyrelticiler

Seyrelticiler diğer elemanların yoğunluğunu ve viskozitesini azaltmada kullanılır. Dolayısıyla yapıştırıcıların düzgün ve ince tabaka halinde uygulanması mümkün olur. Bazı durumlarda viskozite kontrolü için sıvı reçineler kullanılır.

Katalizörler ve katılaştırıcılar

Yapıştırıcının katılaşmasını hızlandıran elemanlardır. Katılaştırıcılar(dondurucular, sertleştiriciler) monomerik, polimerik veya bileşimleri üzerine oluşturulmuş türlere sahiptirler. Etkisi kimyasal olarak ana elemanla birleşmesi sonucu ortaya çıkar. Katılaştırıcı / ana eleman oranı yapıştırıcıların fiziksel özelliklerini belirler. Mesela poliamid, epoksi reçinelerle birleşerek katılaşmayı hızlandırır. Katılaştırıcılar katı veya toz halinde olabilirler. Katalizörler ise kendileri değişmezler ve aynı gaye ile termoset reçineler için kullanılırlar. Asitler, bazlar, tuzlar, kükürt bileşimleri ve peroksitler emniyetle kullanılan katalizörlerdir. Katılaşmayı hızlandırmak için gereken miktar katılaştırıcıların tersine daha azdır ama kritiktir. Eğer ana eleman olarak kullanılan reçineler az veya çok katalize edilirse bağlantı mukavemetleri zayıf olur.

Hızlandırıcılar, geciktiriciler ve durdurucular

Bu elemanlar katılaşma hızını kontrol ederler. Hızlandırıcılar katılaşma hızını artırır (katalizörler de aynı işi görür ama kimyasal kimliğini değiştirmez). Geciktiriciler katılaşma hızını azaltırlar ve yapıştırıcının depolama ve çalışma ömrünü artırır. Durdurucular ise reaksiyonu tamamen keserler ve belli yapıştırıcılar için depolama ve çalışma ömrünü de artırır.

Düzeltiliciler

Düzeltiliciler, yapıştırıcı özelliklerini değiştiren, kimyasal inert elemanlardır. Örnek olarak; filler(doldurucular), yumuşatıcı, genişletici, inceltici, dengeleyici ve ısıtma elemanı verilebilir. Bunların her biri belli gayeler için kullanılır.

- **Filler(doldurucular);** yapıştırıcı performansını ve mukavemetini geliştirmek için kullanılır. Kendi başına yapıştırıcı özelliği olmayan toz halindeki inorganik veya organik malzemelerdir
- **Yumuşatıcılar;** yapıştırıcı esnekliğini artırmak ve plastik şekil değiştirme özelliğini geliştirmek için kullanılırlar. Termoplastik reçinelerin moleküler akışkanlığını artırmak için ekseriyetle yüksek kaynama noktasına sahip organik çözücüler kullanılır.
- **Genişleticiler;** birim yapışma alanı için gereken ana elemanın (yapıştırma maddesi) miktarını azaltırlar. Yapıştırma maddesinin boşluk doldurma(gap-filling) özelliklerini gösterirler. Kimyasal asal elemanlardır.
- **İncelticiler;** özellikle yapıştırıcının viskozite özelliklerini geliştirmek için kullanılırlar ve sıvı şeklindedirler.
- **Dengeleyiciler;** yapıştırıcının şiddetli çalışma şartlarına karşı direncini artırmak için kullanılırlar ve yapıştırıcı özelliklerinde meydana gelecek değişiklikleri ya en aza indirirler yâda tamamen önlerler.
- **Isıtma elemanları;** yapıştırıcının malzeme yüzeyini rahatça ısıtıp yayılmalarını sağlar[48].

2.4.2. Yapıştırıcıların sınıflandırılması

Yapıştırıcı formülasyonlarında kullanılan maddelerin çokluğu ve çeşitliliği değişik özelliklere sahip yapıştırıcıların formüle edilmesini sağlamakta ve ayrıca yapıştırıcıların sınıflandırılmasını zorlaştırmaktadır. Buna rağmen, yapıştırıcının seçimini ve kullanımını kolaylaştırmak amacıyla çeşitli sınıflandırmalar yapılmaktadır. En basit sınıflandırma hali aşağıda gösterildiği gibidir;

A- Fiziksel durumlarına göre yapıştırıcılar

- **Sıvı halde bulunan yapıştırıcılar:** Yapıştırıcıların çoğu sıvı halde bulunmaktadır. Suda veya organik bir çözücüde çözünmüş olarak veya sıvı içerisinde emülsiyon veya dispersiyon halinde bulunurlar. Sıvı haldeki yapıştırıcılar değişik viskozitede bulunmaktadır.
- **Pasta veya macun halinde olan yapıştırıcılar:** Bu tür yapıştırıcılar daha yoğun ve katı ile sıvı arasında yer alan yapıştırıcılardır. Macunların ve pastaların yapışkanlık özelliklerinin yanı sıra koruma özellikleri de bulunmaktadır.
- **Film ve bant halinde bulunan yapıştırıcılar:** Bir kâğıt veya film üzerine sürülmüş olan yapıştırıcı bulunduğu ortamdan transfer edilerek yapışmayı sağlamaktadır. Bu yapıştırıcılar bir

transfer kâğıdına veya filmine tutturulmadan da elde edilebilir. Film tipi yapıştırıcılar daha düzgün bir yapıştırma sağlamaktadır.

- **Toz halinde bulunan yapıştırıcılar:** Katı halde bulunan bu tür yapıştırıcıların solüsyon haline veya ısı ile eriterek aktif hale getirilmesi gerekmektedir. Yapışmayı sağlamaları için değişik plastik işleme süreçleriyle film, levha, formlu parça haline getirilirler.

B- Kimyasal durumlarına göre yapıştırıcılar

- Yapıştırıcıların formülasyonunda bulunan çözücülerin sistemden buharlaşarak ayrılması neticesinde kuruyarak yapışma sağlayan yapıştırıcılar
- Sıcaklıkla eriyen ve daha sonra soğuyarak yapışan yapıştırıcılar
- Kimyasal reaksiyona girerek sertleşen yapıştırıcılar
- Yapısal yapıştırıcılar
- Ultraviyole ışınları ile kürleşen yapıştırıcılar
- Siyanoakrilatlar
- Kontak türü yapıştırıcılar
- Anaerobik yapıştırıcılar

C- Kullanıldıkları yere göre yapıştırıcılar,

- Tekstil yapıştırıcıları
- Metal yapıştırıcıları
- Ahşap yapıştırıcıları
- Kimyasallara dayanıklı yapıştırıcılar
- Deri içi yapıştırıcıları
- Kâğıt yapıştırıcıları
- Seramik ve cam yapıştırıcıları
- Plastik yapıştırıcıları

Ancak kullanıldıkları yere göre yapıştırıcıları sınıflandırmak yanıltıcı olabilir. Çünkü bazı yapıştırıcılar birden fazla yerde kullanılmaktadır. Örneğin bazı tekstil yapıştırıcıları ağaç işlerinde de kullanılmaktadır. Yine metal yapıştırıcılar seramik ve kâğıtların birleştirilmesinde de kullanılabilir. Bu nedenle bu şekilde sınıflandırma yanlış olmamakla beraber, yapıştırıcıları sınıflandırmak yerine yapıştırıcıların kullanım yeri olarak tarif etmek doğru olur[47].

Yapıştırıcı ile ilgili kaynaklarda içerdikleri ana elemanın kimyasal türüne göre yapılan sınıflandırmalardır[48]. Burada özellikle en çok kullanılan yapısal yapıştırıcılar, ana elemanın kimyasal türüne göre şöyle sınıflandırılabilir;

Epoksiler

Epoksi reçineler, hemen hemen bütün uygulamalar için kullanılabilecek oldukça yüksek mukavemetli bir yapıştırıcıdır. Reçine ve katılaştırıcı şeklinde iki bileşen halinde satılır ve bağlantıda kullanılmadan önce karıştırılması gerekir. Oda sıcaklığında kürleşme süresi, birkaç saatlik periyottan birkaç günlük periyoda kadar olan çok geniş türleri bulunmaktadır. Daha mukavemetli ticari epoksilerin kürleşme sıcaklıkları 200°C'ye kadar çıkmaktadır. Kürleşen yapıştırıcı gevrek olup nemli ortamlara karşı hassastır ve uzun çevresel etkiler altında mukavemet kaybına uğramaktadır. Kürleşme esnasında yapıştırıcıda bir miktar daralma oluşur ve bu da istenmeyen artık gerilmelerin oluşmasına neden olur. Epoksi bağlantılar 140°C'yi aşan sıcaklıklarda bozulur. Epoksinin metal ve plastik yüzeylere yapışması zayıftır ve bundan dolayı bağlantıda oluşan hasar, koheziv olmaktan ziyade adheziftir, yani yapıştırıcı ile esas malzeme ara yüzeyinde oluşmaktadır. Bununla beraber, epoksi ile yapıştırılmış ahşap yapılarda hasar, bağlantı yerinden çok ahşabın kendi içerisinde meydana gelmektedir[87].

Epoksi yapıştırıcıların avantajları şunlardır;

- Kopma mukavemetleri yüksektir.
- Elyaf yapılarda yüksek bağ mukavemeti sağlarlar.
- Yüksek aşınma direncine sahiptirler.
- Uçucu değildirler ve kimyasal dirençleri yüksektir.
- Düşük ve yüksek sıcaklarda sertleşebilme özelliğine sahiptirler.

Epoksi yapıştırıcıların dezavantajları ise şunlardır;

- Polyesterle karıştırıldığında pahalıdırlar.
- Polyestere oranla yüksek viskoziteye daha az uygundur.

Epoksiler avantajlarının çokluğu ve tüm elyaf malzemelerde kullanılabilmeye nedeniyle, havacılık sanayide yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Genellikle karbon elyaflarla birlikte kullanılırlar[58].

Poliüretan

Poliüretanlar tek bileşen halinde de satılmasına karşın, çoğunlukla reçine ve katalizör olmak üzere iki bileşen halinde satılmaktadır. Epoksi reçinelerle karşılaştırıldığında çalışma ömrü çok daha sınırlı olup nemli ortamlara karşı daha hassastır. Oda sıcaklığında veya ısıtılarak kürleştirilebilir. Kürleşme esnasında boyut değişiminden kaynaklanan artık gerilmeler pek oluşmaz. Poliüretan yapıştırıcılar, genellikle düşük sıcaklıklarda, epoksi reçinelerden daha iyi mukavemet ve tokluğa sahiptirler. İyi katılık ve elastik özellikler gösterir. Bununla beraber toksik özelliklere sahip olduğu için bileşimlerine elle dokunulduğu zaman tehlikeli olabilirler.

Akrilikler

Akrilikler, hem metaller hem de plastikler için iyi soyulma mukavemetine sahiptirler. -110°C ile 120°C arasında elastik özelliklerini değiştirmeden korurlar. Bu yapıştırıcılar rutubetli ortamlara karşı dirençlidir ve nemden dolayı mukavemetlerinde bozulma söz konusu değildir. Bununla beraber bu yapıştırıcılar yanıcı olup yüksek sıcaklıklarda zamanla bozulurlar.

Siyanoakrilikler

Bu yapıştırıcı, yapısında akriliklerle beraber siyano grubunu da bulundurur. Dikkatsiz dokunulduğunda parmakları da hemen yapıştırdığı için piyasada süper yapıştırıcı da denir. Bu yapıştırıcılar, metal, plastik ve lastik yapıştırmada kullanılmaktadır. Fakat çok iyi yüzey temizliği gerektirir ve iyi bir bağlantı için, yapıştırıcı çok ince sürülmelidir. Yüzey son derece düz olmalı ve hiç boşluk kalmamalıdır. Yapıştırıcının kürleşmesi nem ile reaksiyona girilerek sağlanır. Siyanoakriliklerin maliyeti yüksek olmasına rağmen soyulma mukavemetleri düşüktür.

Anerobikler

Bu yapıştırıcılar, ortamdan oksijen uzaklaştırılarak kürleşirler. Bunun için yapıştırma işleminden hemen sonra yapıştırma bölgesi, havanın girişi engellenecek şekilde kaplanır. Anerobik yapıştırıcılar, iyi rutubet ve çözelti direncine sahip olup 150°C 'ye kadar metal ve termosetlerin yapıştırılmasında kullanılmaktadır.

Silikonlar

Silikon yapıştırıcılar sınırlı koheziv dayanıma sahiptirler. Fakat -60°C 'den 370°C 'ye kadar olağanüstü bir sıcaklık aralığında çalışma şartlarına sahiptir. Zincir yapısı çok esnek olup iyi soyulma mukavemeti gösterir. Metal, cam, lastik ve plastiklerin yapıştırılmasında ve mikro elektronik endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla beraber kısmen pahalıdır.

Fenolikler

Fenolikler, doğal bileşiklerden elde edilmeyen ilk yapıştırıcıdır. Molekül iskeleti, benzen halkalarının birleştirilmesi ile elde edilmiştir. -60°C gibi düşük sıcaklıklarda oldukça gevrek ve yüksek sıcaklıklarda ısıtılarak kürleşir. Pahalı olup çevresel faktörlere dirençlidir. Ahşap ve tabakalı yapılarda ilk tercih edilen yapıştırıcıdır[18].

2.5. Yapıştırıcıların Kürleşme Mekanizmaları

Yapıştırıcılarının çoğu muhtelif kimyasal polimerizasyon reaksiyonları ile sıvı halden katı hale geçerler. Her biri farklı durumlar için özel kürleşme şekillerine sahip birçok yapıştırıcı geliştirilmiştir. Kürleşme özelliklerine göre yapıştırıcıları aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz:

- Anaerobik reaksiyon
- Ultraviyole (UV) ışığı ile (ayrıca ikinci bir kürleşme seçeneği)
- Aniyonik reaksiyon (siyanoakrilatlar)

- Aktivatör ile (modifiye akrilikler)
- Nemle kürleşme (silikonlar, üretanlar)
- Isıyla kürleşme (epoksiler)

2.5.1 Anerobik reaksiyonla kürleşen yapıştırıcılar

Anaerobik yapıştırıcılar, oksijenle temasları kesildiğinde oda sıcaklığında kürleşen tek-bileşenli malzemelerdir. Sıvı haldeki yapıştırıcının içinde bulunan kürleştirici bileşen, havadaki oksijenle temasta olduğu sürece etkisiz kalır. Eğer yapıştırıcının oksijen ile teması kesilirse yapıştırılacak yüzeyler arasında hapsoldüğünde, kürleşme hızla gerçekleşir - aynı zamanda metalle temas söz konusu ise kürleşme daha da hızlanır. Kürleşmeyi aşağıdaki şekilde düşünebilirsiniz: oksijenle temas kesildiğinde serbest radikaller oluşur ve metal iyonlarının (Cu, Fe) etkisiyle bu serbest radikaller polimerizasyonu başlatır (şekil 2.9).

Kılcallık etkisiyle sıvı yapıştırıcı en küçük boşluklara girerek ek yerini doldurur. Bu şekilde, kürleşen yapıştırıcı yüzey pürüzlerinin tam şeklini almış olur. Kürleşme işlemi ayrıca, bir katalizör vazifesi gören metal yüzey ile yapıştırıcının teması sonucu hızlanır (tablo 2.2.). Pasif malzemelerin katalizör etkisi çok azdır. Böyle durumlarda hızlı ve tam kürleşme için aktivatör kullanılması gereklidir. Sıvı haldeki aktivatör, yapıştırıcı sürülmeden önce yapıştırılacak yüzeylerden birine veya ikisine uygulanır. Aktivatör ile yapıştırıcının karıştırılması söz konusu olmadığı için, açıkta bekleme süresi gibi bir kaygı yoktur.

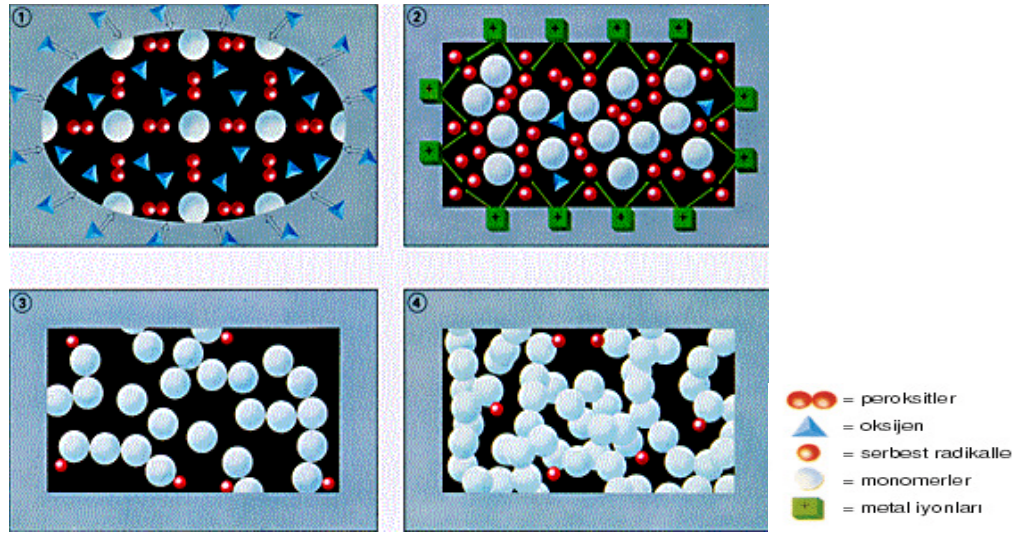
Tablo 2.2.: Pasif ve aktif malzemelerin anaerobik kürleşmeye etkileri

Aktif Malzemeler Hızlı Kürleşme	Pasif Malzemeler Yavaş Kürleşme*
Pirinç Bronz Bakır Demir Çelik	Anodik kaplamalar, Alüminyum (Bakır oranı düşük), Seramikler, Kromat kaplamalar Cam, Yüksek alaşım çeliği, Nikel, Oksit kaplamalar, Plastikler, Gümüş, Paslanmaz çelik, Kalay, Çinko

* Hızlı kürleşme için aktivatör kullanılır

Anaerobik reaksiyon ile kürleşen yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

- Çok yüksek kesme mukavemeti
- Yüksek sıcaklık dayanımı (-55 °C'den maksimum +230 °C'ye kadar)
- Hızlı kürleşme
- Tek bileşenli olmaları nedeniyle otomatik makineler ile tatbik kolaylığı
- Parça yüzeylerinin parlatılmasını gerektirmeme
- Yapıştırmanın yanında sızdırmazlık ve mükemmel kimyasal dayanım
- Yüksek titreşim mukavemeti
- Yüksek dinamik yük mukavemeti



Şekil 2.9 Anaerobik reaksiyon ile kürleşen yapıştırıcıların kürleşme işlemi: Sıvı haldeki (1) yapıştırıcı sürekli oksijen takviyesi ile dengede tutulur. Yapıştırıcı yüzeyler arasında hapsediği ve oksijen ile teması kesildiği zaman (2), metal iyonlarıyla reaksiyon sonucu peroksitler serbest radikallere dönüşür.

Daha sonra serbest radikaller polimer zincirleri oluşumunu başlatır (3). Kürleşmiş hal, birbirine kenetlenmiş polimer zincirleri ile katı bir yapı arz eder(4) [58].

Anaerobik ürünlerin kürleşmesi, özellikle kürleşme hızı şunlar tarafından etkilenir:

- Yapıştırılacak malzemeler (şekil 2.10.a)
- Yapıştırılacak parçalar arasındaki boşluk (şekil 2.10.b)
- Sıcaklık (şekil 2.10.c)
- Aktivatör (şekil 2.10.d)

Anaerobik yapıştırıcıların tipik uygulamaları şunlardır;

- Vida gevşemezliği
- Contalama (flanş sızdırmazlığı)

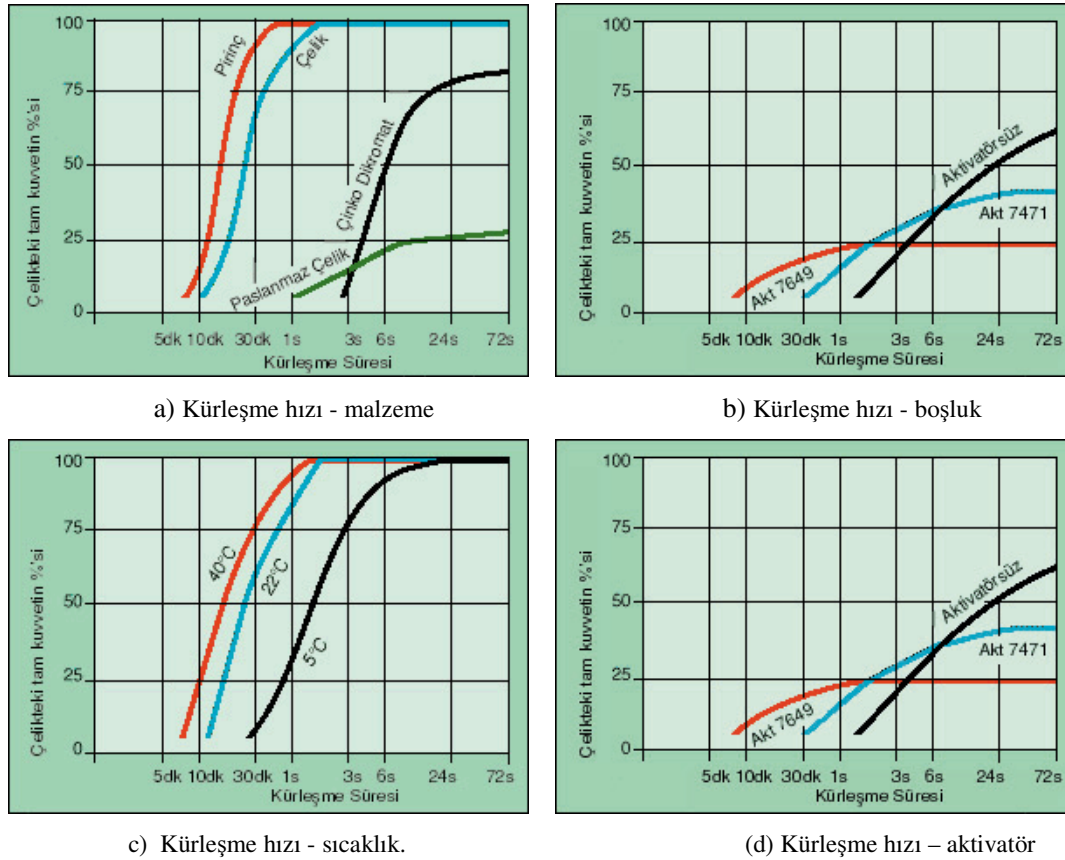
- Boru sızdırmazlık
- Sıkı geçme (silindirik yapıştırma)
- Yapıştırma

2.5.2 Ultraviyole (UV) ışığı ile kürleşen yapıştırıcılar

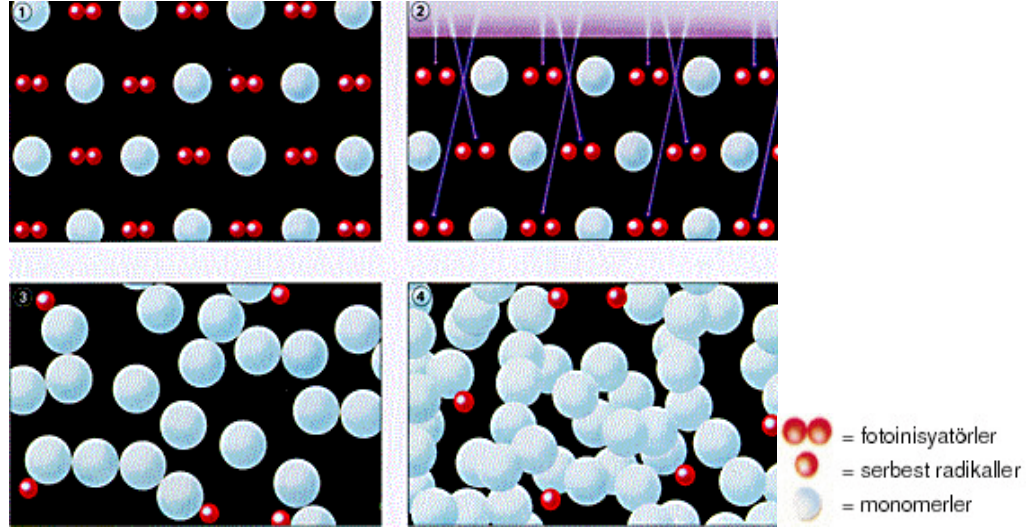
Bu yapıştırıcıların kürleşme süresi UV ışığının şiddetine ve dalga boyuna bağlıdır. Polimerizasyon UV ışığı tarafından başlatılır, dolayısıyla mutlaka uygun ışık kaynağı ve doğru tatbikat gereklidir. Fotoinisyatörler UV tarafından parçalanır. Oluşan serbest radikaller de polimerizasyonu başlatır (şekil 2.11.).

Başlıca üç tip UV ile kürleşme ihtiyacı vardır:

- UV ışığı ile derinlemesine kürleşme
- UV ışığı ile yüzeysel kürleşme
- İkincil kürleşme sistemleri

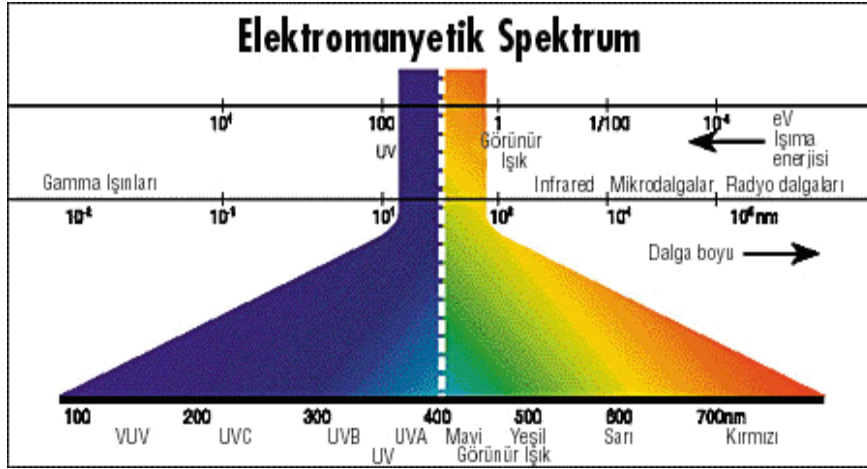


Şekil 2.10. Anaerobik ürünlerin kürleşme hızını etkileyen faktörler



Şekil 2.11. UV ile kürleşen yapıştırıcılarda kürleşme işlemi: sıvı durumda iken (1) monomer ve fotoinisyatörler birbirini etkilemeden bir arada bulunurlar. UV ışığı uygulandığı zaman (2), fotoinisyatörler serbest radikallere dönüşür. Serbest radikaller monomer zincirlerinin oluşumunu başlatır (3). Kürleşmiş durumda birbirine kenetlenmiş polimer zincirleri (4)[58].

Elektromanyetik spektrumu oluşturan ışıma enerjisi tipleri ve ilgili dalga boyları Şekil 2.12.'de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.12. Elektromanyetik spektrum[58]

Derinlemesine kürleşme

Yapıştırıcıyı maksimum derinlikte kürleştirmek için, 300 ila 400 nm. (uzun UV dalga boyları, UVA-ışığı) aralığında dalga boyu yayan, yüksek ışık şiddetinde ultraviyole kaynaklarına ihtiyaç vardır (şekil 2.13.a).

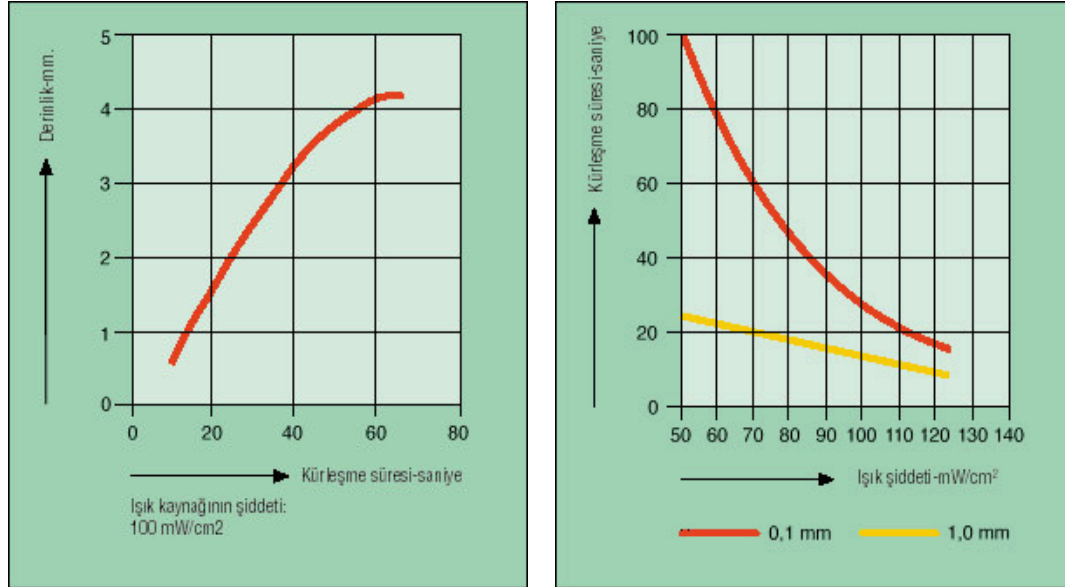
Yüzeysel kürleşme

Özellikle UV malzemeler ile dolgu veya yapıştırma yapılırken yüzeysel kürleşme önemlidir. Eğer yetersiz UV lambaları kullanılırsa yapışkan bir yüzey kalabilir. Bunu önlemek için, UV ışık kaynağı 280 nm. (UVC-ışığı)'nin altında yüksek şiddette ışık yaymalıdır. Bu husus, yapıştırıcı yüzeyinin temas halinde olduğu havadaki oksijenin kürleşmeyi engelleyici etkisini ortadan kaldırmakta çok etkilidir (şekil 2.13.b).

İkincil mekanizma ile kürleşme

Birçok uygulamada UV ışığı yapıştırıcı tarafından ısıtılan tüm bölgelere ulaşamaz. Bu nedenle UV ışığı alamayan alanlar için ikincil kürleşme sistemi olan; anaerobik kürleşme, ısı, ortam nemi ve aktivatörler gibi yapıştırıcılar geliştirmiştir.

UV yapıştırıcının kürleşmesi yapışma çizgisine ulaşan ışığın dalga boyu ve şiddetine bağlıdır. Bu nedenle, en uygun yapıştırıcının seçiminde farklı malzemelerin UV geçirgenliği önemli bir kısıttır(şekil 2.13.). PC (Polikarbonat), PVC (Polivinil klorid) veya benzeri malzemelerden yapılmış parçaları yapıştırmak için, “görünür ışıkla kürleşen” yapıştırıcılar geliştirilmiştir. Bu yapıştırıcılar UVA-ışığı ile kürleşebilirler, 420 nm. (görünür ışık) civarında yüksek şiddette ışığa tabi tutulduklarında çok daha iyi kürleşme performansı gösterirler.



a) Derinlemesine kürleşme esnasında

b) Yüzeysel kürleşme esnasında

Şekil 2.13. UV ürünlerin tipik kürleşme davranışı[58]

UV ışığı ile kürleşen yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

- Yüksek kuvvet
- Yüksek boşluk doldurma kabiliyeti
- Çok kısa ilk kürleşme süresi

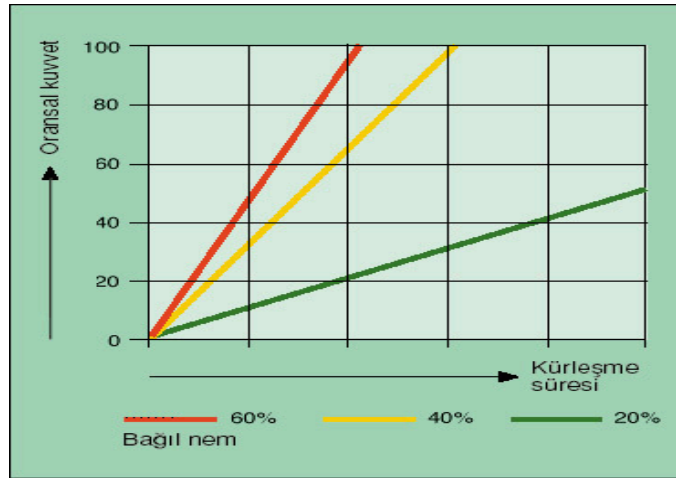
- Ortam şartlarına iyi / çok iyi dayanım
- Tek bileşenli oldukları için otomatik tatbik sistemlerine uygunluk

2.5.3 Aniyonik reaksiyonla kürleşen yapıştırıcılar (Siyanokrilatlar)

Tek bileşenli siyanokrilat yapıştırıcılar, hafifçe alkalın özellik gösteren yüzeyler ile temas ettiklerinde kürleşirler. Genel olarak havadaki ve yapıştırılacak yüzeydeki ortam nemi kürleşmeyi birkaç saniye içinde başlatmak için yeterlidir. Yapıştırılacak yüzey üzerindeki nem, yapıştırıcının içindeki dengeleyiciyi etkisizleştirmiştir. Böylece polimerizasyon bir yüzeyden diğerine gerçekleşir. En hızlı ilk kürleşmeyi elde etmek için tercihan “sıfır boşluk” gereklidir. Çalışma ortamında, oda sıcaklığında %40 ila %60 bağıl nem bulunması halinde en iyi netice elde edilir. Düşük nem kürleşmeyi yavaşlatır, yüksek nem ise hızlandırır fakat yapıştırıcının en son tutma kuvvetini olumsuz etkiler (şekil 2.14.).

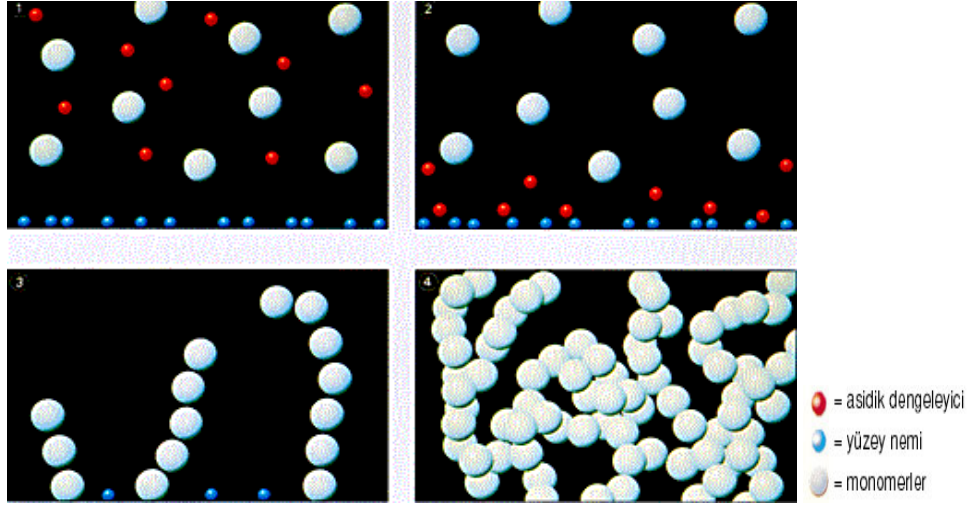
Kuru hava genellikle yapıştırıcının kuvvetini olumsuz etkilemez. Fakat kürleşme süresinin uzaması imalatı yavaşlatır. Bir hava şartlandırma sistemi ile yapıştırma yapılan yerde tercih edilen nem seviyesi sabit tutulabilir. Asidik yüzeyler ($\text{pH} < 7$) kürleşmeyi yavaşlatır veya engeller, buna karşılık alkalın yüzeyler ($\text{pH} > 7$) kürleşmeyi hızlandırır (şekil 2.14.).

Yapıştırıcı uygulandıktan sonra polimerizasyon birkaç saniye içinde başladığı için parçalar hemen birleştirilmelidir. Yapıştırıcının açıkta kalma süresi, bağıl neme, yapışma yüzeylerindeki neme, yapıştırıcıya ve ortam sıcaklığına bağlıdır. Çok hızlı kürleştikleri için, siyanokrilat yapıştırıcılar özellikle küçük parçaların yapıştırılması için uygundur.



Şekil 2.14. Bağıl nemin bir fonksiyonu olarak siyanokrilat yapıştırıcıların kürleşmesi[58]

Siyanokrilat yapıştırıcılar yalnızca bir yüzeye sürülmelidir. En iyi yapışma için boşluğu dolduracak kadar yapıştırıcı uygulanması şarttır.



Şekil 2.15. Siyanoakrilat yapıştırıcılarda kürleşme işlemi şöyle tarif edilebilir: asidik dengeleyici yapıştırıcı moleküllerinin reaksiyona girmelerini engelleyerek sıvı halde kalmayı sağlar (1). Yüzey nemi dengeleyiciyi nötralize eder (2) ve polimerizasyon başlar (3). Örgü şeklinde birçok polimerizasyon zinciri oluşur (4)[58].

Yukarıda açıklandığı gibi, kürleşme hızı yapıştırılacak yüzeylerdeki neme bağlıdır. Kürleşmeyi hızlandırmak veya ortam neminden bağımsız hale getirmek için aktivatörler kullanılabilir. Taşan yapıştırıcı veya ağıdaki yapıştırıcı damlası da aktivatörler kullanılarak saniyeler içinde kürleştirilir.

Başlıca siyanoakrilat aktivatörleri heptan, aseton ve izopropanol dür.

Siyanoakrilat yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

- Çok yüksek kesme ve çekme mukavemeti
- Çok yüksek kürleşme hızı (saniyeler içinde tutar)
- Hemen hemen tüm malzemeleri yapıştırır
- Yaşlanmaya dayanıklıdır

Siyanoakrilat yapıştırıcıların tipik uygulamaları şunlardır:

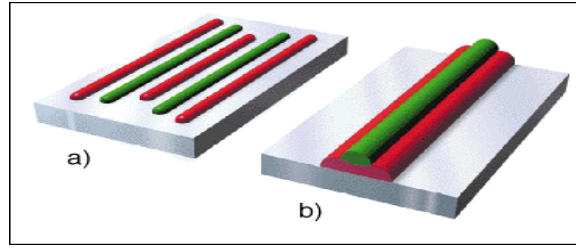
- Gözenekli ve hafifçe asidik yüzeyler
- Yapıştırması zor plastikler, çok hızlı kürleşme
- Daha iyi boşluk doldurma için yüksek viskozite
- Jel kıvamında mükemmel boşluk doldurma,
- Uçuculuğu düşük, kokusu az, görünümün öncelikle önemli olduğu uygulamalar
- Farklı malzemelerin yapıştırılması, çoğunlukla metali plastiğe yapıştırmada kullanılır
- Metali metale veya diğer malzemelere yapıştırma
- Çeşitli malzemeleri yapıştırma, en yüksek sıcaklık ve ısıl yaşlanma dayanımı

2.5.4 Aktivatör ile kürleşen yapıştırıcılar (modifiye akrilikler)

Bunlar oda sıcaklığında aktivatör ile kürleşir. Yapıştırıcının türüne göre, yapıştırıcı ve aktivatör yapıştırılacak yüzeylere ayrı ayrı uygulanabilir veya hemen uygulama öncesinde bir statik çırpıcı ile karıştırılabilir. Bazı yapıştırıcılar düşük viskoziteli bir aktivatör ile kullanılır. Bu yapıştırıcılar hiçbir zaman aktivatörle karıştırılmamalıdır. Yapıştırıcı ve aktivatör her zaman ayrı ayrı tatbik edilmelidir. İki parça birbirine temas ettiğinde yapıştırıcı kürleşmeye başlar.

Sıvı aktivatörü ortadan kaldıran, yapıştırıcı ile aktivatörün aynı kıvamda olduğu akrilik yapıştırıcılar da vardır. Bunlar iki bileşenli sistemlerdir ve yapıştırıcı ile aktivatör yan yana veya üst üste şeritler halinde uygulanır. Yapıştırılacak parçalar birleştirilirken yapıştırıcı da karışmış olur. Eğer karışmış haldeki yapıştırıcı 5 dakika veya daha uzun bekleyebiliyor ise bir statik çırpıcı de kullanılabilir. Statik çırpıcı tarafından önceden yapıştırıcı kullanmanın avantajı, karışmanın parçaları birleştirme esnasındaki harekete bağımlı olmamasıdır.

Yapıştırıcının A ve B kısımları yüzeyler birleştirildiğinde karışacak şekilde tatbik edilmelidir(şekil 2.16).



Şekil 2.16. Uygulama ihtiyaçlarına bağlı olarak kullanılan metotlar[58]

Modifiye akrilik yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

- Çok yüksek kesme ve çekme mukavemeti
- Yüksek darbe mukavemeti
- Geniş çalışma sıcaklık aralığı (-55 °C ila +120 °C)
- Hemen hemen tüm malzemeler yapıştırılabilir
- Yüksek boşluk doldurma kabiliyeti (özellikle önceden karıştırılan akrilikler)
- Ortam şartlarına yüksek dayanım

Modifiye akrilik yapıştırıcıların tipik uygulamaları şunlardır: hoparlör yapıştırma, mıknaş yapıştırma, yapısal yapıştırma.

2.5.5 Ortam nemi ile kürleşen yapıştırıcılar

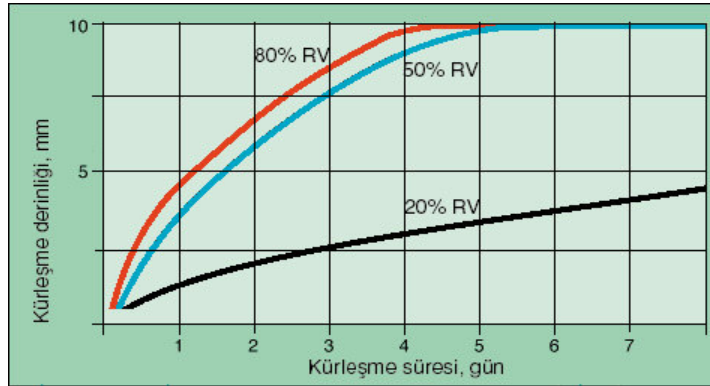
Bu yapıştırıcı/sızdırmazlık ürünleri çoğunlukla ortam nemi ile reaksiyonu içeren bir kondenzasyon(iki veya daha fazla molekülün, suyun veya diğer bazı basit maddelerin açığa çıkması ile birleştiği kimyasal reaksiyon) reaksiyonu ile kürleşirler. İki tip kimyasal vardır:

- **Silikonlar;** Bu malzemeler oda sıcaklığında ortam nemi ile vulkanize(bir lastiğin fiziksel özelliklerinin, sülfür veya diğer uygun etmenler ile reaksiyonu sonucu; plastik akışta azalma, yüzey yapışkanlığında azalma ve çekme mukavemetinde artış yönünde değiştiği kimyasal reaksiyon) olur(RTV:Room Temperature Vulcanising). Siyanoakrilatlarda dengeleyicinin nem tarafından etkisizleştirildiği aniyonik reaksiyona karşılık, silikonlarda kenetlenme için su molekülleri kullanılır. Bu nedenle, suyun silikonun içine, vulkanizasyonun gerçekleştiği bölgeye nüfuz etmesi gerekir. Su molekülü silikon molekülleri zincirine eklendiği zaman bir yan ürün açığa çıkar. Kürleşmenin kimyasal özelliğine bağlı olarak yan ürün asidik (ör: asetik asit), bazik (ör: amin) veya nötr (ör: oxim veya alkol) olabilir. Bu yapıştırıcıların kürleşme hızı bağıl neme bağlıdır(şekil 2.17.).

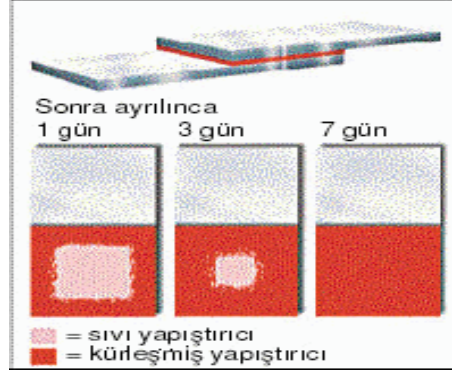
Kürleşme mekanizmasının tabiatı gereği, silikonlar yapışma yüzünün dış kenarlarından içeriye doğru vulkanize olur. Nemin, vulkanizasyonun gerçekleştiği her noktaya ulaşması gerektiği için, kürleşme derinliği 10-15 mm. ile sınırlıdır. Silikonla birleştirmiş bir malzemenin ek yeri şekil 2.18’de görüldüğü gibidir.

Kürleşmiş silikonun genel özellikleri şunlardır:

- Mükemmel sıcaklık dayanımı (230 °C’den fazla)
- Esnek, dayanıklı, uzama katsayısı yüksek
- Düşük ile orta sertlik
- Birçok akışkan için etkili sızdırmazlık
- Mükemmel boşluk doldurma



Şekil 2.17. Kürleşme hızı - bağıl nem[58]



Şekil 2.18. Silikonla yapıştırılmış tipik ek yeri[58]

Silikonların tipik uygulamaları şunlardır:

- Otomotiv sanayinde contalama ve sızdırmazlık
- Yüksek sıcaklık uygulamalarında sızdırmazlık
- Yapıştırma ve dolgu (özellikle küçük parçalar)
- Sızdırmazlık ve dolgu (nötr yan ürün)
- Baskılı devre kartlarının kaplanması
- **Poliüretanlar;** Genellikle suyun, izosiyanat grupları içeren bir katkı maddesi ile reaksiyonu neticesinde oluşurlar. Silikonlarda olduğu gibi, su molekülünün yapıştırıcının içine nüfuz ederek yapıştırıcı bağlarının oluştuğu her noktaya ulaşması gerekir. Bunun sonucunda silikonlar ile aynı kürleşme hadisesi meydana gelir, fakat yan ürün açığa çıkmaz. Kürleşme hızı yine ortamın bağlı nemine bağlıdır.

Poliüretanların genel özellikleri şunlardır:

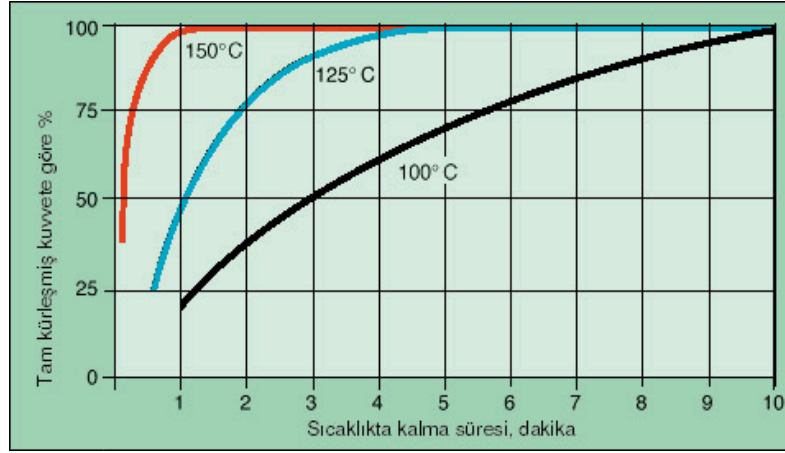
- Mükemmel dayanıklılık
- Esneklik, yüksek uzama yeteneği
- Mükemmel boşluk doldurma
- Kürleştikten sonra boyanabilme
- Mükemmel kimyasal direnç

En iyi ve uzun ömürlü yapışma için uygun temizleyici ve primerlerin (yapışma başlatıcı) kullanılması tavsiye edilir. Yapıştırılacak yüzeye göre farklı primerler kullanılır.

2.5.6 Isı ile kürleşen yapıştırıcılar

Isı ile kürleşen yapıştırıcılar genellikle tek bileşenli yapıştırıcılardır. En tipik örnek ısı ile kürleşen epoksilerdir. Kürleşme sıcaklığı yapıştırıcıya göre değişir. Tipik olarak minimum kürleşme sıcaklığı 100 °C'dir.

Kürleşme süresi kürleşme sıcaklığına bağlıdır - kürleşme sıcaklığı yükseldikçe süre kısalmır. Normalde sertleştiriciyi harekete geçirmek ve polimerizasyonu başlatmak için gerekli bir minimum sıcaklık vardır.



Şekil 2.19. Kürleşme süresi-sıcaklık dağılımı[58]

Yalnızca ısı ile kürleşen yapıştırıcıların yanında, ısıya ilave kürleşme yöntemi olarak kullanan başka yapıştırıcılar da vardır. Anaerobik yapıştırıcılar da tipik olarak 120 °C'de ısı ile kürleştirilebilir.

Isı ile kürleşen yapıştırıcıların özellikleri kimyasal yapıları ile yakın alakalıdır ve çok farklı olabilir (epoksi, metakrilat gibi).

Isı ile kürleşen epoksilerin genel özellikleri şunlardır:

- Orta ile yüksek kuvvet
- Birçok yüzeye iyi yapışma
- İyi boşluk doldurma
- Çok iyi çevresel direnç

Tipik uygulamalar şunlardır: SMD yapıştırma (elektronik), röle yalıtma, emprenye etme, vida gevşemezlilik, boru sızdırmazlık, sıkı geçme[58].

2.6. Yüzey Hazırlama

Yapıştırma bağlantısının iyi olabilmesi için yapıştırılacak yüzeylerin uygun şekilde hazırlanması gerekir. Bir yapıştırma bağlantısında adhezyon kuvvetleri ve yüzey pürüzleri kuvvet iletilmesine etkili olan en önemli faktörlerdir. Esas itibariyle yapıştırıcının yüzeye bağlanması, adhezyon kuvvetleri (moleküler kuvvetler) sonucu olmaktadır. Bu kuvvetler çok defa yapıştırıcının kendi mukavemetinden daha büyüktür. İyi hazırlanmış yapıştırma bağlantılarında kopma; yapıştırıcı ile malzeme arasında değil, yapıştırıcıda meydana gelir.

Moleküler kuvvetlerin etkili olabilmesi için yapıştırılacak yüzeylerin temiz ve yabancı maddelerden arındırılmış olması gerekir.

Yüzey pürüzlülüğü de yapıştırma bağlantılarının mukavemetine önemli derecede etki eder. Yapıştırıcının pürüzler arasına girip sertleşmesi bir şekil bağı meydana getirir. Bu nedenle, yapıştırılacak yüzeylerin çok parlak olmaması gerekir. Ancak pürüzlerin mukavemete ne derece etkidiğini tayin etmek zordur.

Bağlantı başlangıç mukavemeti ve sürekliliği, yapıştırıcı ile temas edecek yüzeyin tipine bağlıdır. Esas malzemenin yüzey hazırlama derecesi, çalışma ortamı ve gerekli mukavemet ile alakalıdır. Metallerin yüzey hazırlaması, yüzeyi basit bir çözücü ile silmekten mekanik aşındırma, kimyasal temizleme ve asitle temizlemeye kadar değişmektedir. Birçok düşük ve orta mukavemetli uygulamalar için geniş yüzey temizleme metotlarına ihtiyaç yoktur. Fakat en yüksek mukavemet, süreklilik ve güvenilirlik gerektiren uygulamalarda iyi kontrol edilen yüzey hazırlama süreçlerine gereksinim vardır. Bir yüzey hazırlama metodu seçilirken aşağıdaki faktörlerin göz önünde bulundurulması gerekir;

- Gerekli en yüksek bağlantı mukavemeti,
- Gerekli çalışma ömrü ve çalışma ortamı,
- Başlangıçta malzeme yüzeyindeki kir çeşidi ve miktarı,
- Malzeme türü.

Yüzeyi temizlenmiş bir malzemede yapıştırıcı, yüzeyi daha kolay ve daha iyi ıslattığı için bağlantı mukavemeti oldukça artar. Yüzey hazırlama aşağıdaki fonksiyonların bir veya bir kaçını birlikte gerçekleştirdiği için bağlantı dayanım kalitesini artırır[70].

- Yüzeydeki kirleri kaldırır,
- Emilen suyu kontrol eder,
- Oksit oluşumunu kontrol eder,
- Polimerlerin bozulmasını hızlandıran yüzey atomlarını olumsuz yönde etkiler,
- Yapıştırıcı ve esas malzemeyi birbirinden korur,
- Esas malzemenin kristal yapısını yapıştırıcının moleküler yapısına uydurur,
- Yüzey pürüzlülüğünü kontrol eder.

Plastik ve elastomerler(deforme edici kuvvet kaldırıldığında, oda sıcaklığında orijinal ölçü ve şeklini kazanma yeteneği olan gözle görülen moleküler malzeme), iyi bir dayanım sağlanması için metallerden daha fazla yüzey hazırlamaya bağlıdırlar. Bu tür metaller üretilirken kalıba yapışmaması için kalıbın yüzeyine özel kimyasal maddeler sürülür ve yine iyi görünüm sağlanması için yumuşatıcı maddeler kullanılır. Dolayısıyla bu kirletici faktörler iyi bir yapışmayı engeller. Politetrafloroetilen, polietilen ve diğer polimer malzemeler, doğası gereği

yapışmaya uygun olmayan malzemelerdir. Bunlar yapıştırılmadan önce yüzeylerinin kimyasal özelliklerinin değiştirilmesi gerekmektedir.

2.6.1. Yüzey hazırlama metotları

En çok kullanılan yüzey hazırlama metotları;

- Çözücüyle silme
- Buharla yağ giderme
- Aşındırma
- Buharla honlama
- Ultrasonik temizleme
- Kimyasal çözelti ile temizleme (etching)
- Diğer kimyasal ve mekanik metodlar

Çözücüyle silme

En çok kullanılan fakat en az başarılı olduğu düşünülen bir metottur. Yüzeyler; üzerine temiz çözücü damlatılmış bir bez veya kâğıtla silinerek temizlenirler. Bezler çözücü kabına dokundurulmamalıdır. Silinen yüzeylerde çizgi oluşması bezin veya çözücünün temiz olmadığını gösterir. Silme işlemi için kullanılan çözücüler toluen, metil etil keton, trikloroetilen ve asetonudur. Küçük parçalar için çözücü içinde çalkalama ve sonra temiz, kuru azot içine salıverme; silme işleminden daha etkili olacaktır.

Buharla yağ giderme

Burada yapıştırılacak yüzeyler damıtılmış, yoğunlaşmış çözücü buharıyla yıkandığı için buharla yağ giderme silmeye tercih edilir. Çözücü buharlarının sıcaklığı kaynama noktasındadır ve ekseriyetle trikloroetilen veya perkloroetilen kullanılır. Buharla yağ giderme üstün bir temizleme metodudur. Trikloroetilen buharına bir dakika daldırma, ekseriyetle metallerin yağının tam olarak giderilmesi için yeterlidir.

Aşındırma

Yapıştırma bağlantılarının mukavemetine yüzey pürüzlülüğünün önemli derecede etkisi vardır. Bu etki, malzemenin yüzey alanını artırarak (dolayısıyla malzeme ve yapıştırıcı arasındaki kimyasal bağlar artar) sağlanır. Bu etki belirli bir sınıra kadardır.

İmalattan çıkmış parçaların yüzeyleri genellikle belli bir pürüzlülük değerine sahiptir. Ama parlatılmış ve taşlanmış veya ince işlenmiş yüzeyler, özellikle yapıştırma öncesi pürüzlendirilmedikçe yapışma mukavemetleri düşük olur. Etkili bir yüzey aşındırması sadece

yüzey alanını artırmakla kalmaz ayrıca yüzeydeki yabancı madde tabakalarını da temizler. Buna ilaveten aşındırmanın yüzey ıslatmayı da geliştirdiği belirlenmiştir.

Aşındırmada kullanılan yöntemlerden birkaçı kum veya zımpara kâğıdı ile aşındırma; kum, tane veya hava püskürtme ve çelik yünle ovmadır. Kum püskürtme yapılıyorsa ince kum kullanılmalıdır ve püskürtme için kullanılan hava, kuru ve süzölmüş olmalıdır. Bu durum özellikle nemli alanlarda önemlidir. Kum ayrıca temiz olmalıdır. Hava basıncı ve tane çeşidi, temizlenecek yüzeyin sertliğine bağlı olarak değişir.

Zımparalama için tane büyüklüğü 100 grit veya biraz daha ince olan zımpara kâğıdı seçilerek yüzey zımpara izleri çeşitli yönlerde olacak şekilde hazırlanmalıdır.

Püskürtme için seçilecek aşındırıcılar alüminyum oksit(alumina), kuartz ve zımpara taneleri olabilir. Bunlar genel olarak çeliktir ve hafif alaşımlar için kullanılır. En iyi sonuçlar keskin kenarlı tanelerle elde edilir. Yuvarlak taneler (demir bilye ve cam boncuk gibi) uygun değildir, çünkü bunlar pürüz oluşturmaktan çok dövölmüş yüzey meydana getirirler. Yüzeylerine ikinci bir maden tabakası yapıştırılmış malzemelerde (Al-alaşımlarında olduğu gibi) ince olan kaplama tabakasının zarar görmemesi için zımparalama veya püskürtme yapılmaz. Bu gibi hallerde yüzeyler çelik veya alüminyum yünü ile ovulup temizlenir.

Aşındırma yöntemlerinden sonra yüzeyde kalan katı taneler temiz, kuru, basınçlı hava ile temizlenebilir. Pürüzlendirilen yüzeyler mümkünse hemen yapıştırılmalıdır. Aksi takdirde yüzeyler primer(yapışma performansını arttırmak amacıyla yüzeye yapıştırıcıdan önce uygulanan kaplama) ile kaplanmalıdır[87].

Buharla honlama

Çok küçük veya hassas metal parçaları için olağan aşındırma metotları çok kaba olabilir. Daha yumuşak ama yine aşındırma olan bu yöntem, buhar püskürtme veya hidro püskürtme olarak da bilinir. Bu işlem, suda asılı çok ince aşındırıcılar ve korozyon önleyiciler içeren bileşimlerin yüzeyi temizlemesi şeklindedir. Bu metot küçük parçaları temizlemek için faydalıdır ama honlama sonrası suda çalkalamaya gerek duyulur.

Ultrasonik temizleme

Sert, kırılkan malzemeleri efektif olarak temizlemek için üretilmiş mekanik işlemdir. İş parçası ve takım arasındaki sıvıda taşınan aşındırıcı taneler vasıtasıyla iş parçası yüzeyi yüksek hızda bombardıman edilerek temizlenir. Bu metot öncelikle küçük parçalar için kullanılır. Dalgaların hafifletilmemesi veya bozulmaması için parçalar sıvı içinde asılı kalmalı ve tank dibine dokundurulmamalıdır[48].

Kimyasal çözeltiyle temizleme (etching)

Yüzeylerin kimyasal çözelti yöntemi ile temizlenmesi, en etkili yüzey temizleme metodudur. Bu temizleme metodu, yüzeyin daha güçlü olması ve daha fazla ıslatılabilirlik

sağlanması için, yüzeyin fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirir. Her malzeme yüzeyi, kendisine uygun ve farklı kimyasal işlem gerektirir. Birleştirilecek alan, hazırlanan asit çözeltisinin içine konulur ve birkaç dakika bekletilir. Zamanla kimyasal çözelti, malzeme yüzeyinden giderdiği pisliklerle kirleneceği ve yoğunluğu değişeceği için periyodik olarak çözelti yenilenmelidir. Çözelti sıcaklığı da kontrol altında tutulmalıdır ve çözelti ile temas edilmemelidir. Çünkü bu tür çözeltiler genellikle sağlık açısından sakıncalıdır. Ayrıca pasta türü dağlama ürünleri de mevcut olup yüzeye sürülür ve hem yüzeyi temizler hem de kimyasal olarak yüzeyin özelliklerini değiştirir. Ancak pasta türü dağlama ürünleri asit banyolarından daha uzun zaman gerektirir[70].

Diğer kimyasal ve mekanik metotlar

Bu tür mekanik ve kimyasal metotlara son zamanlarda alev metodu, boşlukta iyonik bombardımanı ve elektrik cereyanı boşalması gibi fiziksel metotlar da eklenmiştir. Bu teknikler polietilen, polipropilen, politetrafloroetilen gibi asal plastikler için başarılı sonuçlar vermişlerdir. Ama bu metotlar malzemenin yüzey yapısını etkiler.

Yağın giderilmesi için diğer bir yöntemde deterjanla yıkamadır. Özellikle lanolin gibi gresler yüzeye sürülmüşse faydalı olur. Çünkü bu greslerin çözücülerle çıkarılması zordur. Yüzey yağının bir kimyevi madde ile alınmasından sonra parçalar genellikle soğuk su ile iyice çalkalanarak yıkanır ve yüzeylerdeki artıklar giderilir. Sonra çeşitli kimyevi maddelerle (çok sulu asit veya alkali banyoları gibi) ikinci bir işleme tabi tutulur. Bol su içinde tekrar yıkanır. Böylece yüzeylerde herhangi bir temizleyici madde artığı da kalmaması sağlanır. Bu şekilde hazırlanmış yüzeyler temiz bir yerde genellikle sıcak hava ile kurutulur. Bundan sonra yapıştırma işlemine geçilir. Temizlenmiş ve kurutulmuş parçaların uzun süre özellikle rutubetli yerlerde bırakılması, oluşabilecek oksit tabakalarından ötürü bağlantının mukavemetine büyük etki eder[48].

2.6.2. Primerler

Primerlerin yüzey hazırlamadaki önemi gittikçe artmaktadır. Bir bağlantı sisteminde primerin fonksiyonu, aşağıdakilerden bir ya da bir kaçı olabilir.

- Yüzey temizlendikten sonra yüzeyi korumak,
- Malzeme yüzeyinin serbest yüzey enerjisini ayarlamak,
- Ara yüzeyin reolojik özelliklerini ayarlamak,
- Esas malzeme ile yapıştırıcı arasındaki yüzeyin iç etkileşim ve çözünürlüğünü geliştirmek,
- Esas malzeme ile yapıştırıcı arasındaki kimyasal reaksiyonu iletirmek.

Kimi uygulamalarda koruyucu olarak primerlerin kullanımı uygun olmakla birlikte üretim maliyetini de artırır. Fakat kimi uygulamalarda da gerekli kimyasal reaksiyonları üretecek doğru primeri seçmek son derece önemlidir.

Bir yapıştırıcı primeri, kuru yüzeylere 0.0015-0.05 mm kalınlık aralığında uygulanan ve organik çözücüler içerisinde genellikle seyreltilen bir yapıştırıcı çözeltisidir. Birçok yapısal yapıştırıcı ile beraber kullanılan primerler, korozyonu önlemek ve soyulma dayanımını artırmak için kullanılır. Gerçekte primerler, en fazla yüzeyi temizlenen metallerin yüzeyinin havadaki oksijenle aktivasyonunu azaltmak için kullanılır. Primerler, yüzey hazırlama ile yüzeye yapıştırıcının uygulanıp yapıştırılması arasında geçen süreyi uzatır. Örneğin bu süre alüminyum için maksimum 12 saattir. Eğer malzeme, yüzeyi temizlendikten sonraki ilk 12 saat içerisinde yapıştırılmaz ise bu yüzey, yapıştırılacağı zaman tekrar temizlenmelidir. Hâlbuki eğer uygun primer/yapıştırıcı sistemi kullanılırsa, yüzey hazırlama ile yapıştırma işlemi arasındaki süre 30 günden 6 aya kadar uzayabilir. Bu süreç, birçok parçanın yüzeyinin temizlenmesi, primerlenmesi ve yapıştırılmadan önce nispeten uzun süre saklanmasına imkân verir. Bu sayede artık üreticinin planları ve takvimi yüzey hazırlama işlemine bağımlı kalmaz.

2.7. Yapıştırıcı Kullanırken Dikkat Edilecek Hususlar

Yapıştırıcıların tek özellikleri malzemeleri yapıştırmaktır. Bu özelliği sağlayan sayısız malzemenin olması ve her birinin farklı özellikler göstermesi, yapıştırıcı kullanırken birçok hususa dikkat edilmesi gerektiğini gösterir. Yapıştırıcı formülasyonlarında kullanılan kimyasal maddeler, istenmeyen ve tehlikeli olabilecek koku, zehirli olmaları ve yanıcı-patlayıcı olmaları gibi özelliklere sahiptirler. Koku kimyasal maddelerin en belirgin özelliklerindendir. Bazı kimyasal maddelerin güzel kokuları olmasına rağmen bazılarının da kokuları dayanılamayacak derecededir. Bu kötü kokular hem çalışma verimini azaltabilir hem de sağlık sorunlarına sebep olabilir.

Yapıştırıcı formülasyonlarında kullanılan kimyasalların bazıları zehirlidir. Bu zehirli maddeler kullanılırken çok dikkatli davranılması ve gerekli tedbirlerin alınması gereklidir. Yapıştırıcılarda bulunan organik maddeler yanıcıdır. Çözücü bazlı yapıştırıcıların kürlenme işlemi sırasında çözücünün buharlaşarak atmosfere karışması, çalışma ortamında tedbir alınmadığı takdirde yanıcı ve patlayıcı bir atmosferin oluşmasına sebep olabilmektedir. Çözücü buharının çalışma ortamında olması ve teneffüs edilmesi sonucu bazı istenmeyen rahatsızlıklar ve zehirlenmeler kısa vadede olmasa bile uzun vadede kendini gösterebilmektedir.

Yapıştırıcılarda kullanılan kimyasal maddelerin koku, yanıcı-patlayıcı olmaları ve zehirli olmaları gibi özelliklerinde dolayı oluşabilecek tehlikeleri gidermek ve yaşamamak için aşağıdaki tedbirlerin alınması gerekmektedir;

- Çözücü içeren yapıştırıcılarla çalışırken sigara içilmemesi gerekir.
- Yapıştırıcılar ellere, elbiselere ve ayakkabılara bulaşarak evlere, okullara, hastanelere taşınırlar. Yapıştırıcılarla çalışırken mutlaka eldiven giyilmelidir.
- Yapıştırıcı üretim ve tatbik sistemlerinde olabilecek hammadde kaçaklarına imkân vermeyecek periyodik ve koruyucu bakım ve onarım çalışmalar zamanında yapılmalıdır.
- Yapıştırıcı yapılan yerde bütün mesai geçirilmemelidir. Ara sıra ortam terk edilmeli, zehirli olma ihtimali olan yapıştırıcılarla açık havada çalışılmalıdır.
- Çalışma ortamı havalandırılmalıdır. Havalandırma cihazları buna göre seçilmelidir.
- Yapıştırıcı kullanırken veya üretirken yemek yemeden önce ellerin bol suyla yıkanması gerekir[47].

3. KOMPOZİT MALZEMELER

3.1 Giriş

Günümüzün modern teknolojisi uzay, uçak ve otomotiv endüstrileri gibi ileri teknoloji alanında kullanılmak üzere hafif, üstün ve çok özel özelliklere sahip yeni malzemelere ihtiyaç duymaktadır. Uzay, havacılık ve otomotiv sektörlerinde, mukavemet/ağırlık, mukavemet/yoğunluk oranları gibi malzeme özellikleri önemlidir. Ağırlığa duyarlı alanlarda kullanılan kompozit malzemelerin mukavemet limitlerinin yetersiz hale gelmesi belirli kurallar içinde farklı malzemelerin karıştırılarak özelliklerinin geliştirilmesini gerektirmiş ve bu alanda da önemli gelişmelere yol açmıştır. Sahip oldukları çok iyi özelliklere rağmen, üretim maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı kompozit malzemelerin kullanımları endüstriyel olarak istenen seviyelere ulaşamamıştır[77]. Ancak son yıllardaki gelişmelere bakarak bu malzemelerin kullanımlarının hızla yaygınlaştığını ve bununla birlikte araştırmalarda da bir artış olduğunu söylemek mümkündür.

3.2. Kompozit Malzemelere Genel Bakış

Kompozit malzemeler, hem doğal hem de mühendislik malzemeleri arasında yaygın olarak kullanılırlar. Farklı özelliklerdeki iki ya da daha fazla malzemeyi, istenen özellikleri sağlayacak duruma getirmek için, fiziksel olarak belirli oranlarda makro yapıda bir araya getirilerek elde edilen, kullanışlı üçüncü malzemeye kompozit malzeme denir.

Kompozit malzemelerin en büyük özelliği, mukavemetinin yüksek olması, kolay şekillendirilebilmesi, elektriksel, kimyasal etkilere ve korozyona karşı dayanıklı olmasıdır. Diğer tüm malzemelere oranla, ağırlığına göre, en dayanıklı malzemedir.

Kompozit malzeme, fiber ve matrix olmak üzere iki malzemeden oluşmaktadır. Fiber malzeme, kompozit malzemenin mukavemetini ve yük taşıma özelliğini sağlayan bileşenidir. Diğer bileşen ise, matrix malzeme olup, fiber malzemelerini yük altında bir arada tutan, yükü fiberler arasına homojen olarak dağıtan, sürekli bir fazdır.

Fiber malzemesinin kompozit malzeme içerisindeki uzunluğu, tipi ve oryantasyon açısı, kompozit malzemenin aşağıdaki özelliklerini değiştirmektedir[60,46]:

- Yoğunluk
- Çekme dayanımı ve çekme kuvvetindeki elastisite modülü
- Basma dayanımı ve bası kuvvetindeki elastisite modülü
- Kırılma ve yorulma performansı

- Darbe (impact) yükü
- Elektriksel özellikleri
- Termal iletkenlik ve yalıtkanlık
- Korozyon direnci
- Akustik yalıtım
- Titreşim sönümlendirme
- Maliyet

Fiber malzemesi olarak karbon, çelik, cam lif, kevlar, grafit gibi mukavemeti yüksek olan malzemeler seçilir. Matrix malzeme olarak da, termoset reçineler (epoxy, polyester, vinylester, phenolics, polyurethanes, bismaleimides, polyimides, polybenzimidazoles), termoplastikler (ylon 6, polycarbonate, polyacetals, polyamide-imide), metaller (alüminyum, titanyum, magnezyum alaşımları, bakır temelli alaşımlar, nikel temelli alaşımlar), seramikler (silicon carbide, alüminyumoksit) kullanılabilir.

Kompozit malzemelerde, polyester ve epoxy en çok kullanılan reçinelerdendir. Matrix malzemelerin en büyük özelliği, pek çok alanlarda kullanılabilmesi, düşük üretim maliyeti ve imalat işleminin kolay olarak yapılabilmesidir.

Ayrıca, bu malzemelerin mekanik özellikleri oldukça iyidir. Kullanılan matrikse bağlı olarak kompozit malzemeler, polymer matrix kompozitler, metal matrix kompozitler ve seramik matrix kompozitler olmak üzere sınıflandırılabilirler[77]. Ticari olarak kullanılan kompozitlerin çoğunluğu, polymer matrixli kompozit malzemelerdir. Ancak, metal matrix kompozitler ve seramik matrix kompozitler; büyük oranda, yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmaktadır[70].

3.3. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemeler, insanlar tarafından üretildiği gibi, doğada da bulunmaktadır. Buna örnek olarak; ahşap, kaya, kemik ve kerpiç verilebilir. Ahşap, selüloz fiberlerinin oluşturduğu hücreler ve bu hücreler, lignin adı verilen doğal yapıştırıcı ile bağlanarak, bir kompozit yapı oluşturmuşlardır.

Kompozit malzemelerin kullanımdaki temel avantajı, yüksek rijitlik ve dayanımın hafiflikle birleştirilebilmesidir. Kompozit malzemelerin ağırlıklarının düşük olması, hafif yapıların oluşturulması için büyük bir avantaj sağlar. Bu nedenle, kompozit malzemelerin kullanım alanı oldukça geniştir. Kullanım alanlarını şöyle sıralayabiliriz:

- **Şehircilik:** Toplu konut yapımında, çevre güzelleştirme çalışmalarında(heykeller, banklar, elektrik direkleri v.b) kullanılmaktadır. Bunlar hafiflik ve yüksek mekanik dayanım kazandırmaktadır.
- **Ev aletleri:** Masa, sandalye, dikiş makinesi parçaları, saç kurutma makinesi v.b birçok ev aletlerinde kullanılır. Bu şekilde komple ve karışık parça üretimi, montaj kolaylığı, elektriksel etkilerden korunum ve hafiflik gibi avantajlar sağlamaktadır.
- **Elektrik-Elektronik sanayi:** Elektriksel yalıtım malzemeleri ve her tür elektronik malzemenin yapımında kullanılır.
- **Havacılık sanayi:** Bu alanda gün geçtikçe daha fazla uygulama alanına sahip olmaktadır. Planör gövdesi, uçak modelleri, uçak gövde ve iç dekorasyonu, helikopter parçaları ve uzay araçlarında başarıyla kullanılmaktadır. Böylece daha hafif malzeme ile atmosfer şartlarına dayanım ve yüksek mukavemet sağlanmaktadır.
- **Otomotiv sanayi:** Otomobil kaporta parçaları, iç kısımdaki donanımlar, bazı motor parçaları, tamponlar ve lastiklerdir. Bunların en büyük tercih sebebi hafiflik ve uzun ömürdür.
- **İş makinaları:** Özellikle kapakları ve çalışma kabinlerinde kullanılmaktadır. Böylece kullanılan parça sayısı azalmakta ve tek parça üretim sağlanmaktadır.
- **İnşaat sektörü:** Cephe korumaları, tatil evleri, büfeler, otobüs durakları, reklâm panoları, soğuk hava depoları, inşaat kalıpları birer kompozit malzeme uygulamasıdır. Esnek kullanım, nakliye ve montaj kolaylığından dolayı tercih edilmektedir. Ayrıca yalıtım problemi ve bakım giderleri azalmaktadır.
- **Tarım sektörü:** Seralar, tahıl toplama siloları, su boruları ve sulama kanalları kompozit malzemelerden yapılmaktadır. Bunlar korozyona dayanıklılık, tabiat şartlarına uygunluk, düşük yatırım ve kolay montaj gibi avantajları vardır[77].

3.4. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Kompozit malzemelerin çok çeşidi olduğundan imalatında da pek çok üretim tekniği geliştirilmiştir. Başlıca üretim yöntemleri şunlardır;

3.4.1. Reçine Matriksli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Reçine matriksli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri şunlardır:

- **Elle yayma:** İmalat kapasitesinin düşük olduğu üretimlerde en çok kullanılan ve ekonomik olan metottur. Kalıbın hazırlanması, kalıba cam keçe serilmesi ve polyester tatbikinden oluşur. Elyafların görünmemesi için jalcot kullanılır. Bu jalcot, vizkozitesi yüksek polyester reçinedir. Malzeme istenen kalınlığa ulaşana kadar takviye elemanı ve polyester uygulamasına devam edilir. Yapılan ürünün kalıptan çıkarılarak kullanılabilmesi için ürünün belli bir sertliğe

ulaşması gerekir. Sertleşme polimerizasyon süresinin sonuçlanmasına bağlıdır. Bu süre jelleşme, sertleşme ve olgunlaşmadan oluşur.

- **Püskürtme metodu:** Elle yayma metodunun makineleşmiş halidir. Kalıp hazırlanır, üzerine vaks sürülür. Bunun üzerine PVA(Polivinil Alkol) sürülür. Hızlandırıcı sertleştirici kullanılır. Bu tip imalatla üç kattan sonra polyesterin jelleşmesi için bir süre beklemeli ve daha sonra dördüncü ve diğer katların tatbik edilmesine geçilir.
- **Sürekli kalıplama:** Devamlı levha üretimi, profil çekme ve elyaf(flaman) sarma metotları olmak üzere üçe ayrılır. Devamlı levha üretimi metoduyla ondülin levhalar üretilerek çatı cephe kaplamsında kullanılır. Profil çekme yönteminde, rulolardan geçirilmiş reçine emdirilmiş cam fitilleri çubuk veya boru şekline getirmek için uygun kalıplardan çekilerek üretim yapılır. Karayollarındaki korkuluklar bu şekilde imal edilir.
- **Elyaf(flaman) sarma metodu:** Elyaf lar reçine banyosuna daldırılır. İki punta arasında dönen ayrıca üzerine reçine sürülmüş kalıp üzerine belirli bir hat ile serilir. Yuvarlak malzemelerin üretilmesinde kullanılır. Diğer metotlara göre seri üretime uygun ve daha iyi mukavemetli malzemeler üretilir. İstenen basınç ve ısı değerlerine göre polyester, epoksi, silikon veya fenolik reçineler kullanılabilir. Kuru sarma ve yaş sarma olmak üzere ikiye ayrılır.

3.4.2. Metal Matriksli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

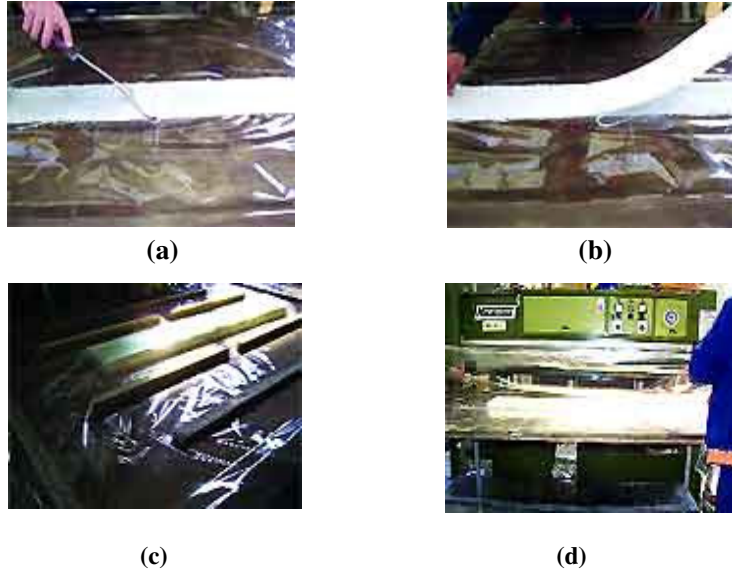
Metal matriksli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri yedi olup şunlardır:

- **Sıcak presleme:** Bu yöntemde, lifler alüminyum, titanyum ve magnezyum gibi metal folyolar arasına yerleştirilerek preslenir.
- **Toz metalurjisi:** Toz halindeki metal yâda seramik malzemeler birleştirilir. Belirli bir sıcaklık ve basınç altında preslenir. Matriksler bakır, nikel, alüminyum, kobalt çelik v.b dir.
- **Sıvı metal emdirilmesi:** Çubuk ve profil gibi uzun ürünler bir elyaf demetinin sıvı metal banyosunun içinden geçirilmesiyle üretilir. Bu yöntemin uygulama alanı sınırlıdır.
- **Vakumda presleyerek birleştirme:** Yüksek sıcaklık ve basınç altında yapılır. Paslanmaz çelik, bor ve silisyum karbür gibi elyaflar, alüminyum ve titanyum gibi matriksler kullanılır. Tabakalar halinde hazırlanan malzemeler metal kaba yerleştirip vakumlu ortamda ısıtılır.
- **Elektrolitik yöntem:** Elektroliz içerisine elyaf sarılmış mandrel daldırılır. Bor, silisyum karbür ve volfram gibi elyaflar nikel matrikse gömülür. İşlem düşük sıcaklıkta yapıldığı için elyafın özellikleri bozulmaz.
- **Buhar çökeltme:** Buhar fazına alınmış matriks takviye malzeme üzerine çökeltilir. Düşük sıcaklıkta yapılması avantaj, pahalı olması ise dezavantajdır.
- **Haddelme:** Metal bantlar ve elyaf birlikte sürekli bant olarak haddelenir. Temas süresi kısa olmasına rağmen sıcaklık ve basınç etkisiyle yayınma bağı sağlanır. Tabakalar birbirinin üstüne konularak kalınlık artırılabilir[88].

4. MATERYAL ve YÖNTEM

4.1. Kompozit Levha İmalatı

Günümüzde, kompozit malzemeler; hafifliği, işlenebilirliği, fiziksel ve mekanik özellikleri ve yüksek korozyon dayanımlarından dolayı endüstrinin birçok sektöründe sıklıkla kullanılmaktadır. Çalışmamızda kullanılan kompozit malzemeler elle yayma(hand layup) yöntemi ile üretilmiştir. Takviye açısı $0^\circ/90^\circ$ derecedir. İlk olarak cam lifi, aralarına epoxy reçine sürülerek üst üste konmuştur(şekil 4.1.a, ve b). Cam liflerin her birinin kalınlığı 0,45 mm dir. Ayrıca değişik fiber oryantasyon açılarında kompozit malzeme imal etmek için, cam lifler 0° ve 90° lik konuma getirilmiştir. Birim m^2 başına 100 gr cam elyaf kullanıldı. Cam elyaf oranı %65-70 arasındadır. Matriks malzemesi için, epoxy CY225 ve sertleştirici olarak HY225 karıştırılarak kullanılmıştır. 100 gr CY225 reçineye karşılık 80 gr HY225 sertleştirici(hardener) karıştırılmıştır(100:80). Daha sonra bu karışım fiberlerin üzerine serilmiştir(şekil 4.1.c). Bu konumdaki malzemeler, 15 MPa basınç ve 150°C sıcaklık konumundaki fırına konulmuştur(şekil 4.1.d). Fırınlama(kürleşme) işlemi toplam 3 saat sürmüştür. Daha sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır.



Şekil 4.1. Kompozit malzeme üretimi; a) Cam elyafların arasına reçine sürülmesi, b) açılına uygun cam elyafların serilmesi, c) CY225 ve HY225 karışımının fiberlerin üzerine serilmesi, d) Malzemenin fırınlama işlemine alınması

Üretilen kompozit malzemeler levha şeklinde idi. Numune formlarına getirmek için freze ve spiral kesme tezgâhında işlenmiştir. Elmas uçlu çakılar kullanılmıştır. Numunelerin ölçüleri tablo 4.2’de gösterildiği gibidir.

İlk bölümdeki deneyler için numunelerin tümünün yapışma yüzeyleri aseton ile temizlendikten sonra Flexo Tix yapıştırıcı yapıştırılmıştır. Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Mekanik atölyesinde bulunan ve şekil 4.7.’de gösterilen bilgisayar kontrollü INSTRON 1114 (5 kN) üniversal test cihazında, 1 mm/dk’lık çekme hızında deneyler yapılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında ve %50+5’lik nemli ortamda yapılmıştır. Hata oluşumunu engellemek için, numunelerin serbest uçları çekme cihazının çenelerine tutturulurken mümkün olduğunca eşit basınç uygulanmaya çalışılmıştır. Ayrıca çeneler arasına bağlanırken eksenlemeye büyük bir itina gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Birinci bölüm numunelerin çekilmesinde kullanılan üniversal (INSTRON 1114) çekme cihazı

Birinci bölüm deneylerden sonra bütün numunelerin yüzeyi zımpara taşı ve bıçak yardımıyla artıklardan temizlenmiştir. İkinci bölüm deneylerde ise önce numunelerin yapışma yüzeyleri asetonla temizlenmiştir. Daha sonra numuneler Vinylester Atlac 580 yapıştırıcısı ile birleştirilmiştir. Bir gün bekletildikten sonra Erzurum Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik atölyesinde bulunan 100 kN’luk bilgisayar kontrollü Shimadzu çekme makinesinde 1 mm/dk’lık çekme hızında deneye tabi tutulmuştur(şekil 4.3).



Şekil 4.3. İkinci bölüm numunelerin çekilmesinde kullanılan üniversal (SHIMADZU) çekme cihazı[87]

4.2. Numune Malzemeleri ve Mekanik Özellikleri

Bu çalışmada iki çeşit kompozit malzeme kullanılmıştır. İZOREEL firmasından temin edilmiştir. Malzeme cam elyaf kumaş takviyeli epoxy levhalardır. Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 ve Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203'tür. Bunlardan Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 İZOREEL firmasının kendi üretimi, Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 ise yurtdışından ithal edilmektedir.

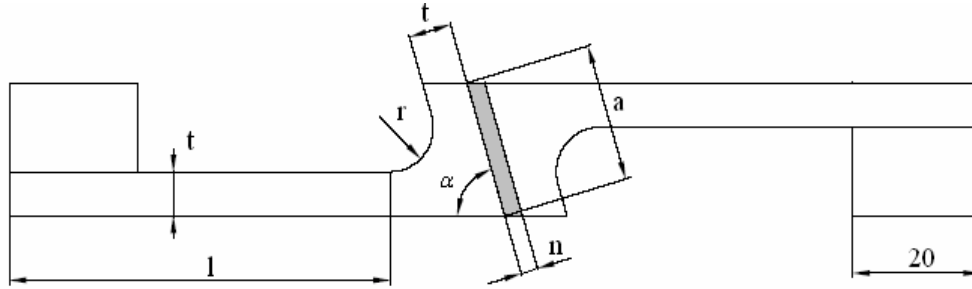
- **Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201:** Yukarıda belirtildiği şekilde elle yayma(hand layup) yöntemi ile üretilmektedir. Bu malzeme cam elyaf kumaş takviyeli epoxy levhadır. Oda sıcaklıklarında yüksek mekanik mukavemete sahiptir. Kuru ve nemli ortamlarda iyi derecede dielektrik kayıp ve elektriksel mukavemete sahiptir. Alev iletmemeye özelliği yoktur.
- **Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203:** Cam elyaf kumaş takviyeli epoxy levhadır. İzoreel firması tarafından ithal edilmektedir. Hgw 2372 levhasının benzeridir. Oda sıcaklığında Hgw 2372'den daha yüksek mukavemete sahiptir. Yüksek sıcaklıklarda yüksek eğilme mukavemetine sahiptir. Kuru ortamlarda iyi derecede dielektrik kayıp ve elektriksel mukavemet özelliklerine sahiptir. UL 94 V0 seviyesinde alev iletmemeye özelliğine sahiptir. Elektrik donanımları ve trafolar için yüksek kalitede yapı malzemesidir. Halojen içermez.

Numune üretiminde kullanılan kompozit malzemelerin mekanik özellikleri tablo 4.1.'de gösterilmiştir. Bu değerler İzoreel firması tarafından Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde yapılan deneylerle tespit edilmiştir.

Tablo 4.1. Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri

Özellikler	Test Metodu	Birim	Hgw 2372 G10 EPGC 201	Hgw 2372.4 G11 EPGC 203
Yoğunluk	ISO 1183-A	(g/cm ³)	1.78-2.0	1.8-2.0
Elastisite modülü (E_x)	ISO 178	(GPa)	44	44
Elastisite modülü (E_y)	ISO 178	(GPa)	10.5	10.5
Elastisite modülü (E_z)	ISO 178	(GPa)	10.5	10.5
Çekme mukavemeti	ISO 527	(MPa)	320	320
Eğilme mukavemeti	ISO 178	(MPa)	400	450
Basma mukavemeti	ISO 609	(MPa)	500	550
Poisson oranları	ISO 527	(---)	0.36,0.45,0.36	0.32,0.41,0.32
Kayma modülü (G_{xy})	ISO 527	(MPa)	3740	4000
Kayma modülü (G_{xz})	ISO 527	(MPa)	3740	4000
Kayma modülü (G_{yz})	ISO 527	(MPa)	2500	3000

Numuneler, düzlem levhalardan freze ve taşlama tezgâhında işlenerek imal edilmiştir. Numuneler şekil 4.4.'te gösterildiği gibidir. Burada ölçüler simgeler ile belirtilmiş ve bu simgelerin sayısal değerleri de tablo 4.2.'de gösterilmiştir.

**Şekil 4.4.** Deneylerde kullanılan numune geometrisi

Numunelerin çeki kuvvetinin etkisinde iken en riskli bölgesi α açısının olduğu yerdir. Bundan dolayı gerilme yığılmasını engellemek ve buradaki kopma riskini azaltmak için açılı yere radyüs verilmiştir. Verilen radyüs değerleri tablo 4.2.'de gösterilmiştir. Radyüs çapları numune kalınlıklarına bağlı olarak değişmektedir.

Numuneler 10 mm, 15 mm ve 20 mm genişliklerinde imal edilmiştir. Tablo 4.2.'de gösterildiği gibi numune genişlikleri b sembolize edilmiştir.

Numuneler çeneler arasına bağlanmadan önce eksenlemeyi sağlamak(eksantrikliği gidermek) ve şekil 2.3.'te gösterilen eğilme momenti oluşumunu engellemek için destekler yerleştirilmiştir. Bu desteklerin yapıştırma yerleri şekil 4.4.'te gösterilmiştir. Destekler, 20 mm uzunluğunda ve numunelerin genişliğine göre değişen 20x10, 20x15, 20x20 mm ebatlarında ve numunelerle aynı malzemelerden imal edilerek yapıştırılmıştır. Deneyler sırasında çekme makinesinden kaymayı engellemek için çeneler arasına gelen kısımlara bant yapıştırıcı çekilmiştir. Ayrıca numuneler cihaz çenelerine bağlanırken yapıştırmanın yapıldığı bindirme bölgesinde ekstra gerilmeler ve moment oluşturacak işlem ve hareketlerden özellikle kaçınılmıştır.

Numunelerin yapıştırma kalınlığı şekil 4.4.'te n ile gösterilmiştir. Çalışmamızda yapıştırıcı kalınlığı sabit alınmıştır. Yapıştırıcının uzunluğu(bindirme uzunluğu) a ile gösterilmiştir. Değerleri ise tablo 4.2.'de gösterildiği gibidir. Bindirme uzunluğu numune kalınlığına göre değişmektedir. Yapışma alanı ise bindirme uzunluğu ile numune genişliğinin çarpılması(axb) ile elde edilmiştir.

Numunelerde α açısı olarak 45^0 , 60^0 ve 75^0 alınmıştır. İzoreel firmasının atölyesindeki freze ve taşlama tezgâhında 30^0 'lik bulunmadığı için alınamamıştır.

İzoreel firması tarafından ithal edilmekte olan Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC203 kompozit malzemesinden 6 mm'lik plaka bulunamadığı için 3 ve 5 mm kalınlığındaki numuneler kullanılmıştır(tablo 4.2). Ancak kendi üretimleri olan Hgw 2372 G10 EPGC 201 malzemesi kendi imalatları olduğu için 6 mm'lik numuneler de kullanılmıştır.

4.3. Kullanılan Yapıştırıcılar

Bu çalışmada iki çeşit yapıştırıcı kullanılmıştır. Bunlar; Vinylester Atlac 580 ve Flexo Tix'tir. Vinylester Atlac 580 Huntsman, Flexo Tix ise Poliya tarafından imal edilmektedir.

Tablo 4.2. Kompozit malzemelerden yapılan numunelerin geometrik ölçüleri

Kompozit Malzeme	Num. No	Açı (Derece)	Radyüs (r) (mm)	Kalınlık (t) (mm)	Genişlik (b) (mm)	Bindirme Mesafesi(a) (mm)	Yapışma Alanı (mmxmm)
Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)	1	45	1.05	3	10	7.5	10x7.5
	2	45	1.40	5	10	14	10x14
	3	45	2	6	10	18	10x18
	4	45	1.05	3	15	7.5	15x7.5
	5	45	1.40	5	15	14	15x14
	6	45	2	6	15	18	15x18
	7	45	1.05	3	20	7.5	20x7.5
	8	45	1.40	5	20	14	20x14
	9	45	2	6	20	18	20x18
	10	60	1.5	3	10	7	10x7
	11	60	1.6	5	10	12	10x12
	12	60	2.1	6	10	15	10x15
	13	60	1.5	3	15	7	15x7
	14	60	1.6	5	15	12	15x12
	15	60	2.1	6	15	15	15x15
	16	60	1.5	3	20	7	20x7
	17	60	1.6	5	20	12	20x12
	18	60	2.1	6	20	15	20x15
	19	75	1.6	3	10	6	10x6
	20	75	1.75	5	10	10	10x10
	21	75	2.2	6	10	14	10x14
	22	75	1.6	3	15	6	15x6
	23	75	1.75	5	15	10	15x10
	24	75	2.2	6	15	14	15x14
	25	75	1.6	3	20	6	20x6
	26	75	1.75	5	20	10	20x10
	27	75	2.2	6	20	14	20x14
Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)	28	45	1.05	3	10	7.5	10x7.5
	29	45	1.40	5	10	14	10x14
	30	45	1.05	3	15	7.5	15x7.5
	31	45	1.40	5	15	14	15x14
	32	45	1.05	3	20	7.5	20x7.5
	33	45	1.40	5	20	14	20x14
	34	60	1.5	3	10	7	10x7
	35	60	1.6	5	10	12	10x12
	36	60	1.5	3	15	7	15x7
	37	60	1.6	5	15	12	15x12
	38	60	1.5	3	20	7	20x7
	39	60	1.6	5	20	12	20x12
	40	75	1.5	3	10	6	10x6
	41	75	1.6	5	10	10	10x10
	42	75	1.5	3	15	6	15x6
	43	75	1.6	5	15	10	15x10
	44	75	1.5	3	20	6	20x6
	45	75	1.6	5	20	10	20x10

4.3.1. Vinylester

Epoksi bazlı, düşük viskoziteli, orta-yüksek reaktiviteli vinylester reçinedir. Uzun süre yüksek ısı dayanımı, yüksek korozyon direnci ve mükemmel yapışma özelliklerine sahiptir. Ayrıca asidik ve alkali ortamlarda yüksek performans gösteren özellikleri ile kimyasal madde depoları, elektroliz kaplarının yapımı, korozyona karşı kaplama yapımında kullanılır. Yüksek mukavemet yanında esneklik imkânı sunan gelişmiş mekanik özellikleri ile dinamik ve statik yük dayanımı gerektiren süreç takımlarında, yapı sektöründe, yarış tekneleri, rüzgâr sörfü, yelkenli direği, büyük boyutlu teknelerin yapımında cam elyaf ile takviye edilerek kullanıldığında uzun süre yüksek performans elde edilmektedir. Hidrolik dayanımı yüksek olduğundan sıcak su ve güneş kolektörleri, boyler depoları, termal banyo takımları ve balık üretme havuzları gibi her türlü su teması olan yerlerde kullanılmaktadır.

Vinylester reçineler doymamış reçineler arasında yüksek sıcaklıklarda dahi kimyasal direnci en iyi olan ürünlerdir. Polyesterler alkali bazik maddelere ve oksitleyici asitlere karşı zayıf oldukları halde vinylester bunlara karşı güvenle kullanılır.

En önemli avantajları elyaf ve matris arasında iyileştirilmiş bir bağ mukavemetine sahip olmalarıdır. Doymamış hidrosilik bileşenlerin kullanılması ile elde edilirler. Koroziv ortamlardaki kullanımlar için plastik bileşenlerin üretiminde yararlanılmaktadır. Bu polimerler kimyasal dayanım gerektiren kimya tesislerinde, borularda ve depolama tanklarında kullanılmaktadır[37].

Vinylesteri kullanırken belirli bir kıvama gelebilmesi için hızlandırıcı ve sertleştirici kullanılmaktadır. İzmir'deki çalışmalarda numuneler yapıştırılırken sertleştirici kullanılmıştır. Ancak hızlandırıcı kullanılmamıştır. Çünkü hızlandırıcı katmadan sadece yapıştırıcı ve sertleştirici karışımı, yaz mevsimi ve hava sıcaklığı $36-40^{\circ}\text{C}$ arasında olduğu için bir saatte açık havada kurumıştır. Eğer hızlandırıcı kullanılıp 80°C 'lik fırına konulursa yapıştırıcı yarım saat içerisinde kurur.

Hızlandırıcının kullanımına mevsim ve bölge şartlarına göre karar verilmelidir. Erzurum'da yapılan yapıştırma işlemlerinde hızlandırıcı kullanılmıştır. Çünkü deneyler sırasında hava sıcaklığı $20-22^{\circ}\text{C}$ arasında gerçekleşmiştir. Bundan dolayı hızlandırıcı kullanılmıştır. Hızlandırıcı, yapıştırıcı ile sertleştirici karışımının içerisinde 0.125 cc/lt oranında, katılaştırıcı ise 1 cc/lt olarak katılır.

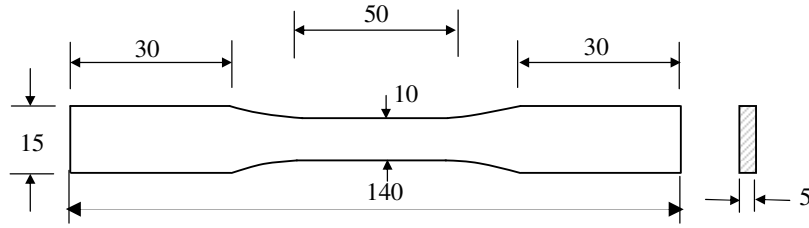
4.3.2. Flexo Tix

Ortoftalik esaslı bir yapıştırıcıdır. Jelkot grubuna girer. Tamir ve yapıştırma amacıyla kullanılır. Viskozitesi çok yüksektir. Katılma süresi diğer yapıştırıcılara göre çok kısadır. Bir saat içerisinde sertleşir. Sertleştirici ile bu süre daha da azaltılabilir. Katı halde diğer yapıştırıcılara göre daha serttir. 5-20°C arasında saklanmalıdır. Sıcaklık arttıkça ömrü kısılır. Işığa maruz kalırsa ömrü daha da kısılır. Ateş ve yükseltgen maddelerden uzak tutulmalıdır[38].

Bu çalışmada flexo tix yapıştırıcının içerisine bir birim hızlandırıcıya karşılık iki birim sertleştirici kullanılmıştır. Hızlandırıcı sadece Erzurum'daki deneylerde kullanılmış İzmir'deki deneylerde ise kullanılmamıştır. Ancak bu yapıştırıcıda hızlandırıcı kullanılsa bile 1-2 saat içerisinde kurumaktadır. Yine de sağlıklı sonuçlar alınması için flexo tix ile birleştirilmiş numuneler oda sıcaklığında bir gün bekletilmiştir.

4.4. Yapıştırıcıların Gerilme-Şekil Değiştirme Özelliklerinin Belirlenmesi

Yapıştırma bağlantısının gerilme analizinde kullanılmak üzere, İzoreel firmasında bulk numuneler için kalıp üretilmiştir. Daha sonra yapıştırıcıların her birinden de kalıp boyutlarına uygun olarak bulk numuneler dökülüp hazırlanmıştır(şekil 4.5.). ASTM[11]'de tanımlanan çekme deney prosedürü uygulanarak gerilme-şekil değiştirme davranışı tespit edilmiştir.



Şekil 4.5. Bulk numuneler için standart çekme numunesi [41]

4.4.1. Bulk Numunelerin Hazırlanması

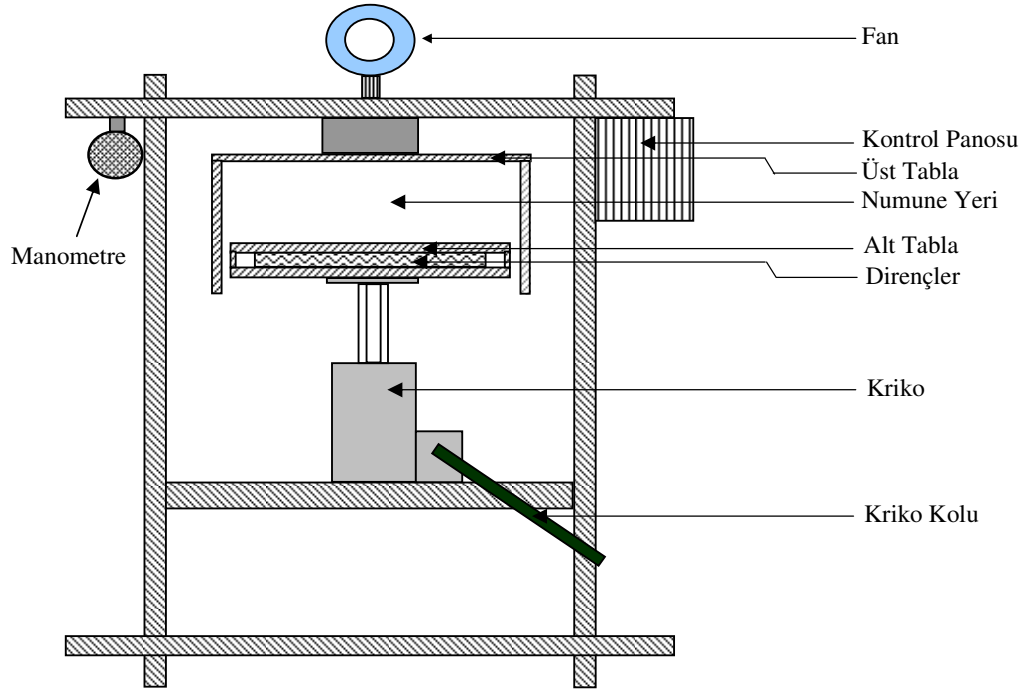
Yapısal yapıştırıcılardan uygun boyutlarda bulk numunelerin hazırlanması, mühendislikte kullanılan standart deney yöntemlerinin farklı yük şartlarında yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin belirlenmesine imkân sağlayacaktır. Bu hem daha doğru hem de daha ucuz bir yöntemdir. Çalışmamızda kullanılan yapıştırıcıların kürleşme sıcaklıkları, kürleşme zamanları ve soğutma ortamları tablo 4.3'te belirtildiği gibidir. Flexo Tix yapıştırıcısı Poliya

firması tarafından üretilen çok yeni bir üründür. Bundan dolayı bu yapıştırıcının kürleşme sıcaklığı ve zamanı İzoreel firmasından alınmıştır.

Tablo 4.3. Çalışmada kullanılan yapısal yapıştırıcılar

Yapıştırıcı	Kürleşme Sıcaklığı (°C)	Kürleşme Zamanı (dak)	Soğutma Ortamı
Vinylester Atlac 580	100	180	Açık hava (40°C)
Flexo Tix	40	60	Açık hava (40°C)

Çalışmada kullanılan yapıştırıcıların basınç ve sıcaklık altında kürleşmesinden dolayı hem bulk hem de çeşitli yapıştırma bağlantı tiplerinin üretilmesine olanak sağlayacak şekilde daha önce Erzurum Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde geliştirilmiş olan bir pres kullanılmıştır(şekil 4.6).



Şekil 4.6. Bulk numune hazırlarken kullanılan sıcak pres makinesi[87]

Bulk numuneler hazırlanırken; belirli kalınlığa sahip iki levha ve bunlar arasına yapıştırıcı tabakasının kalınlığını ayarlamak amacıyla yerleştirilmiş kalıplar kullanılır. Kalıp sayesinde yapıştırıcı içerisindeki gaz boşlukları ve süreksizlikler giderilmiştir. Kalıp, çevre sıcaklığında oldukça çabuk kürleşen ve kürleşme esnasında meydana gelen ısı çıkışı için alttan su v.b soğutucular kullanılır.

Numuneler aşağıda anlatılan yönteme göre hazırlanmıştır;

- Dean ve Duncan[25], 3-5 mm kalınlıkları arasında hazırlanmış bulk numunelerden daha doğru ve tekrarlanabilir veriler elde edileceğini rapor etmişlerdir. Ancak alışmamızda kalınlığı 5 mm olan kalıp hazırlanmıştır.
- Silikon yağlayıcı, kalıbın içerisine püskürtülerek çok ince bir film tabaka oluşturulmuştur. Böylece, hem bulk yapıştırıcının kalıbın üzerine yapışması engellenmiş hem de kürleşme sonrası yapıştırıcının kalıptan kolayca ayrılması sağlanmıştır.
- Kullanılan her bir yapıştırıcı için iki adet bulk numune hazırlanmıştır. Hazırlanan toplam dört bulk numune gösterilen pres makinesinin içine konularak hem gaz boşluklarının giderilmesi sağlanmıştır hem de yapıştırıcının krleşebilmesi için gereken basınç uygulanmıştır.
- Bulk numuneler test edilinceye kadar, sıcaklığı 22°C olan ortamda saklanmıştır.

4.4.2. Bulk Numunelerin Mekanik Davranışının Belirlenmesi

Genellikle mekanik davranış, yük altında malzemelerin bünyesinde meydana gelen gerilme-şekil değiştirmeleri açıklayan en genel kavramdır. Yapıştırıcıların mekanik davranışları, plastikler için geliştirilmiş standartlara uygun olarak hazırlanmış numunelerin çekme cihazına bağlanıp tek eksenli gerilme uygulanması ile belirlenebilir.

Yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin güvenilirliği, uygulanan kuvvet altında oluşan yer değiştirmelerin doğru tespitine bağlıdır. Uygulanan kuvvetin ölçülmesinde nadiren problemlerle karşılaşılmasına rağmen, ölçülecek yer değiştirmeler; şekil değişim oranı ve şiddetine, yapıştırıcının mukavemetine bağımlı olduğundan bu tür ölçümlerin yapılmasında glklerle karşılaşılır. şekil değiştirmeler, numuneyle temas halinde olan (extensometre veya strain gauge ile) veya temas halinde olmayan (optik ve video extensometreler ile) lm aletleri ve çekme cihazının çene pozisyonuna göre tespit edilir. Çene pozisyonuna göre şekil değiştirmelerin belirlenmesi küçük yer değiştirme oranları için sınırlı doğruluklarından dolayı çekme modüllerinin hesaplanmasında tavsiye edilmez. Bunun temel kaynağı üniform olmayan gerilme dağılımlarıdır. Diğer taraftan, çene pozisyonunu kullanarak şekil değiştirmelerin ölçülmesinde oluşan hataların ihmal edilebileceği durumlar vardır. Hasar anına kadar %50 den fazla şekil değiştirebilen malzemelerde yer değiştirmeler çene pozisyonuna göre belirlenebilir[25].

Bulk numunelerin çekme deneyleri; şekil 4.3.'te gösterilen bilgisayar kontrollü Shimadzu (100 kN) niversal test cihazında video extensiometre kullanılarak yapılmıştır. Çekme deneyleri oda sıcaklığında ve %50 nem ortamında yapılmıştır. Hata oluşumunu engellemek için, numunelerin serbest uçları çekme cihazının çenelerine tutturulurken mümkün olduğunca eşit basınç uygulanmaya çalışılmıştır. Ayrıca eksenlemeye dikkat edilmiştir.

Yapıştırıcıların elastisite modülü belirlenirken, numuneler ISO 527-2’de tavsiye edilen 1 mm/dk ‘lık şekil değiştirme hızıyla yüklenmiştir. Çalışmada kullanılan yapıştırıcıların elastisite modülü denklem (4.1)’deki formülden hesaplanmıştır.

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \quad (4.1)$$

Elastisite modülünün ölçülmesini müteakip numunelerdeki yük boşaltılmış ve tamamıyla önceki durumlarına dönmeleri sağlanmıştır. Daha sonra; yapıştırıcıların hasar anına kadar sergiledikleri gerilme-şekil değiştirme davranışlarını belirleyebilmek için, numuneler kopma gerçekleşinceye kadar 1 mm/dak. şekil değiştirme hızıyla yüklenmiştir.

Kopma anına kadar oluşan yük-uzama verilerinden (P-Δl), aşağıdaki formüller kullanılarak, gerilme-şekil değiştirme (σ-ε) diyagramı elde edilmiştir.

$$\epsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (4.2)$$

$$\sigma = \frac{P \cdot (1 + \epsilon)}{A_0} = \frac{P \cdot (1 + \epsilon)}{b_1 \cdot h} \quad (4.3)$$

Deneyler yapılırken her numune yakından gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, numuneler test edilirken kuvvet-yer değiştirme verileri, numunelerin taşıyabildikleri maksimum yük ve hasar tipi kaydedilmiştir. Numunelerin taşıyabildikleri maksimum yük denklem (4.4)’te verilen eşitlikte yerine konarak bağlantının ortalama kayma dayanımı hesaplanmıştır.

$$\tau_{ort} = \frac{P_{max}}{l \cdot b} \quad (4.4)$$

Bağlantı geometrisinden dolayı, çekmeye zorlandığında eksantrik bir yükleme durumu söz konusu olur. Bu durumda numunelerde eğilme momentinin ve dolayısıyla yapıştırmanın yapıldığı bölgelerde dönmelerin oluşmasına neden olur. Yapıştırılan malzemelerdeki dönmeler ise, yapıştırmanın yapıldığı bölgede soyulma gerilmelerini oluşturur. Bu soyulma gerilmeleri yapıştırmanın yapıldığı bölgede oldukça önemlidir ve sonuçta hasarın bu bölgeden başlamasına sebep olur[67]. Bu durumu engellemek için destek elemanları kullanılmıştır.

4.4.2.1. Vinylester Atlac 580 Bulk Numunelerinin Gerilme-Şekil Değişirme Diyagramı

Vinylester Atlac 580 bulk numuneler İzmir'deki İzoreel firmasında hazırlanmıştır(Şekil 4.7). Bu bulk numuneler, Erzurum Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik atölyesinde bulunan ve şekil 4.6.'da gösterilen pres makinesine konularak gaz boşlukları ve süreksizlikleri giderilmiştir. Daha sonra 100 kN'luk bilgisayar kontrollü Shimadzu çekme makinesinde 1 mm/dk'lık çekme hızında çekilmiştir(şekil 4.3.).



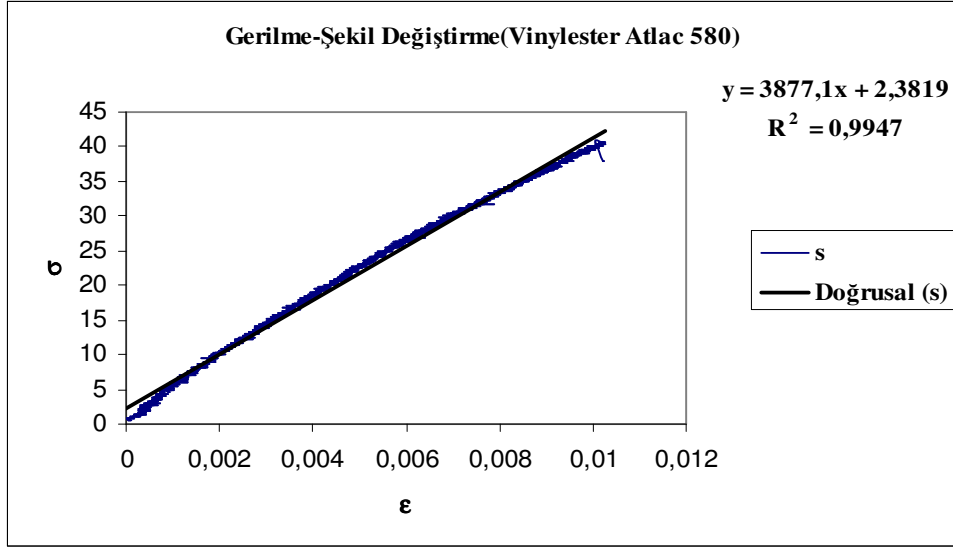
Şekil 4.7. Vinylester Atlac 580 bulk numuneleri

Yapılan deneyler sonucunda Vinylester Atlac 580 bulk numunelerin kuvvet-uzama değerleri elde edilmiştir. Daha sonra denklem(4.2) ve denklem(4.3) yardımıyla şekil(4.9)'da görülen gerilme-şekil değişirme diyagramı elde edilmiştir.

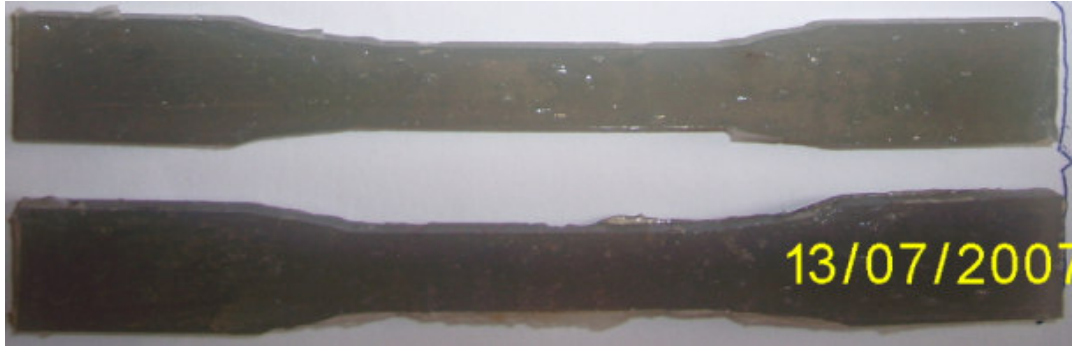
Gerilme-şekil değişirme diyagramında görüldüğü gibi eğri yaklaşık bir doğrudur(şekil 4.9.). Çünkü doğruluk oranı grafikte de görüldüğü gibi 0.9947'dir. Yani yaklaşık bir doğru olduğu için numune akmaya uğramadan kopmuştur. Bundan dolayı elastik gerilme analizi yapılması gerekmektedir.

4.4.2.2. Flexo Tix Bulk Numunelerinin Gerilme-Şekil Değişirme Diyagramı

Flexo Tix bulk numuneler İzmir'deki İzoreel firmasında hazırlanmıştır(Şekil 4.9). Bu numuneler Erzurum Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik atölyesinde bulunan ve şekil 4.6.'da bulunan pres makinesine konularak gaz boşlukları ve süreksizlikleri giderilmiştir. Daha sonra 100 kN'luk bilgisayar kontrollü Shimadzu çekme makinesinde 1 mm/dk'lık çekme hızında çekilmiştir(şekil 4.3.).



Şekil 4.8. Vinylester Atlac 580 bulk numunelerin gerilme-şekil değiştirme diyagramı

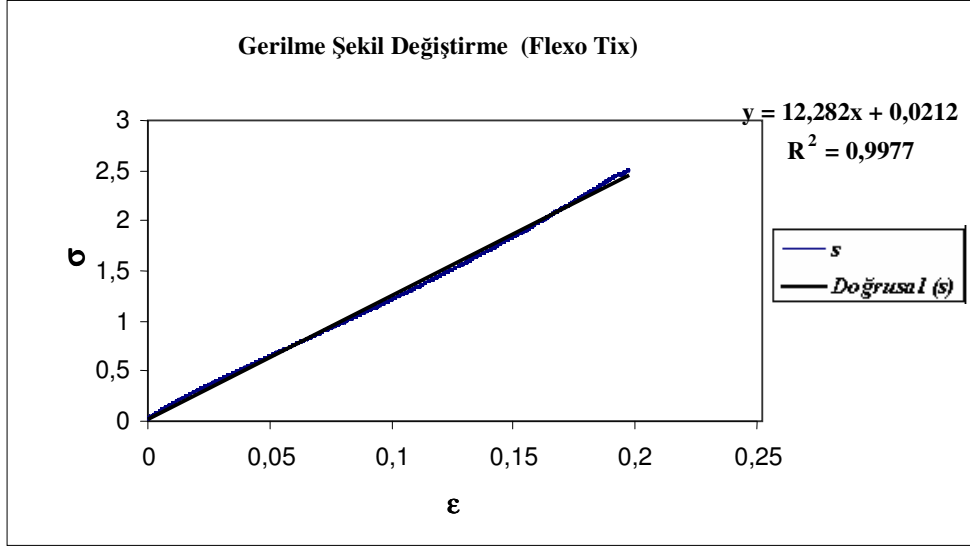


Şekil 4.9. Flexo Tix bulk numuneleri

Yapılan deneyler sonucunda Flexo Tix bulk numunelerin kuvvet-uzama değerleri elde edilmiştir. Daha sonra denklem(4.2) ve denklem(4.3) yardımıyla şekil(4.10)'de görülen gerilme-şekil değiştirme diyagramı elde edilmiştir.

Gerilme-şekil değiştirme diyagramında görüldüğü gibi eğri yaklaşık bir doğrudur(şekil 4.10.). Çünkü doğruluk oranı grafikte de görüldüğü gibi 0.9977'dir. Yani yaklaşık bir doğru olduğu için numune akmaya uğramadan kopmuştur. Bundan dolayı elastik gerilme analizi yapılması gerekmektedir.

Bulk numunelerin mekanik özellikleri tablo 4.4.'te görüldüğü gibidir. Tabloda yer alan değerlerden sertlik, kayma modülü ve eğilme mukavemeti üretici firmaların kataloglarından alınmıştır. Diğer mekanik değerler ise bulk numunelerin çekme deneylerinde elde edilmiştir.



Şekil 4.10. Flexo Tix numunelerin gerilme-şekil değiştirme diyagramı

Tablo 4.4. Yapıştırıcıların mekanik özellikleri

Yapıştırıcı	Test Metodu	Birim	Vinylester Atlac580	Flexo Tix
Yoğunluk	ISO 1183-A	(g/cm ³)	1.26	1.05
Elastisite modülü	ISO 178	(MPa)	442.46	11.4892
Çekme mukavemeti	ISO 527	(MPa)	83	59
Eğilme mukavemeti	ISO 178	(MPa)	153	117
Poisson oranı	ISO 527	(---)	0.37	0.35
Kayma modülü	ISO 527	(MPa)	1400	920
Barcol Sertliği	ASTM-D1002	(---)	40	4 5

4.5. Teorik Analiz

4.5.1. Elastik analiz

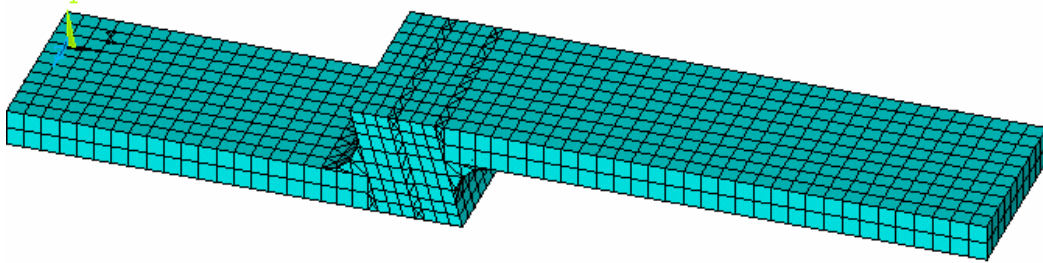
Çekme yüküne maruz tek tesirli bindirme bağlantısı için Goland ve Reissner[34] tarafından kurulan model ve bu modelin yapıştırılan malzemede oluşan kayma şekil değişimleri dikkate alınarak Tsai ve arkadaşları[89] tarafından iyileştirildiği model ile analiz yapılmıştır.

3.4.2. Sonlu Eleman Analizleri

Elasto-plastik sonlu eleman analizlerinde, deneysel çalışmalardaki iki farklı yapıştırıcı (Vinylester Atlac 580 ve Flexo Tix) kullanılarak birleştirilmiş ters Z şeklindeki kompozit numuneler şekil 4.4.'te gösterildiği gibi modellenmiştir. Sonlu elemanlar analizinde kullanılan numune boyutları ve yükleme şartları deneysel çalışmalarda kullanılanlarla aynıdır.

Numunelerin elastik gerilme analizleri, sonlu elemanlar paket programı (ANSYS 10.0)[6] kullanılarak yapılmıştır. Numunelerimiz kompozit ve tabakalı bir malzeme olduğu için Ansys'te üç boyutlu olarak modellenmiştir. Yapılan analizlerde yapıştırma bağlantısı ve kompozit malzeme, üç yer değiştirme serbestlik derecesi sahip 8 düğüm noktalı üç boyutlu(3-D) katı eleman(solid 46 ve solid 45) ve üç boyutlu 20 nodlu (solid 191) kullanılarak modellenmiştir.

Numunelerin sonlu elemanlara bölünmesi şekil 4.11.'de görüldüğü gibidir. Sonlu elemanlara bölme esnasında gerilme dağılımları açısından kritik bölge olan yapıştırma bölgesi daha küçük elemanlara bölünmüştür. Ayrıca kopma riski olan bölgeler ile radyüslü kısım diğer bölgelerden farklı olarak üçgen şeklinde sonlu elemanlara bölünmüştür.



Şekil 4.11. Numunelerin sonlu elemanlara bölünmüş hali

Sonlu elemanlar analizinde yapıştırma bağlantılarını düzlem elemanlara ayırma işlemi son derece önemlidir. Çalışmada yapıştırılan malzeme kalınlığı ve bindirme açısının etkisi incelendiğinden, kullanılan düzlem eleman boyutlarının bu parametrelerden etkilenmemesi için tüm modellerde mümkün olduğunca aynı boyutlara sahip elemanlar kullanılmıştır. Lineer olmayan sonlu elemanlar analizlerinde; tek eksenli çekme deneyinden elde edilmiş gerilme-şekil değiştirme davranışları dikkate alınmıştır. Ayrıca, yapıştırıcı tabakası ve yapıştırılan malzemelerde oluşan eş değer gerilmelerin hesaplanmasında denklem (4.5)'te verilen von Mises akma kriteri kullanılmıştır.

$$\sigma_{es} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad (3.5)$$

4.6. Ansys Sonlu Elemanlar Yazılımı

Ansys programı, mühendisliğin tüm alanlarında kullanılabilen genel amaçlı, modüler bir programdır. 1970 yılında ABD’de geliştirilmiş bir program olup, lineer veya lineer olmayan sistemlerde statik, dinamik, akışkanlar mekaniği, ısı transferi ve elektromanyetik analiz imkânlarına sahiptir. Ansys(Swanson Analysis System)’in başlıca kullanım alanları şunlardır;

- Mukavemet ve gerilme analizleri
- Doğal frekans hesapları
- Deprem hesapları
- Derin çekme ve metal şekillendirme
- Elektrik motorlarının manyetik alan hesapları
- Metal yorulması hesapları

Ansys yazılımı CAD yazılımıyla doğrudan kullanıcı arabirimiyle veya IGES, STEP, SAT, gibi formatlarla geometrik model transferi imkânları mevcuttur. Ansys’te analizi yapılan model sonlu sayıda elemana bölünerek, sonlu elemanlar ağı oluşturulur. Önemli olan geometrik modeli doğru ve sağlam bir şekilde yapmaktır. Ansys’te farklı analiz tipleri için geliştirilmiş yaklaşık 140 eleman tipi mevcuttur.

Sonlu elemanlar ağı yapıldıktan sonra yükleme ve sınır koşulları belirlenir ve programa işlenir. Bu aşamada problemin çok iyi yorumlanması ve modele gelen yükleri doğru bir şekilde belirlenmesi gerekir.

Çalışmamızda Ansys’in 10.0 versiyonu kullanılmıştır. Geometriyi oluşturmak için ilk önce noktalar(keypoint) oluşturulmuştur. Daha sonra noktaların birleştirilmesi ile çizgiler(line), çizgilerin birleştirilmesi ile alanlar(area), alanların birleştirilmesi ile hacimler(volume) oluşturulmuştur. Daha sonra geometri sonlu elemana(mesh) bölünmüştür. Numunelerin sonlu elemana bölünmüş hali şekil 4.11.’de gösterilmiştir.

5. SONUÇLAR

5.1. Giriş

Çalışmamızda tablo 4.2’de belirtilen ölçülerde cam elyaf kumaş takviyeli epoxy kompozit malzemeler(Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 ve Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203) Vinylester Atlac 580 ve Flexo Tix yapıştırıcılar kullanılarak şekil 4.4’te gösterildiği gibi birleştirilmiştir. Vinylester Atlac 580 yapıştırıcısı ile ilk önce 45 numune yapıştırılarak çekmeye tabi tutulmuştur. Daha sonra yapıştırma bölgeleri zımpara ile temizlenerek aseton içerisine batırılmıştır. Numuneler Flexo Tix ile yapıştırılmış ve ikinci defa çekilerek gerekli sonuçlar elde edilmiştir.

Bulk numunelerin çene hızı, yapıştırıcı ile birleştirilmiş kompozit numunelerin çene hızı aynı seçilmiş olup 1 mm/dk’dır. Aksi takdirde deney sonuçları karşılaştırılamaz. Dolayısıyla yapılan çalışmanın herhangi bir teknik değeri de olmayacaktır.

Çalışmamızın bu bölümünde Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ile Ansys(SEM) analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

5.2. Deneysel Değerler ile Sonlu Eleman Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çalışmamızda öncelikle deneylerde elde edilen bulk numunelerin maksimum gerilme değerleri, Sonlu Elemanlar Analizi(SEM) ile bulunan yapıştırıcı ara yüzeyindeki maksimum gerilmeler ile karşılaştırılmıştır.

Genellikle yapıştırıcı bağlantılarında hasar, yapıştırıcı ara yüzeyinde olduğu için bu ara yüzeydeki gerilmeler ile karşılaştırılmıştır. Ansys maksimum kuvvet değeri deneysel kuvvet değerinden büyük olduğu için yapıştırıcı bölgeden kopma olmuştur. Ayrıca kompozit malzemenin kopma gerilmesi yapıştırıcıların kopma gerilmelerinden büyük olduğu için yapıştırıcı bölgesinden kopmalar gerçekleşmiştir.

Şekil 4.4. ve tablo 4.2.’de belirtilen ölçülere göre hazırlanan bulk numunelerin deneyleri sonucunda elde edilen maksimum gerilmeler tablo 5.1.’de gösterilmiştir. Ayrıca burada gerilmeler Sonlu Elemanlar Metodun(SEM)’dan elde edilen maksimum von Mises gerilmeleri ile karşılaştırılmıştır. Gerilmeler birbirine yakın çıkmıştır. Gerilme oranlarına dikkat edildiğinde yakınlaşma payı çok rahatlıkla görülür. Böylece sayısal analizin deneysel analize yaklaşması, grafik çiziminde sayısal analiz sonuçlarının kullanılabileceğini göstermiştir.

Tablo 5.1. Yapıştırıcıların ara yüzeyindeki gerilmelerin karşılaştırılması

Num · No	Vinylester Atlac 580			Flexo Tix		
	ANSYS(SEM) $\sigma_{eqv}, (N/mm^2)$ (Von Mises Gerilmesi)	Deneyisel (Bulk) Max. Gerilme (N/mm^2)	Yaklaşım oranı(Den. Geril./Ansys Von Mises Gerilmesi)	ANSYS(SEM) $\sigma_{eqv}, (N/mm^2)$ (Von Mises Gerilmesi)	Deneyisel (Bulk) Gerilme (N/mm^2)	Yaklaşım oranı(Den. Geril./Ansys Von Mises Gerilmesi)
1	40.146	40.61845817	1.011768	2.557	2.509750948	0.981522
2	41.008	40.61845817	0.990501	2.591	2.509750948	0.968642
3	40.718	40.61845817	0.997555	2.561	2.509750948	0.979989
4	40.763	40.61845817	0.996454	2.586	2.509750948	0.970515
5	40.554	40.61845817	1.001589	2.570	2.509750948	0.976557
6	40.447	40.61845817	1.004239	2.575	2.509750948	0.974661
7	40.566	40.61845817	1.001293	2.544	2.509750948	0.986537
8	40.530	40.61845817	1.002183	2.547	2.509750948	0.985375
9	40.708	40.61845817	0.9978	2.548	2.509750948	0.984989
10	40.655	40.61845817	0.999101	2.535	2.509750948	0.99004
11	40.522	40.61845817	1.00238	2.500	2.509750948	1.0039
12	40.592	40.61845817	1.000652	2.542	2.509750948	0.987314
13	40.798	40.61845817	0.995599	2.544	2.509750948	0.986537
14	40.601	40.61845817	1.00043	2.527	2.509750948	0.993174
15	40.715	40.61845817	0.997629	2.541	2.509750948	0.987702
16	40.669	40.61845817	0.998757	2.541	2.509750948	0.987702
17	40.544	40.61845817	1.001836	2.576	2.509750948	0.974282
18	40.650	40.61845817	0.999224	2.554	2.509750948	0.982675
19	40.614	40.61845817	1.00011	2.506	2.509750948	1.001497
20	40.643	40.61845817	0.999396	2.515	2.509750948	0.997913
21	40.763	40.61845817	0.996454	2.517	2.509750948	0.99712
22	40.627	40.61845817	0.99979	2.531	2.509750948	0.991604
23	40.626	40.61845817	0.999814	2.513	2.509750948	0.998707
24	40.798	40.61845817	0.995599	2.587	2.509750948	0.97014
25	40.717	40.61845817	0.99758	2.548	2.509750948	0.984989
26	40.594	40.61845817	1.000603	2.566	2.509750948	0.978079
27	40.813	40.61845817	0.995233	2.574	2.509750948	0.975039
28	40.546	40.61845817	1.001787	2.557	2.509750948	0.981522
29	40.653	40.61845817	0.99915	2.560	2.509750948	0.980371
30	40.597	40.61845817	1.000529	2.525	2.509750948	0.993961
31	40.606	40.61845817	1.000307	2.569	2.509750948	0.976937
32	40.598	40.61845817	1.000504	2.577	2.509750948	0.973904
33	40.632	40.61845817	0.999667	2.547	2.509750948	0.985375
34	40.680	40.61845817	0.998487	2.515	2.509750948	0.997913
35	40.705	40.61845817	0.997874	2.513	2.509750948	0.998707
36	40.642	40.61845817	0.999421	2.521	2.509750948	0.995538
37	40.523	40.61845817	1.002356	2.527	2.509750948	0.993174
38	40.783	40.61845817	0.995965	2.541	2.509750948	0.987702
39	40.708	40.61845817	0.9978	2.542	2.509750948	0.987314
40	40.650	40.61845817	0.999224	2.515	2.509750948	0.997913
41	40.678	40.61845817	0.998536	2.512	2.509750948	0.999105
42	40.759	40.61845817	0.996552	2.523	2.509750948	0.994749
43	40.775	40.61845817	0.996161	2.526	2.509750948	0.993567
44	40.608	40.61845817	1.000258	2.543	2.509750948	0.986925
45	40.640	40.61845817	0.99947	2.522	2.509750948	0.995143

Vinylester Atlac 580 ve Flexo Tix yapıştırıcıları ile birleştirilmiş olan numunelerin Ansys hasar yükünü bulmak için; her numuneye özgü ayrı ayrı yaklaşım programları yapılmıştır. Ansys'te yapıştırıcı ara yüzeyine ait von Mises akma gerilmesi o yapıştırıcının bulk numunesinin maksimum değerine yaklaşıncaya kadar, programdaki 47 nolu alana(yanal alana) uygulanan basınç değeri değiştirilerek her seferinde programın txt dosyası tekrar Ansys'e okutulmuştur. Bulk numune deneyinde Vinylester Atlac 580 bulk numunesinin maksimum gerilmesi 40.61845817 MPa ve Flexo Tix yapıştırıcının bulk numunesinin maksimum gerilmesi ise 2.509750948 elde edilmiştir. Yapıştırıcı ara yüzeyindeki maksimum Von Mises akma gerilmeleri bu değerlere yaklaştığında ayrı bir yere not edilmiş olup numunelerin alın alanı($t \times b = \text{numune kalınlığı} \times \text{numune genişliği}$) ile çarpıldıktan sonra tablo 5.2 ve tablo 5.3'teki kopma yükleri elde edilmiştir. Tablo 5.2 ve 5.3'te görüldüğü gibi Ansys programından elde edilen hasar yükleri, deneylerde elde edilen hasar yüklerine yakın çıkmıştır. Tabloların son sütunda da deneysel yükler Ansys'teki hasar yüklerine bölünerek yaklaşım oranları bulunmuştur. Genellikle bire yakın değerler elde edilmiştir. Böylece deneylerde elde edilen değerler ile sonlu elemanlar analizi değerleri uyum içersindedir. Bu durumda yapılan analizin doğru olduğu söylenebilir.

Ansys gerilme değerleri bulk numunenin gerilme değerine yakın çıkınca yapıştırıcı geometrisi açılmıştır. Bu geometri üzerinde parametre olarak aldığımız numune genişliği(b) ve bindirme mesafesi(a) boyunca yörüngeler(path) tanımlanmıştır. Daha sonra bu yörünge değerleri her bir yapıştırıcı ve numune için ayrı ayrı bulunarak kaydedilmiştir. Her bir numunenin S_x , S_y , S_z , S_{xy} , S_{xz} ve $Seqv$ değerleri seçilerek sonuçları bulunmuş ve kaydedilmiştir. Ansys programında yörünge çizilirken sadece 6 adet gerilme değeri alınabildiğinden ve S_{yz} değerleri çok çok küçük elde edildiğinden listeye alınmamıştır. Ayrıca bütün yörüngelerin ansys programındaki grafik seçeneği kullanılarak grafikleri çizilmiştir.

Bütün yörünge değerleri her bir numune için ayrı ayrı elde edilmiş olup dosyalar not defteri şeklinde olduğu için dosyalar tek tek excele aktarılmıştır. Daha sonra karşılaştırma ve yorumlara geçilmiştir.

Tablo 5.2. Vinylester Atlac 580 yapıştırıcısının ara yüzeyindeki yüklerin karşılaştırılması

Kompozit Malzeme	Num. No	Açı (Derece)	Kalınlık (t)(mm)	Genişlik (b)(mm)	Alın Alanı (txb)	ANSYS (SEM) Hasar Yükü(N)	Deneyisel Hasar Yükü(N)	Yaklaşım Oranı (Deneyisel Y./Ansys Y.)
Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)	1	45	3	10	3x10	1221.51	1191.56	0.975481167
	2		5	10	5x10	2050.40	2016.81	0.983617831
	3		6	10	6x10	2443.08	2369.12	0.969726738
	4		3	15	3x15	1834.335	1755.09	0.956799058
	5		5	15	5x15	3041.55	2897.82	0.952744551
	6		6	15	6x15	3640.23	3429.15	0.942014653
	7		3	20	3x20	2433.96	2348.30	0.964806302
	8		5	20	5x20	4053.0	3896.14	0.961297804
	9		6	20	6x20	4884.96	4679.38	0.957915734
	10	60	3	10	3x10	1219.95	1126.81	0.923652609
	11		5	10	5x10	2026.1	1990.5	0.982429298
	12		6	10	6x10	2435.52	2364.11	0.970679773
	13		3	15	3x15	1835.91	1755.99	0.956468454
	14		5	15	5x15	3045.075	2955.21	0.970488412
	15		6	15	6x15	3664.35	3445.16	0.940183116
	16		3	20	3x20	2440.14	2289.46	0.938249412
	17		5	20	5x20	4054.40	3896.37	0.961022593
	18		6	20	6x20	4878.0	4695.30	0.962546124
	19	75	3	10	3x10	1218.42	1190.42	0.977019419
	20		5	10	5x10	2032.15	1983.37	0.975995866
	21		6	10	6x10	2445.78	2378.60	0.97253228
	22		3	15	3x15	1828.215	1792.5	0.980464551
	23		5	15	5x15	3046.95	2966.23	0.973507934
	24		6	15	6x15	3671.82	3497.46	0.952514012
	25		3	20	3x20	2443.02	2332.3	0.954679080
	26		5	20	5x20	4059.4	3940.12	0.970616347
	27		6	20	6x20	4897.56	4786.34	0.977290733
Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)	28	45	3	10	3x10	1216.38	1191.56	0.979595192
	29		5	10	5x10	2032.65	1986.2	0.977148058
	30		3	15	3x15	1826.865	1794.7	0.982393335
	31		5	15	5x15	3045.45	2963.4	0.973058169
	32		3	20	3x20	2435.88	2208.83	0.906789333
	33		5	20	5x20	4063.20	3969.06	0.976831069
	34	60	3	10	3x10	1220.4	1193.41	0.9778843
	35		5	10	5x10	2035.25	1975.03	0.970411497
	36		3	15	3x15	1828.89	1796.46	0.982267933
	37		5	15	5x15	3039.225	2980.11	0.980549318
	38		3	20	3x20	2446.98	2261.78	0.92431487
	39		5	20	5x20	4070.80	3978.43	0.977309128
	40	75	3	10	3x10	1219.50	1196.35	0.98101681
	41		5	10	5x10	2033.9	1987.22	0.977049019
	42		3	15	3x15	1834.155	1990.81	1.085409903
	43		5	15	5x15	3058.125	2985.24	0.976166769
	44		3	20	3x20	2436.48	2311.63	0.948758044
	45		5	20	5x20	4064.0	3988.29	0.981370571

Tablo 5.3. Flexo Tix yapıştırıcısının ara yüzeyindeki yüklerin karşılaştırılması

Kompozit Malzeme	Num. No	Açı (Derece)	Kalınlık (t)(mm)	Genişlik (b)(mm)	Alın Alanı (txb)	ANSYS (SEM) Hasar Yükü(N)	Deneyisel Hasar Yükü(N)	Yaklaşım Oranı (Deneyisel Y./Ansys Y.)
Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)	1	45	3	10	3x10	76.71	69.673	0.908265
	2		5	10	5x10	129.55	124.375	0.960054
	3		6	10	6x10	153.66	140.032	0.911311
	4		3	15	3x15	116.37	103.050	0.915459
	5		5	15	5x15	192.75	175.590	0.910973
	6		6	15	6x15	231.75	208.281	0.933273
	7		3	20	3x20	152.64	136.39	0.897327
	8		5	20	5x20	254.70	218.14	0.903585
	9		6	20	6x20	305.76	289.063	0.945392
	10	60	3	10	3x10	76.05	69.022	0.907587
	11		5	10	5x10	125.0	120.16	0.961280
	12		6	10	6x10	152.52	139.48	0.914503
	13		3	15	3x15	114.48	99.830	0.911399
	14		5	15	5x15	189.525	173.340	0.914602
	15		6	15	6x15	228.69	204.26	0.917552
	16		3	20	3x20	152.46	133.38	0.898478
	17		5	20	5x20	257.6	225.35	0.913665
	18		6	20	6x20	306.48	293.313	0.957038
	19	75	3	10	3x10	75.18	68.011	0.904642
	20		5	10	5x10	125.75	120.93	0.961670
	21		6	10	6x10	151.02	137.43	0.910012
	22		3	15	3x15	113.895	97.51	0.909109
	23		5	15	5x15	188.475	171.402	0.909415
	24		6	15	6x15	232.83	209.151	0.941249
	25		3	20	3x20	152.88	135.34	0.900608
	26		5	20	5x20	256.6	223.25	0.922397
	27		6	20	6x20	308.88	294.30	0.952797
Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)	28	45	3	10	3x10	76.71	70.351	0.917103
	29		5	10	5x10	128.0	117.72	0.919688
	30		3	15	3x15	113.625	102.024	0.917017
	31		5	15	5x15	192.675	175.95	0.913196
	32		3	20	3x20	154.62	124.375	0.897795
	33		5	20	5x20	254.70	230.051	0.903223
	34	60	3	10	3x10	75.45	69.685	0.923592
	35		5	10	5x10	125.65	113.36	0.902189
	36		3	15	3x15	113.445	99.873	0.911102
	37		5	15	5x15	189.525	172.438	0.909843
	38		3	20	3x20	152.46	120.381	0.905726
	39		5	20	5x20	254.20	229.832	0.904138
	40	75	3	10	3x10	75.45	69.012	0.914672
	41		5	10	5x10	125.60	112.486	0.908607
	42		3	15	3x15	113.535	101.357	0.923486
	43		5	15	5x15	189.45	171.019	0.902713
	44		3	20	3x20	152.58	124.029	0.908979
	45		5	20	5x20	252.20	227.221	0.900956

5.3. Sonuçların Grafiklerle Karşılaştırılması

Çalışmamızda kullanılan yapıştırıcılara göre karşılaştırma şöyle yapılmıştır. Numunelerin t(kalınlık), b(genişlik) ve α (açı) parametrelerine göre değerler excel ortamına taşınmıştır. Bu noktadan sonra parametrelerden biri değişken olarak alınırken a(bindirme mesafesi) v.b değerlerden biri yatay eksen(x eksen), dikey eksen(y eksen)inde ise gerilme değerleri gösterilmiştir.

Öncelikle sınıflandırma yapıştırıcıya göre yapılmıştır;

5.3.1.Vinylester Atlac 580 Yapıştırıcı

Vinylester Atlac 580 yapıştırıcısı ile yapıştırılmış olan malzemenin sırasıyla S_x , S_y , S_z , S_{xy} , S_{xz} ve S_{eqv} gerilmeleri grafikler yardımıyla karşılaştırılmıştır.

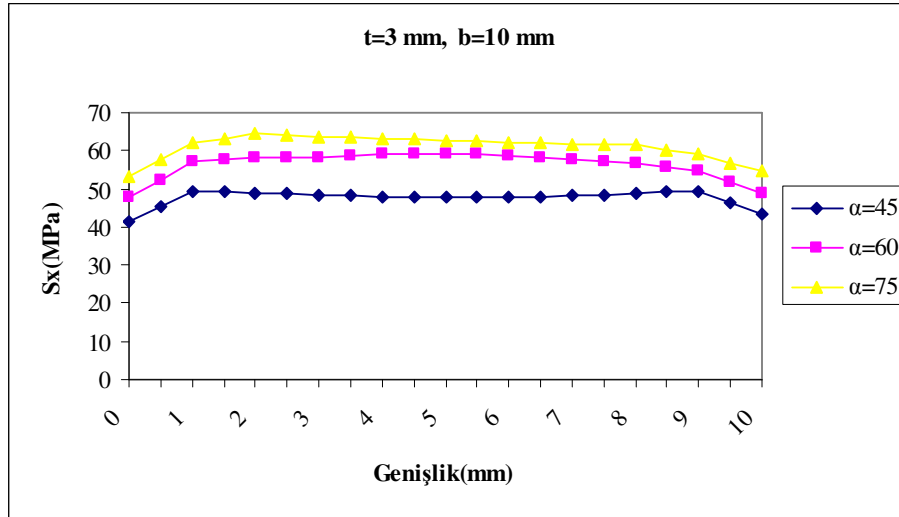
5.3.1.7 S_x Gerilmelerinin Karşılaştırılması

- α 'ya göre S_x gerilmelerinin İncelenmesi

Açıya göre gerilme değişimi gösterilirken x eksen genişlik, y eksen ise S_x gerilmesi alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

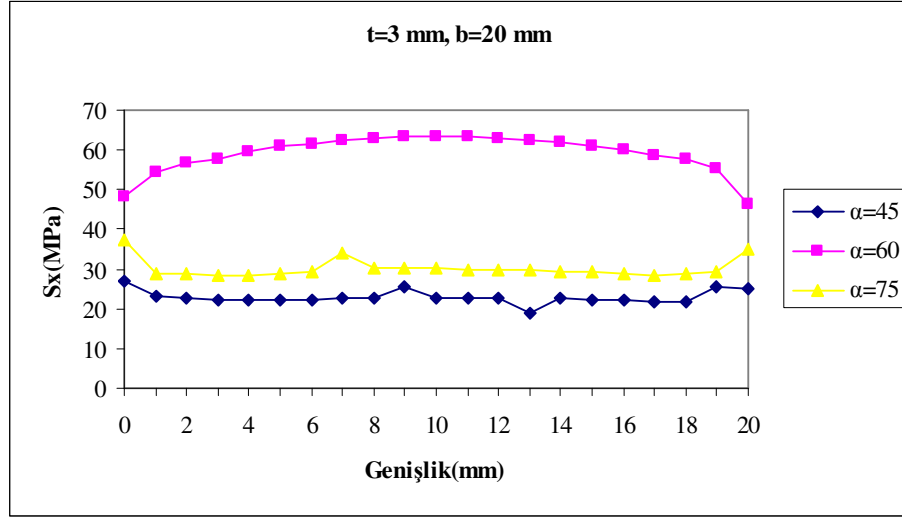
$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda S_x normal gerilmesinin değişimi şekil 5.1.'de gösterilmiştir. Açı değerleri arttıkça S_x gerilmesi de artmıştır.



Şekil 5.1. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=1,10,19)

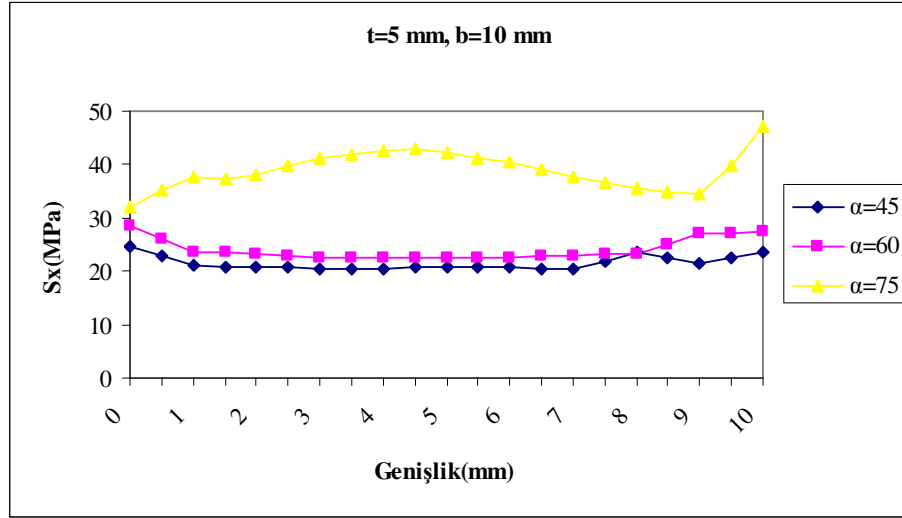
$t=3$ mm ve $b=15$ mm olduğunda S_x çekme gerilmesinin değişimi(Numune no:4,13,22) şekil 5.1.'e benzer olup açı değerleri arttıkça S_x çekme gerilmesi de artmıştır.

$t=3$ mm ve $b=20$ mm olduğunda S_x çekme gerilmesinin değişimi şekil 5.2.'de gösterilmiştir. α açısı 45° den 60° ye artarken gerilme değerleri de artmış ancak 60° den 75° ye artarken azalmıştır. Gerilme değerleri b genişliği boyunca adeta sabitleşmiştir.



Şekil 5.2. $t=3$ mm ve $b=20$ mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=7,16,25)

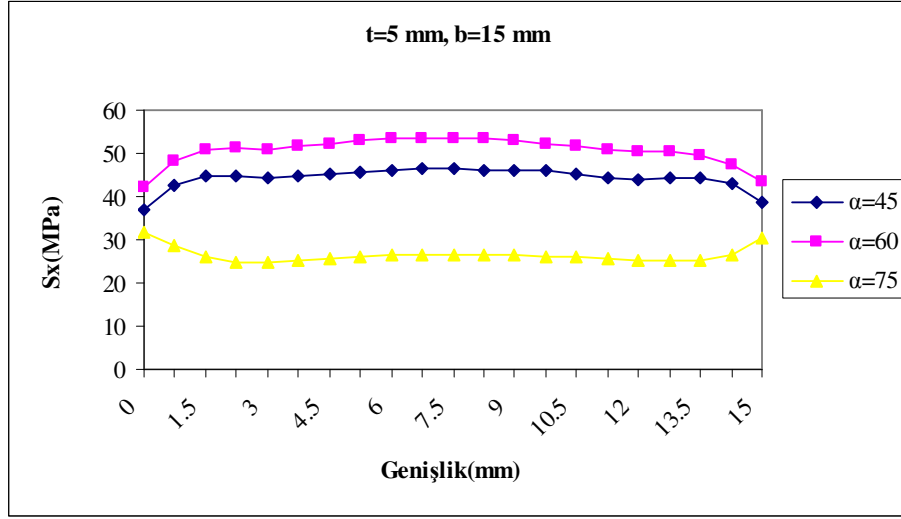
$t=5$ mm ve $b=10$ mm olduğunda S_x çekme gerilmesinin genişliğe göre değişimi şekil 5.3.'te gösterilmiştir. α açısı artarken gerilme değerleri de artmıştır



Şekil 5.3. $t=5$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=2,11,20)

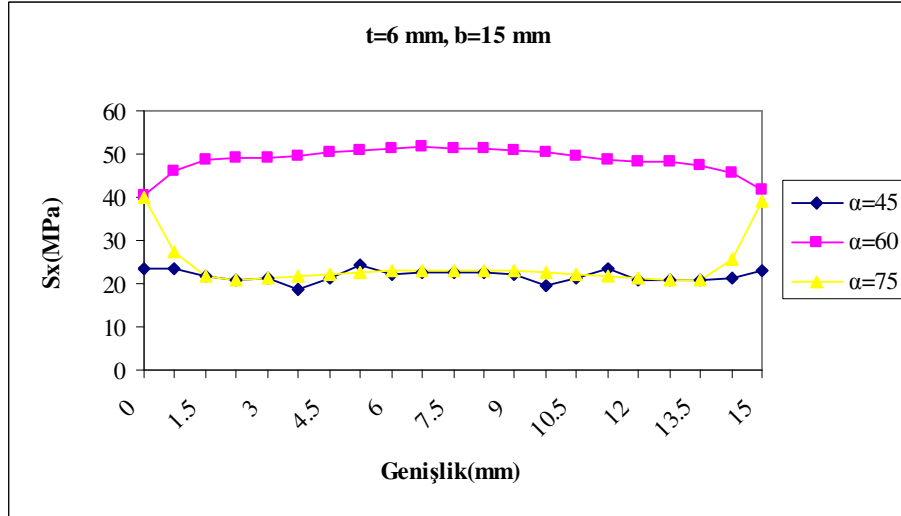
$t=5$ mm ve $b=15$ mm olduğunda S_x çekme gerilmesinin değişimi şekil 5.4.'te gösterilmiştir. α açısı 45° 'den 60° 'ye artarken gerilme değerleri artmış ancak 60° 'den 75° 'ye artarken ise özellikle 3-14 mm mesafeleri arasında azalmıştır.

$t=5$ mm ve $b=20$ mm olduğunda S_x çekme gerilmesinin değişimi şekil 5.4.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Gerilme değerleri, açı 45° 'den 60° 'ye artarken genişliğin orta kısmında küçük bir artış gösterirken 75° 'ye artarken ise yaklaşık 22 MPa azalmıştır.



Şekil 5.4. t=5 mm ve b=15 mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=5,14,23)

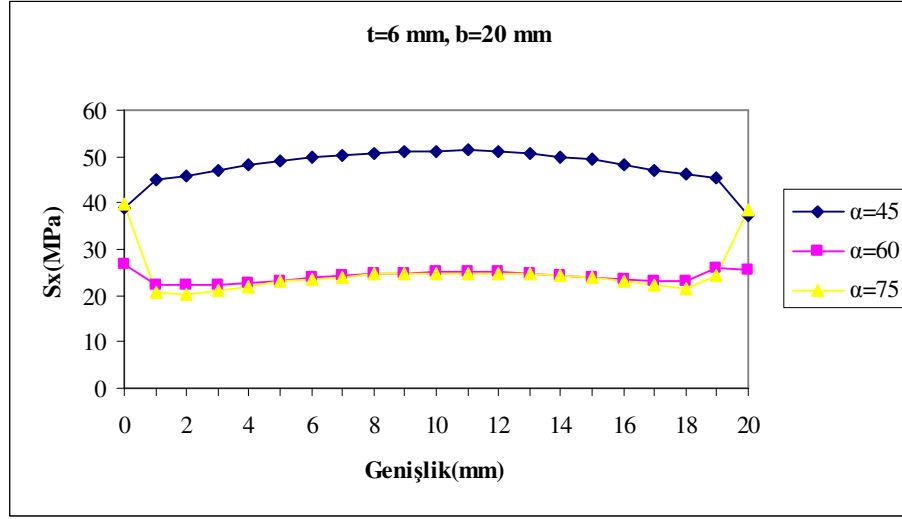
t=6 mm ve b=10 mm olduğunda Sx çekme gerilmesinin değişimi şekil 5.4.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Açı 45°'den 60°'ye artarken Sx gerilme değerleri artmış α , 60°'den 75°'ye artarken ise genişlik boyunca yaklaşık 25 MPa azalmıştır.



Şekil 5.5. t=6 mm ve b=15 mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=6,15,24)

t=6 mm ve b=15 mm olduğunda Sx normal gerilmesinin genişliğe() göre değişimi şekil 5.5.'te gösterilmiştir. α , 45°'den 60°'ye artarken gerilme değerleri artmıştır. Ancak 60°'den 75°'ye artarken genişlik boyunca azalmıştır.

t=6 mm ve b=20 mm olduğunda Sx normal gerilmesinin değişimi şekil 5.6.'da gösterilmiştir. α , 45°'den 60°'ye arttığında gerilme değerleri azalırken α 60°'den 75°'ye arttığında ise genişlik boyunca başlangıç ve bitiş noktaları hariç aynı kalmıştır.



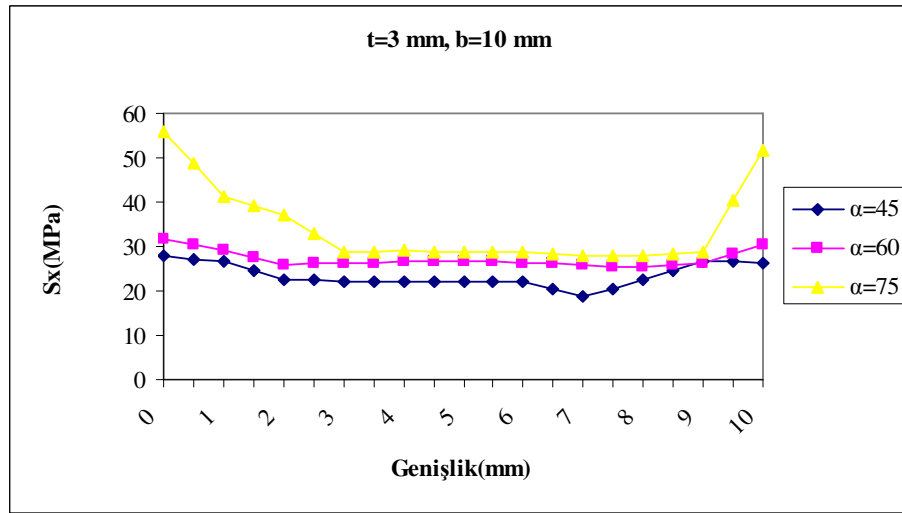
Şekil 5.6. t=6 mm ve b=20 mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=9,18,27)

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

t=3 mm ve b=10 mm olduğunda Sx gerilmesinin değişimi şekil 5.7.'de gösterilmiştir. Gerilme değerleri, α 45°'den 60°'ye arttığında yaklaşık 4 MPa'lık artış göstermiştir. Ancak bu artış 60°'den 75°'ye arttığında kenarlarda fazla olmasına rağmen ortada ise daha az artmıştır.

t=3 mm ve b=15 mm olduğunda Sx gerilmesinin değişimi şekil 5.7.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. Çünkü artış ve azalış noktaları Şekil 5.7.'ye benzemektedir. α değerleri arttıkça Sx gerilme değerleri de artmıştır.

t=3 mm ve b=20 mm olduğunda Sx gerilmesinin değişimi şekil 5.7.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. α açısı değerleri arttıkça Sx gerilmeleri de artmıştır.

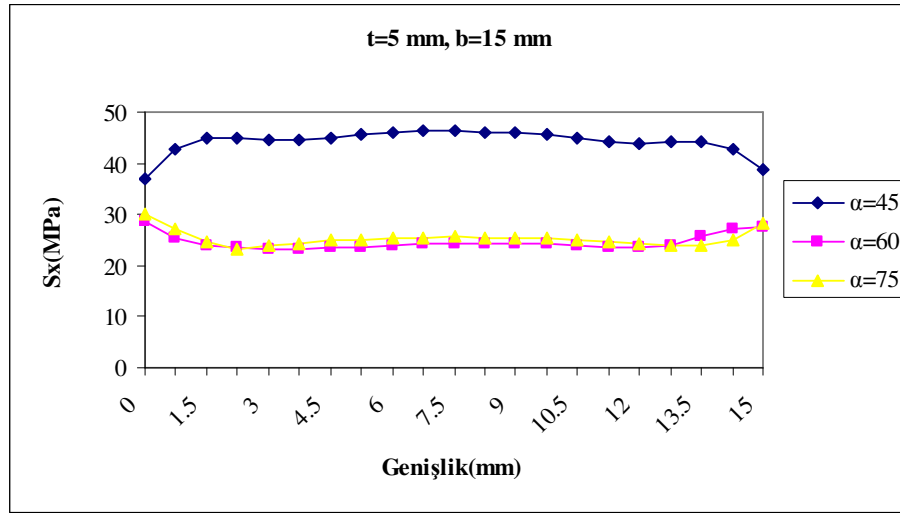


Şekil 5.7. t=3 mm ve b=10 mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=28,34,40)

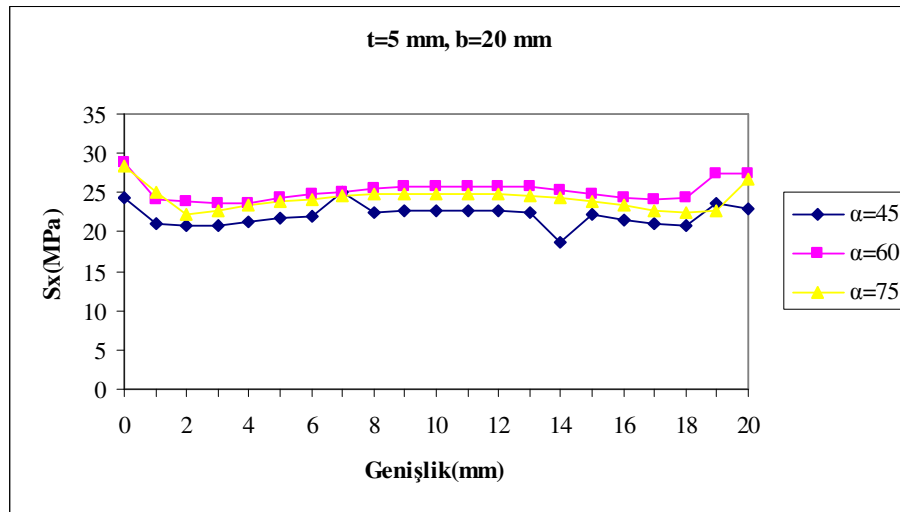
$t=5$ mm ve $b=10$ mm olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.7.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. α , 45° 'den 60° 'ye gerilme değerleri artmıştır. α , 60° 'den 75° 'ye artarken S_x çok az bir artış göstermiştir (genişliğin 8-9.5 mm bölgesi hariç). Ayrıca Şekil 5.7 ile aynı genişliğe sahip olduğu için gerilme değerleri de ona çok yakın elde edilmiştir.

$t=5$ mm ve $b=15$ mm olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.8.'de gösterilmiştir. α , 45° 'den 60° 'ye artarken gerilme değerleri yaklaşık 20 MPa'lık azalma göstermiştir. α , 60° 'den 75° 'ye artarken S_x gerilmeleri kenarlar dışında aynıdır.

$t=5$ mm ve $b=20$ mm olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.9.'da gösterilmiştir. α , 45° 'den 60° 'ye artarken gerilme değerleri de artmıştır. Ancak α , 60° 'den ve 75° 'ye arttığında S_x gerilmeleri çok az bir azalma göstermiştir.



Şekil 5.8. $t=5$ mm ve $b=15$ mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=31,37,43)



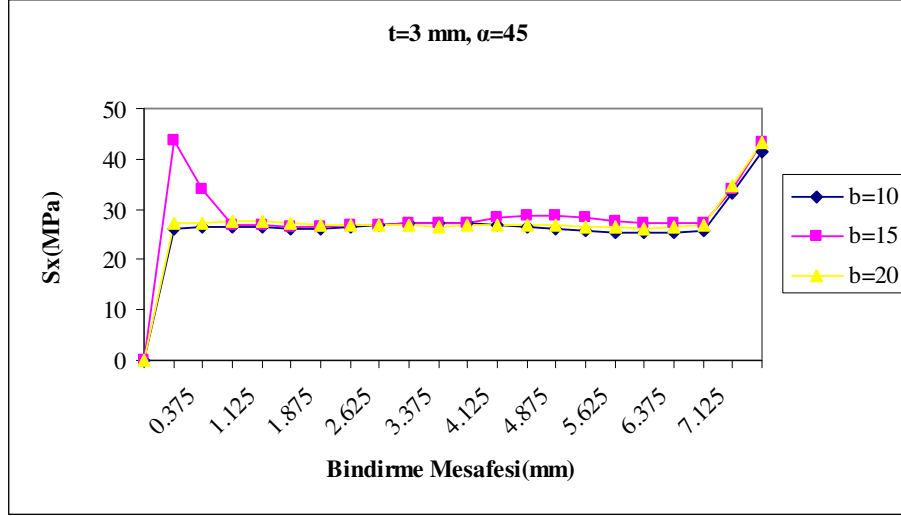
Şekil 5.9. $t=5$ mm ve $b=20$ mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=33,39,45)

- **b'ye Göre Sx gerilmelerinin İncelenmesi**

Burada grafikler çizilirken x eksenı a(bindirme mesafesi), y eksenı ise Sx alınmıştır.

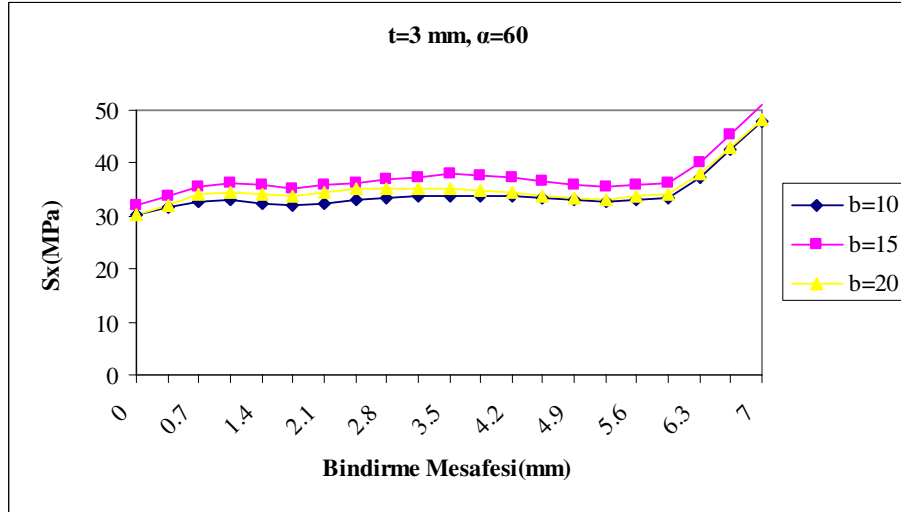
A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

t=3 mm ve a=7.5 mm olduğunda Sx gerilmesinin değişimi şekil 5.10.'da gösterilmiştir. b 10 mm'den 15 mm'ye artarken Sx artmıştır. 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise yaklaşık 2 MPa'lık azalma göstermektedir.



şekil 5.10. t=3 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=1,4,7)

t=3 mm ve a=7 mm olduğunda Sx gerilmesinin değişimi şekil 5.11.'de gösterilmiştir. Genişlik artarken, Sx gerilmesi 10 mm'den 15 mm'ye artarken artmıştır. Ancak 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise Sx gerilme değeri azalmıştır.

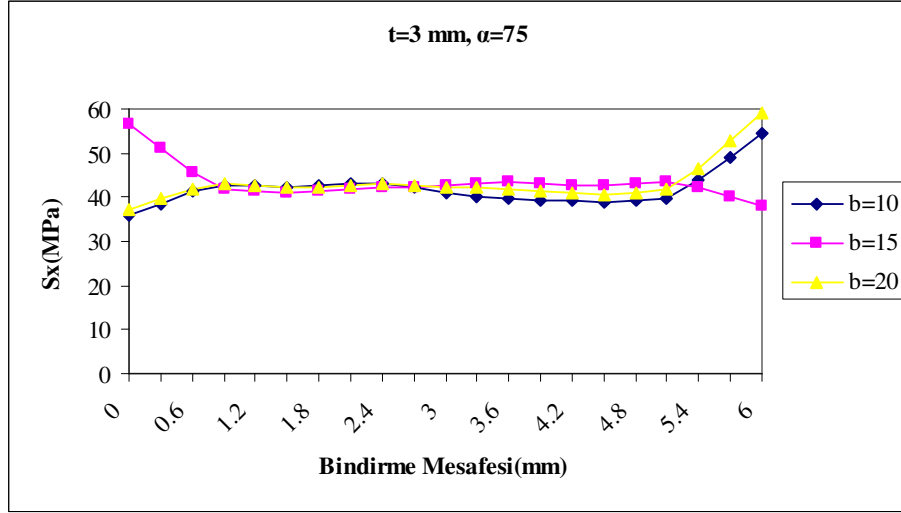


şekil 5.11. t=3 mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=10,13,16)

t=3 mm ve a=6 mm olduğunda Sx gerilmesinin değişimi şekil 5.12.'de gösterilmiştir. b

10 mm'den 15 mm'ye artarken S_x başlangıçta büyük bir artış gösterirken, a 'nın ortasından itibaren azalma göstermiştir. 20 mm'ye artarken ise sadece kenarlarda artmıştır.

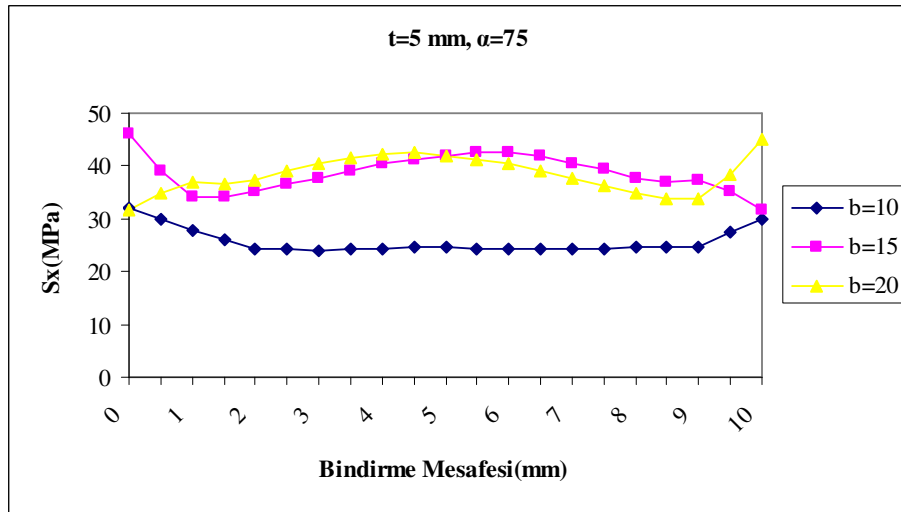
$t=5$ mm ve $a=14$ mm olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.12.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken S_x artmış, 20 mm'ye artarken ise çok az bir azalma olmuştur.



Şekil 5.12. $t=3$ mm ve $a=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=19,22,25)

$t=5$ mm ve $a=12$ mm olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.12.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken S_x fazla değişmediği halde 20 mm'ye artarken azalmıştır.

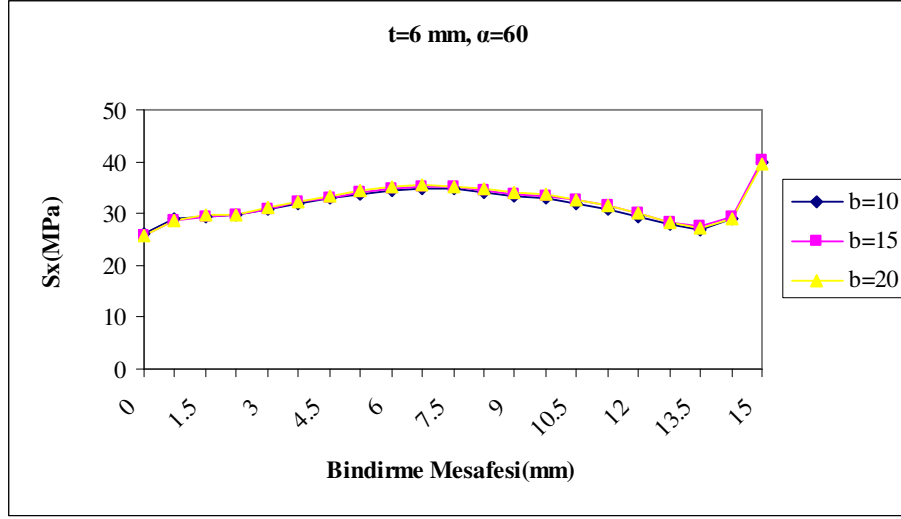
$t=5$ mm ve $a=10$ mm olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.13.'te gösterilmiştir. Genişlik artarken S_x artmıştır.



Şekil 5.13. $t=5$ mm ve $a=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=20,23,26)

$t=6$ mm ve $a=18$ mm olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.12.'ye benzediği için

burada gösterilmemiştir. Genişlik aratarak S_x gerilmeleri de artmıştır.



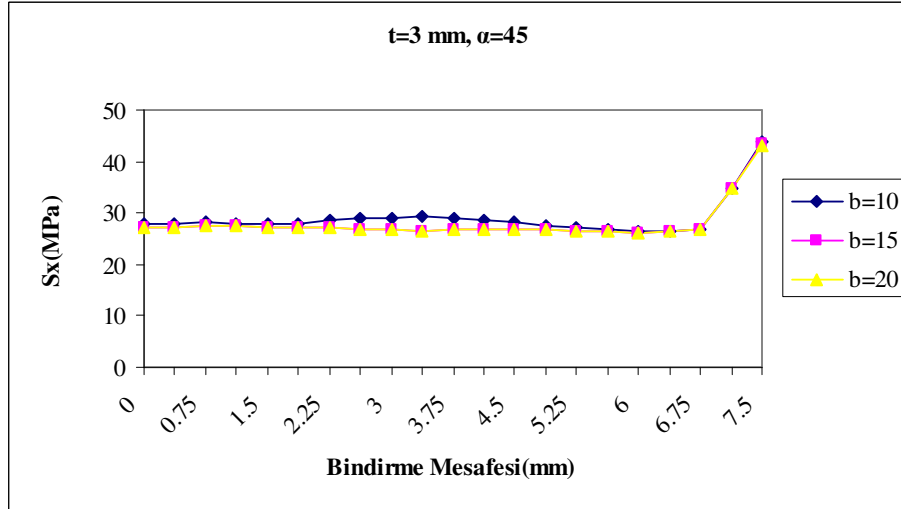
Şekil 5.14. $t=6$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=12,15,18)

$t=6$ mm ve $a=15$ mm olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.14.'te gösterilmiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken gerilmeler genelde aynıdır. 20 mm'de artmıştır.

$t=6$ mm ve $a=14$ mm olduğunda S_x gerilmesinin değişimi kenarlar dışında şekil 5.11.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken gerilmeler artmıştır. Ancak 15 mm'den 20 mm'ye artarken gerilmeler çok küçük bir miktarda azalmıştır.

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$t=3$ mm ve $a=7.5$ mm olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.15.'te gösterilmiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken gerilmeler azalmıştır. Orta kısmında sabit kalmıştır.

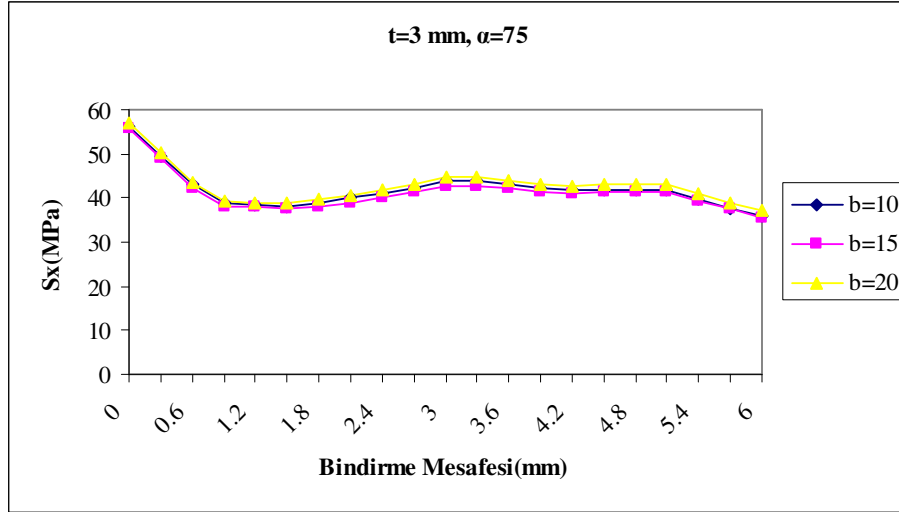


Şekil 5.15. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=28,30,32)

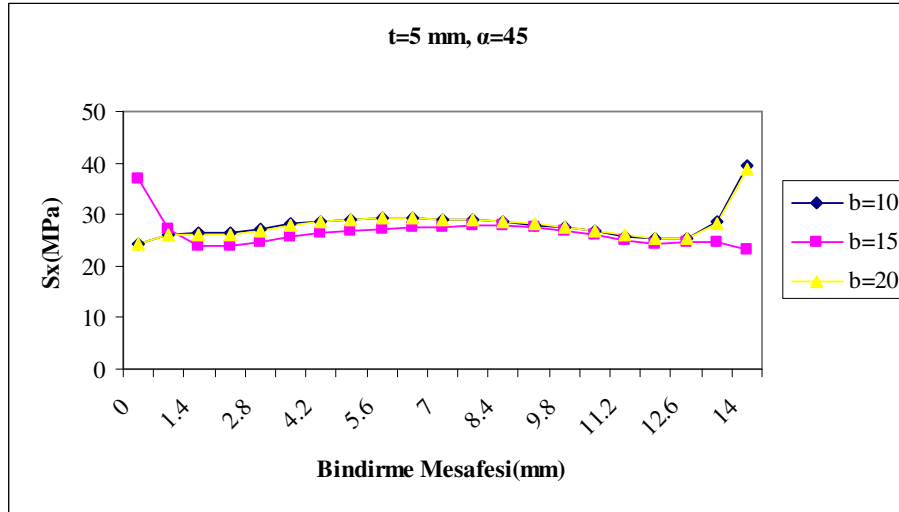
$t=3$ mm ve $a=7$ mm olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.15.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken gerilmeler yaklaşık 1 MPa artmıştır. 20 mm'ye artarken ise aynı miktara yakın azalmıştır.

$t=3$ mm ve $a=6$ mm olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.16.'da gösterilmiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken gerilmeler azalmış, 20 mm'ye artarken ise artmıştır.

$t=5$ mm ve $a=14$ mm olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.17.'de gösterilmiştir. Genişliğin her üç halinde de S_x birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Sadece bindirme mesafesi başlangıcında 15 mm'deki gerilmeler düşmüştür.



Şekil 5.16. $t=3$ mm ve $a=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=40,42,44)

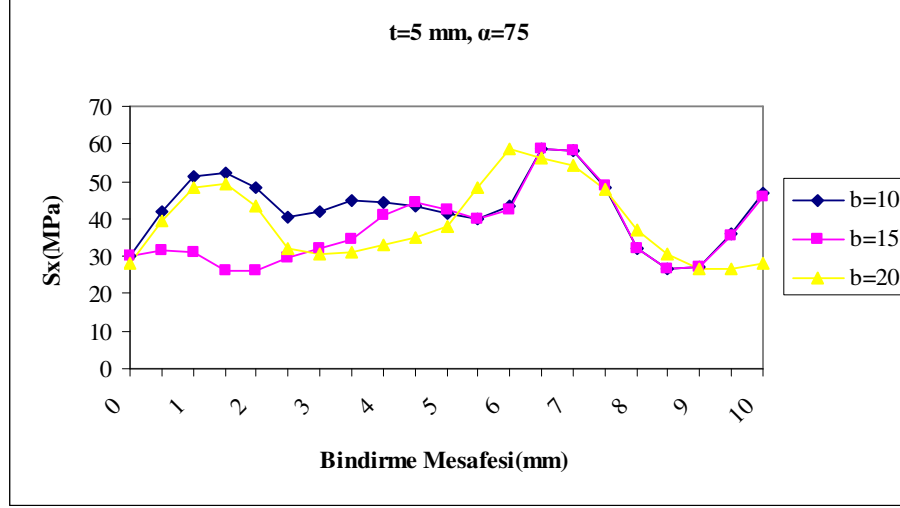


Şekil 5.17. $t=5$ mm ve $a=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=29,31,33)

$t=5$ mm ve $a=12$ mm olduğunda S_x gerilmesinin değişimi kenarlar dışında şekil 5.15.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. b genişliğinin her üç halinde de S_x birbirlerine çok

yakın çıkmıştır. Sadece bindirme mesafesi sonunda tüm genişliklerde gerilmeler artmıştır.

$t=5$ mm ve $\alpha=10$ mm olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.18.'de gösterilmiştir. Bindirmenin başlangıcından ortasına kadar genişlik arttıkça gerilmeler azalmıştır. Orta kısımdan sonra ise gerilmeler genelde artmıştır.



Şekil 5.18. $t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=41,43,45)

- **t 'ye Göre S_x Gerilmelerinin İncelenmesi**

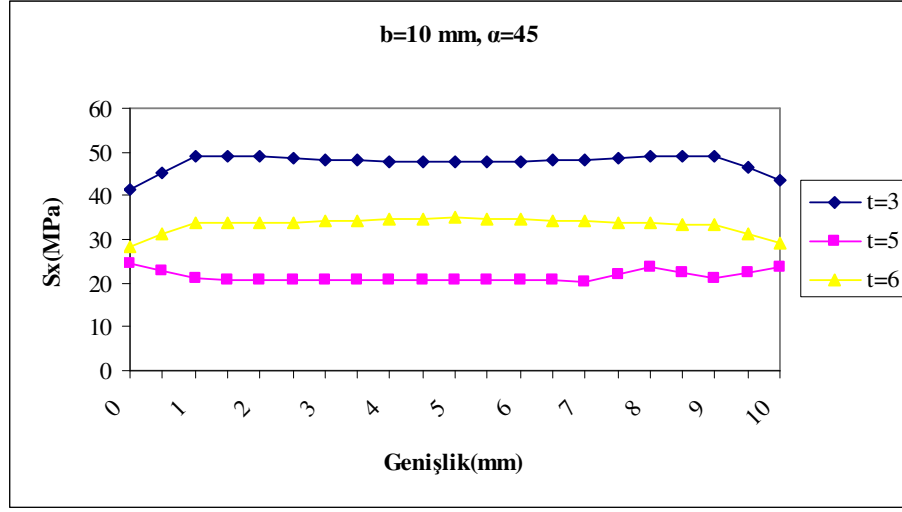
Burada grafikler çizilirken x eksenini b (genişlik), y eksenini ise S_x olarak alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

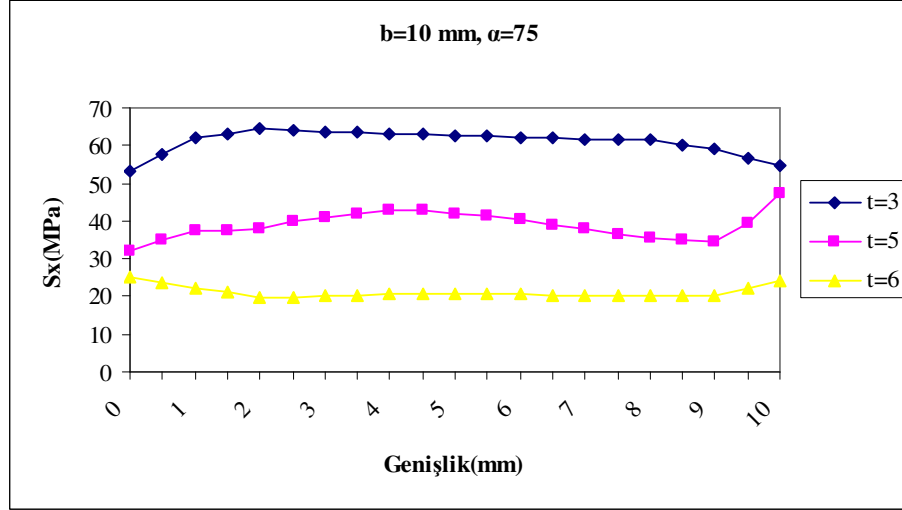
$\alpha=45^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.19.'da gösterilmiştir. Genişlik boyunca, kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_x gerilmesi azalmakta, 5 mm'den 6 mm'ye artarken ise artmıştır.

$\alpha=60^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda S_x gerilmesinin değişimi sayısal değerler dışında şekil 5.19.'a benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik boyunca, kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_x gerilmesi azalmakta, 5 mm'den 6 mm'ye artarken ise yaklaşık 24 MPa'lık artış olmuştur. Gerilme değerleri şekil 5.19.'dakilerden daha büyüktür.

$\alpha=75^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.20.'de gösterilmiştir. Genişlik boyunca, kalınlık artarken S_x gerilmeleri azalmıştır. Ancak t , 5 mm'den 6 mm'ye artarken azalma miktarı daha düşüktür.



Şekil 5.19. b=10 m ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=1,2,3)



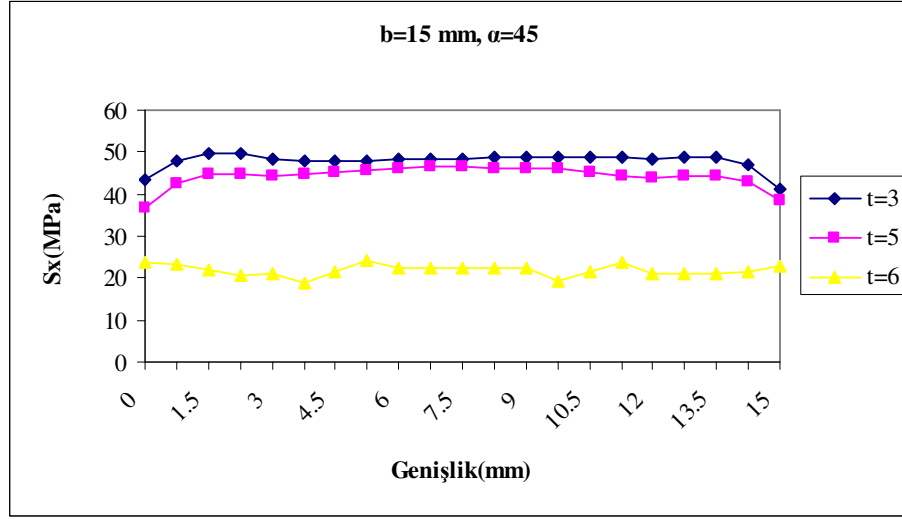
Şekil 5.20. b=10 mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=19,20,21)

$\alpha=45^\circ$ ve b=15 mm olduğunda Sx gerilmesinin değişimi şekil 5.21.'de gösterilmiştir. Genişlik boyunca, kalınlık artarken Sx gerilmesi azalmıştır. Ancak t, 5 mm'den 6 mm'ye artarken azalma miktarı daha fazladır(yaklaşık 24 MPa).

$\alpha=60^\circ$ ve b=15 mm olduğunda Sx gerilmesinin değişimi şekil 5.21.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik boyunca, kalınlık artarken Sx gerilmesi azalmıştır. Ancak 5 mm'den 6 mm'ye artarken azalma miktarı düşmüştür(yaklaşık 2 MPa).

$\alpha=75^\circ$ ve b=15 mm olduğunda Sx gerilmesinin değişimi şekil 5.21.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik boyunca, kalınlık artarken Sx gerilmesi azalmıştır.

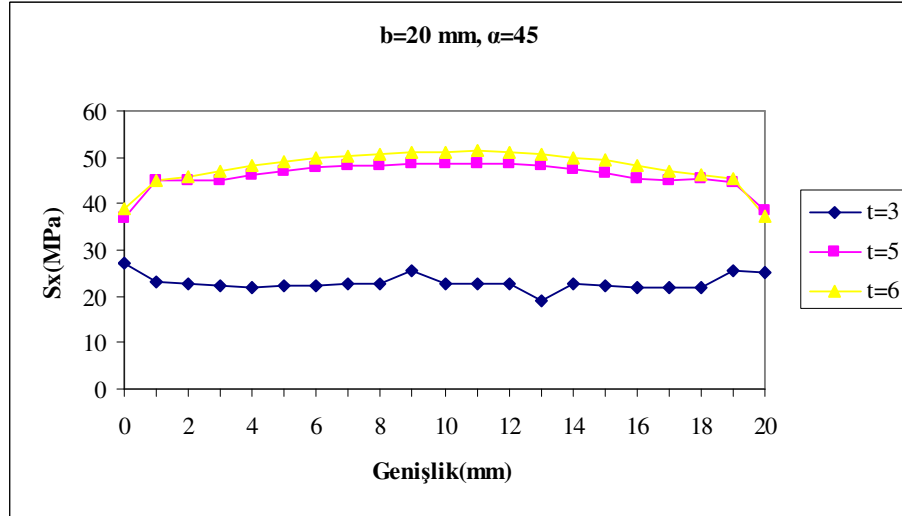
$\alpha=45^\circ$ ve b=20 mm olduğunda Sx gerilmesinin değişimi şekil 5.22.'de gösterilmiştir. Genişlik boyunca, kalınlık artarken Sx gerilmesi de artmıştır.



Şekil 5.21. b=15 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=4,5,6)

$\alpha=60^\circ$ ve b=20 mm olduğunda Sx gerilmesinin değişimi şekil 5.20.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik boyunca, kalınlık artarken Sx gerilmesi azalmıştır. Bu azalma t, 3 mm'den 5 mm'ye artarken 12 MPa, 5 mm'den 6 mm'ye geçerken ise yaklaşık 25 MPa'dır.

$\alpha=75^\circ$ ve b=20 mm olduğunda Sx gerilmesinin değişimi şekil 5.20. ve şekil 5.21.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik boyunca, kalınlık artarken Sx gerilmesi azalmıştır. Her kalınlık artışında gerilmeler yaklaşık 3 MPa azalmıştır. Hâlbuki şekil 5.20. ve şekil 5.21.'de azalma miktarları daha fazla olmuştur.

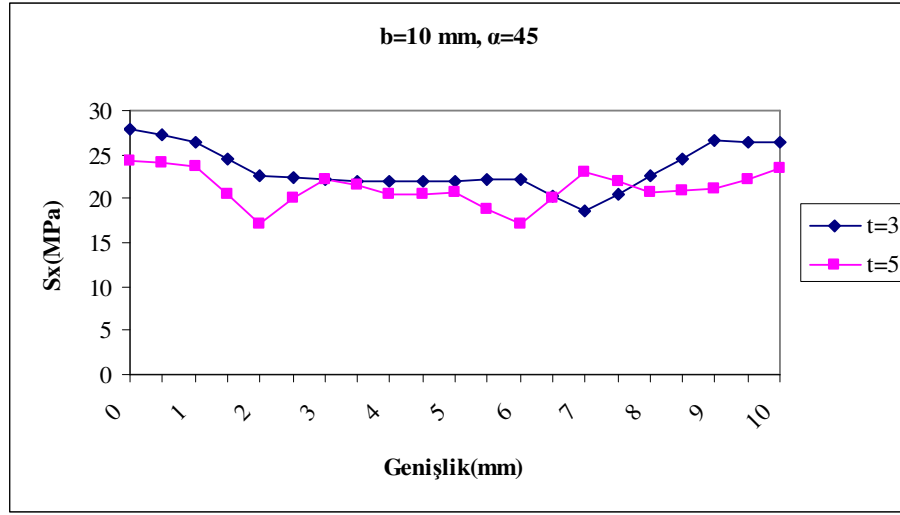


Şekil 5.22. b=20 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=7,8,9)

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$\alpha=45^\circ$ ve b=10 mm olduğunda Sx gerilmesinin değişimi şekil 5.23.'te gösterilmiştir. Genişlik boyunca, kalınlık artarken genelde Sx gerilmesi azalmıştır. Ancak genişliğin 7-7.5

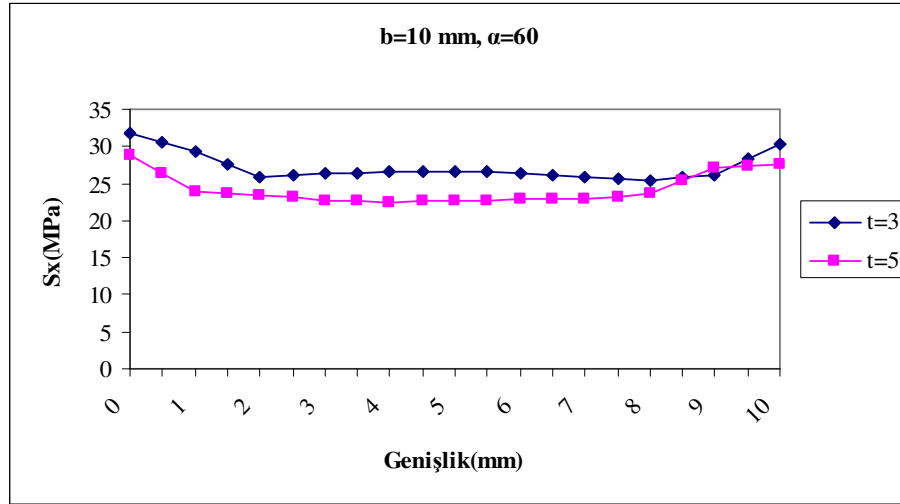
mm'si arasında ise artmıştır.



Şekil 5.23. b=10 mm ve α=45° olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=28,29)

α=60° ve b=10 mm olduğunda Sx gerilmesinin değişimi şekil 5.24.'te gösterilmiştir. Genişlik boyunca, kalınlık artarken genelde Sx gerilmesi azalmıştır.

α=75° ve b=10 mm olduğunda Sx gerilmesinin değişimi şekil 5.24.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik boyunca, kalınlık artarken genelde Sx gerilmesi azalmıştır. Azalma orta kısımlarda dengeli bir şekilde olmuştur.

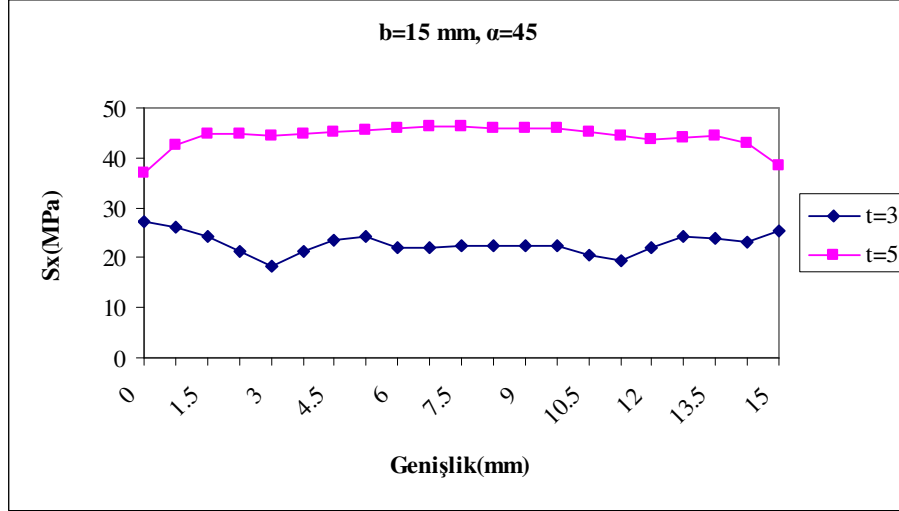


Şekil 5.24. b=10 mm ve α=60° olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=34,35)

α=45° ve b=15 mm olduğunda Sx gerilmesinin değişimi şekil 5.25.'te gösterilmiştir. Genişlik boyunca, kalınlık artarken Sx gerilmesi de artmıştır. Artış dengeli olup yaklaşık 24 MPa civarındadır.

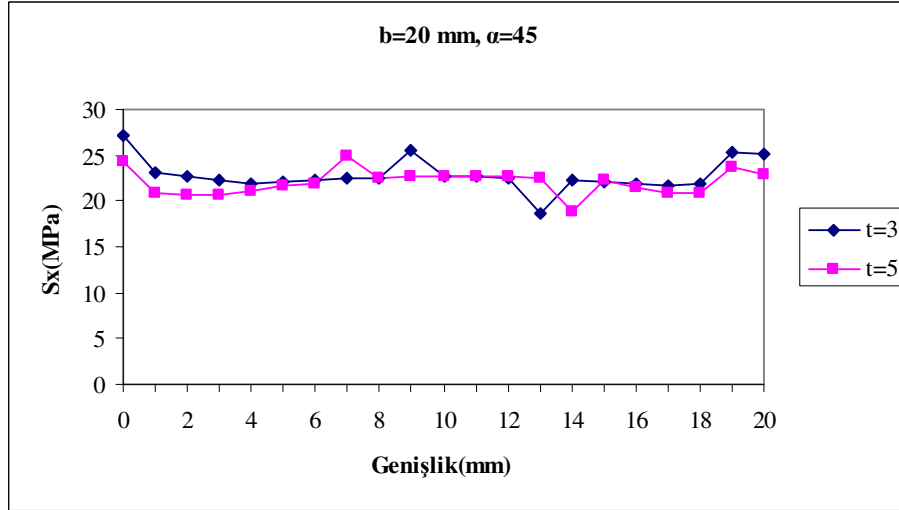
α=60° ve b=15 mm olduğunda Sx gerilmesinin değişimi şekil 5.24.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik boyunca, kalınlık artarken Sx gerilmesi azalmıştır.

$\alpha=75^\circ$ ve $b=15$ mm olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.24.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik boyunca, kalınlık artarken genelde S_x gerilmesi azalmıştır. Azalma orta kısımlarda dengeli olup kenarlarda ise daha fazla olmuştur.



Şekil 5.25. $b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=30,31)

$\alpha=45^\circ$ ve $b=20$ mm olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.26.'da gösterilmiştir. Genişlik boyunca, kalınlık artarken genelde S_x gerilmeleri azalmıştır. Genişliğin 13. mm civarında artış göstermiştir. Bu durum yapıştırıcı maddesinin düzgün dağıtılmamasından kaynaklanmış olabilir.



Şekil 5.26. $b=20$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=32,33)

$\alpha=60^\circ$ ve $b=20$ mm olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.24.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik boyunca, kalınlık artarken S_x gerilmeleri azalmıştır. Genişliğin 19. mm civarında artış göstermektedir.

$\alpha=75^\circ$ ve $b=20$ mm olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.24.'e benzediği için

burada gösterilmemiştir. Genişlik boyunca, kalınlık artarken S_x gerilmeleri azalmıştır. Bu grafikte tek farkı genişliğin başlangıç ve bitiş noktalarında azalma daha fazla olmuştur.

5.3.1.8 S_y Gerilmelerinin Karşılaştırılması

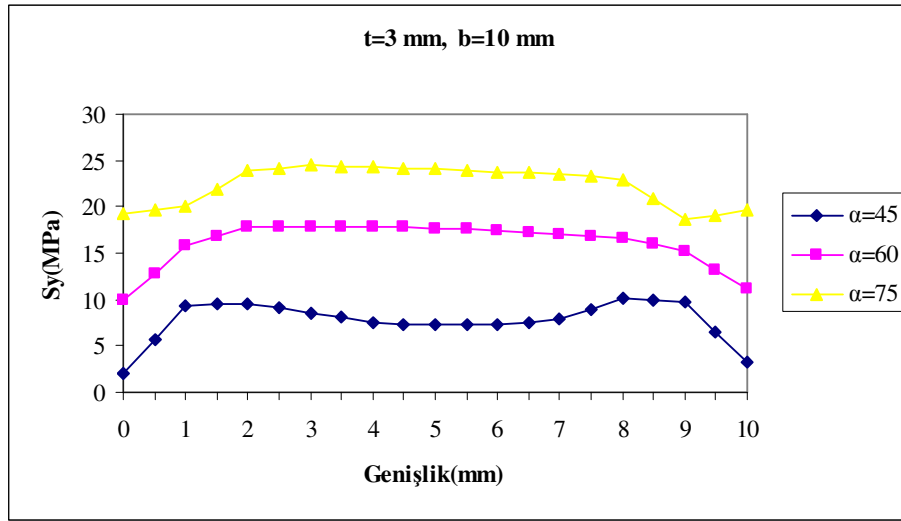
- α 'ya Göre S_y Gerilmelerinin İncelenmesi

Burada grafikler çizilirken x eksenini b (genişlik), y eksenini ise S_y gerilmesi alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.27.'de gösterilmiştir.

Genişlik boyunca, α açısı artarken S_y gerilmeleri de artmıştır.

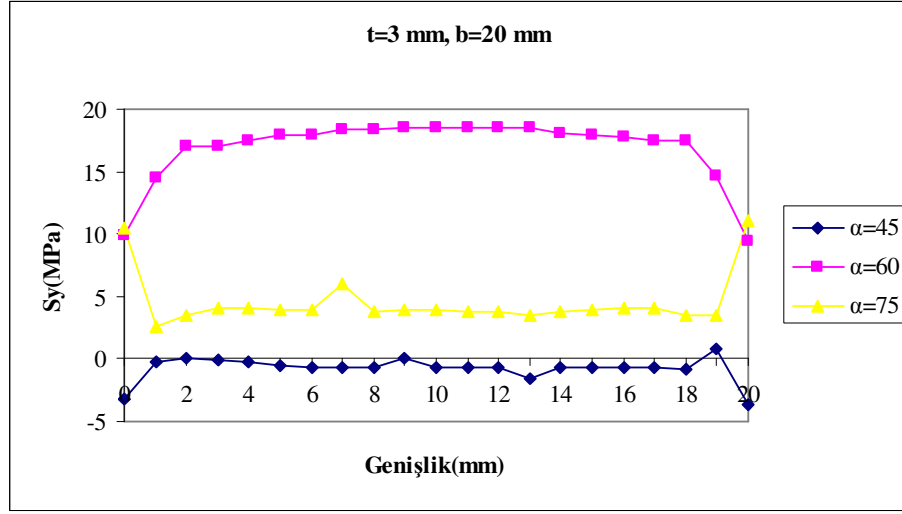


Şekil 5.27. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=1,10,19)

$t=3$ mm ve $b=15$ mm olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.27.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik boyunca, α açısı artarken S_y gerilmeleri de artmıştır.

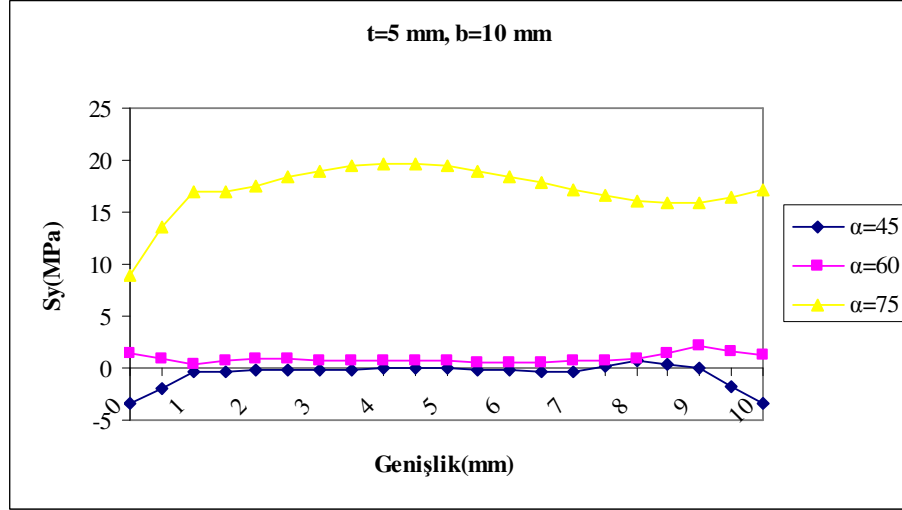
$t=3$ mm ve $b=20$ mm olduğunda S_y gerilmesinin göre değişimi şekil 5.28.'de gösterilmiştir. Genişlik boyunca, α açısı 45° 'den 60° 'ye artarken S_y gerilmeleri yaklaşık 20 MPa artmıştır. 60° 'den 75° 'ye artarken kenarlar hariç S_y gerilmeleri yaklaşık 14 MPa azalmıştır.

$t=5$ mm ve $b=10$ mm olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.29.'da gösterilmiştir. α açısı artarken S_y gerilmeleri de artmıştır.



Şekil 5.28. t=3 mm ve b=20 mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=7,16,25)

t=5 mm ve b=15 mm olduğunda Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.30.'da gösterilmiştir. Genişlik boyunca, α açısı 45°'den 60°'ye artarken Sy gerilmeleri artmıştır. Açı, 60°'den 75°'ye artarken ise yaklaşık 13 MPa azalmıştır.



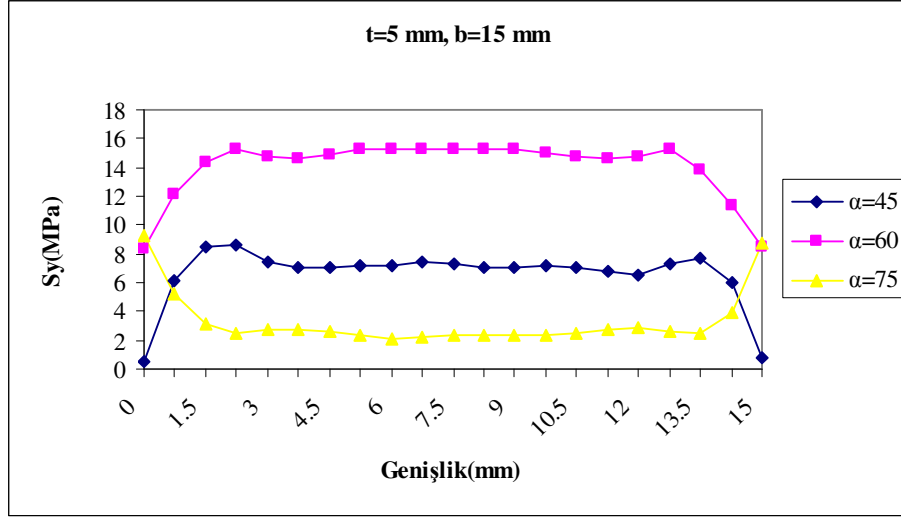
Şekil 5.29. t=5 mm ve b=10 mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=2,11,20)

t=5 mm ve b=20 mm olduğunda Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.30.'a benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik boyunca, α açısı 45°'den 60°'ye artarken Sy gerilmeleri artmıştır. Açı, 60°'den 75°'ye artarken ise yaklaşık 8 MPa azalmıştır.

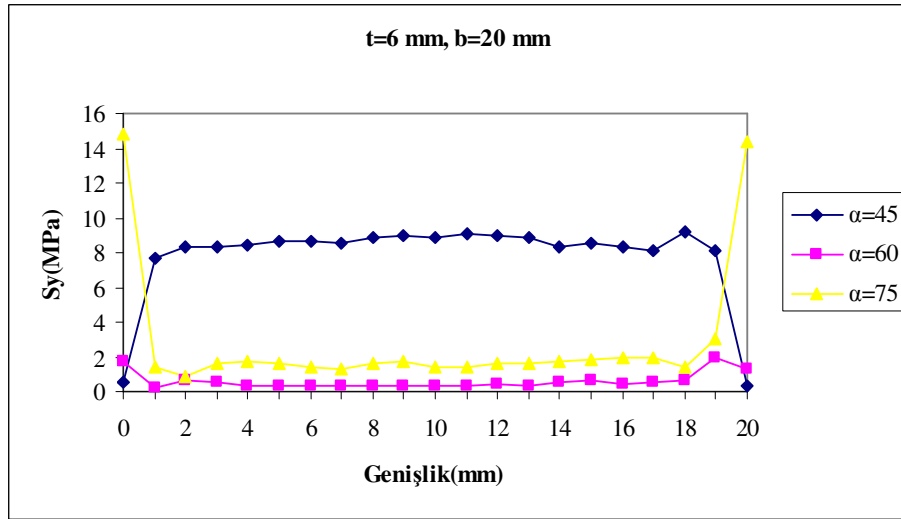
t=6 mm ve b=10 mm olduğunda Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.30.'a benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik boyunca, α açısı 45°'den 60°'ye artarken Sy gerilmeleri artmıştır. Açı, 60°'den 75°'ye artarken ise yaklaşık 26 MPa azalmıştır.

t=6 mm ve b=15 mm olduğunda Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.28.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. α açısı 45°'den 60°'ye artarken Sy gerilmeleri yaklaşık 15 MPa

artmıştır. Açı, 75°'ye artarken ise yaklaşık 13 MPa azalmıştır.



Şekil 5.30. t=5 mm ve b=15 mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=5,14,23)

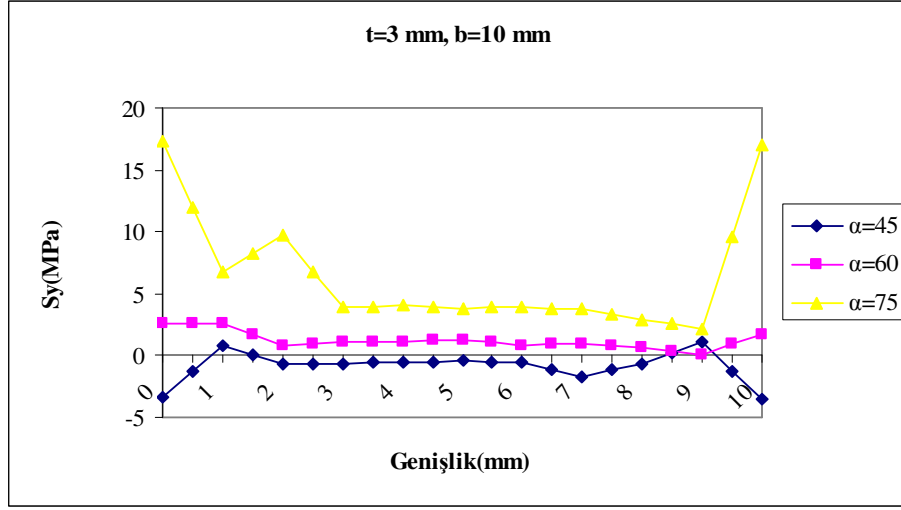


Şekil 5.31. t=6 mm ve b=20 mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=9,18,27)

t=6 mm ve b=20 mm olduğunda Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.31.'de gösterilmiştir. Genişlik boyunca, α açısı 45°'den 60°'ye artarken Sy gerilmeleri azalmıştır. Açı, 60°'den 75°'ye artarken ise yaklaşık 1 MPa'lık bir artış göstermiştir.

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

t=3 mm ve b=10 mm olduğunda Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.32.'de gösterilmiştir. Genişlik boyunca, α açısı artarken Sy gerilmesi de artmıştır. Artış kenarlarda daha fazla olmuştur.



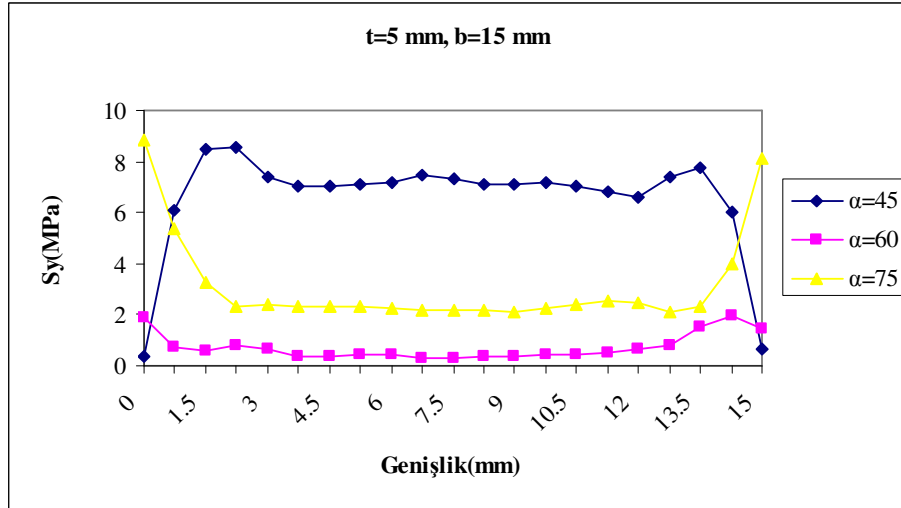
Şekil 5.32. t=3 mm ve b=10 mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=28,34,40)

t=3 mm ve b=15 mm olduğunda Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.32.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. α açısı arttıkça gerilme kenarlarda daha fazla olmak üzere artmıştır.

t=3 mm ve b=20 mm olduğunda Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.32.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik boyunca, α açısı artarken Sy gerilmesi de artmıştır.

t=5 mm ve b=10 mm olduğunda Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.32.'ye benzer olup genişlik boyunca, α açısı artarken Sy gerilmesi de artmıştır.

t=5 mm ve b=15 mm olduğunda Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.33.'te gösterilmiştir. Genişlik boyunca, α açısı 45°'den 60°'ye artarken Sy gerilmesi yaklaşık 7 MPa azalmıştır. 60°'den 75°'ye artarken ise yaklaşık 2 MPa'lık artış göstermiştir.



Şekil 5.33. t=5 mm ve b=15 mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=31,37,43)

t=5 mm ve b=20 mm olduğunda Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.32.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik boyunca, α açısı arttıkça Sy gerilmeleri de artmıştır. Artışlar

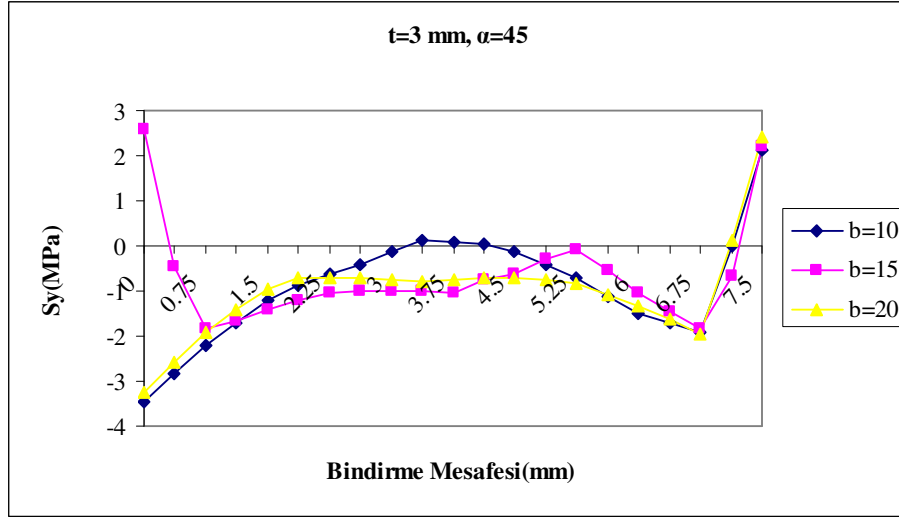
şekil 5.32.'deki gibi kenarlarda daha fazla olmuştur.

- **b'ye Göre Sy Gerilmelerinin İncelenmesi**

Burada grafikler çizilirken x eksenini, a(bindirme mesafesi) y eksenini ise Sy alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

t=3 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.34.'te gösterilmiştir. Genişlik değeri 10 mm'den 15 mm'ye artarken Sy orta noktaya kadar azalmış, daha sonra da artmıştır. 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise değerler birbirlerine yakın çıkmıştır.



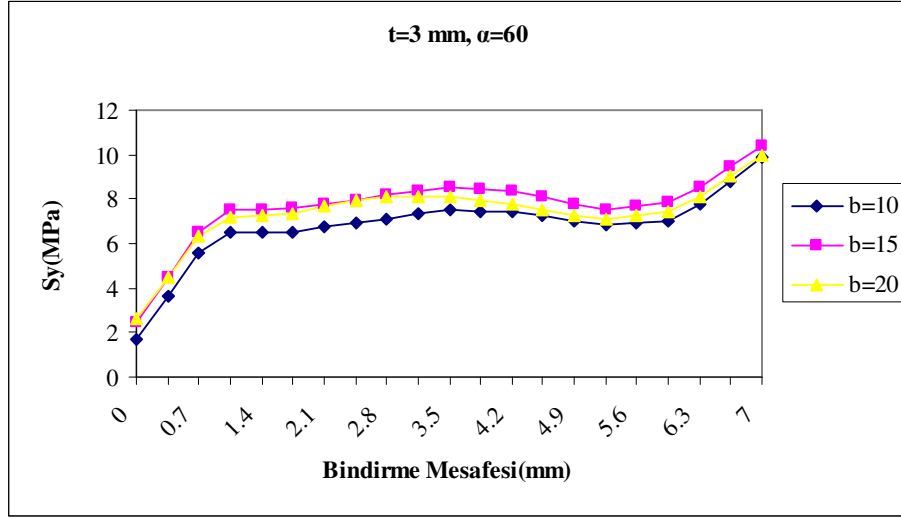
Şekil 5.34. t=3 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=1,4,7)

t=3 mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.35.'te gösterilmiştir. Genişlik değeri 10 mm'den 15 mm'ye artarken Sy gerilmesi artmıştır. Ancak genişlik 15 mm'den 20 mm'ye artarken gerilme yaklaşık 1 MPa azalmıştır.

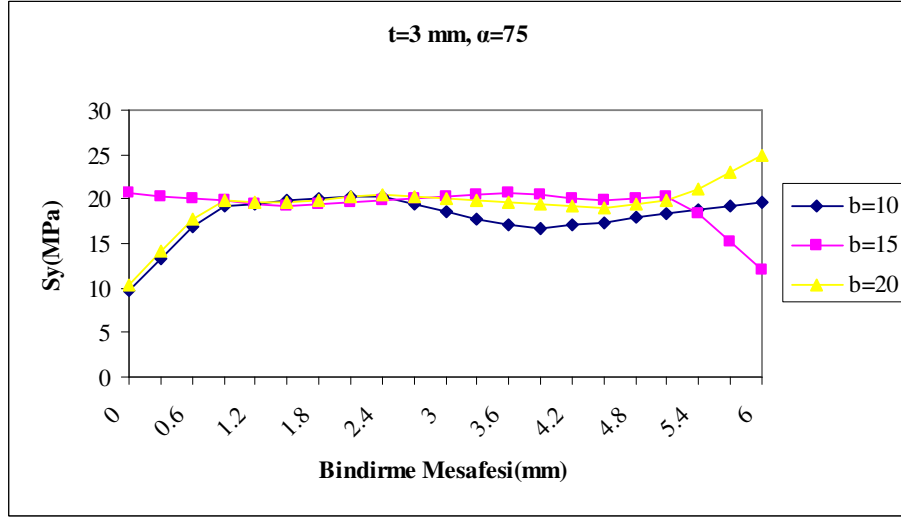
t=3 mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.36.'da gösterilmiştir. b, 10 mm'den 15 mm'ye artarken Sy gerilmesi 5.5-6 mm'leri dışında artmıştır. Ancak genişlik 15 mm'den 20 mm'ye artarken Sy sol tarafta azalırken sağ tarafta artmıştır.

t=5 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.34.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik arttıkça Sy gerilmesi de artmıştır. Artış ortada daha fazladır.

t=5 mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.37.'de gösterilmiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye arttıkça Sy gerilmesi de artmıştır. Genişlik 15 mm'den 20 mm'ye artarken azalma olmuştur.



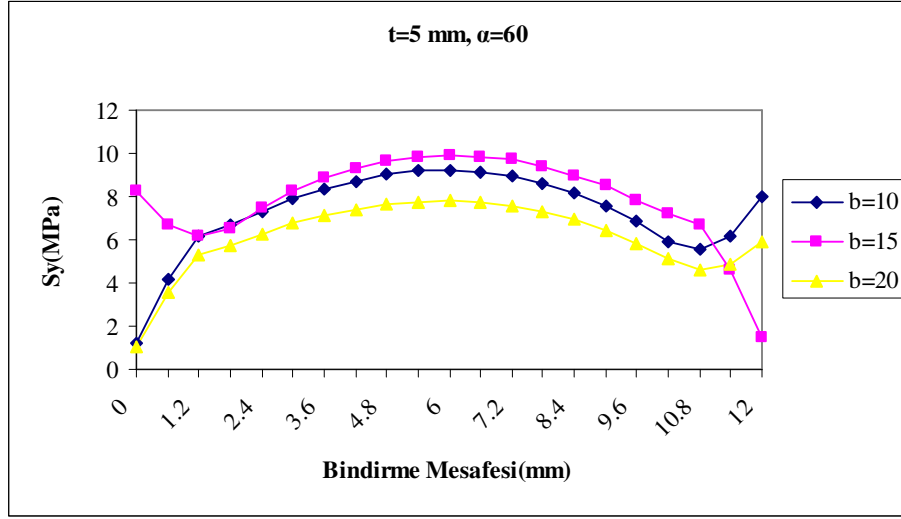
Şekil 5.35. t=3 mm ve α=45° olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=10,13,16)



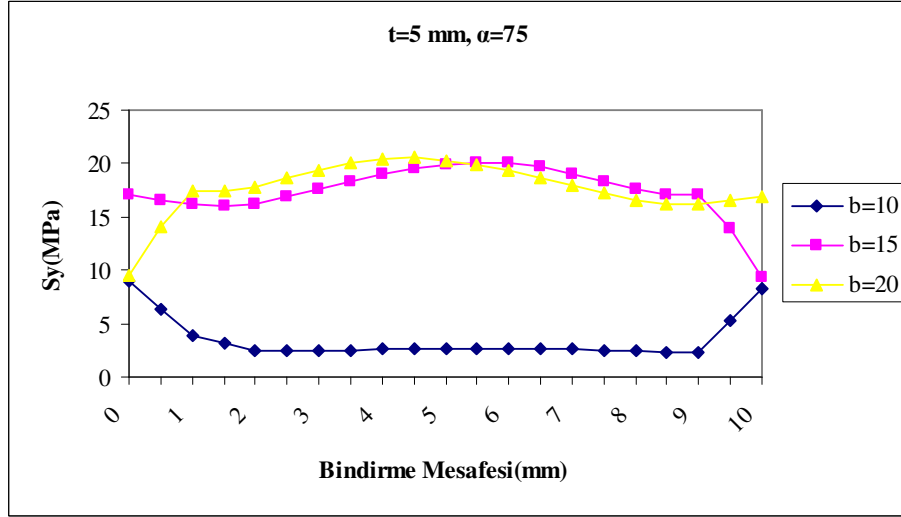
Şekil 5.36. t=3 mm ve α=75° olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=19,22,25)

t=5 mm ve α=75° olduğunda Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.38.'de gösterilmiştir. Genişlik arttıkça Sy gerilmesi de artmıştır. b, 10'mm'den 15 mm'ye artarken Sy yaklaşık 15 MPa artmıştır.

t=6 mm ve α=45° olduğunda Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.34.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye arttıkça Sy gerilmesi azalmıştır. 15 mm'den 20 mm'ye artarken Sy gerilmesinde çok küçük bir artış olmuştur. Şekil 5.34.'e göre bindirme mesafesinin orta bölümünde gerilme değerleri daha büyüktür.



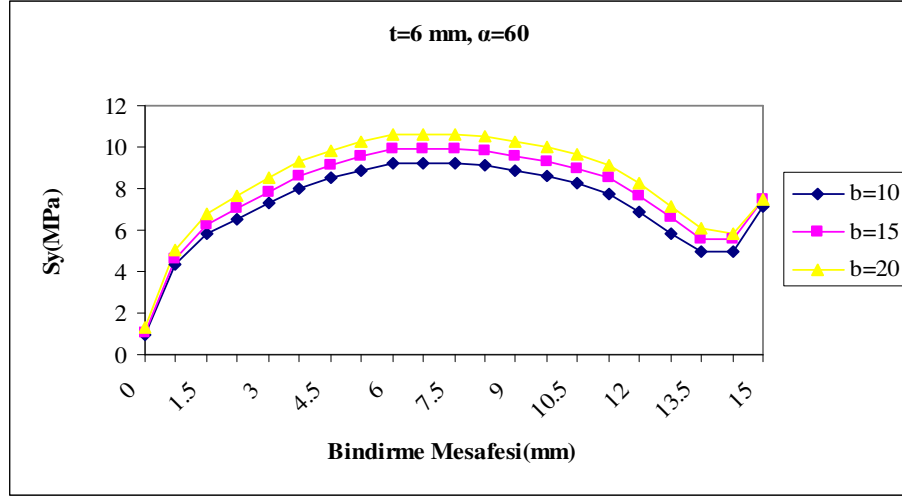
Şekil 5.37. $t=5$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=11,14,17)



Şekil 5.38. $t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=20,23,26)

$t=6$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.39.'da gösterilmiştir. Genişlik arttıkça S_y gerilmesi orta kısımda daha fazla olmak üzere artmıştır.

$t=6$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.39.'a benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik arttıkça S_y gerilmesi de çok düzgün bir biçimde artmıştır.

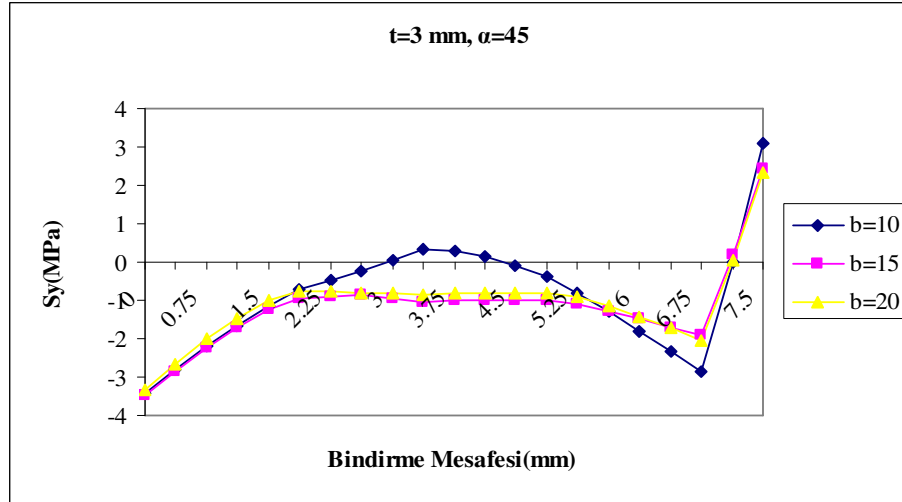


Şekil 5.39. $t=6$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=12,15,18)

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.40.'ta gösterilmiştir. Genişlik arttıkça S_y gerilmesi azalmıştır.

$t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.41.'de gösterilmiştir. Genişlik arttıkça S_y gerilmesi de düzgün bir biçimde artmıştır.

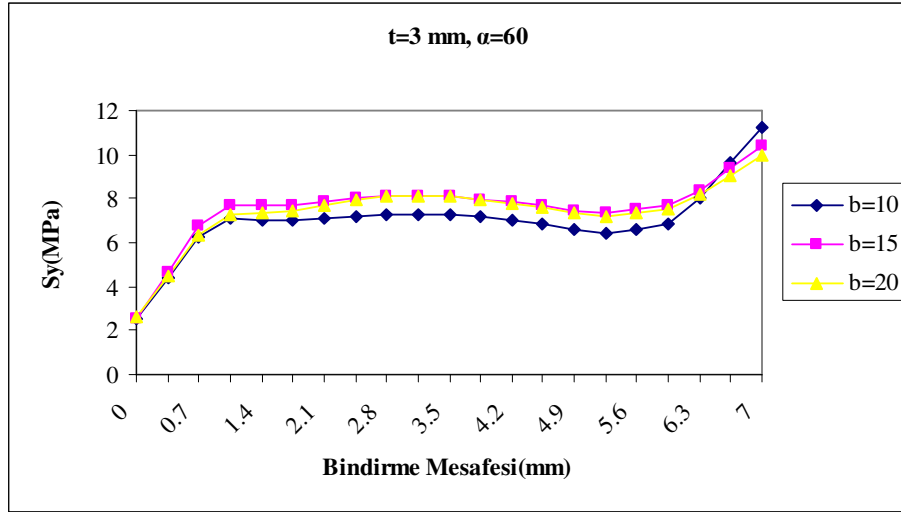


Şekil 5.40. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=28,30,32)

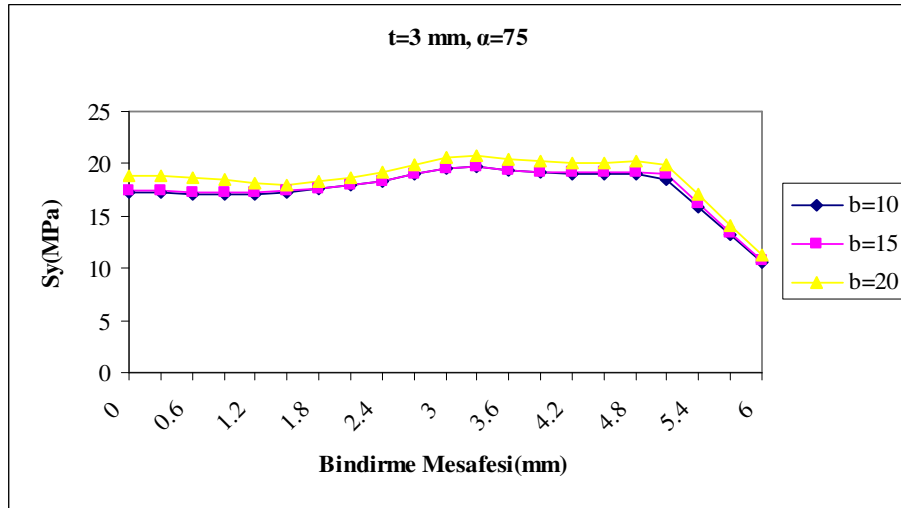
$t=3$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.42.'de gösterilmiştir. Genişlik arttıkça S_y gerilmeleri de artmıştır.

$t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.40.'a benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik arttıkça S_y gerilmesi de düzgün bir biçimde artmıştır. $t=5$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.41.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik arttıkça S_y gerilmesi de düzgün bir biçimde artmıştır. Artış miktarı

şekil 5.41.'e göre daha fazla olmuştur.



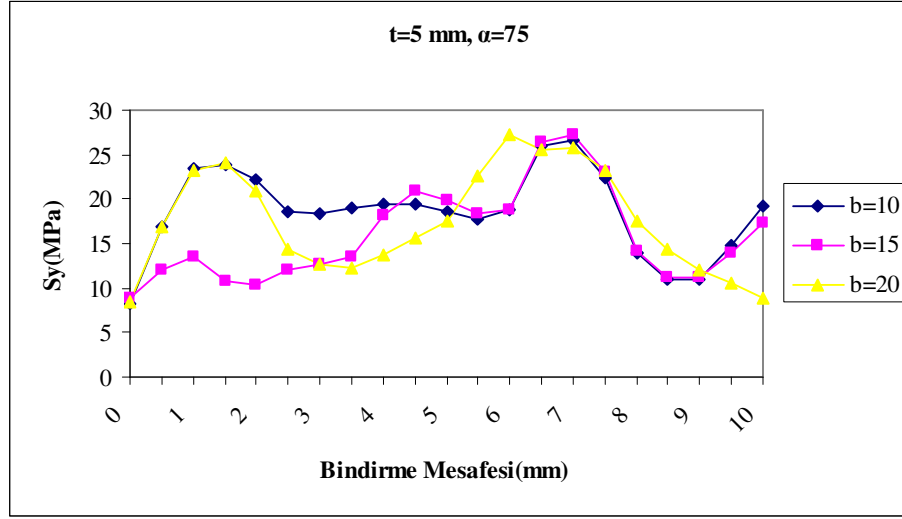
Şekil 5.41. t=3 mm ve α=60° olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=34,36,38)



Şekil 5.42. t=3 mm ve α=75° olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=40,42,44)

t=5 mm ve α=75° olduğunda Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.43.'te gösterilmiştir.

Bindirme mesafesinin ortasına kadar genişlik arttıkça Sy gerilmesi azalmış sonra ise artmıştır.



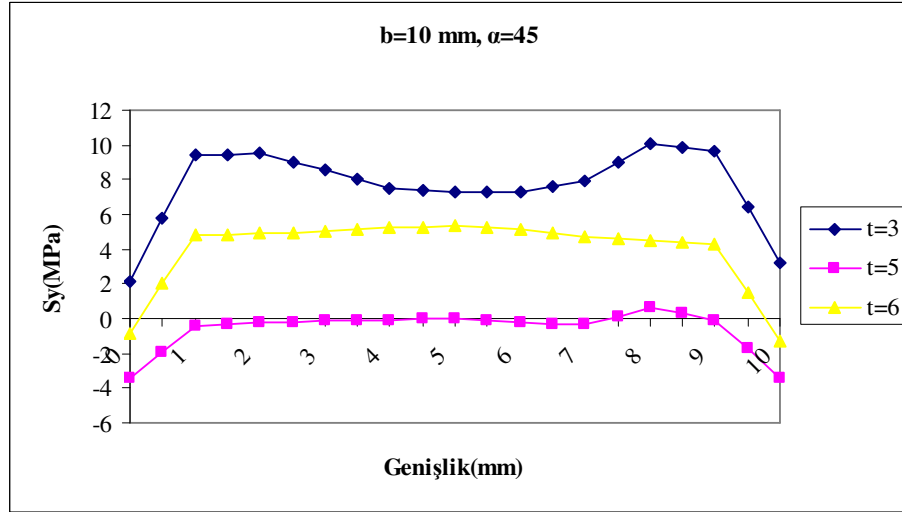
Şekil 5.43. $t=5 \text{ mm}$ ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=41,43,45)

- **t'ye Göre Sy Gerilmelerinin İncelenmesi**

Burada grafikler çizilirken x eksenı b (genişlik), y eksenı ise S_y alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

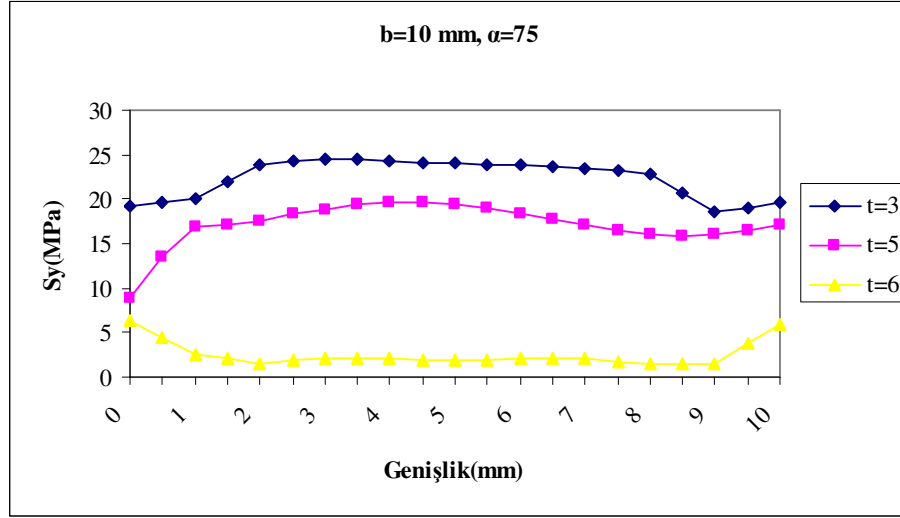
$b=10 \text{ mm}$ ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.44.'te gösterilmiştir. Kalınlık(t) 3 mm 'den 5 mm 'ye kadar artarken S_y gerilmesi azalmış, 5 mm 'den 6 mm 'ye arttığı zaman ise S_y gerilmesi artmıştır.



Şekil 5.44. $b=10 \text{ mm}$ ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=1,2,3)

$b=10 \text{ mm}$ ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.44.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık(t) 3 mm 'den 5 mm 'ye kadar artarken S_y gerilmesi azalmış fakat 5 mm 'den 6 mm 'ye arttığı zaman ise S_y gerilmesi artmıştır.

$b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.45.'te gösterilmiştir. Kalınlık(t) arttıkça S_y gerilmesi azalmıştır.



Şekil 5.45. $b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=19,20,21)

$b=15$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.45.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık(t), 3 mm'den 5 mm'ye kadar artarken S_y gerilmesi genişliğin orta kısmı dışında azalmıştır. Kalınlık, 5 mm'den 6 mm'ye arttığı zaman ise S_y gerilmesi yaklaşık 8 MPa azalmıştır. Sadece orta kısımda küçük bir artış görülmektedir.

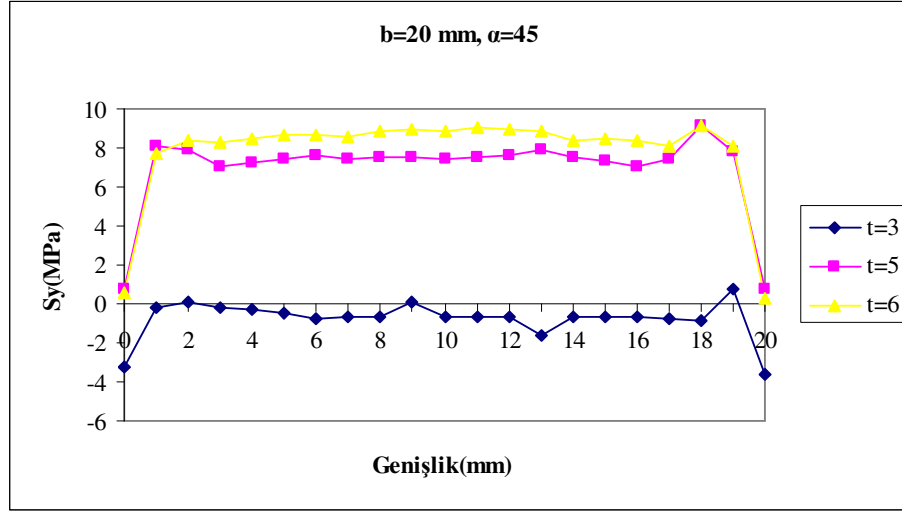
$b=15$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.45.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık(t), artarken S_y gerilmesi düzgün bir şekilde azalmıştır.

$b=15$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.45.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık(t) artarken S_y gerilmesi azalmıştır. Azalma miktarı düşmüştür.

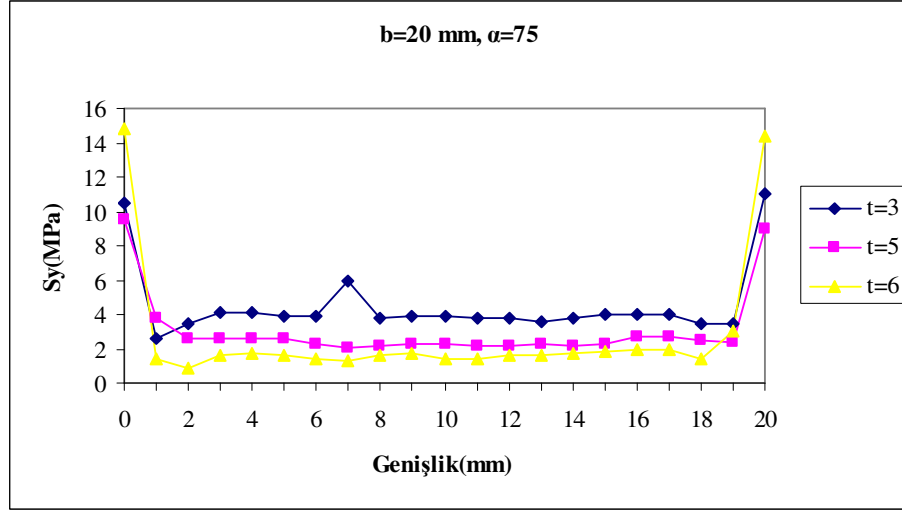
$b=20$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.46.'da gösterilmiştir. Kalınlık(t) artarken S_y gerilmesi de artmıştır.

$b=20$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.45.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık, artarken S_y gerilmesi azalmıştır. Azalma daha fazla olmuştur.

$b=20$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.47.'de gösterilmiştir. Kalınlık(t) artarken S_y gerilmesi azalmıştır. Kalınlık 6 mm iken kenarlarda S_y gerilmesi küçük bir artış göstermiştir.



Şekil 5.46. $b=20$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=7,8,9)



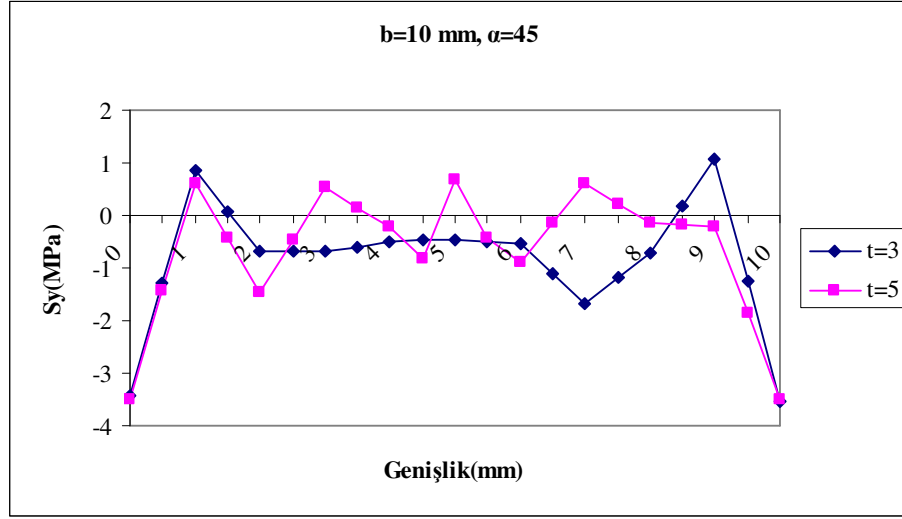
Şekil 5.47. $b=20$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=25,26,27)

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

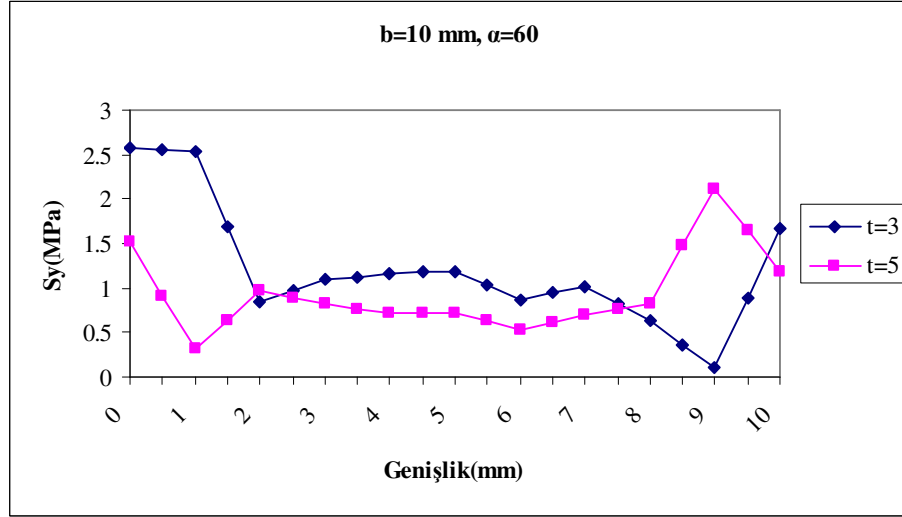
$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.48.'de gösterilmiştir. Kalınlık(t) 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_y gerilmesi zikzak çizerek artmıştır. Genişliğin 9 mm olduğu bölümde ise gerilme azalmıştır.

$b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.49.'da gösterilmiştir. Kalınlık(t) 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_y gerilmesi genişliğin bir tarafında artarken öbür tarafında ise azalmıştır. Orta kısımda ise yaklaşık 1 MPa'lık azalma olmuştur.

$b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.49.'a benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_y gerilmesi azalmıştır.



Şekil 5.48. b=10 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=28,29)

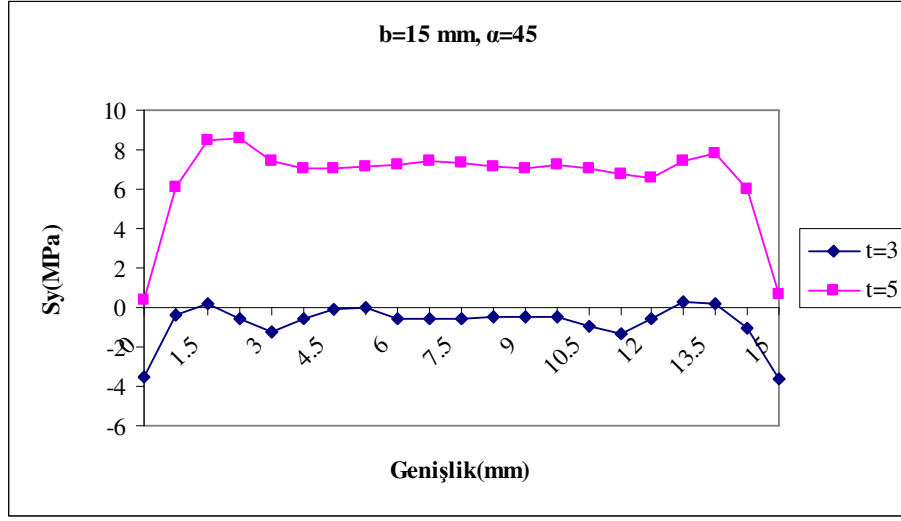


Şekil 5.49. b=10 mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=34,35)

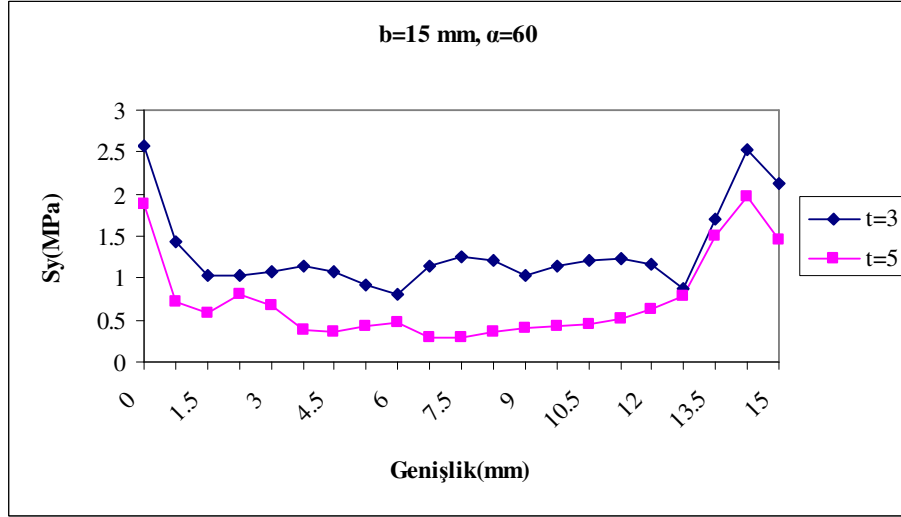
b=15 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.50.'de gösterilmiştir. Kalınlık(t) 3 mm'den 5 mm'ye artarken Sy gerilmesi de artmıştır. Artış kenarlarda fazladır.

b=15 mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.51.'de gösterilmiştir. Kalınlık(t) 3 mm'den 5 mm'ye artarken Sy gerilmesi zikzak çizerek azalmıştır.

b=15 mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.51.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık(t) 3 mm'den 5 mm'ye artarken Sy gerilmesi azalmıştır. Azalma kenarlarda daha fazla olmuştur. t=3 mm iken gerilme dağılımı zikzaksız bir biçimdedir. Gerilme değerleri ise daha yüksektir.



Şekil 5.50. $b=15$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=30,31)

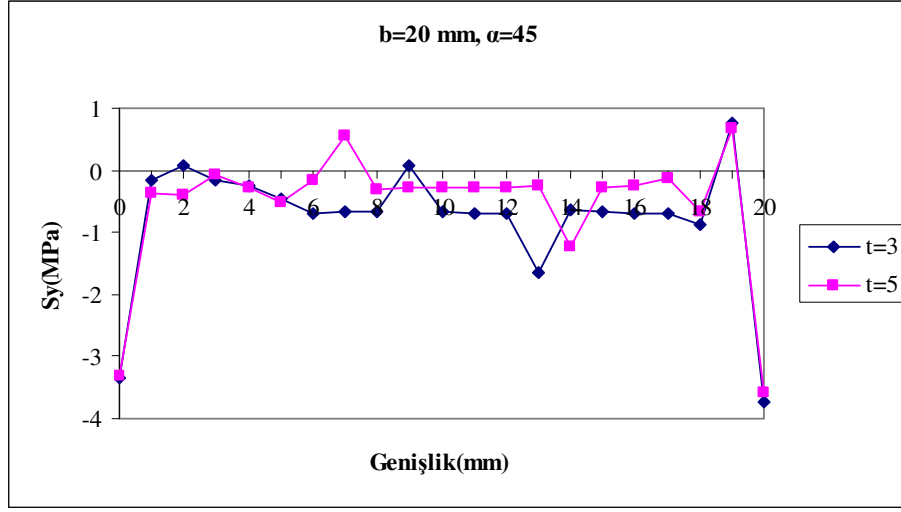


Şekil 5.51. $b=15$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=36,37)

$b=20$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.52.'de gösterilmiştir. t , 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_y gerilmesi artmıştır. Genişliğin 2. ve 9. mm'lerde azalmıştır.

$b=20$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.51.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık(t) 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_y gerilmesi azalmıştır. Ancak genişliğin 2.mm ve 18-19. mm'leri arasında ise artmıştır. Gerilme değerleri birbirine yakındır.

$b=20$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.49.'a benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık artarken S_y gerilmesi azalmıştır. Ancak genişliğin 1. ve 19. mm'lerde ise artmıştır. Gerilme değerleri 3-5 MPa arasındadır.



Şekil 5.52. b=20 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=32,33)

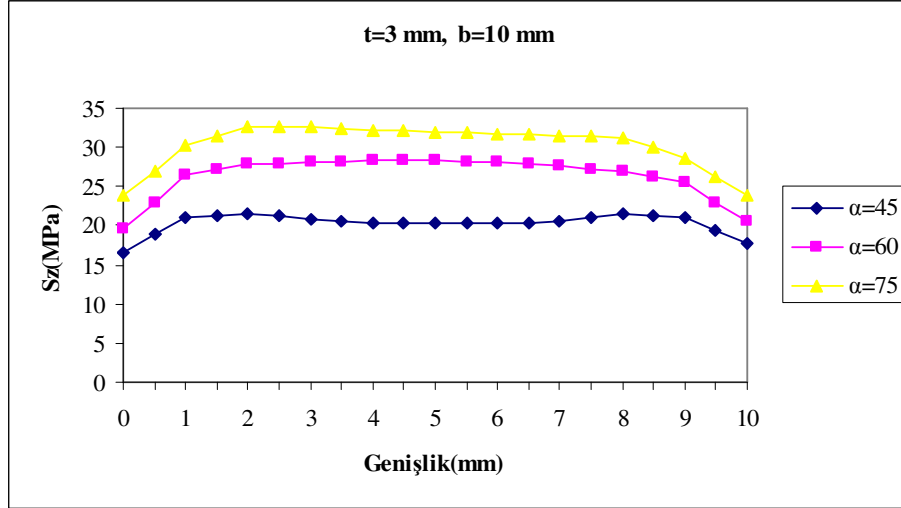
5.3.1.9 Sz Gerilmelerinin Karşılaştırılması

- α 'ya Göre Sz Gerilmelerinin İncelenmesi

Burada grafikler çizilirken x eksenini b(genişlik), y eksenini ise Sz alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

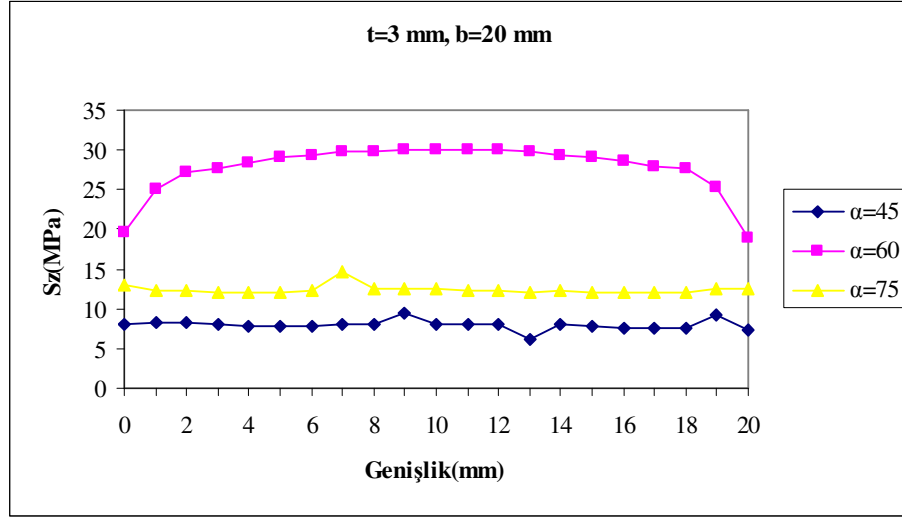
t=3 mm ve b=10 olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.53.'te gösterilmiştir. Açı(α) artarken Sz gerilmesi de artmıştır.



Şekil 5.53. t=3 mm ve b=10 mm olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=1,10,19)

t=3 mm ve b=15 olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.53.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Açı(α) artarken Sz gerilmesi de artmıştır.

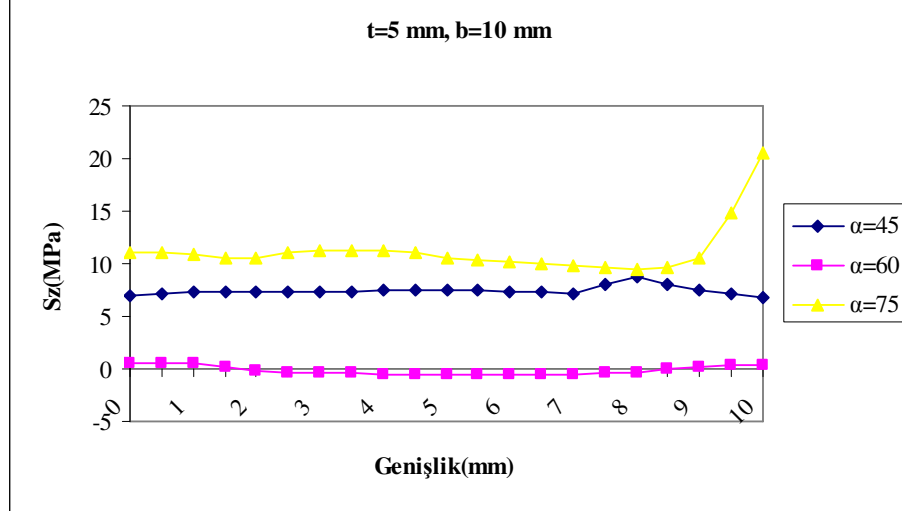
t=3 mm ve b=20 olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.54.'te gösterilmiştir. Açı 45°'den 60°'ye artarken gerilmeler de artmış, 60°'den 75°'ye artarken Sz gerilmesi azalmıştır.



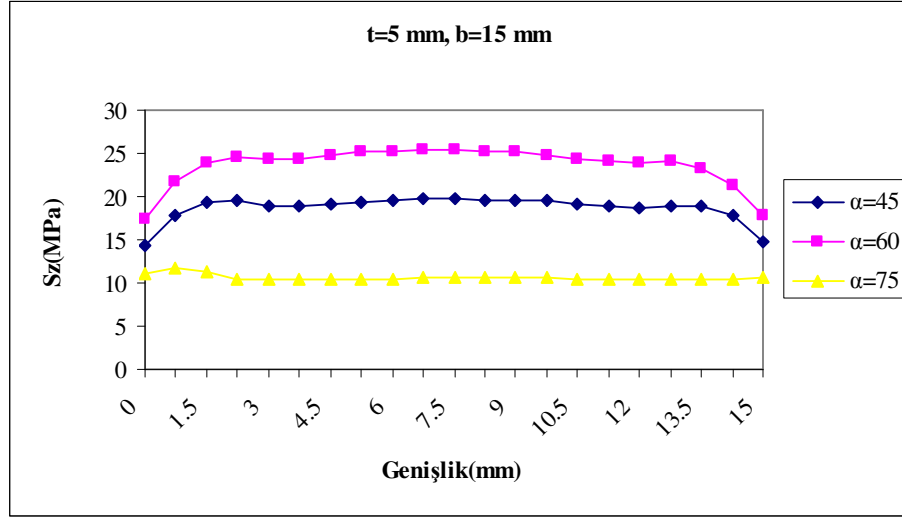
Şekil 5.54. t=3 mm ve b=20 mm olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=7,16,25)

t=5 mm ve b=10 olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.55.'te gösterilmiştir. Açı 45°'den 60°'ye artarken gerilmeler azalmıştır. 60°'den 75°'ye artarken ise Sz gerilmesi artmıştır. Şekil 5.54. ile ters bir durum mevcuttur.

t=5 mm ve b=15 olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.56.'da gösterilmiştir. Açı 45°'den 60°'ye artarken Sz gerilmeleri artmıştır. 60°'den 75°'ye artarken ise gerilme azalmıştır.



Şekil 5.55. t=5 mm ve b=10 mm olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=2,11,20)

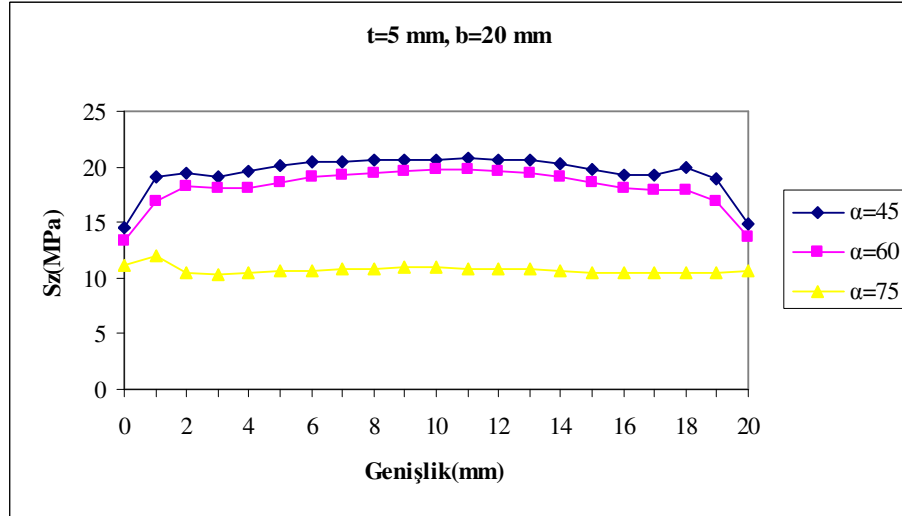


Şekil 5.56. t=5 mm ve b=15 mm olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=5,14,23)

t=5 mm ve b=20 olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.57.'de gösterilmiştir. Açı artarken Sz gerilmeleri azalmıştır.

t=6 mm ve b=10 olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.56.'ya benzediği için burada gösterilmemiştir. Açı 45°'den 60°'ye artarken Sz gerilmeleri artmıştır. 60°'den 75°'ye artarken de Sz gerilmesi azalmıştır. Ancak burada azalma miktarı daha fazladır.

t=6 mm ve b=15 olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.56.'ya benzediği için burada gösterilmemiştir. Açı 45°'den 60°'ye artarken Sz gerilmeleri yaklaşık 16 MPa artmıştır. 60°'den 75°'ye artarken de Sz gerilmesi yaklaşık 15 MPa azalmıştır. Ancak burada α , 45°'de Sz gerilmesi yaklaşık 8 MPa 60°'de ise yaklaşık 28 MPa elde edilmiştir.



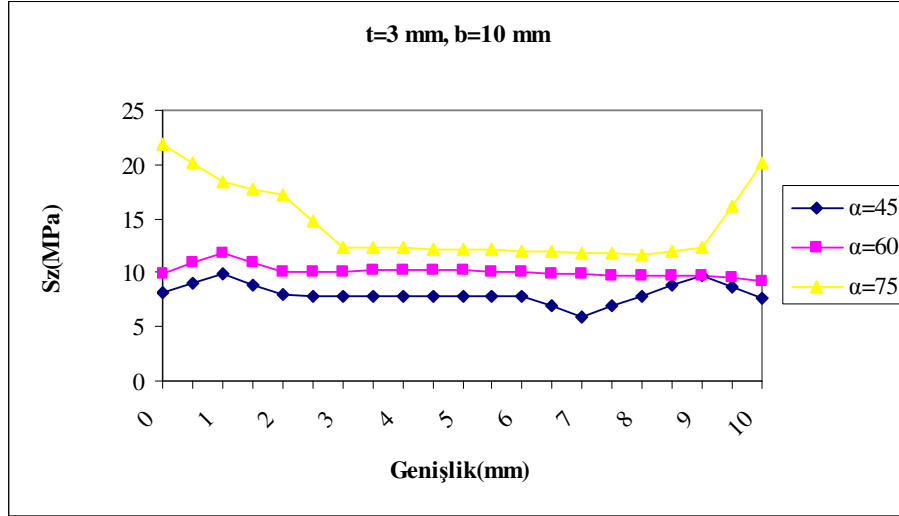
Şekil 5.57. t=5 mm ve b=15 mm olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=8,17,26)

t=6 mm ve b=20 olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.54.'e benzediği için burada

gösterilmemiştir. Açı 45°'den 60°'ye artarken Sz gerilmeleri yaklaşık 12 MPa azalmıştır. 60°'den 75°'ye artarken ise Sz gerilmesi kenarlar dışında pek değişmemiştir. Burada α , 60° ve 75° olduğunda Sz gerilmeleri kenarlar dışında birbirlerine çok yakın elde edilmiştir.

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$t=3$ mm ve $b=10$ olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.58.'de gösterilmiştir. Açı artarken Sz gerilmeleri artmıştır. α , 60°'den 75°'ye artarken kenarlarda daha fazla artmıştır.



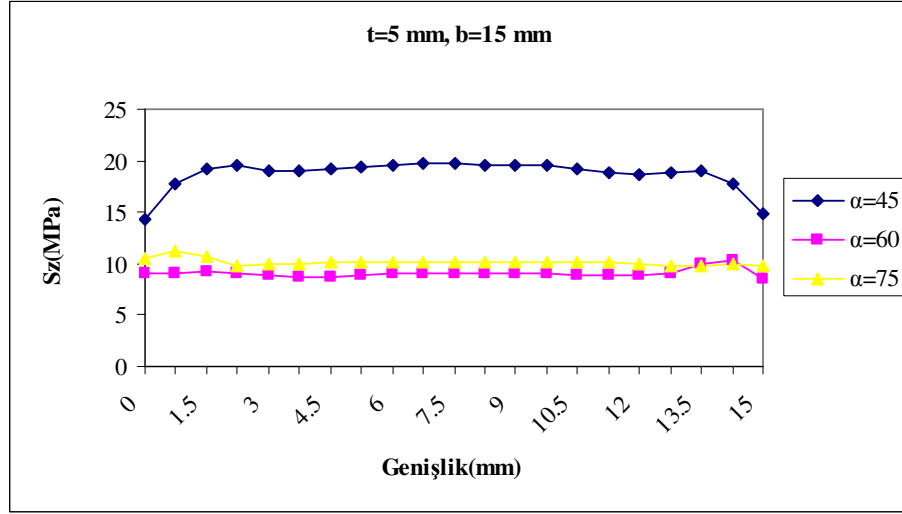
Şekil 5.58. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=28,34,40)

$t=3$ mm ve $b=15$ olduğunda ve 3 mm ve $b=20$ olduğunda açı değerleri arttıkça Sz gerilmeleri de artmaktadır. Bu artışlar şekil 5.58.'e benzemektedir. Ayrıca kenarlardaki artışlar da birbirine benzemektedir. Benzerlikten dolayı bu grafikler çizilmemiştir.

$t=5$ mm ve $b=10$ olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.58.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Açı artarken Sz gerilmeleri de artmıştır. α , 60°'den 75°'ye artarken sadece 9. mm civarında Sz gerilmesi azalırken diğer bölgelerde artmıştır.

$t=5$ mm ve $b=15$ olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.59.'da gösterilmiştir. α , 45°'den 60°'ye artarken Sz gerilmeleri azalmıştır. α , 60°'den 75°'ye artarken ise Sz gerilmeleri çok küçük bir miktar artmıştır(yaklaşık 1 MPa).

$t=5$ mm ve $b=20$ olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.58.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Açı artarken Sz gerilmeleri de artmıştır. α , 60°'den 75°'ye artarken sadece 19. mm civarında Sz gerilmesi azalırken diğer bölgelerde dengeli olarak artmıştır.



Şekil 5.59. t=5 mm ve b=15 mm olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=31,37,43)

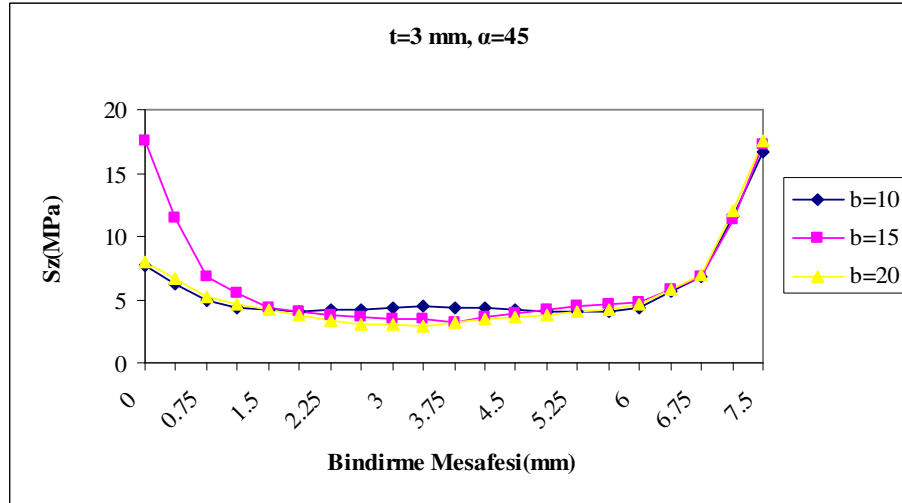
- b'ye Göre Sz Gerilmelerinin İncelenmesi**

Burada grafikler çizilirken x eksenini a(bindirme mesafesi), y eksenini ise Sz alınmıştır.

Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

t=3 mm ve α=45° olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.60.'da gösterilmiştir. Genişlik artarken Sz gerilmeleri orta kısımda azalmıştır. Kenarlarda ise artmıştır.

t=3 mm ve α=60° olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.60.'a benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik, 10 mm'den 15 mm'ye artarken Sz gerilmeleri yaklaşık 0.5 MPa artmıştır. Ancak 15 mm'den 20 mm'ye artarken yine 0.5 MPa'lık azalma görülmüştür.



Şekil 5.60. t=3 mm ve α=45° olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=1,4,7)

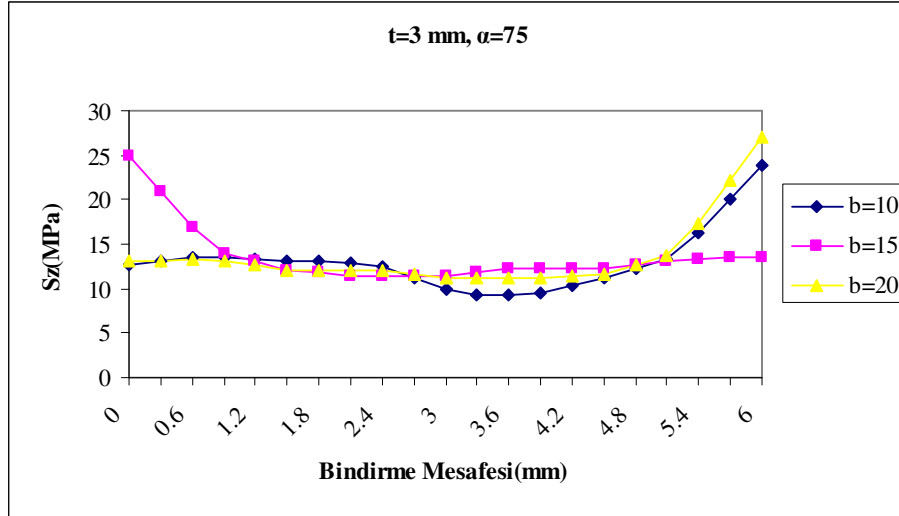
t=3 mm ve α=75° olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.61.'de gösterilmiştir. b(genişlik) 10 mm'den 15 mm'ye artarken Sz gerilmeleri kenarlarda artarken ortada ise

azalmıştır. Genişlik 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise bindirme mesafesinin 5. mm'de sabit bir şekilde devam etmiştir. Bu noktadan sonra ise artmıştır.

$t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.61.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. b (genişlik) 10 mm'den sonra kenarlar dışında çok küçük bir azalma göstermiştir. Ancak 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise bindirme mesafesinin 2. mm'si dışında hemen hemen sabit bir şekilde devam etmiştir.

$t=5$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.62.'de gösterilmiştir. b (genişlik) 10 mm'den 15 mm'ye geçerken kenarlar dışında azalmıştır. Aynı şekilde 15 mm'den 20 mm'ye geçerken de S_z gerilmesi azalmıştır.

$t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.62.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik artarken kenarlar dışında hemen hemen değişmemektedir. Kenarlarda ise genişlik artınca S_z gerilmesi de artmıştır.

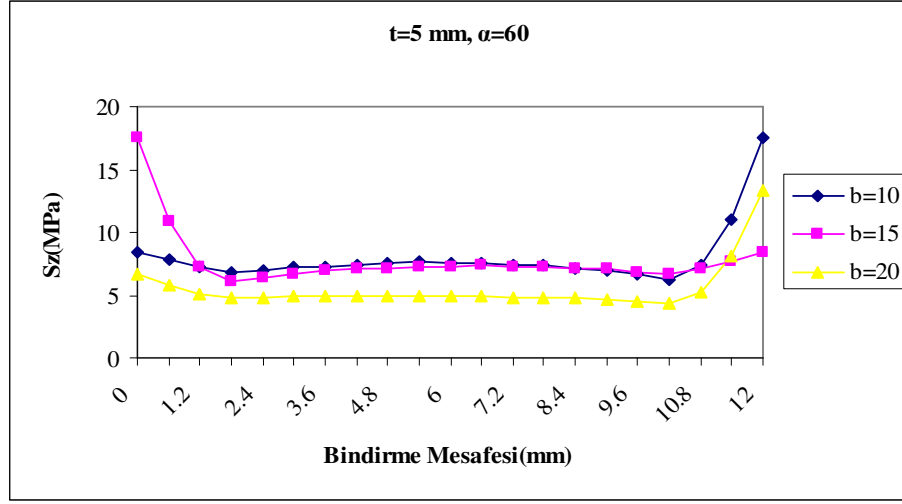


Şekil 5.61. $t=3$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=19,22,25)

$t=6$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.62.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. b (genişlik) 10 mm'den 15 mm'ye artarken orta kısımda azalmıştır. Kenarlarda ise bir tarafta azalırken diğer tarafta ise artmıştır. Aynı şekilde 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise S_z gerilmesi genelde artmıştır.

$t=6$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.62.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik artarken çok küçük oranlarda bile olsa gerilme azalmıştır.

$t=6$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.62.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye geçerken S_z gerilmeleri orta kısımda çok küçük değişimler olmuştur. Kenarlarda ise genişlik 10 mm'den 15-20 mm'ye geçerken sol tarafta azalırken sağ tarafta ise artmıştır.

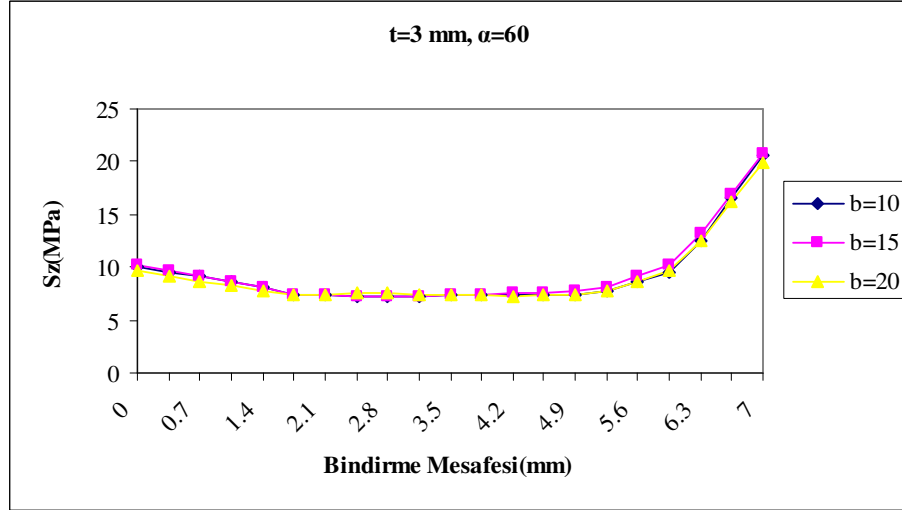


Şekil 5.62. $t=5$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=11,14,17)

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.62.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik artarken S_z gerilmeleri de azalmıştır. Özellikle orta kısımda 10 mm'den 20 mm'ye geçerken azalma daha fazla olmuştur. Değişim dar bir aralıktadır.

$t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.63.'te gösterilmiştir. Genişlik artarken S_z gerilmeleri çok küçük azalmıştır.



Şekil 5.63. $t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=34,36,38)

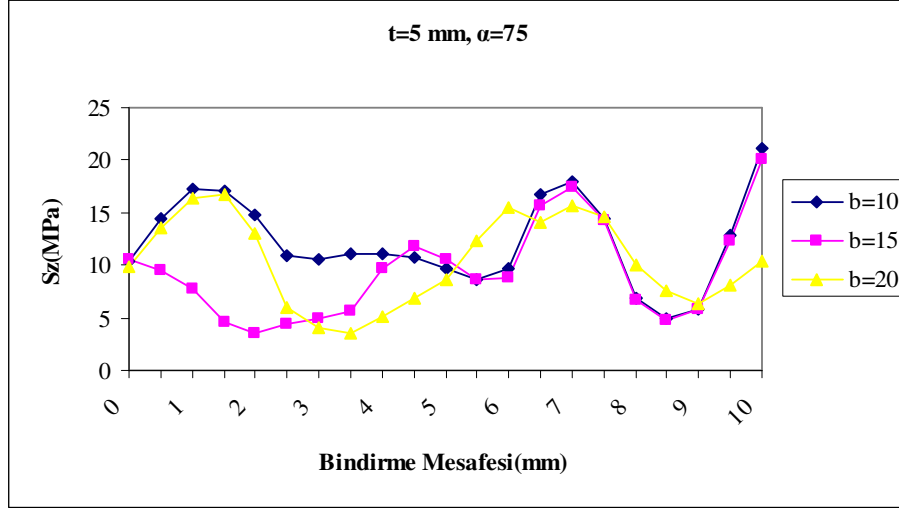
$t=3$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.63.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik artarken S_z gerilmeleri 10 mm'den 15 mm'ye artarken bir miktar azalmıştır. 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise çok küçük artışlar olmaktadır.

$t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi 5.63.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken S_z gerilmeleri azalırken, 15 mm'den

20 mm'ye artarken ise çok küçük artışlar olmaktadır.

$t=5$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi 5.63.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik artarken S_z gerilmeleri çok küçük bir miktarda azalmıştır.

$t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.64.'te gösterilmiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken bindirme mesafesinin orta noktasına kadar azalırken, bu noktadan sonra birbirine yakın seyretmektedir. 20 mm'ye geçerken ise bazı yerlerde artarken bazı yerler de azalmaktadır. Yani birçok yerde zikzak çizmektedir.



Şekil 5.64. $t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=41,43,45)

- **t 'ye Göre S_z Gerilmelerinin İncelenmesi**

Burada grafikler çizilirken x eksen b (genişlik), y eksen ise S_z alınmıştır.

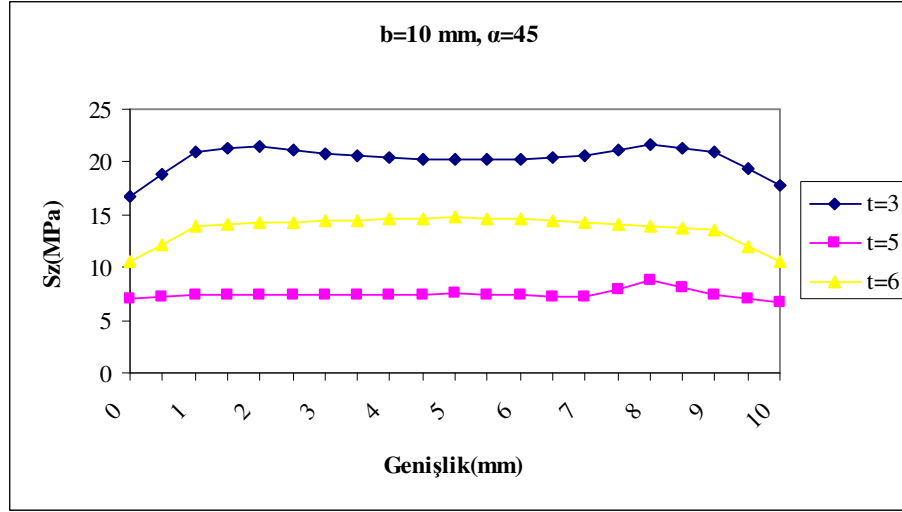
A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.65.'te gösterilmiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_z gerilmeleri de yaklaşık 13 MPa azalmıştır. 5 mm'den 6 mm'ye artarken ise yaklaşık 7 MPa'lık artış göstermiştir.

$b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.65.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Burada kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_z gerilmesi azalmıştır. Kalınlık 5 mm'den 6 mm'ye artarken ise S_z gerilmesi artmıştır.

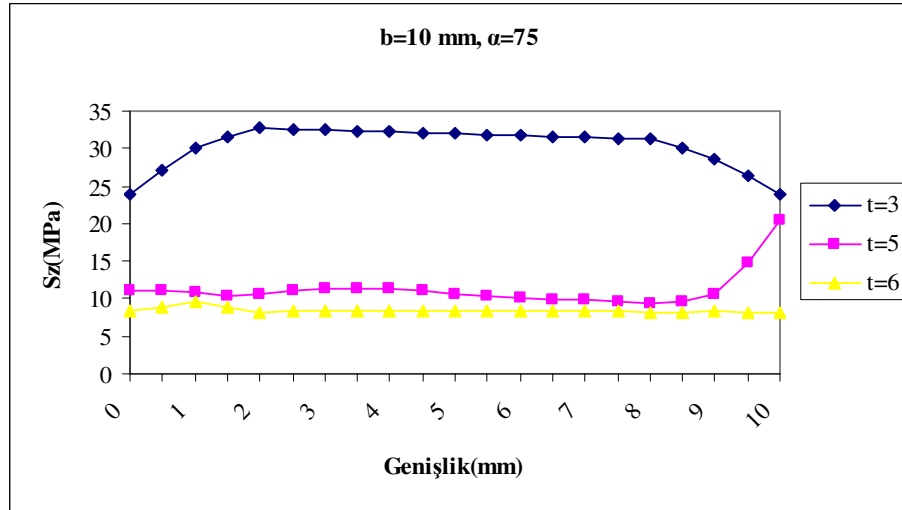
$b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.66.'da gösterilmiştir. Kalınlık artarken S_z gerilmeleri azalmıştır.

$b=15$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.66.'ya benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık artarken S_z gerilmesi azalmıştır. $t=6$ iken S_z gerilmesi genişlik boyunca adeta sabitlenmiştir.



Şekil 5.65. b=10 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=1,2,3)

b=15 mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.66.'ya benzediği için burada çizilmemiştir. Kalınlık artarken Sz gerilmesi azalmıştır.



Şekil 5.66. b=10 mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=19,20,21)

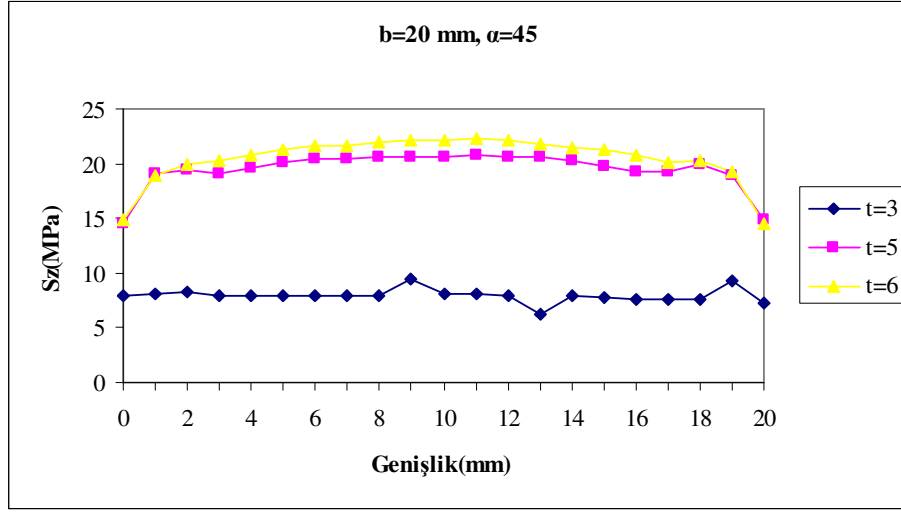
b=15 mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda de Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.66.'ya benzediği için burada çizilmemiştir. Kalınlık artarken Sz gerilmesi azalmıştır. Azalma, şekil 5.66'dan farklı olarak 3-5 mm aralığında yaklaşık 20 MPa ve 5-6 mm aralığında 2 MPa'dır.

b=20 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.67.'de gösterilmiştir. Kalınlık arttıkça Sz gerilmesi de artmıştır. Artış miktarı kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken 12 MPa 5 mm'den 6 mm'ye artarken ise yaklaşık 2 MPa olmuştur.

b=20 mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.66.'ya benzediği için çizilmemiştir. Her iki kalınlık aralığında da t artarken Sz gerilmesi yaklaşık 10 MPa azalmıştır.

b=20 mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.66.'ya benzediği için

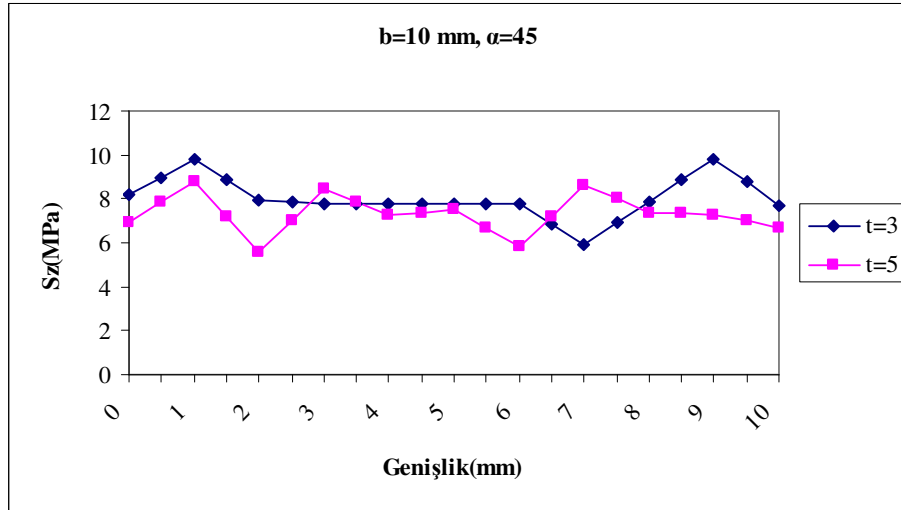
çizilmemiştir. Kalınlık artarken S_z gerilmesi azalmıştır. Her iki aralıkta da azalmanın yaklaşık 3 MPa olduğu görülmüştür. Buradaki en önemli fark gerilme aralığının daha dar olmasıdır.



Şekil 5.67. $b=20$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=7,8,9)

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.68.'de gösterilmiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_z gerilmesi genişliğin 3. ve 7. mm dışında yaklaşık 1 MPa azalmıştır. 3. mm ve 7. mm'lerde ise gerilme artmıştır.



Şekil 5.68. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=28,29)

$b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.68.'e benzediği için burada çizilmemiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_z gerilmesi genişliğin 9. mm dışında yaklaşık 1 MPa azalmıştır. Burada gerilme yaklaşık 1 MPa artmıştır.

$b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi de şekil 5.68.'e benzediği için burada çizilmemiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_z gerilmesi azalmıştır. Azalma

kenarlarda orta noktalara göre daha fazla olmuştur.

$b=15$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.69.'da gösterilmiştir. Kalınlık arttıkça diğer durumlardan farklı olarak burada S_z gerilmesi artmıştır.

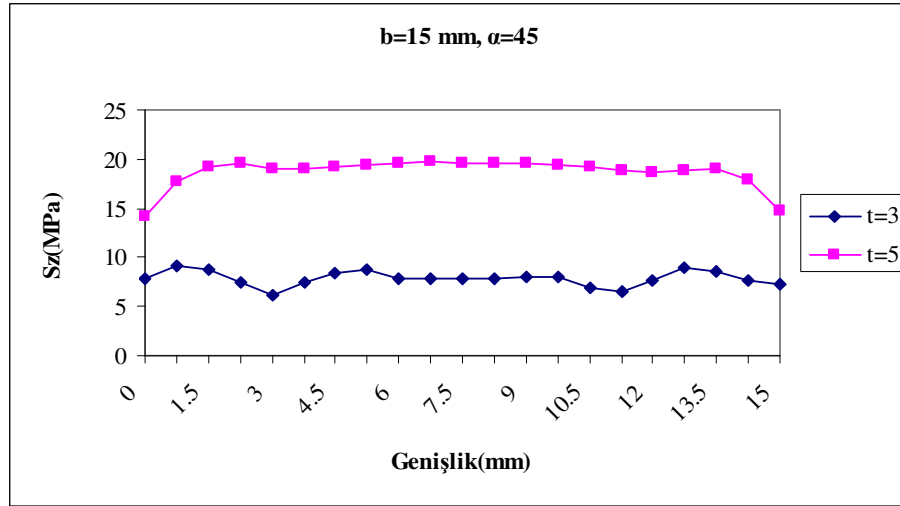
$b=15$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.68.'e benzediği için çizilmemiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_z gerilmesi de dengeli bir şekilde yaklaşık 4 MPa azalmıştır. En büyük fark ise, azalmanın dengeli seyretmesidir.

$b=15$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.68.'e benzediği için çizilmemiştir. t(kalınlık) 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_z gerilmesi de dengeli bir şekilde yaklaşık 3 MPa azalmıştır. Kenarlarda azalma diğer noktalara göre daha fazla olmuştur.

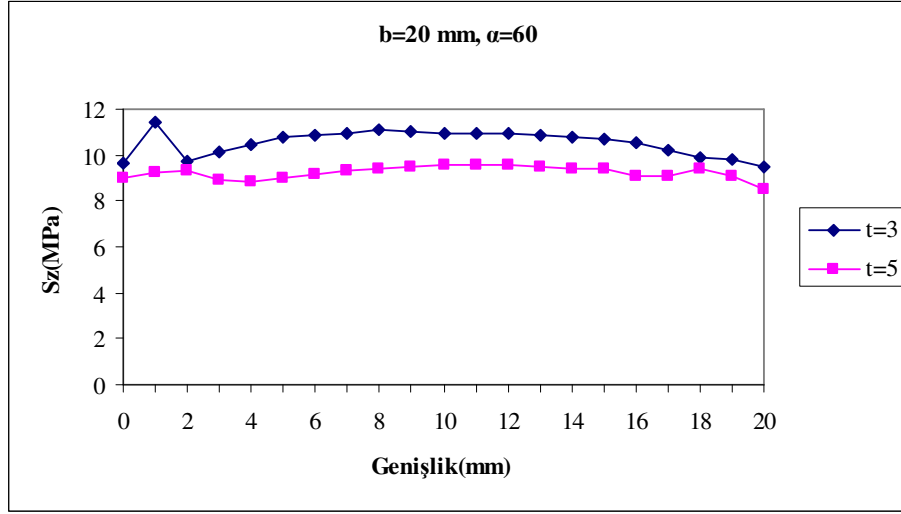
$b=20$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.68.'e benzediği için çizilmemiştir. t(kalınlık) 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_z gerilmesi genelde yaklaşık 1 MPa azalmıştır. Ayrıca şekil 5.68. gibi zikzaklı bir görüntüsü olup bazı noktalarda S_z artmıştır.

$b=20$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.70.'de gösterilmiştir. t(kalınlık) 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_z gerilmesi dengeli olarak yaklaşık 1.5 MPa azalmıştır.

$b=20$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.70.'e benzediği için çizilmemiştir. t(kalınlık) 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_z gerilmesi yaklaşık 3 MPa azalmıştır. Azalma kenarlar dışında dengeli bir şekilde olmuştur. Kenarlarda azalma daha fazla olmuştur.



Şekil 5.69. $b=15$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=30,31)



Şekil 5.70. $b=20$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=38,39)

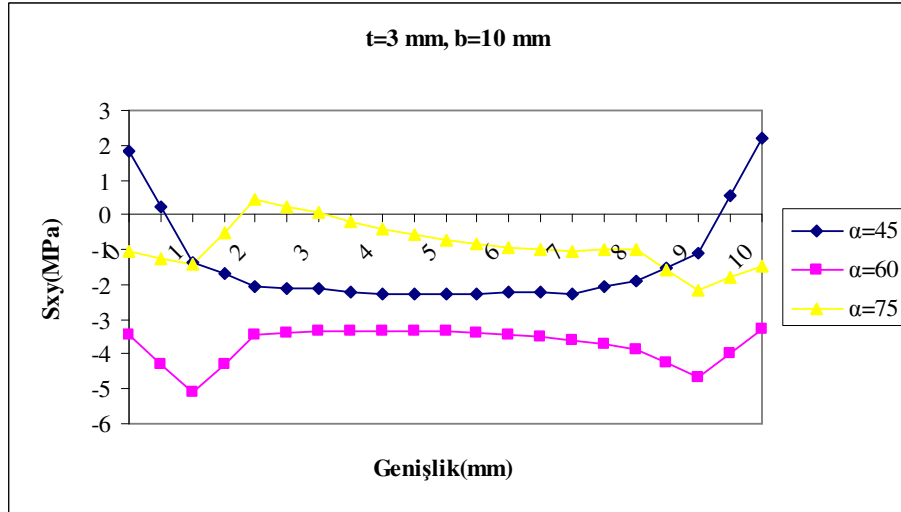
5.3.1.10 Sxy Gerilmelerinin Karşılaştırılması

- α 'ya Göre Sxy Gerilmelerinin İncelenmesi

Burada grafikler çizilirken x eksenini b (genişlik), y eksenini ise Sxy gerilmesi alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.71.'de gösterilmiştir. α , 45° 'den 60° 'ye artarken Sxy gerilmesi azalmıştır. Ancak α 60° 'den 75° 'ye artarken ise Sxy gerilmeleri artmıştır. Gerilmeler kenarlar dışında negatif yönlüdür.



Şekil 5.71. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=1,10,19)

$t=3$ mm ve $b=15$ mm olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.71.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Burada da aynı şekilde α , 45° 'den 60° 'ye artarken Sxy gerilmesi

azalmıştır. Ancak α 60°'den 75°'ye artarken Sxy gerilmeleri artmıştır. Gerilmeler kenarlar dışında negatif olup sayısal değerler de şekil 5.71.'e çok yakın elde edilmiştir.

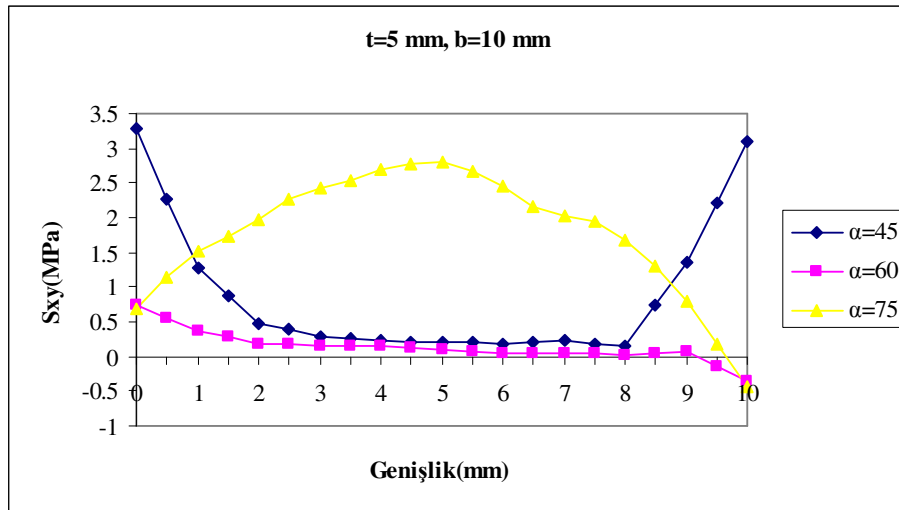
$t=3$ mm ve $b=20$ mm olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.71.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Burada da aynı şekilde α , 45°'den 60°'ye artarken Sxy gerilmesi azalmıştır(yaklaşık 3 MPa). α , 60°'den 75°'ye artarken Sxy gerilmeleri artmıştır.

$t=5$ mm ve $b=10$ mm olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.72.'de gösterilmiştir. α , 45°'den 60°'ye artarken özellikle orta kısımda Sxy gerilmesi çok az azalırken kenarlarda azalma daha fazla olmuştur. Ancak α 60°'den 75°'ye artarken Sxy gerilmeleri artmıştır. Artış özellikle orta kısımda çok fazla olmuştur.

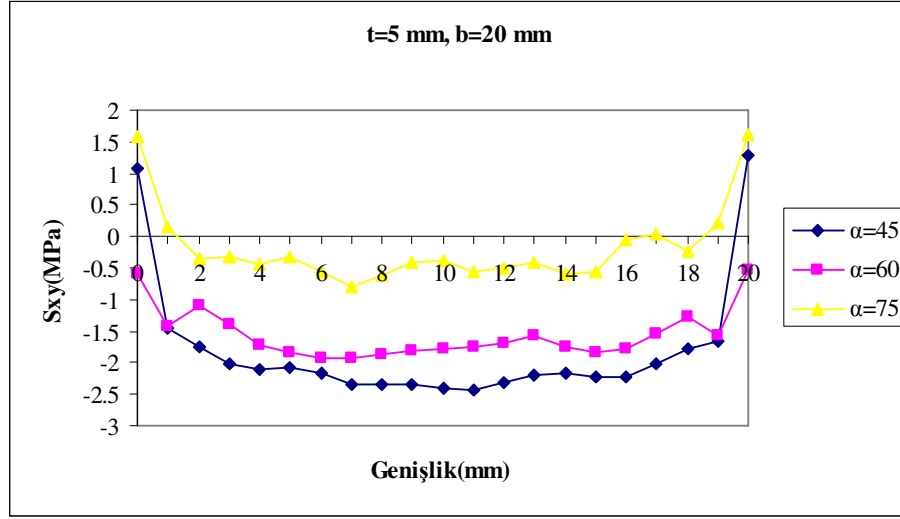
$t=5$ mm ve $b=15$ mm olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.71.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Burada da aynı şekilde α , 45°'den 60°'ye artarken Sxy gerilmesi yaklaşık 0.7 MPa'lık azalmıştır. Ancak α , 45° ve 75° olduğunda Sxy gerilme değerleri kenarlarda pozitif, orta kısımlarda ise negatiftir. $\alpha=60^\circ$ iken Sxy gerilmelerinin tüm değerleri negatiftir. α , 60°'den 75°'ye artarken Sxy gerilmeleri artmıştır.

$t=5$ mm ve $b=20$ mm olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.73.'te gösterilmiştir. α , 45°'den 60°'ye ve 60°'den 75°'ye artarken özellikle orta kısımda Sxy gerilmesi artmıştır. Ancak α 45° ve 75°'nin kenarları dışında gerilmeler negatiftir.

$t=6$ mm ve $b=10$ mm olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.71.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Burada da α , 45°'den 60°'ye artarken Sxy gerilmesi azalmıştır. Ancak α 60°'den 75°'ye artarken Sxy gerilmeleri artmıştır. Gerilmelerin artış ve azalışı hep negatif bölgede olmuştur.



Şekil 5.72. $t=5$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=2,11,20)



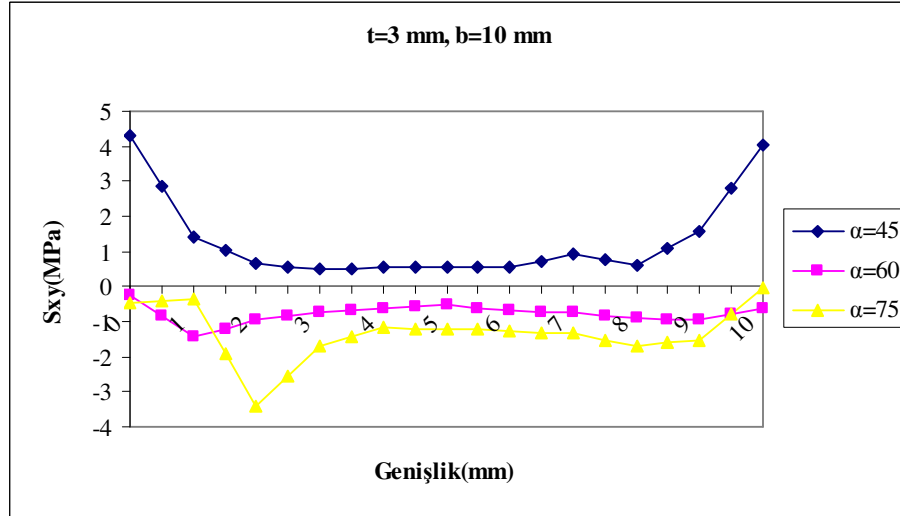
Şekil 5.73. $t=5$ mm ve $b=20$ mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=8,17,26)

$t=6$ mm ve $b=15$ mm olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.71.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. α , 45° 'den 60° 'ye artarken S_{xy} gerilmesi azalmıştır. Ancak α 60° 'den 75° 'ye artarken S_{xy} gerilmeleri artmıştır.

$t=6$ mm ve $b=20$ mm olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.73.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. α , 45° 'den 60° 'ye artarken S_{xy} gerilmesi yaklaşık 2 MPa artmıştır. Ancak α 60° 'den 75° 'ye artarken S_{xy} gerilmeleri azalmıştır.

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.74.'te gösterilmiştir. α , artarken S_{xy} gerilmeleri kenarlar dışında azalmıştır. Genişliğin kenarlarında ise S_{xy} artmıştır.



Şekil 5.74. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=28,34,40)

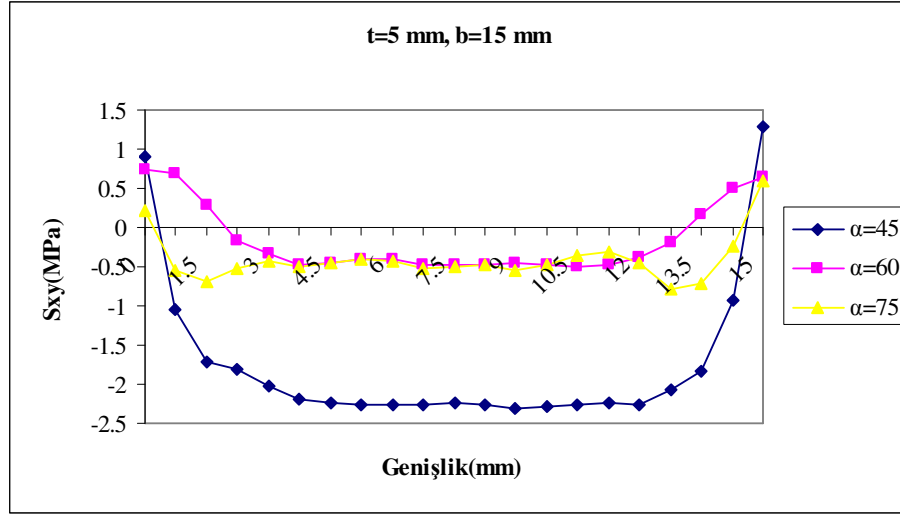
$t=3$ mm ve $b=15$ mm olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.74.'e benzediği için

burada gösterilmemiştir. α artarken Sxy gerilmeleri azalmıştır. $\alpha=45^\circ$ 'de gerilme değerleri pozitif iken $\alpha=60^\circ$ ve 75° 'de ise gerilme değerleri negatiftir.

$t=3$ mm ve $b=20$ mm olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.74.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. α artarken Sxy gerilmeleri azalmıştır.

$t=5$ mm ve $b=10$ mm olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.74.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. α artarken Sxy gerilmeleri azalmıştır.

$t=5$ mm ve $b=15$ mm olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.75.'te gösterilmiştir. α , artarken Sxy gerilmeleri de artmıştır.



Şekil 5.75. $t=5$ mm ve $b=15$ mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=31,37,43)

$t=5$ mm ve $b=20$ mm olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.74.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. α açısı artarken Sxy gerilmeleri azalmıştır.

• b'ye Göre Sxy Gerilmelerinin İncelenmesi

Burada grafikler çizilirken x eksenini a (bindirme mesafesi), y eksenini ise Sxy alınmıştır.

Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

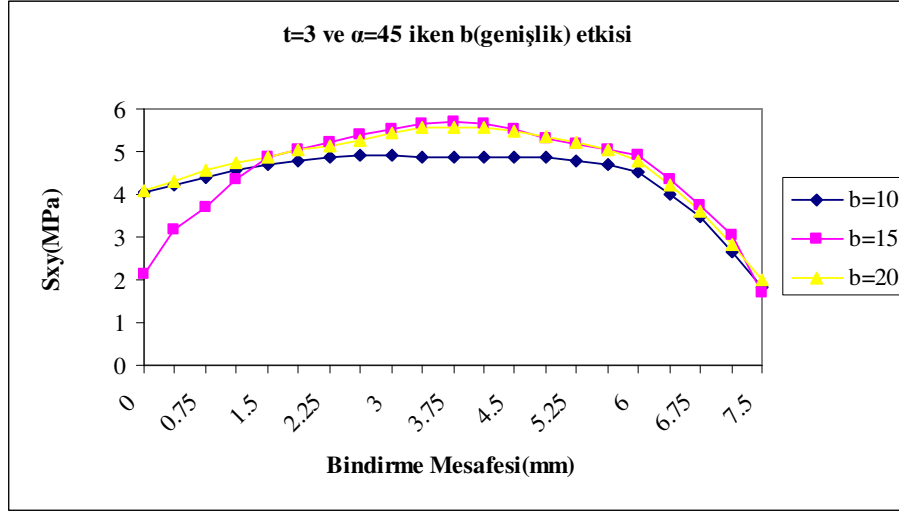
$t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.76.'da gösterilmiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken Sxy gerilmeleri artmıştır. 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise Sxy çok az miktarda azalmıştır.

$t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.76.'ya benzediği için burada gösterilmemiştir. b(genişlik) 10 mm'den 15 mm'ye artarken Sxy gerilmeleri artmıştır. Ancak 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise azalmıştır.

$t=3$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.77.'de gösterilmiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken Sxy gerilmeleri artmıştır. 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise bindirme mesafesinin 3-5 mm'leri dışında Sxy çok az miktarda artmıştır.

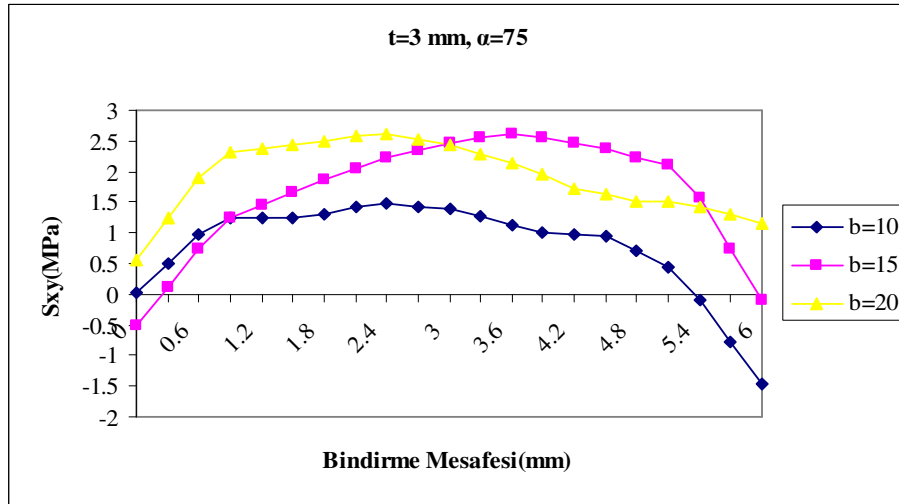
$t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.77.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. b (genişlik) 10 mm'den 15 mm'ye artarken S_{xy} gerilmeleri çok küçük miktarda artmıştır. Ancak 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise çok küçük miktarda azalmıştır.

$t=5$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.77.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. b (genişlik) artarken S_{xy} gerilmeleri de artmıştır.



Şekil 5.76. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=1,4,7)

$t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.77.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik artarken S_{xy} gerilmeleri de artmıştır. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken S_{xy} gerilmeleri özellikle bindirme mesafesinin ortasında daha fazla artmıştır.



Şekil 5.77. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=19,22,25)

$t=6$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.77.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken S_{xy} gerilmeleri bindirme mesafesinin orta kısmında çok küçük miktarda azalırken kenarlarda ise çok küçük miktarda

artmıştır. Genişlik 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise yaklaşık 0.5 MPa artmıştır.

$t=6$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.77.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik artarken S_{xy} gerilmeleri de yaklaşık 0.5 MPa olarak dengeli bir şekilde artmıştır. Bindirme mesafesinin sağında gerilmeler negatiftir.

$t=6$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.77.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik artarken S_{xy} gerilmeleri de yaklaşık 0.8 MPa artmıştır.

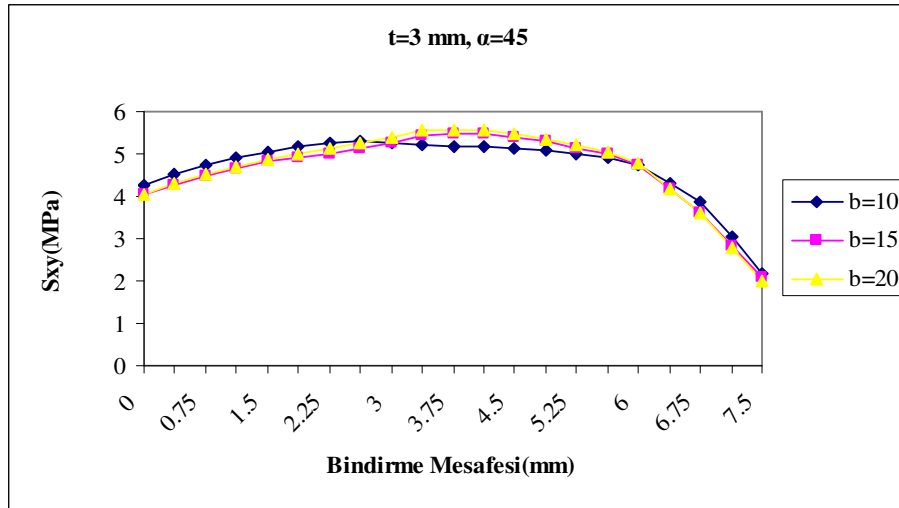
B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.78.'de gösterilmiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken S_{xy} gerilmeleri orta kısımda artarken diğer yerlerde ise azalmıştır. 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise çok az miktarda artmıştır.

$t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.77.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken S_{xy} gerilmelerinde de küçük bir artış olmuştur. Genişlik 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise S_{xy} gerilmelerinde daha küçük bir azalma olmuştur.

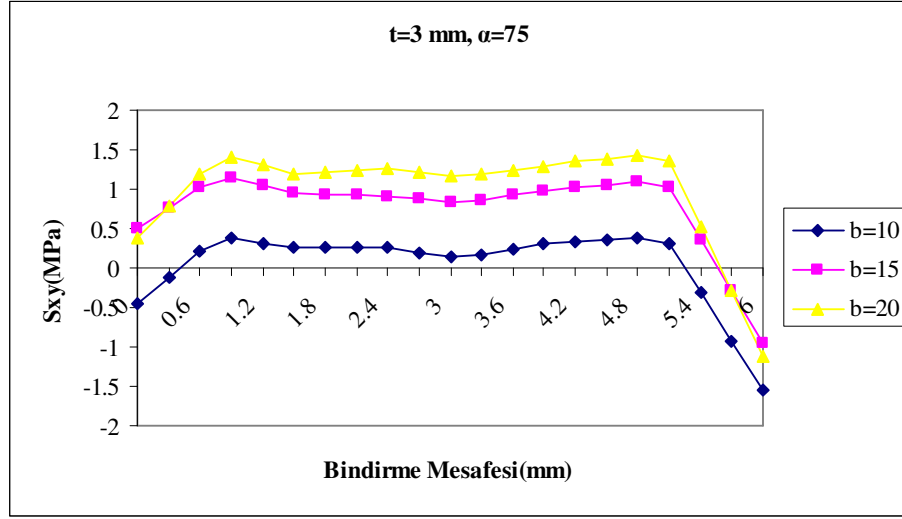
$t=3$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.79.'da gösterilmiştir. Genişlik artarken S_{xy} gerilmeleri de artmıştır.

$t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.80.'de gösterilmiştir. b, 10 mm'den 15 mm'ye artarken S_{xy} gerilmeleri azalmış, 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise S_{xy} artmıştır. Artış ve azalışlar çok küçüktür.



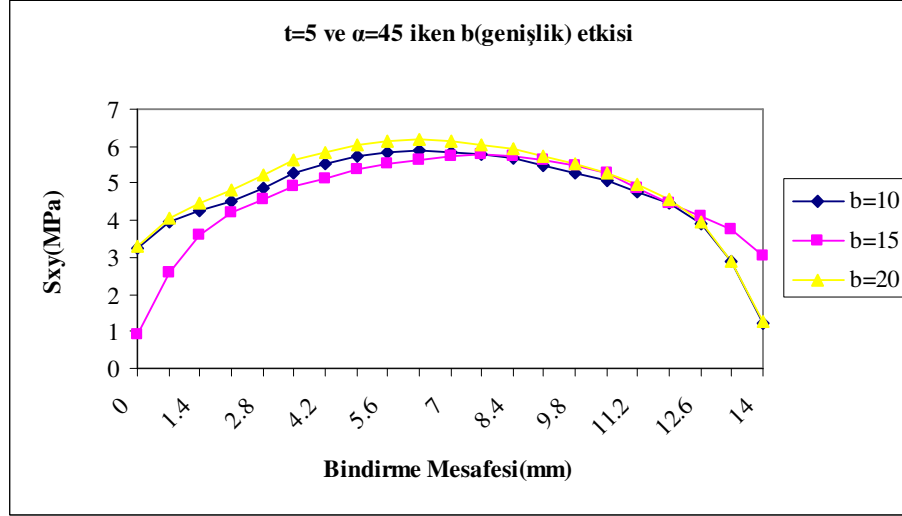
Şekil 5.78. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=28,30,32)

$t=5$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.80.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken S_{xy} gerilmeleri de artmıştır.



Şekil 5.79. t=3 mm ve α=75° olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=40,42,44)

t=5 mm ve α=75° olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.79.'a benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik artarken Sxy gerilmeleri de zikzaklı bir şekilde artmıştır.



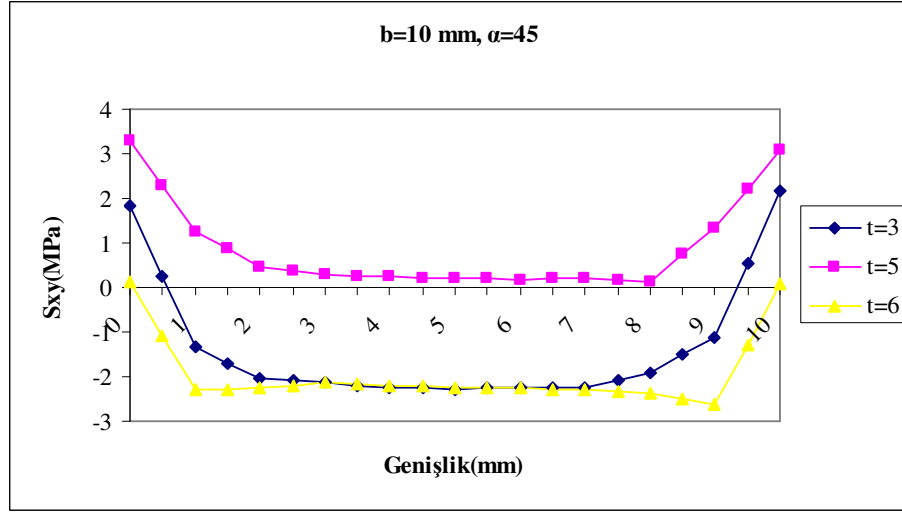
Şekil 5.80. t=3 mm ve α=75° olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=29,31,33)

• t'ye Göre Sxy Gerilmelerinin İncelenmesi

Burada grafikler çizilirken x eksenini b(genişlik), y eksenini ise Sxy alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

b=10 mm ve α=45° olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.81.'de gösterilmiştir. t(kalınlık) 3 mm'de 5 mm'ye artarken Sxy gerilmeleri de yaklaşık 2 MPa artmıştır. 5 mm'de 6 mm'ye artarken ise yaklaşık 2 MPa'lık azalmıştır.

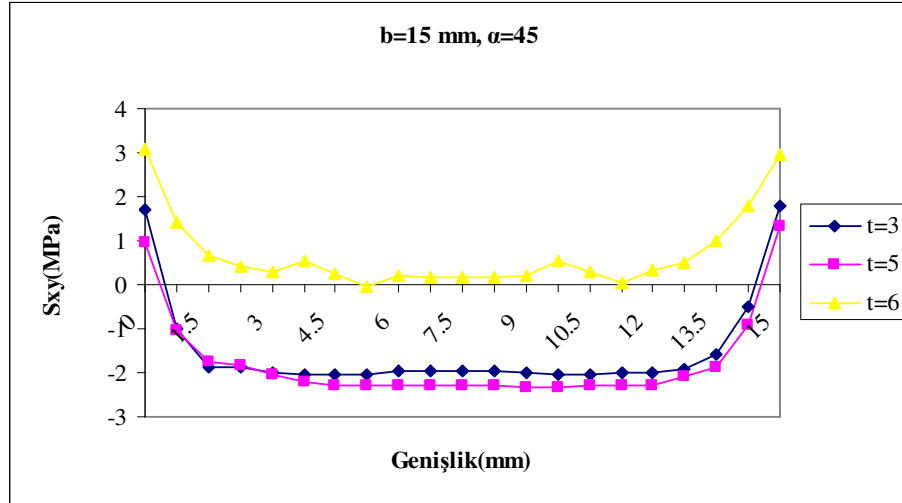


Şekil 5.81. b=10 mm ve α=45° olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=1,2,3)

b=10 mm ve α=60° olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.81.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. t(kalınlık) 3 mm'den 5 mm'ye artarken Sxy gerilmeleri de yaklaşık 3 MPa artmıştır. 5 mm'den 6 mm'ye geçerken ise yaklaşık 2.5 MPa'lık azalmıştır.

b=10 mm ve α=75° olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.81.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. t(kalınlık) 3 mm'de 5 mm'ye artarken Sxy gerilmeleri artmıştır. 5 mm'den 6 mm'ye artarken ise yaklaşık 2 MPa'lık azalmıştır.

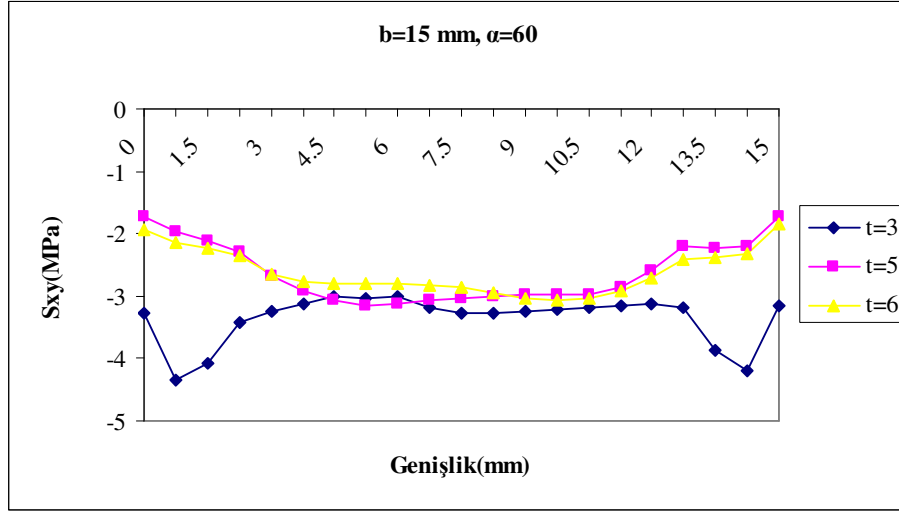
b=15 mm ve α=45° olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.82.'de gösterilmiştir. t(kalınlık) 3 mm'de 5 mm'ye artarken Sxy gerilmeleri azalmıştır. Kalınlık 5 mm'den 6 mm'ye artarken ise Sxy artmıştır(yaklaşık 2 MPa'lık).



Şekil 5.82. b=15 mm ve α=45° olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=4,5,6)

b=15 mm ve α=60° olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.83.'te gösterilmiştir.

t(kalınlık) 3 mm’de 5 mm’ye artarken Sxy gerilmeleri de artmıştır. Kalınlık 5 mm’den 6 mm’ye artarken ise azalmıştır(yaklaşık 2 MPa’lık).

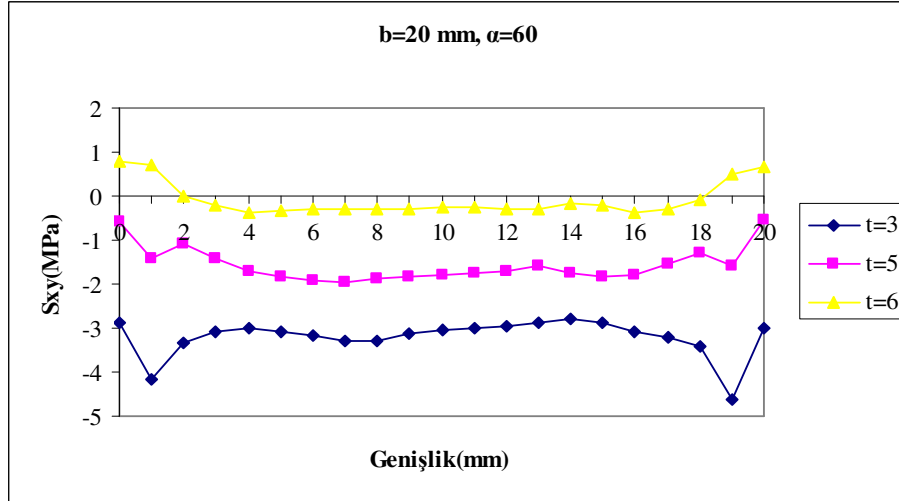


Şekil 5.83. b=15 mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=13,14,15)

b=15 mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.83.’e benzediği için burada gösterilmemiştir. t(kalınlık) 3 mm’de 5 mm’ye artarken Sxy gerilmeleri artmıştır. Kalınlık 5 mm’den 6 mm’ye atarken ise Sxy azalmıştır. Kenarlar dışında gerilmeler negatiftir.

b=20 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.83.’ye benzediği için burada gösterilmemiştir. t(kalınlık) artarken Sxy gerilmeleri azalmıştır.

b=20 mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.84.’te gösterilmiştir. t(kalınlık) artarken Sxy gerilmeleri de artmıştır. Gerilmeler genelde negatiftir.



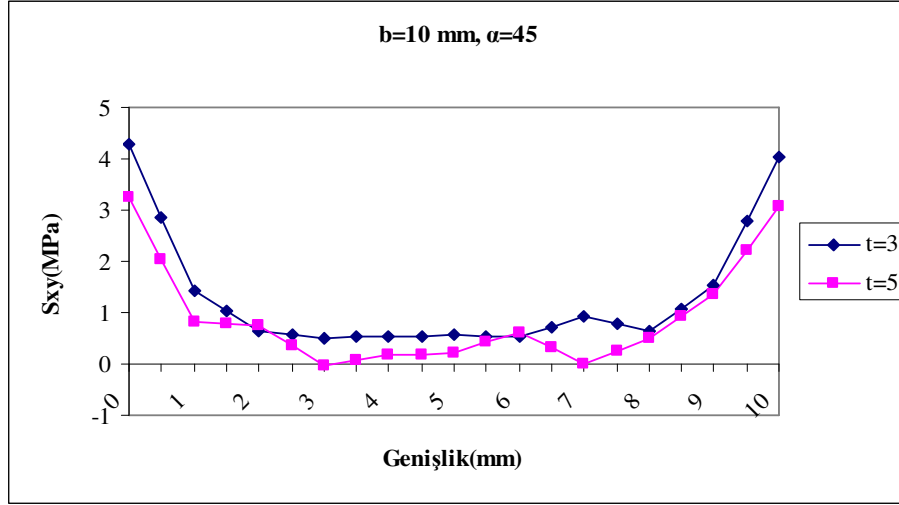
Şekil 5.84. b=20 mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=16,17,18)

b=20 mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.84.’e benzediği için

burada gösterilmemiştir. t(kalınlık) artarken Sxy gerilmeleri de artmıştır. Genişliğin kenarları dışında gerilme değerleri negatif olup küçük zikzaklar görülmüştür.

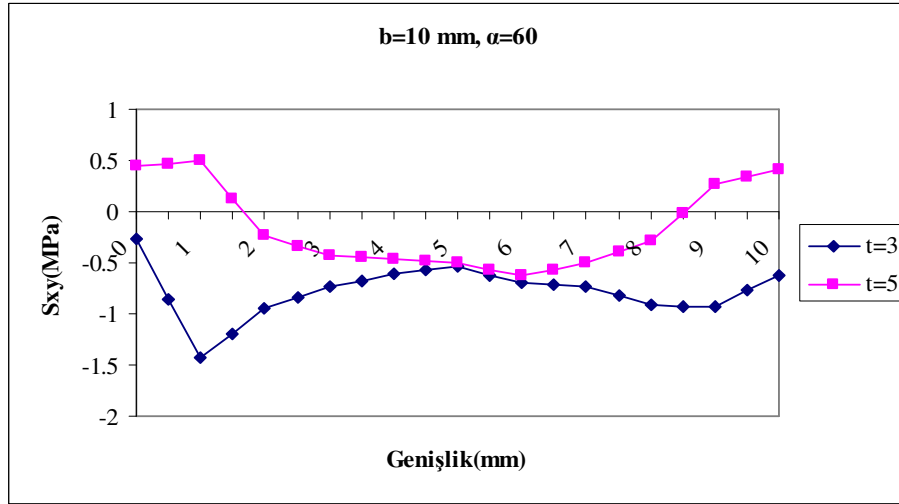
A- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

b=10 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.85.'te gösterilmiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken Sxy gerilmeleri azalmıştır. Azalma kenarlarda daha fazla olup orta kısımda sıfıra yakın olmuştur.



Şekil 5.85. b=10 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=28,29)

b=10 mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.86.'da gösterilmiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye geçerken Sxy gerilmeleri artmıştır.



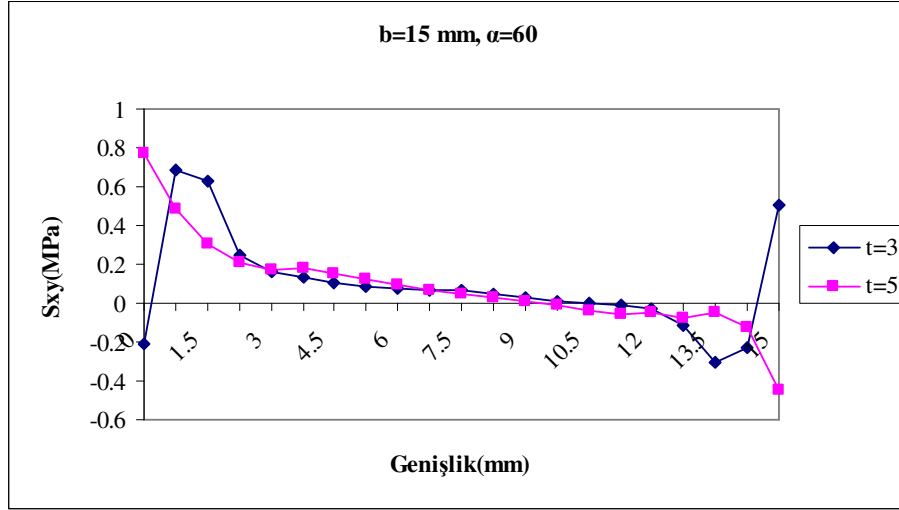
Şekil 5.86. b=10 mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=34,35)

b=10 mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.86.'ya benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken Sxy gerilmeleri artmıştır. Ancak

artış miktarı genişliğin kenarlarında daha fazla olup tüm gerilmeler negatiftir.

$b=15$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.85.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_{xy} gerilmeleri azalmıştır.

$b=15$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.87.'de gösterilmiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_{xy} gerilmeleri kenarlar dışında çok küçük artışlar olmuştur. Kenarlarda ise S_{xy} gerilmeleri azalmıştır.



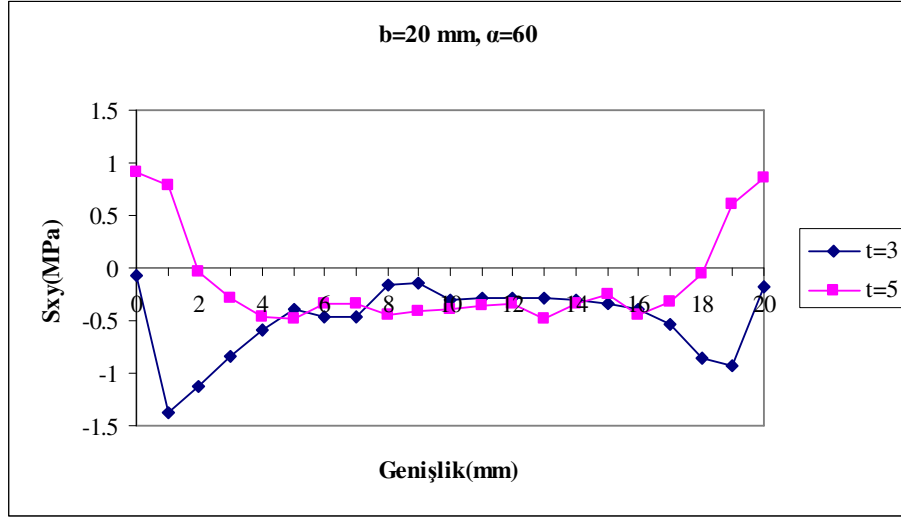
Şekil 5.87. $b=15$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=36,37)

$b=15$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.86.'ya benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_{xy} gerilmeleri artmıştır. Ancak artış miktarı genişliğin kenarlarında daha fazladır. Diğer kısımlarda negatiftir.

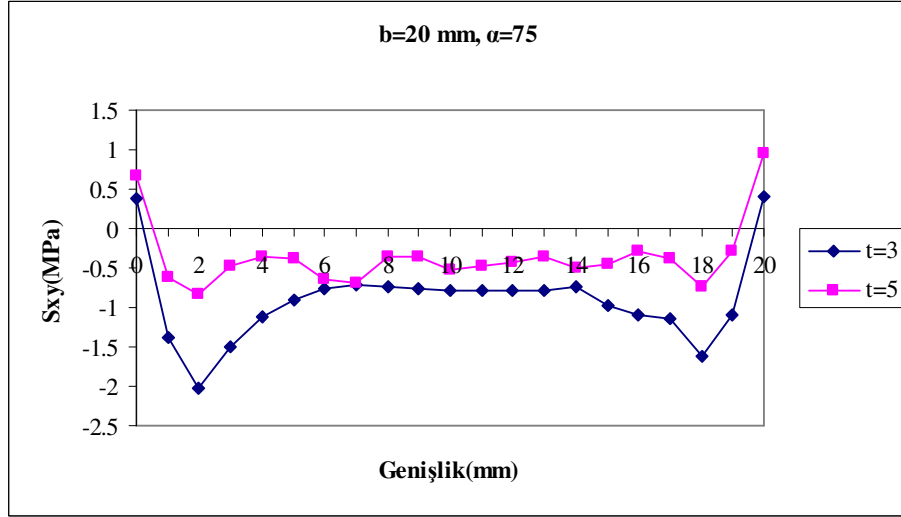
$b=20$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.85.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_{xy} gerilmeleri azalmıştır. Şekil 5.85.'ten tek farkı gerilmelerin pozitif bölgede olmasıdır.

$b=20$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.88.'de gösterilmiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_{xy} gerilmeleri genişliğin kenarlarında artarken orta kısımda azalmıştır. $t=5$ mm iken gerilmeler kenarlar dışında negatiftir.

$b=20$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.89.'da gösterilmiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_{xy} gerilmeleri de artmıştır. Gerilmeler kenarlar dışında negatif bölgededir.



Şekil 5.88. $b=20$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=38,39)



Şekil 5.89. $b=20$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=44,45)

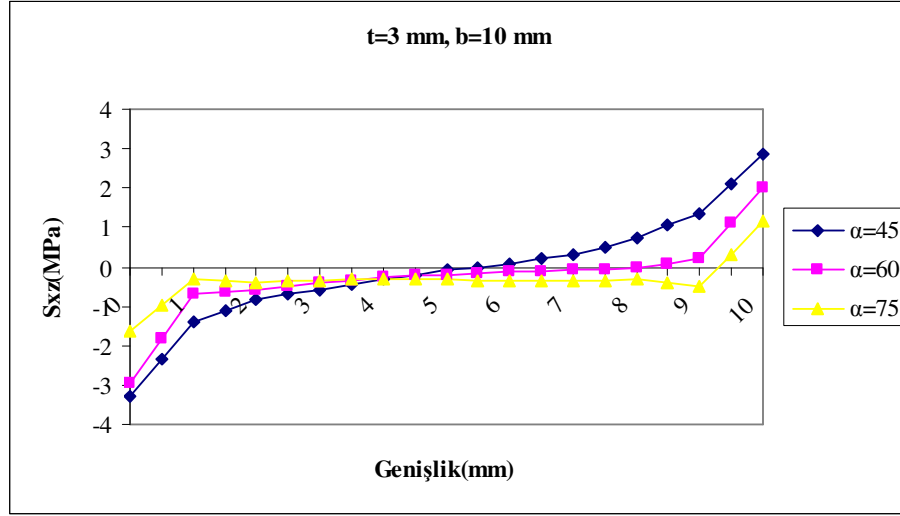
5.3.1.11 Sxz Gerilmelerinin Karşılaştırılması

- α 'ya Göre Sxz Gerilmelerinin İncelenmesi

Burada grafikler çizilirken x eksenini b (genişlik), y eksenini ise S_{xz} alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

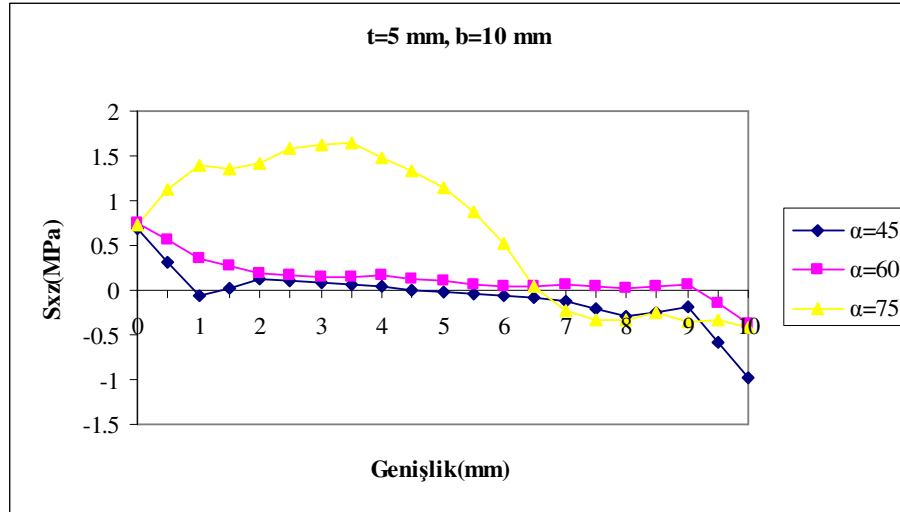
$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi Şekil 5.90.'da gösterilmiştir. Genişliğin orta noktasına kadar gerilmeler negatif bölgede diğer tarafta ise pozitif bölgededir. Grafik orta noktaya göre sanki simetriktir. Genişliğin ortasına kadar α artarken S_{xz} gerilmeleri artmış fakat bu noktadan sonra ise α artarken gerilmeler azalmıştır.



Şekil 5.90. t=3 mm ve b=10 olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=1,10,19)

t=3 mm ve b=15, 20 mm olduğunda Sxz gerilmesinin değişimi şekil 5.90.'a benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişliğin ortasına kadar α artarken Sxz gerilmeleri artmıştır. Orta noktadan sonra ise açı artarken gerilmeler azalmıştır. Sadece $\alpha=75^\circ$ olduğunda çok küçük farklılıklar göstermiştir.

t=5 mm ve b=10 mm olduğunda Sxz gerilmesinin değişimi şekil 5.91.'de gösterilmiştir. Genişliğin orta noktasına kadar gerilmeler pozitif bölgede olup diğer tarafta ise negatif bölgededir. Orta noktadan sonraki kısmı sanki simetriktir($\alpha=75^\circ$ dışında). Genişliğin ortasına kadar α artarken Sxz gerilmeleri artmış bu noktadan sonra ise açı artarken gerilmeler azalmıştır.

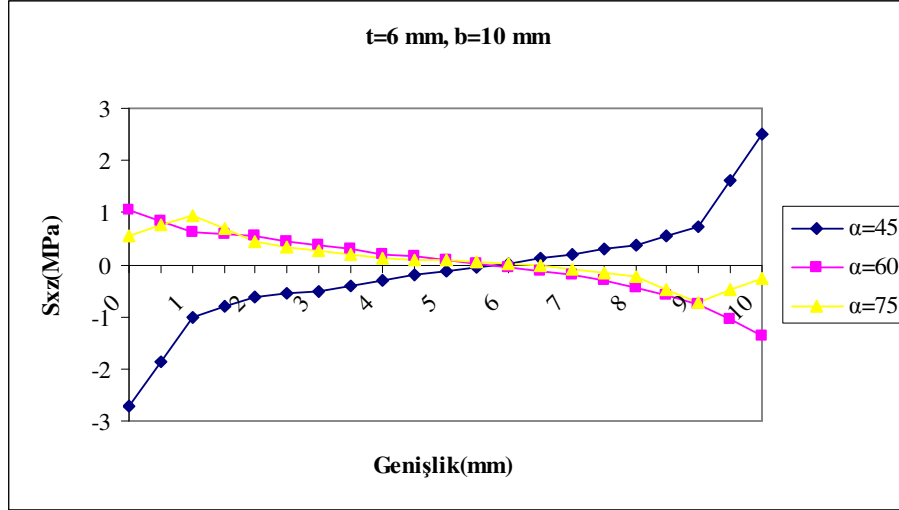


Şekil 5.91. t=5 mm ve b=10 olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=2,11,20)

t=5 mm ve b=15, 20 mm olduğunda Sxz gerilmesinin değişimi şekil 5.90.'a benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişliğin orta noktasına göre gerilmeler simetriktir. Orta noktaya

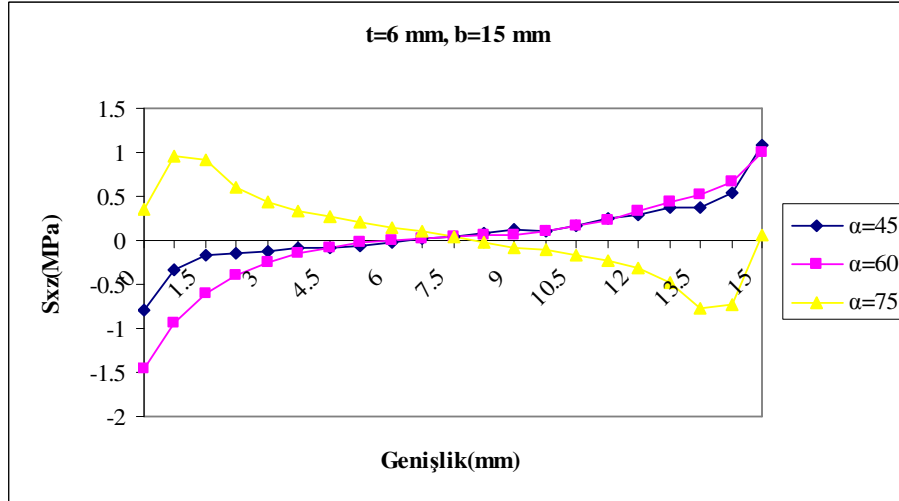
kadar açı artarken gerilmeler artmıştır. Orta noktadan sonra hem gerilmelerin yönü hem de değişimi tam tersidir. Gerilmeler -3 ile 3 MPa arasında değişmiştir.

$t=6$ mm ve $b=10$ mm olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.92.'de gösterilmiştir. Genişliğin orta noktasına kadar $\alpha=45^\circ$ 'de gerilmeler negatif bölgede, diğer açılarda ise pozitif bölgededir. Burada açı artarken gerilmeler de artmıştır. Orta noktadan sonra ise tam terstir.



Şekil 5.92. $t=6$ mm ve $b=10$ olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=3,12,21)

$t=6$ mm ve $b=15$ mm olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.93.'te gösterilmiştir. Genişliğin orta noktasına kadar $\alpha=45^\circ$ ve $\alpha=60^\circ$ 'de gerilmeler negatif bölgede iken $\alpha=75^\circ$ 'de ise pozitif bölgededir. Burada açı artarken gerilmeler önce azalmış daha sonra da artmıştır. Orta noktadan sonra ise tam tersi bir durum olduğu görülmüştür.



Şekil 5.93. $t=6$ mm ve $b=15$ olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=6,15,24)

$t=6$ mm ve $b=20$ mm olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.92.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişliğin orta noktasına göre gerilmeler simetriktir. Genişliğin orta

noktasına kadar $\alpha=45^\circ$ 'de S_{xz} gerilmeleri negatif, 60° ve 75° 'de ise pozitif bölgededir. Orta noktaya kadar açı artarken gerilmeler artmıştır. Orta noktadan sonra hem gerilmelerin yönü hem de değişimi tam tersidir. Gerilmeler -3 ile 3 MPa arasında değişmiştir.

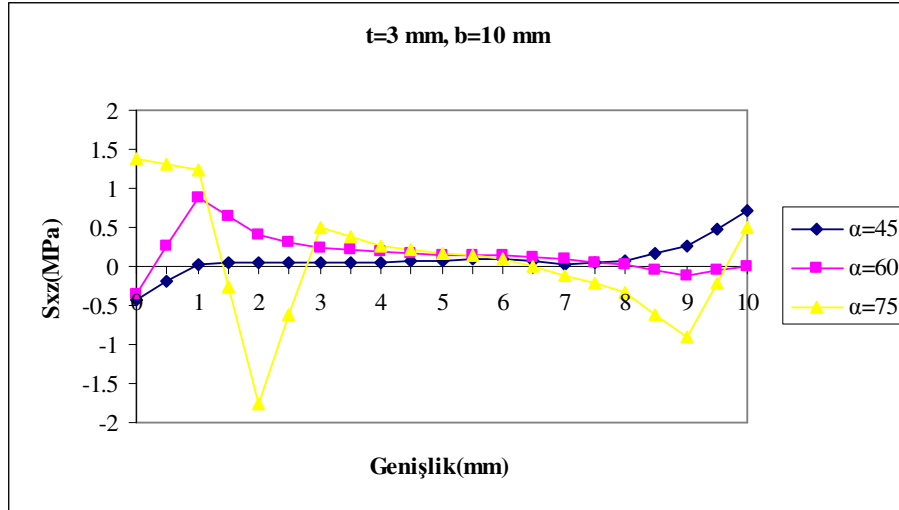
B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.94.'te gösterilmiştir. $\alpha=75^\circ$ olduğunda $b=2, 9$ mm noktalarında S_{xz} gerilmeleri ani değişime uğramıştır. Bunun dışında genişliğin orta noktasına kadar gerilmeler pozitif bölgede olup α açısı artarken gerilmeler de artmıştır. Orta noktadan sonra ise açı artarken S_{xz} gerilmeleri azalmıştır.

$t=3$ mm ve $b=15$ mm olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.94.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. $\alpha=75^\circ$ olduğunda $b=2$ mm noktasında S_{xz} gerilmesi ani değişime uğramıştır. Bunun dışında genişliğin orta noktasına kadar gerilmeler pozitif bölgede olup α açısı artarken gerilmeler de artmıştır. Orta noktadan sonra ise gerilmeler azalmıştır.

$t=3$ mm ve $b=20$ mm olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.94.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Şekil 5.94.'ten farklı yanı ise S_{xz} gerilmelerinde ani değişimler görülmemiştir. Bunun dışında genişliğin orta noktasına kadar α açısı artarken gerilmeler artmıştır. Orta noktadan sonra ise açı artarken gerilmeler azalmıştır.

$t=5$ mm ve $b=10$ mm olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.94.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişliğin yaklaşık orta noktasına kadar α açısı artarken gerilmeler artmıştır. Ancak $\alpha=75^\circ$ 'de genişliğin orta noktasına kadar gerilmeler azalmıştır. Orta noktadan sonra ise açı artarken gerilmeler azalmıştır. Artış azalış miktarları kenarlarda fazla olmuştur.



Şekil 5.94. $t=3$ mm ve $b=10$ olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=28,34,40)

$t=5$ mm ve $b=15, 20$ mm olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.93.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Şekil 5.93.'ten farklı yanı ise S_{xz} gerilmelerinde ani değişimler burada da görülmemiştir. Bunun dışında genişliğin yaklaşık orta noktasına kadar α açısı artarken

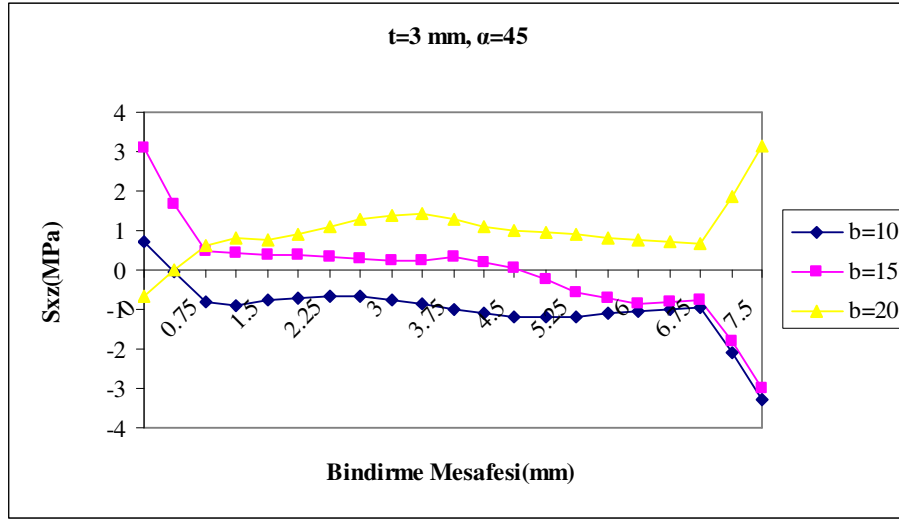
gerilmeler artmıştır. Orta noktadan sonra ise aç ı artarken gerilmeler azalmıştır. Gerilmeler genişliğin orta noktasına göre simetriktir.

- **b'ye Göre Sxz Gerilmelerinin İncelenmesi**

Burada grafikler çizilirken x eksen i a(bindirme mesafesi), y eksen i ise Sxz alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

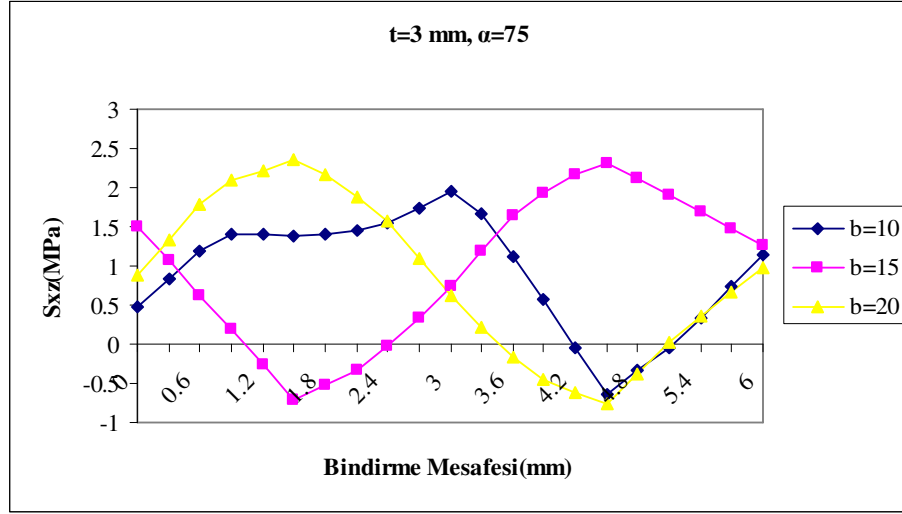
$t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğ und a Sxz gerilmesinin değ iş imi şek il 5.95.'te gösterilmiştir. Bindirme mesafesi boyunca geniş lik artarken Sxz gerilmeleri de artmıştır. $b=10$ mm iken gerilme değ erleri baş langıç dı ş ında negatif elde edilmiştir. 15 ve 20 mm'de pozitiftir.



Şekil 5.95. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğ und a b(geniş lik) etkisi (Numune No=1,4,7)

$t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğ und a Sxz gerilmesinin değ iş imi şek il 5.95.'e benzediğ i için burada gösterilmemiştir. Bindirme mesafesi boyunca geniş lik artarken Sxz gerilmeleri artmıştır.

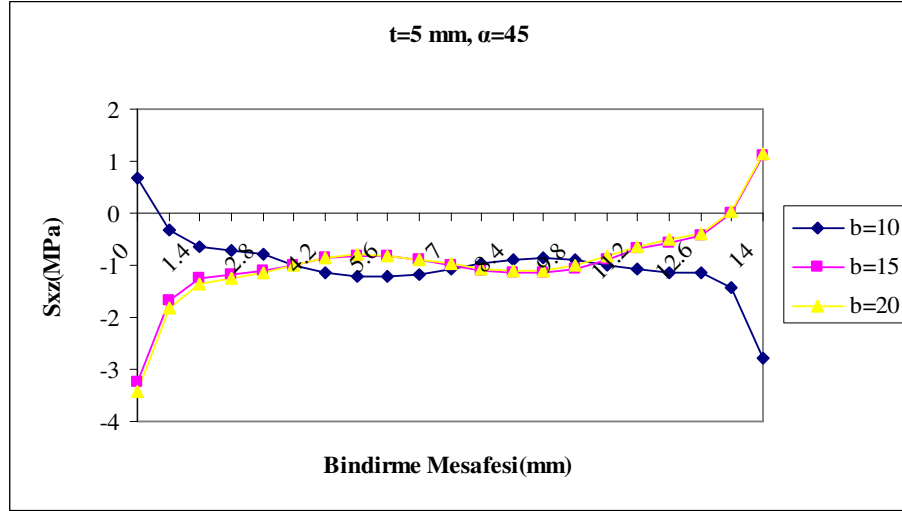
$t=3$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğ und a Sxz gerilmesinin değ iş imi şek il 5.96.'da gösterilmiştir. Geniş lik artarken Sxz gerilmeleri zikzaklı bir şek ilde değ iş miştir.



Şekil 5.96. t=3 mm ve α=75° olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=19,22,25)

t=5 mm ve α=45° olduğunda Sxz gerilmesinin değişimi şekil 5.97.'de gösterilmiştir. Bindirme mesafesi boyunca genişlik artarken orta kısım dışında Sxz gerilmeleri azalırken orta noktada bir miktar artmıştır

t=5 mm ve α=60° olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.96.'ya benzediği için burada gösterilmemiştir. Bindirme mesafesi boyunca genişlik artarken Sxz gerilmeleri zikzaklı bir şekilde değişmiştir. Genişlik artarken gerilmeler bazen artmış bazen de azalmıştır.



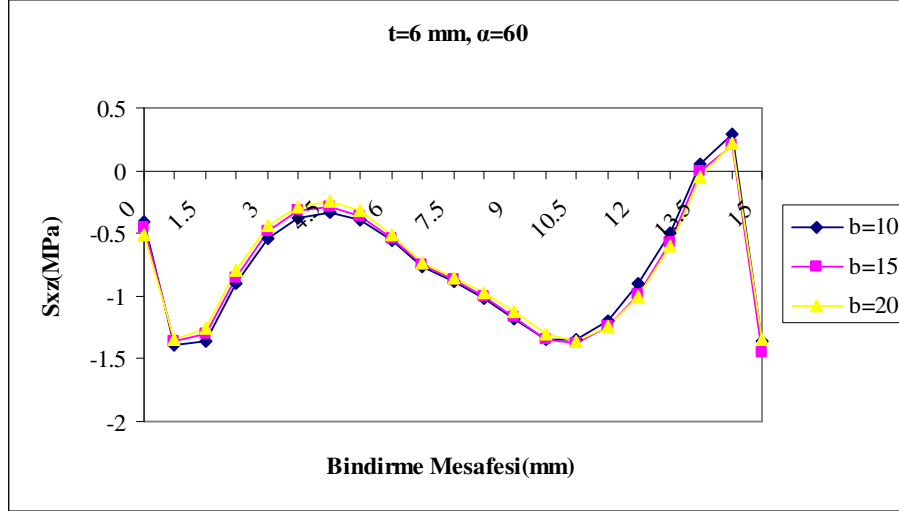
Şekil 5.97. t=5 mm ve α=45° olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=2,5,8)

t=5 mm ve α=75° olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.96.'ya benzediği için burada gösterilmemiştir. Bindirme mesafesi boyunca genişlik artarken Sxz gerilmeleri genişliğin 1-4 mm arası dışında artmıştır. Bu bölgede b artarken Sxz azalmıştır.

t=6 mm ve α=45° olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.97.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. Bindirme mesafesi boyunca genişlik artarken Sxz gerilmeleri artmıştır.

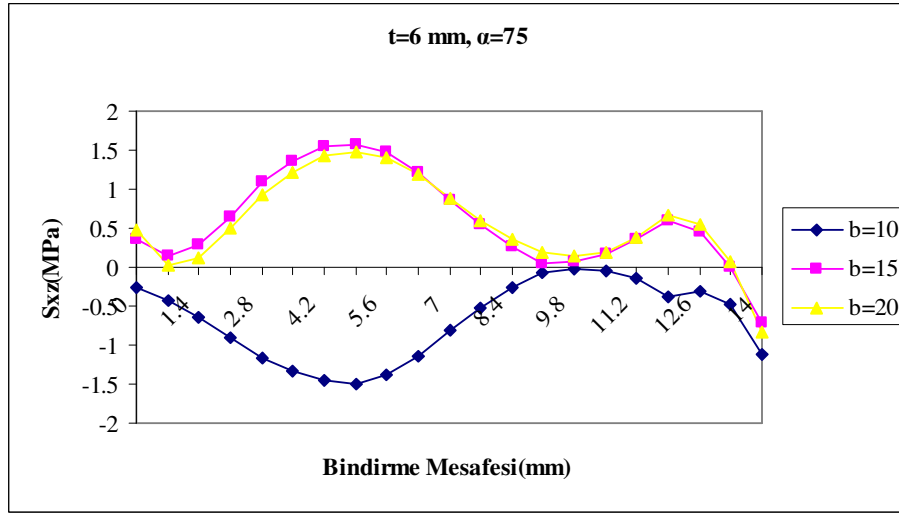
Sadece b, 10 mm'den 15 mm'ye artarken genişliğin sağ tarafında Sxz gerilmesi azalmıştır.

t=6 mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda Sxz gerilmesinin değişimi şekil 5.98.'de gösterilmiştir. Bindirme mesafesi boyunca genişlik artarken Sxz gerilmeleri çok küçük miktarlarda azalmıştır.



Şekil 5.98. t=6 mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=12,15,18)

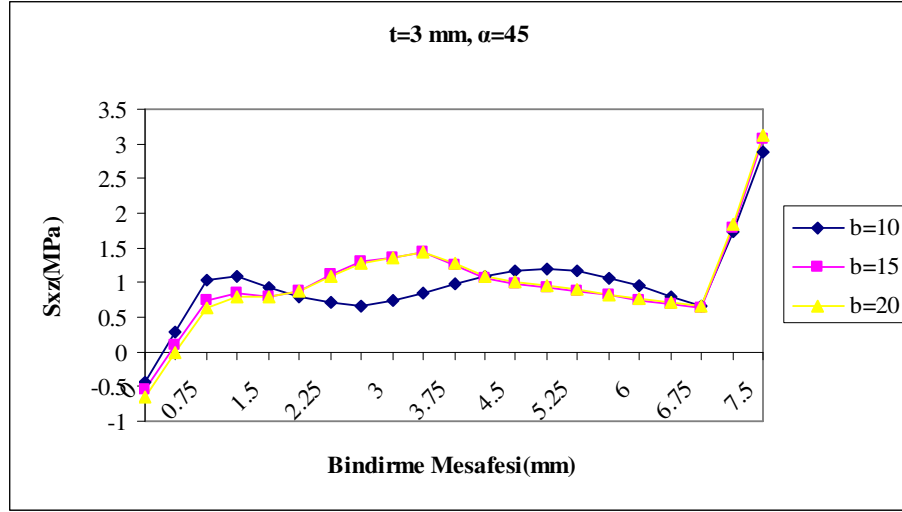
t=6 mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda Sxz gerilmesinin değişimi şekil 5.99.'da gösterilmiştir. Bindirme mesafesi boyunca genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken Sxz gerilmeleri artmıştır. Genişlik 20 mm'ye geçerken ise gerilmelerde çok küçük azalma görülmüştür.



Şekil 5.99. t=6 mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=21,24,27)

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

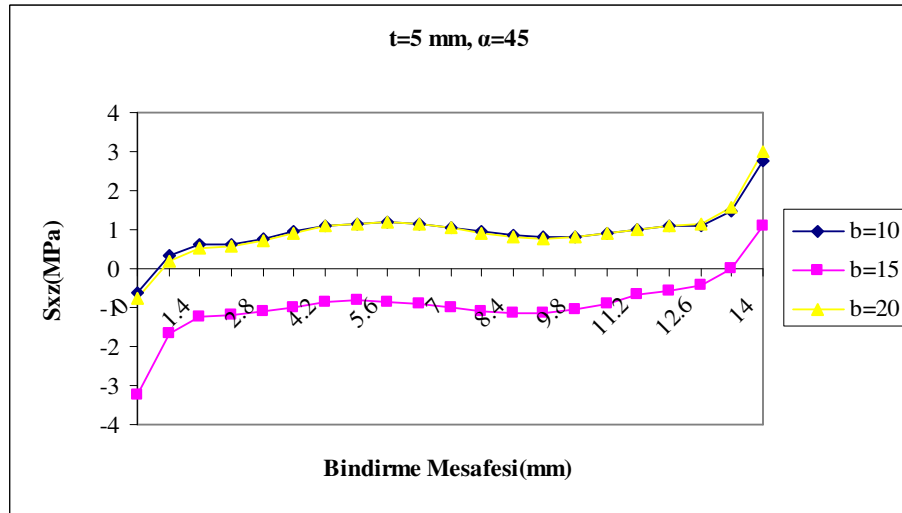
t=3 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Sxz gerilmesinin değişimi şekil 5.100.'de gösterilmiştir. Bindirme mesafesi boyunca genişliğin 2-4 mm arası dışında genişlik artarken Sxz gerilmeleri azalmıştır. Bu noktada genişlik artarken gerilmeler de artmıştır.



Şekil 5.100. t=3 mm ve α=45° olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=28,30,32)

t=3 mm ve α=60°, 75° olduğunda Sxz gerilmesinin değişimi şekil 5.100.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Bindirme mesafesi boyunca genişliğin 2-4 mm arası dışında genişlik artarken Sxz gerilmeleri azalmıştır. Bu noktada ise b, 15 mm'den 20 mm'ye artarken gerilmeler artmıştır. Bütün gerilmeler pozitif bölgededir.

t=5 mm ve α=45° olduğunda Sxz gerilmesinin değişimi şekil 5.101.'de gösterilmiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken gerilmeler azalmış, 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise artmıştır. Sadece b, 10 ve 20 mm iken gerilmeler pozitifdir.

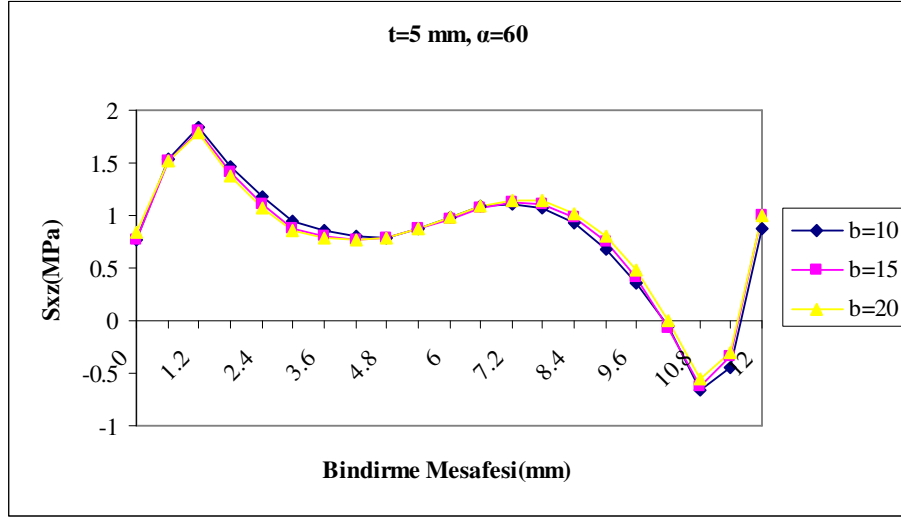


Şekil 5.101. t=5 mm ve α=45° olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=29,31,33)

t=5 mm ve α=60° olduğunda Sxz gerilmesinin değişimi şekil 5.102.'de gösterilmiştir. Genişlik artarken gerilmeler çok az miktarda azalmıştır.

t=5 mm ve α=75° olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.96.'ya benzediği için burada gösterilmemiştir. Bindirme mesafesi boyunca genişlik artarken Sxz gerilmeleri zikzaklı

bir şekilde değişmiştir. Genişlik artarken gerilmeler birkaç nokta dışında 10 mm’de 15 mm’ye artarken artarken 15 mm’den 20 mm’ye artarken ise azalmıştır.



Şekil 5.102. t=5 mm ve α=60° olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=35,37,39)

- **t'ye Göre Sxz Gerilmelerinin İncelenmesi**

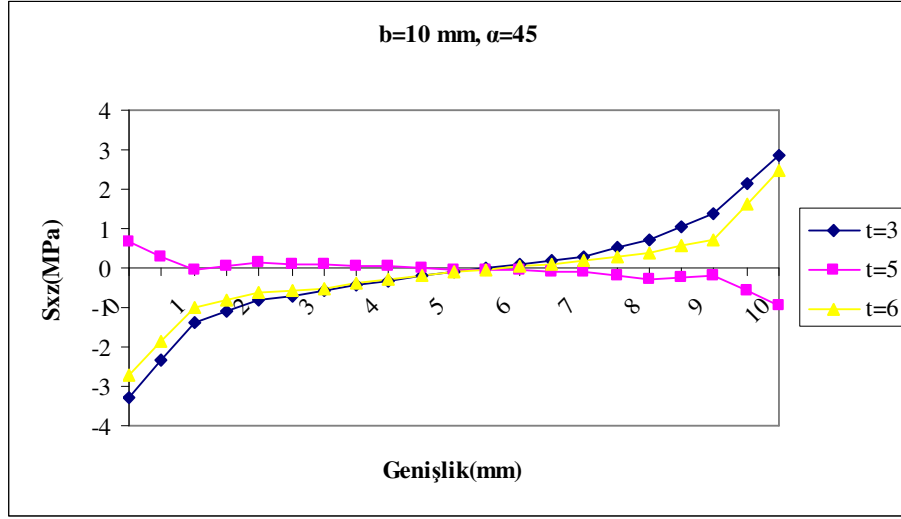
Burada grafikler çizilirken x eksenini b(genişlik), y eksenini ise Sxz alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

b=10 mm ve α=45° olduğunda Sxz gerilmesinin değişimi şekil 5.103.'te gösterilmiştir. Genişliğin orta noktasına kadar t(kalınlık) 3 mm'den 5 mm'ye artarken Sxz gerilmeleri de artmıştır. 5 mm'den 6 mm'ye artarken ise azalmıştır. Orta noktadan sonra tam tersi bir durum görülmüştür. Çünkü genişliğin ortasından sonra sanki gerilmeler simetriktir.

b=10 mm ve α=60°, 75° olduğunda Sxz gerilmesinin değişimi şekil 5.103.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişliğin orta noktasına kadar t(kalınlık) artarken Sxz gerilmeleri de artmıştır. Orta noktadan sonra tam tersi bir durum görülmüştür. Kalınlık artarken gerilmeler azalmıştır. Çünkü genişliğin ortasından sonra sanki gerilmeler simetriktir.

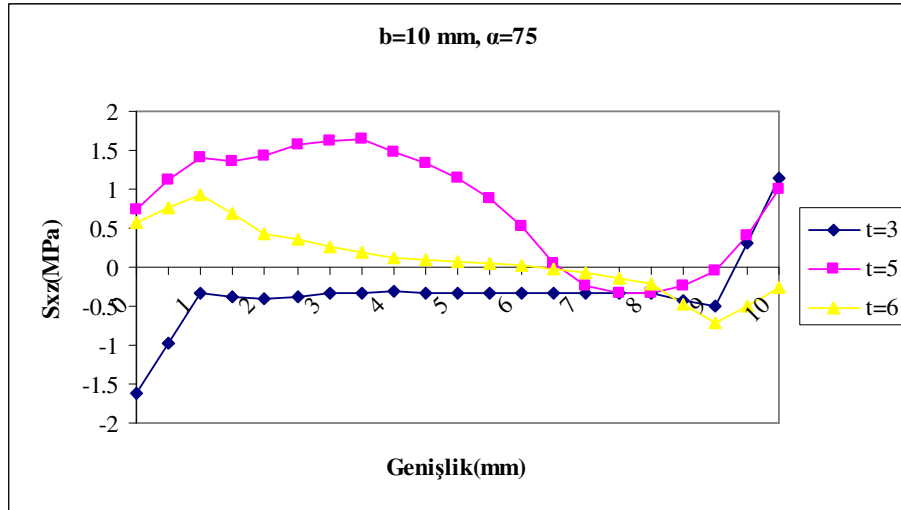
b=15 mm ve α=45°, 60° olduğunda Sxz gerilmesinin değişimi şekil 5.103.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişliğin orta noktasına kadar t(kalınlık) 3 mm'den 5 mm'ye artarken Sxz gerilmeleri azalmıştır. 5 mm'den 6 mm'ye artarken ise artmıştır. Orta noktadan sonra kalınlık artarken gerilmeler azalmıştır. Artma ve azalmalar çok küçük olmuştur.



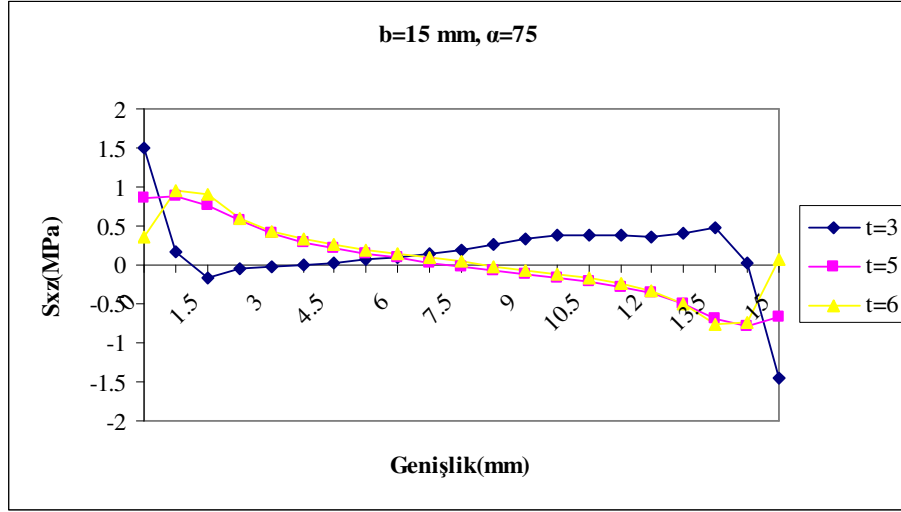
Şekil 5.103. b=10 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=1,2,3)

b=15 mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda Sxz gerilmesinin değişimi şekil 5.105.'te gösterilmiştir. Genişliğin 6. mm'sine kadar, t(kalınlık) 3 mm'den 5 mm'ye artarken Sxz gerilmeleri de artmıştır. t, 5 mm'den 6 mm'ye artarken ise Sxz azalmıştır. 6. mm'den sonra ise kalınlık artarken gerilmeler azalmıştır.

b=20 mm ve $\alpha=45^\circ, 60^\circ$ olduğunda Sxz gerilmesinin değişimi şekil 5.103.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişliğin orta noktasına kadar t(kalınlık) 3 mm'den 5 mm'ye artarken Sxz gerilmeleri azalmıştır. t, 5 mm'den 6 mm'ye artarken ise artmıştır. Genişliğin orta noktasından sonra ise kalınlık artarken gerilmeler de artmıştır.



Şekil 5.104. b=10 mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=19,20,21)

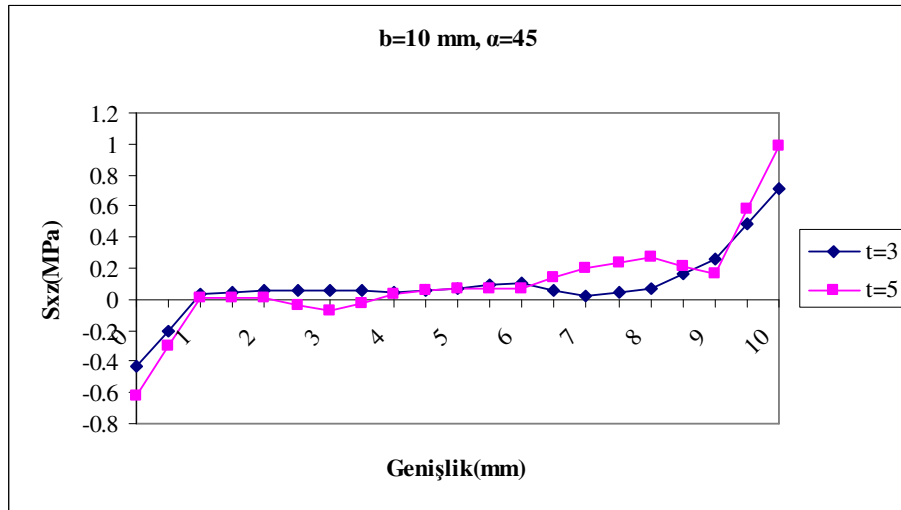


Şekil 5.105. $b=15$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=22,23,24)

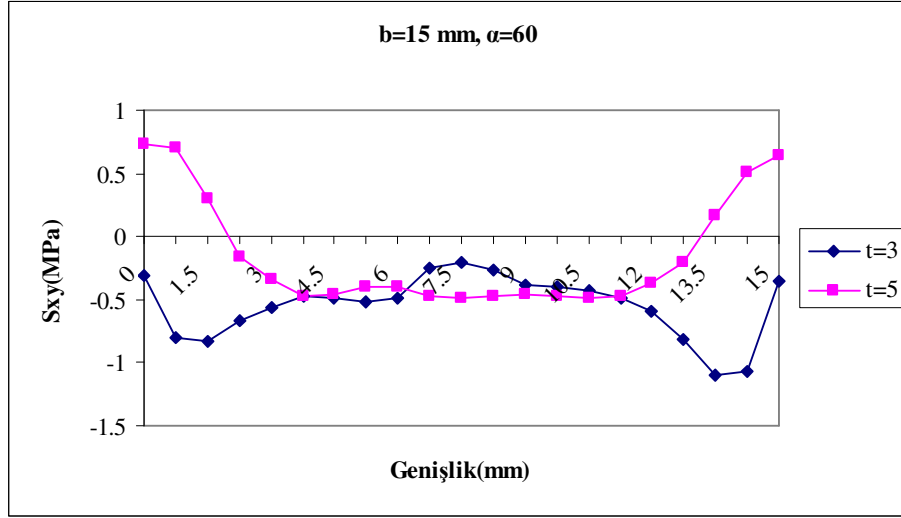
$b=20$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.103.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. t (kalınlık) artarken S_{xz} gerilmeleri de artmıştır. Orta noktaya göre şekil simetrik olup her iki tarafta da kalınlık artarken gerilmeler de artmıştır.

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.106.'da gösterilmiştir. Genişliğin 6-9 mm arası dışında t (kalınlık) artarken S_{xz} gerilmeleri azalmıştır. $b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ, 75^\circ$ olduğunda da t (kalınlık) artarken, S_{xz} gerilmeleri genişliğin 8-10 mm'leri arasındaki mesafe dışında azalmıştır. Bu noktalar arasında ise kalınlık artarken S_{xz} gerilmeleri de artmıştır.



$b=15 \text{ mm}$ ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.107.'de gösterilmiştir. Genişliğin t artarken S_{xz} gerilmeleri kenarlarda daha fazla olmak üzere artmıştır.



Şekil 5.107. $b=15 \text{ mm}$ ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=36,37)

$b=15 \text{ mm}$ ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.106.'ya benzediği için burada gösterilmemiştir. t (kalınlık) artarken, S_{xz} gerilmeleri artmıştır. Genişliğin orta noktasına kadar gerilmeler pozitif iken bu noktadan sonra ise negatiftir.

$b=20 \text{ mm}$ ve $\alpha=45^\circ, 60^\circ$ olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.106.'ya benzediği için burada gösterilmemiştir. t (kalınlık) artarken, S_{xz} gerilmeleri çok küçük miktarda(0.01 MPa kadar) artmıştır. Genişliğin orta noktasına kadar gerilmeler negatif daha sonra ise pozitifdir.

$b=20 \text{ mm}$ ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.106.'ya benzediği için burada gösterilmemiştir. t (kalınlık) artarken, orta noktaya kadar S_{xz} gerilmeleri çok küçük miktarda artmış, orta noktadan sonra ise daha fazla artmıştır. Genişliğin orta noktasına kadar gerilmeler pozitif iken bu noktadan sonra ise negatiftir.

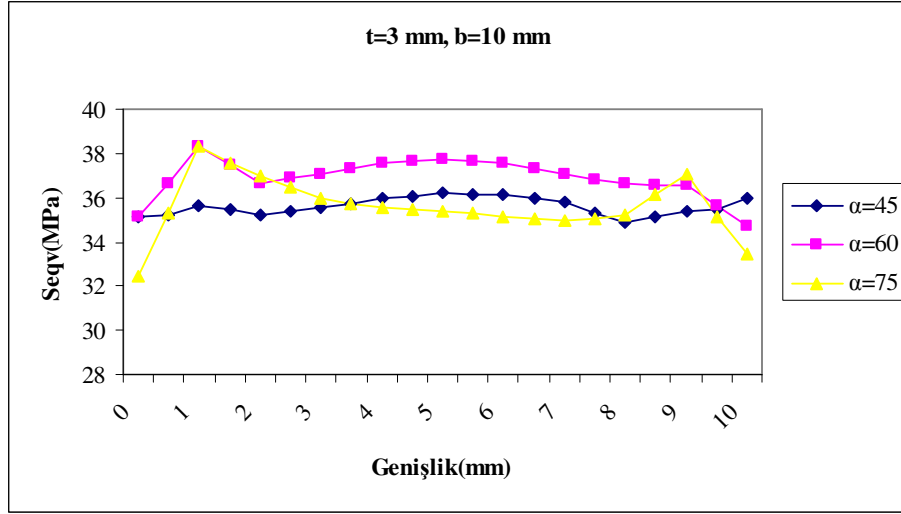
5.3.1.12 Seqv Gerilmelerinin Karşılaştırılması

- α 'ya Göre Seqv Gerilmelerinin İncelenmesi

Burada grafikler çizilirken x eksen b (genişlik), y eksen ise Seqv alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$t=3 \text{ mm}$ ve $b=10 \text{ mm}$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.108.'de gösterilmiştir. $\alpha=45^\circ$ 'den 60° 'ye artarken Seqv gerilmeleri artmıştır. Ancak $\alpha, 60^\circ$ 'den 75° 'ye artarken Seqv gerilmeleri özellikle orta kısımda daha fazla(yaklaşık 2 MPa) azalmıştır.

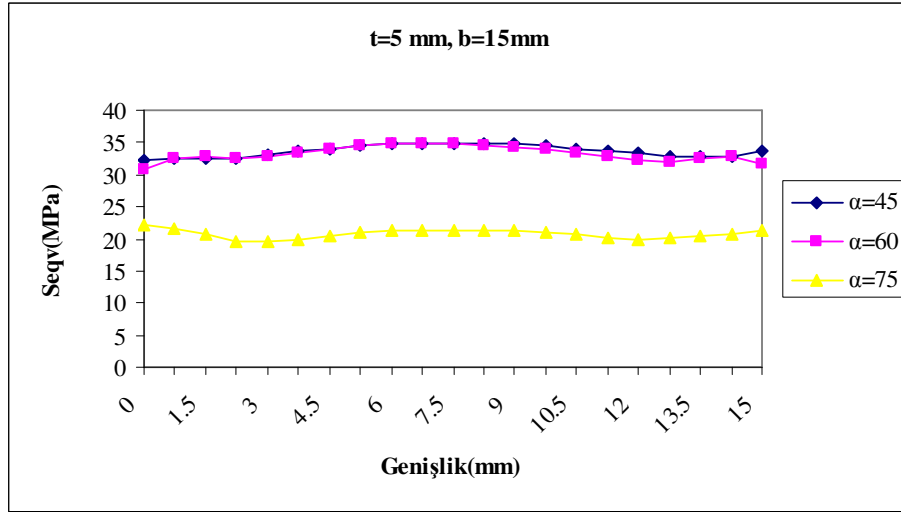


Şekil 5.108. t=3 mm ve b=10 olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=1,10,19)

t=3 mm ve b=15, 20 mm olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.108.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. $\alpha=45^\circ$ 'den 60° 'ye artarken Seqv gerilmeleri artmıştır. Ancak $\alpha=60^\circ$ 'den 75° 'ye artarken ise Seqv gerilmeleri azalmıştır. Şekil 5.108.'deki zikzaklar burada görülmemiş olup artma ve azalmalar daha düzenli(yaklaşık 4 MPa) olmuştur.

t=5 mm ve b=10 mm olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.108.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. α açısı artarken Seqv gerilmeleri artmıştır. Özellikle α , 75° 'ye artarken genişliğin orta kısmında gerilmeler daha fazla artmıştır(yaklaşık 9 MPa).

t=5 mm ve b=15 mm olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.109.'da gösterilmiştir. Açı 45° 'den 60° 'ye artarken Seqv gerilmelerine küçük bir azalma olmuştur. Ancak $\alpha=60^\circ$ 'den 75° 'ye artarken ise Seqv gerilmeleri yaklaşık 12.5 MPa azalmıştır.



Şekil 5.109. t=5 mm ve b=15 olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=5,14,23)

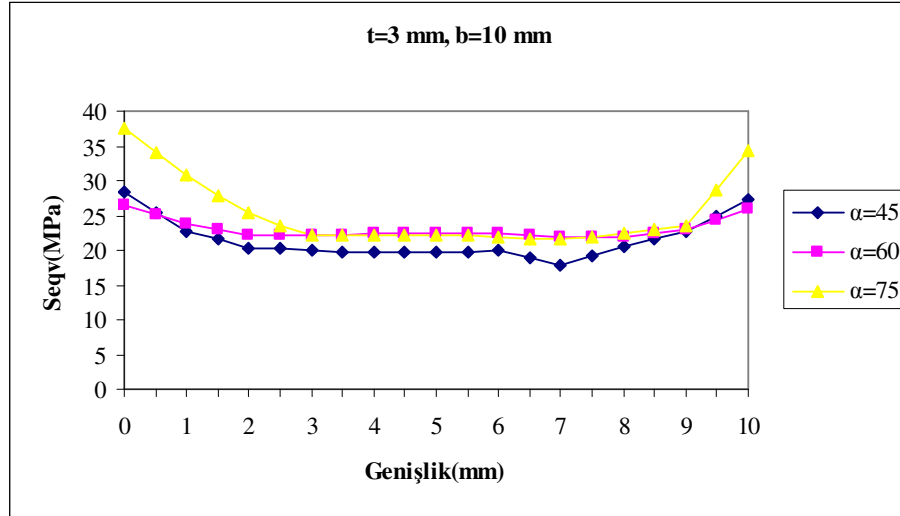
$t=5$ mm ve $b=20$ mm olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.109.'a benzediği için burada gösterilmemiştir. Açı 45° 'den 60° 'ye artarken Seqv gerilmeleri çok küçük bir miktarda azalmıştır. Açı 75° 'ye artarken ise Seqv gerilmeleri yaklaşık 13 MPa azalmıştır.

$t=6$ mm ve $b=10, 15$ mm olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.109.'a benzediği için burada gösterilmemiştir. Açı 45° 'den 60° 'ye artarken Seqv gerilmeleri yaklaşık 4 MPa artmıştır. Açı 75° 'ye artarken ise Seqv gerilmeleri yaklaşık 14 MPa azalmıştır. Ayrıca gerilme grafikleri sanki sabit bir doğru gibidir.

$t=6$ mm ve $b=20$ mm olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.109.'a benzediği için burada gösterilmemiştir. $\alpha=45^\circ$ 'den 60° 'ye artarken Seqv gerilmeleri yaklaşık 16 MPa azalmıştır. Açı 75° 'ye artarken ise Seqv gerilmeleri yaklaşık 1 MPa azalmıştır. Yani açı arttıkça Seqv gerilmeleri azalmıştır.

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.110.'da gösterilmiştir. $\alpha=45^\circ$ 'den 60° 'ye artarken Seqv gerilmeleri yaklaşık 2 MPa artmıştır. Açı 60° 'den 75° 'ye artarken ise Seqv gerilmeleri genişliğin orta kısmında çok küçük bir miktarda azalırken kenarlarda artmıştır.



Şekil 5.110. $t=3$ mm ve $b=10$ olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=28,34,40)

$t=3,5$ mm ve $b=15,20$ mm olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi de şekil 5.110.'a benzer olup açı 45° 'den 60° 'ye artarken Seqv yaklaşık 4 MPa artmıştır. Açı 60° 'den 75° 'ye artarken ise genişliğin ortasında Seqv yaklaşık 2 MPa azalırken kenarlarda ise artmıştır.

$t=5$ mm ve $b=15,20$ mm olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.110.'a benzediği için burada gösterilmemiştir. Açı 45° 'den 60° 'ye artarken Seqv gerilmeleri yaklaşık 13 MPa azalmıştır. Açı 75° 'ye artarken ise Seqv gerilmeleri kenarlar dışında yaklaşık 0.5 MPa azalmıştır. Yani açı arttıkça Seqv gerilmeleri azalmıştır. Grafikler sabit bir doğruya yakındır.

- **b ‘ye Göre Seqv Gerilmelerinin İncelenmesi**

Burada grafikler çizilirken x eksenini a(bindirme mesafesi), y eksenini ise Seqv alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

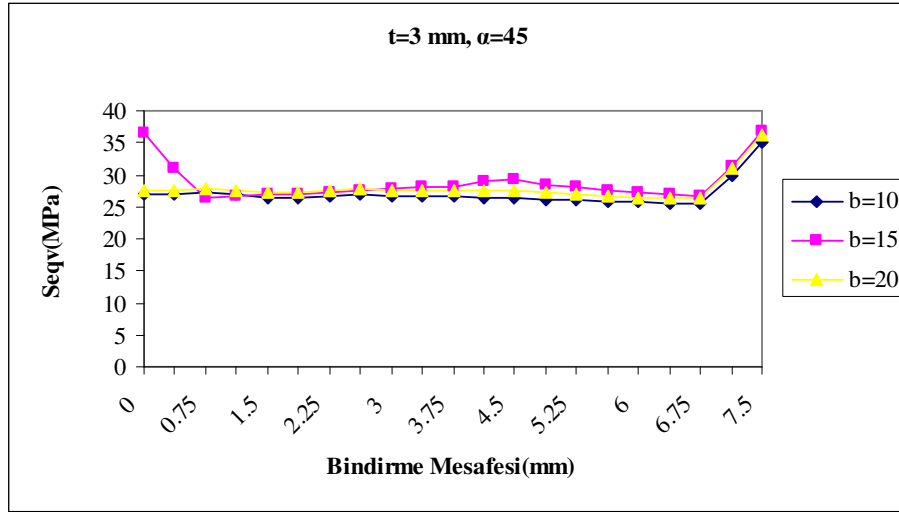
$t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.111.’de gösterilmiştir. Genişlik 10 mm’den 15 mm’ye artarken Seqv gerilmeleri çok küçük bir artış göstermiştir. 15 mm’den 20 mm’ye artarken ise çok küçük bir azalma göstermiştir. Gerilme değerleri birbirlerine çok yakındır.

$t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ, 75^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.111.’e benzediği için burada gösterilmemiştir. $b=10$ mm’den 15 mm’ye artarken Seqv gerilmeleri küçük bir artış göstermiştir. $b=15$ mm’den 20 mm’ye artarken ise küçük bir azalma göstermiştir. Gerilme değişimi şekil 5.111’den biraz daha fazla olmuştur(yaklaşık 2 MPa).

$t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.111.’e benzediği için burada gösterilmemiştir. Burada genişlik arttıkça Seqv gerilmesi küçük bir miktarda azalmıştır.

$t=5$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.111.’e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik artarken Seqv kenarlar dışında küçük bir azalma olmuştur.

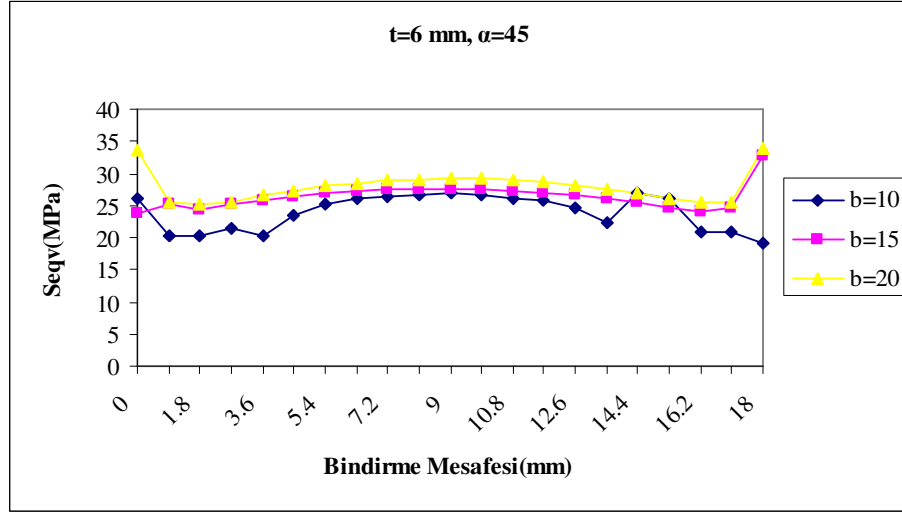
$t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.111.’e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik arttıkça Seqv gerilmeleri de artmıştır.



Şekil 5.111. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=1,4,7)

$t=6$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.112.’de gösterilmiştir. Genişlik arttıkça Seqv gerilmeleri de artmıştır(yaklaşık 2 MPa).

$t=6$ mm ve $\alpha=60^\circ, 75^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.112.’ye benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik arttıkça Seqv gerilmeleri de artmıştır(yaklaşık 1 MPa). Burada gerilme değerleri birbirine çok yakın elde edilmiştir.

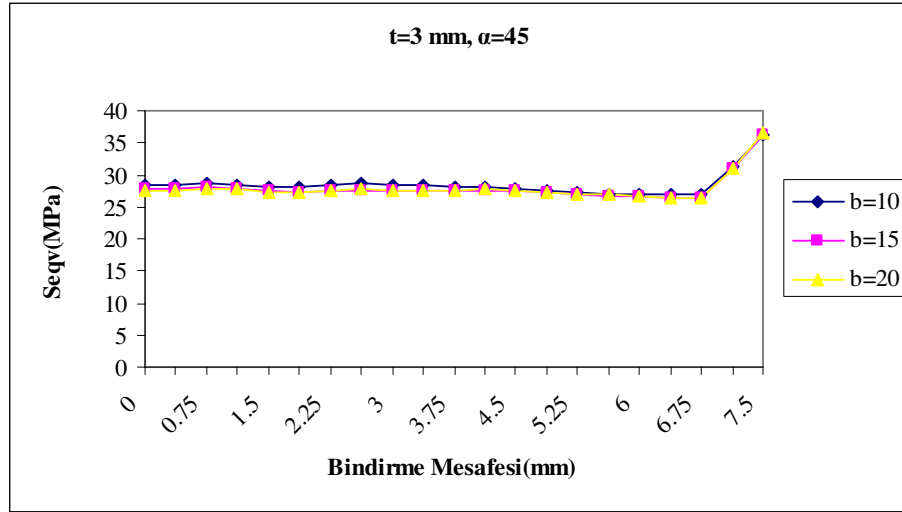


Şekil 5.112. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=3,6,9)

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.113.'te gösterilmiştir.

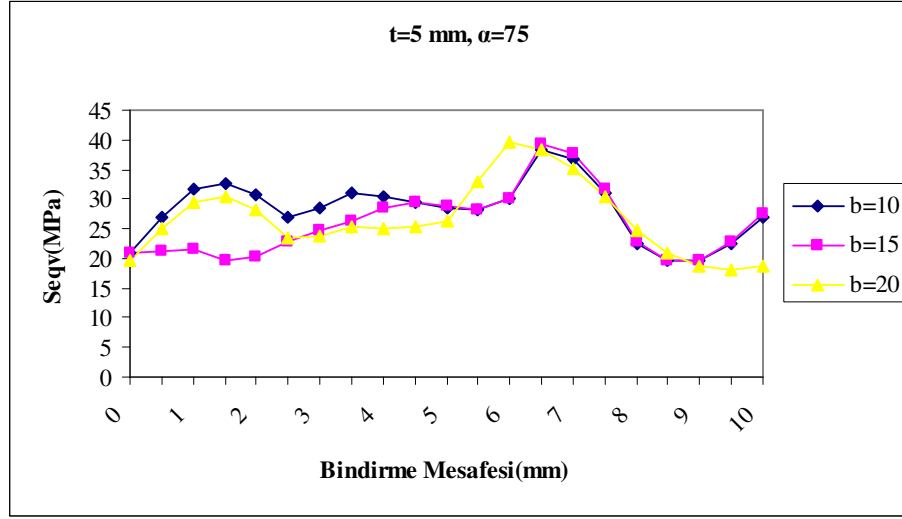
Genişlik arttıkça Seqv gerilmeleri çok küçük miktarlarda da olsa azalmıştır(yaklaşık 0.5 MPa)



Şekil 5.113. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=28,30,32)

$t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ, 75^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.113.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken Seqv gerilmeleri yaklaşık 0.6 MPa artmıştır. 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise yaklaşık 0.8 MPa azalmıştır.

$t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.113.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. $b=10$ mm'den 15 mm'ye artarken Seqv gerilmeleri kenarlar dışında yaklaşık 2 MPa azalmıştır. 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise yaklaşık 2 MPa artmıştır.



Şekil 5.114. $t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=41,43,45)

$t=5$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.113.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik arttıkça Seqv gerilmeleri de artmıştır.

$t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.114.'te gösterilmiştir. Genişlik 10 mm'de 15 mm'ye artarken Seqv gerilmeleri azalmıştır. 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise bindirme mesafesinin sağ kenarı dışında artmıştır.

- **t 'ye Göre Seqv Gerilmelerinin İncelenmesi**

Burada grafikler çizilirken x eksenini b (genişlik), y eksenini ise Seqv alınmıştır.

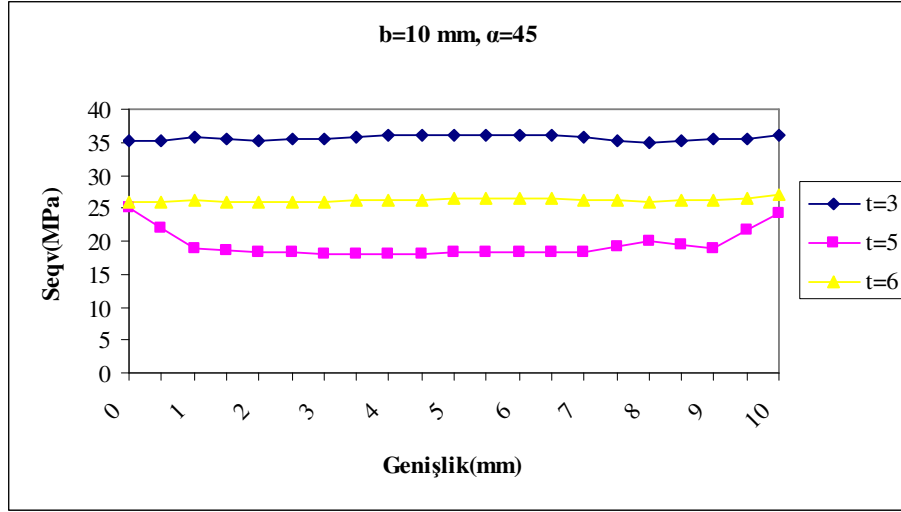
A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.115.'te gösterilmiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken Seqv gerilmeleri yaklaşık 17 MPa azalmıştır. 5 mm'den 6 mm'ye artarken ise yaklaşık 8 MPa artmıştır. $t=5$ mm dışındakilerin gerilme grafikleri yaklaşık sabit bir doğru elde edilmiştir.

$b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.115.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken Seqv gerilmeleri azalmıştır. 5 mm'den 6 mm'ye artarken ise kenarlarda daha az olmak üzere yaklaşık 10 MPa artmıştır. $t=5$ mm dışındakilerin gerilme grafikleri yaklaşık sabit bir doğrudur.

$b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.116.'da gösterilmiştir. Kalınlık artarken Seqv gerilmeleri azalmıştır.

$b=15$ mm ve $\alpha=45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.116.'ya benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık artarken Seqv gerilmeleri önce yaklaşık 3 MPa, daha sonra ise yaklaşık 13 MPa azalmıştır. Yani kalınlık artışı Seqv gerilmelerini azaltmıştır.

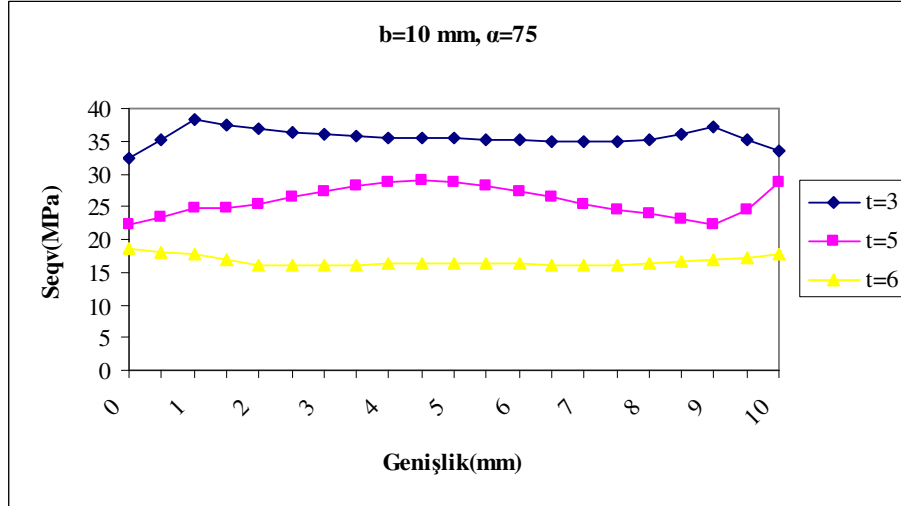


Şekil 5.115. b=10 mm ve $\alpha=45$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=1,2,3)

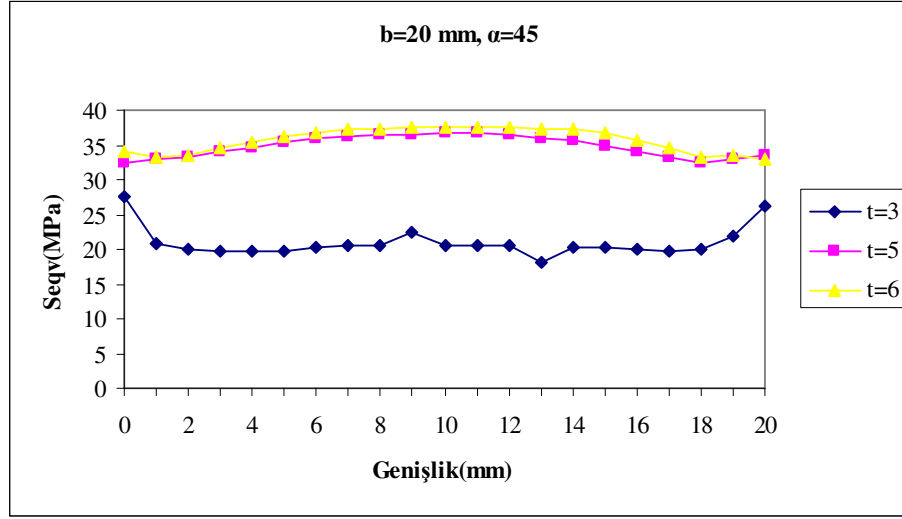
b=20 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.117.'de gösterilmiştir.

Kalınlık artarken Seqv gerilmeleri artmıştır.

b=20 mm ve $\alpha=60^\circ, 75^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.116.'ya benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık artarken Seqv gerilmeleri azalmıştır.



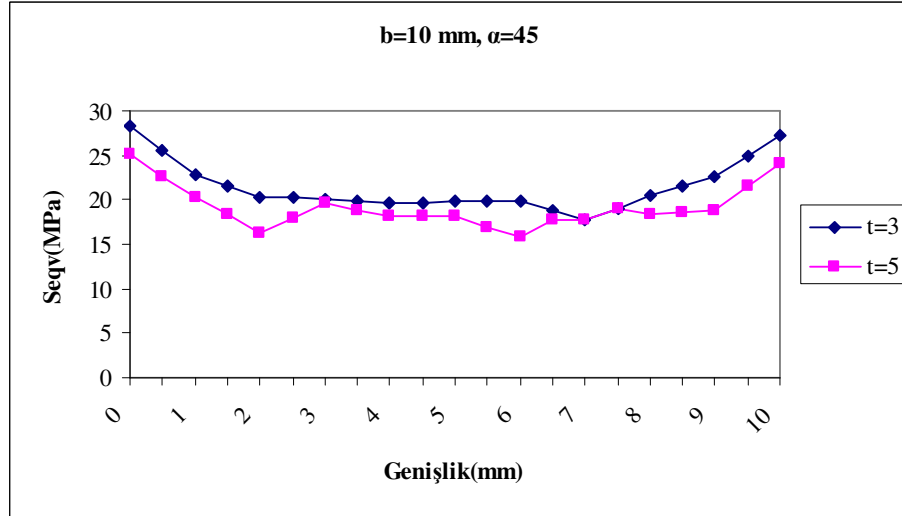
Şekil 5.116. b=10 mm ve $\alpha=75$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=19,20,21)



Şekil 5.117. b=20 mm ve $\alpha=45$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=7,8,9)

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

b=10 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.118.'de gösterilmiştir. Kalınlık artarken Seqv gerilmeleri azalmıştır.

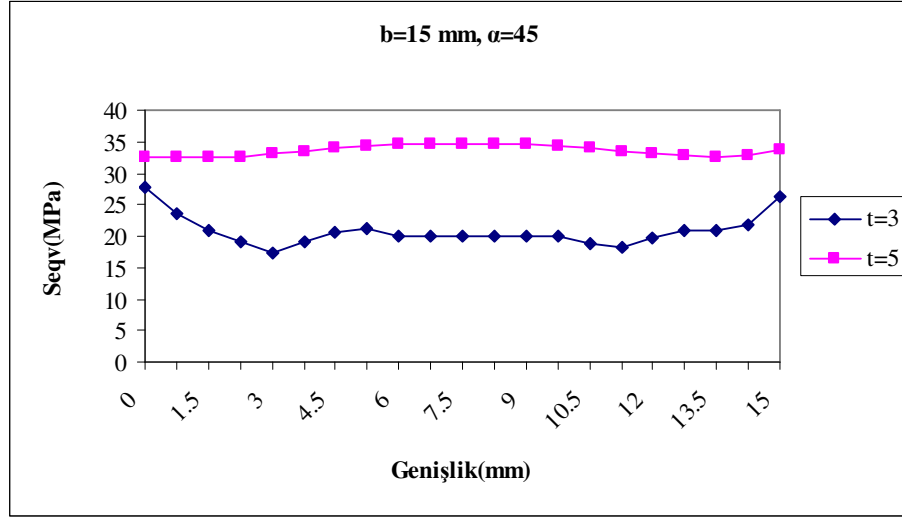


Şekil 5.118. b=10 mm ve $\alpha=45$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=28,29)

b=10 mm ve $\alpha=60^\circ, 75^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.118.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık artarken Seqv gerilmeleri azalmıştır.

b=15 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.119.'da gösterilmiştir. Kalınlık artarken Seqv gerilmeleri yaklaşık 11 MPa artmıştır.

b=15 mm ve $\alpha=60^\circ, 75^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.118.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken Seqv gerilmeleri kenarlarda daha az olmak üzere yaklaşık 4 MPa azalmıştır. Grafik burada daha düzgündür.



Şekil 5.119. $b=15$ mm ve $\alpha=45$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=30,31)

$b=20$ mm ve $\alpha=45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ olduğunda $Seqv$ gerilmesinin değişimi şekil 5.118.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık artarken $Seqv$ gerilmeleri azalmıştır. Grafiklerde küçük zikzaklar görülmüştür.

5.3.2. Flexo Tix Yapıştırıcı

Felxo Tix yapıştırıcısı ile yapıştırılmış olan malzemenin sırasıyla $S_x, S_y, S_z, S_{xy}, S_{xz}$ ve $Seqv$ gerilmeleri grafikler yardımıyla karşılaştırılmıştır.

5.3.2.7. S_x Gerilmelerinin Karşılaştırılması

- α 'ya Göre S_x Gerilmelerinin İncelenmesi

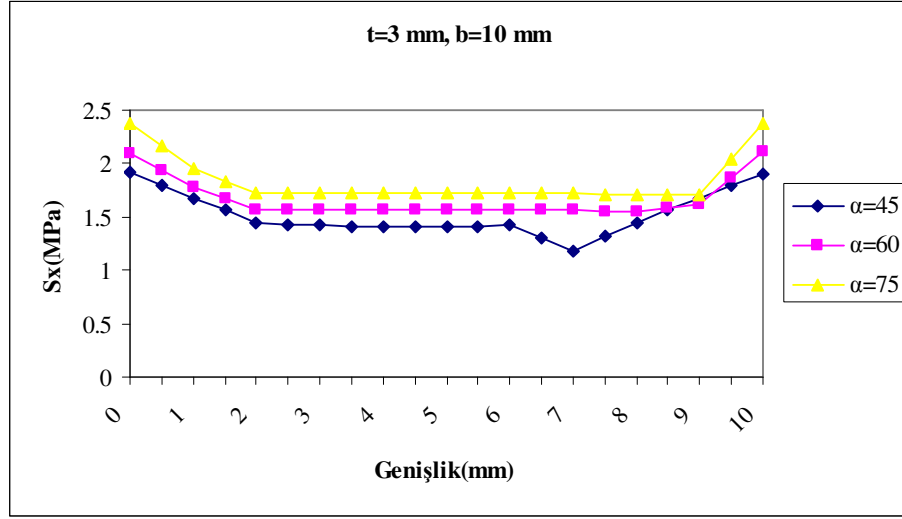
Açı etkisi gösterilirken x eksen b (genişlik), y eksen ise S_x gerilmesi olarak alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda S_x gerilmesinin açıya göre değişimi şekil 5.120.'de gösterilmiştir. Açı değerleri arttıkça S_x gerilmesi de artmıştır.

$t=3$ mm ve $b=15$ ve 20 mm olduğunda de α açısı arttıkça S_x gerilmeleri artmıştır. Aynı zamanda $t=5$ mm ve $b=10, 15, 20$ olduğunda α açısı arttıkça S_x gerilmeleri artmıştır. Bu durumlarda gerilme artış miktarları da birbirlerine çok yakın olmuştur.

$t=6$ mm ve $b=10$ ve 20 mm olduğunda α açısı arttıkça S_x gerilmesi artmıştır. Ancak $b=15$ mm olduğunda α 45° 'den 60° 'ye artarken S_x gerilmeleri artmasına rağmen açı 60° 'den 75° 'ye artarken gerilmelerde yaklaşık 0.5 MPa'lık azalma görülmüştür.



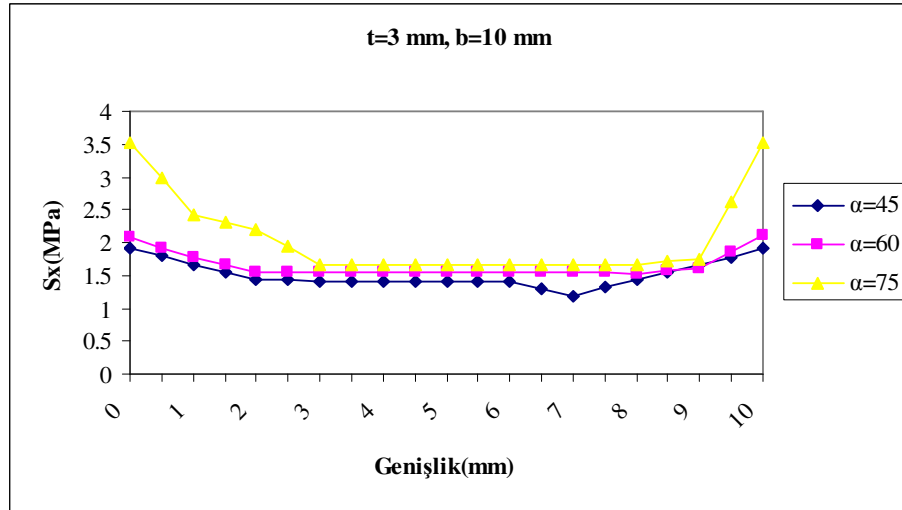
Şekil 5.120. t=3 mm ve b=10 olduğunda α(açı) etkisi (Numune No=1,10,19)

A- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

t=3 mm ve b=10 mm olduğunda Sx gerilmesinin açığa göre değişimi şekil 5.121.'de gösterilmiştir. Açı değerleri arttıkça Sx gerilmesi de artmıştır.

t=3 mm ve b=15, 20 mm olduğunda α açısı arttıkça Sx gerilmeleri artmıştır. Artış miktarları da birbirlerine çok yakın olup şekil 5.121.'e benzemektedir.

t=5 mm ve b=10, 15 ve 20 mm olduğunda α açısı arttıkça Sx gerilmeleri artmıştır. Artış miktarları genelde 0.1-0.2 MPa arasında olup şekil 5.121.'e benzemektedir.



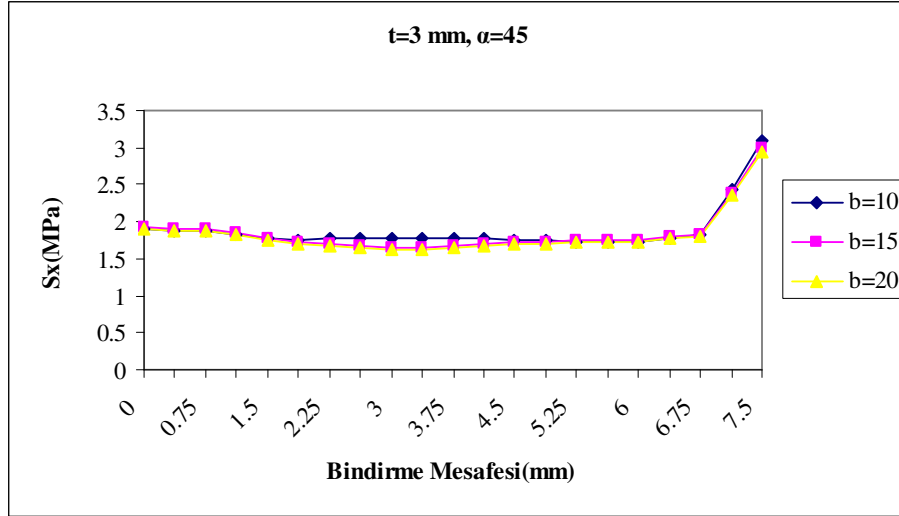
Şekil 5.121. t=3 mm ve b=10 mm olduğunda α(açı) etkisi (Numune No=28,34,40)

- **b'ye Göre Sx Gerilmelerinin İncelenmesi**

Burada grafikler çizilirken x ekseni a(bindirme mesafesi), y ekseni ise Sx alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

t=3 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Sx gerilmesinin değişimi şekil 5.122.'de gösterilmiştir. Genişlik artarken Sx gerilmeleri çok küçük bir azalma(yaklaşık 0.01 MPa) göstermiştir. Bütün genişliklerde gerilme değerleri birbirlerine çok yakın elde edilmiştir.



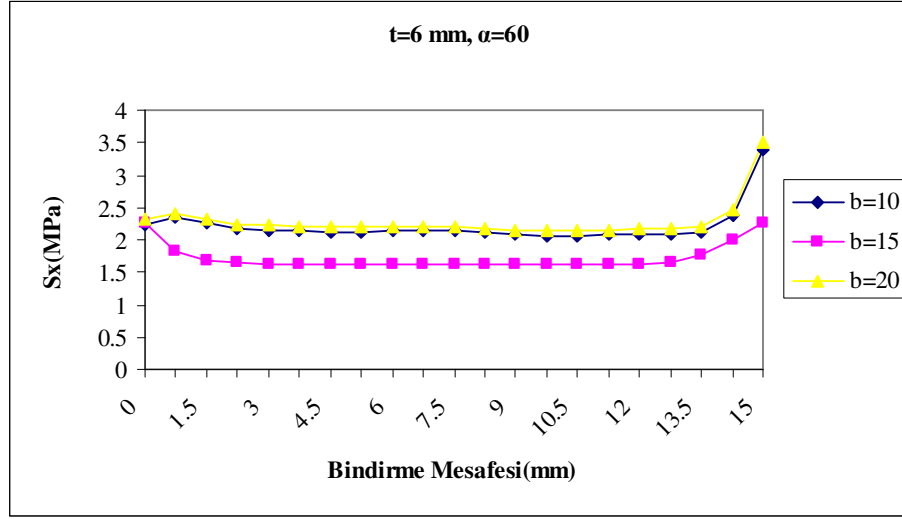
Şekil 5.122. t=3 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=1,4,7)

t=3 mm ve $\alpha=60^\circ$ ve 75° olduğunda genişlik artarken Sx gerilmeleri çok küçük bir artış göstermiştir. Tüm genişliklerde gerilmeler birbirlerine yakın olup şekil 5.122.'ye benzerdirler.

t=5 mm ve $\alpha=45^\circ$, 60° ve 75° olduğunda genişlik artarken Sx gerilmeleri çok küçük bir artış göstermiştir. Tüm genişliklerde Sx'r birbirlerine çok yakın olup şekil 5.122.'ye benzerdirler.

t=6 mm ve $\alpha=45^\circ$ ve 75° olduğunda genişlik artarken Sx gerilmeleri çok küçük bir artış göstermiştir. Burada da tüm genişliklerde gerilmeler birbirlerine çok yakın olup şekil 5.122.'ye benzerdirler.

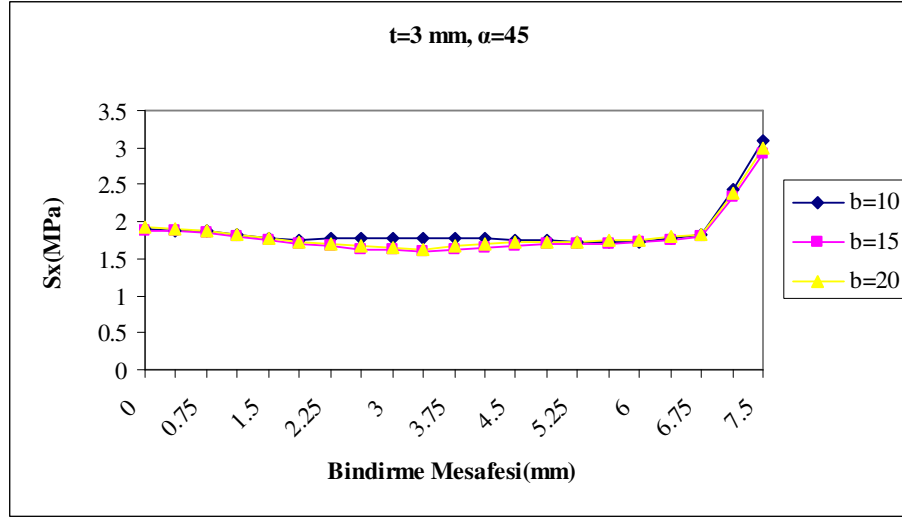
t=6 mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda Sx gerilmesinin değişimi şekil 5.123.'te gösterilmiştir. Burada b 10 mm'den 15 mm'ye artarken Sx yaklaşık 0.5 MPa azalmıştır. Ancak 15'den 20'ye artarken Sx yaklaşık 0.5 MPa artmıştır.



Şekil 5.123. $t=6$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=12,15,18)

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.124.'te gösterilmiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken S_x gerilmeleri çok küçük bir azalma(yaklaşık 0.12 MPa) gösterirken 20 mm'ye artarken ise yaklaşık 0.1 MPa artmıştır.

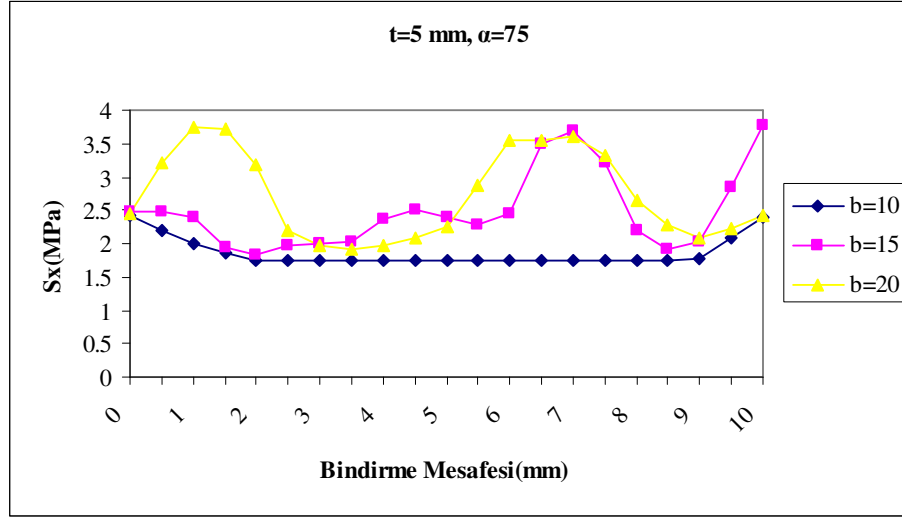


Şekil 5.124. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=28,30,32)

$t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$ ve 75° olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.124.'e benzer olup genişlik arttıkça S_x gerilmeleri çok küçük bir miktarda bile olsa artmıştır.

$t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ$ ve 60° olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.124.'e benzer olup genişlik arttıkça S_x gerilmeleri çok küçük bir miktar artmıştır(yaklaşık 0.03 MPa).

$t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.125.'te gösterilmiştir. Burada bazı zikzaklar olmasına rağmen genişlik arttıkça genelde S_x gerilmeleri artmıştır.



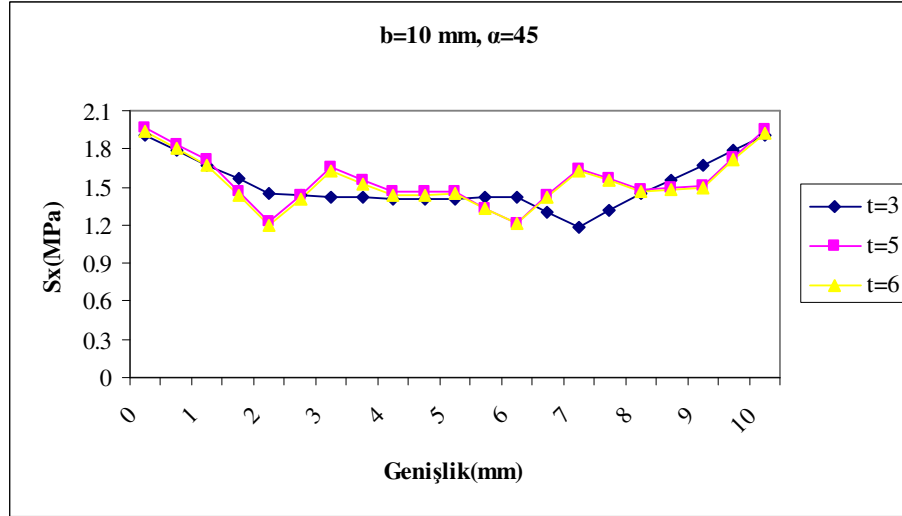
Şekil 5.125. t=5 mm ve α=75° olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=41,43,45)

- **t'ye Göre Sx Gerilmelerinin İncelenmesi**

Burada grafikler çizilirken x eksenini b(genişlik), y eksenini ise Sx alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

b=10 mm ve α=45° olduğunda Sx gerilmesinin değişimi şekil 5.126.'da gösterilmiştir. Kalınlık(t) artarken Sx gerilmeleri üç nokta dışında artmıştır. Genişliğin 2. 6. ve 8. mm'lerinde ise azalmıştır.



Şekil 5.126. b=10 mm ve α=45° olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=1,2,3)

b=15 mm ve α=45° olduğunda Sx gerilmesinin değişimi şekil 5.126.'ya benzediği için gösterilmemiştir. Kalınlık artarken Sx gerilmeleri genişliğin 4-5 mm arası dışında artmıştır. buradaki grafik şekil 5.126.'dan daha düzgündür. Gerilme değerleri birbirlerine çok yakındır.

$b=20$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.126.'ya benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık artarken S_x gerilmeleri artmıştır(yaklaşık 0.02 MPa). Şekil 5.126.'dan daha düzgün olup gerilme değerleri birbirlerine çok yakındır.

$b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.126.'ya benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık artarken S_x gerilmeleri artmıştır(yaklaşık 0.04 MPa). Şekil 5.126.'dan çok daha düzgün olup gerilme değerleri birbirlerine yakındır.

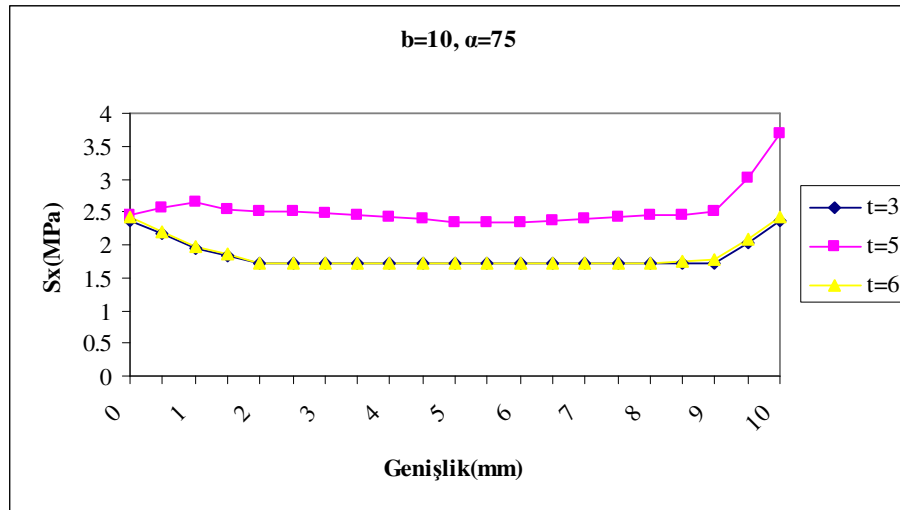
$b=15$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.126.'ya benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık artarken S_x gerilmeleri artmıştır.

$b=20$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.126.'ya benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık artarken S_x gerilmeleri yaklaşık 0.1 MPa artmıştır. Gerilme değerleri birbirlerine çok yakındır.

$b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.127.'de gösterilmiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_x gerilmeleri artmıştır. 5 mm'den 6 mm'ye artarken ise gerilmeler yaklaşık 0.7 MPa azalmıştır.

$b=15$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.127.'e benzerdir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_x gerilmeleri azalmıştır. Kalınlık 5 mm'den 6 mm'ye artarken ise gerilmeler artmıştır. Artış azalışlar yaklaşık 0.01 MPa'dır.

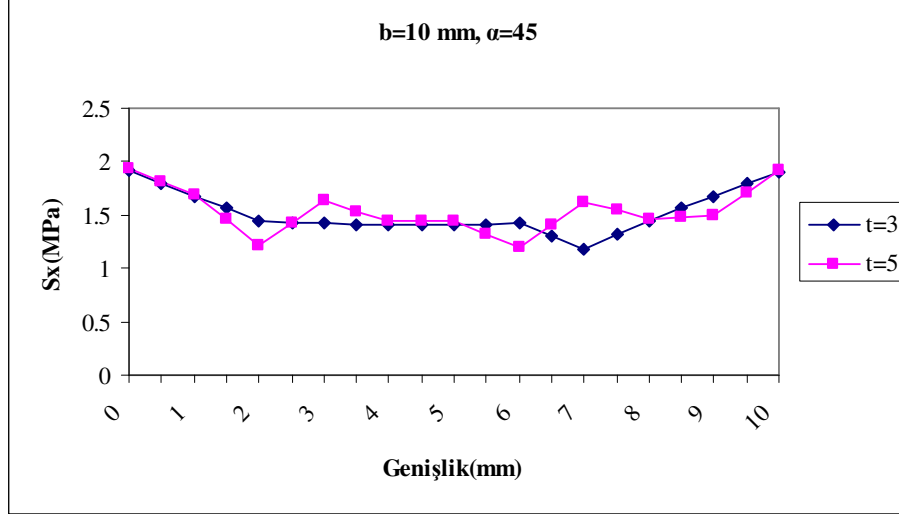
$b=20$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.127.'e benzerdir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_x gerilmeleri yaklaşık 0.01 MPa artmıştır. 5 mm'den 6 mm'ye artarken ise gerilmeler yaklaşık 0.02 MPa azalmıştır.



Şekil 5.127. $b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=19,20,21)

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.128.'de gösterilmiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_x gerilmeleri 2. ve 6. mm'ler dışında (yaklaşık 0.1 MPa) artmıştır. Gerilmeler bu iki noktada azalmıştır.

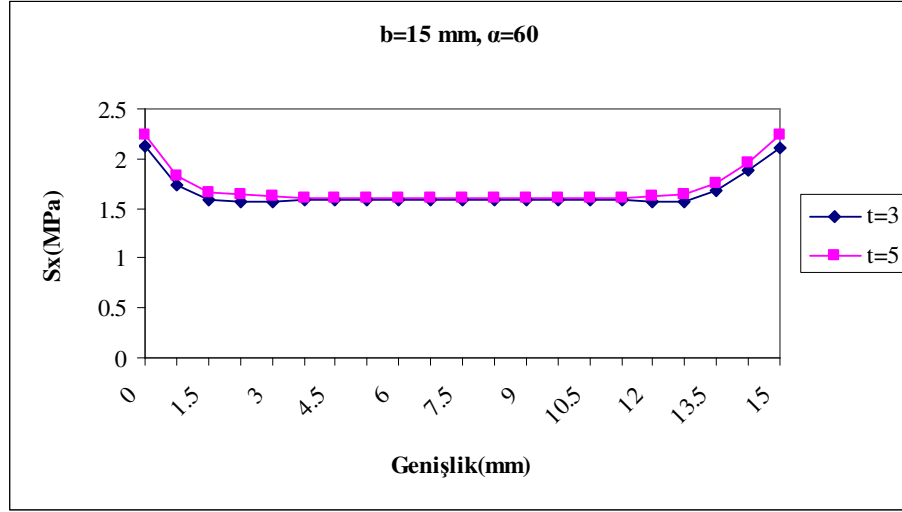


Şekil 5.128. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=28,29)

$b=10$ ve 15 mm, $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.128.'e benzedikleri burada gösterilmemiştir. Her iki genişlik durumu için de kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_x gerilmeleri bir nokta dışında artmıştır(yaklaşık 0.01 MPa). Gerilmeler sadece bir noktada azalmıştır. Her iki kalınlık durumunda da gerilme değerleri çok yakındır.

$b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.129.'da gösterilmiştir. Genişlik 15 ve 20 mm iken de gerilme dağılımı şekil 5.129.'a çok benzemektedir. Kalınlık artarken S_x gerilmeleri $b=10,15$ ve 15 mm iken artmıştır(yaklaşık 0.1 MPa).

$b=10,15$ ve 20 mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_x gerilmelerinin değişimi şekil 5.129.'a benzedikleri burada gösterilmemiştir. Her üç durumda da kalınlık artarken S_x gerilmeleri genellikle yaklaşık 0.1 MPa artmıştır. Artışlar kenarlarda biraz daha fazla olmuştur.



Şekil 5.129. $\alpha=60^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=36,37)

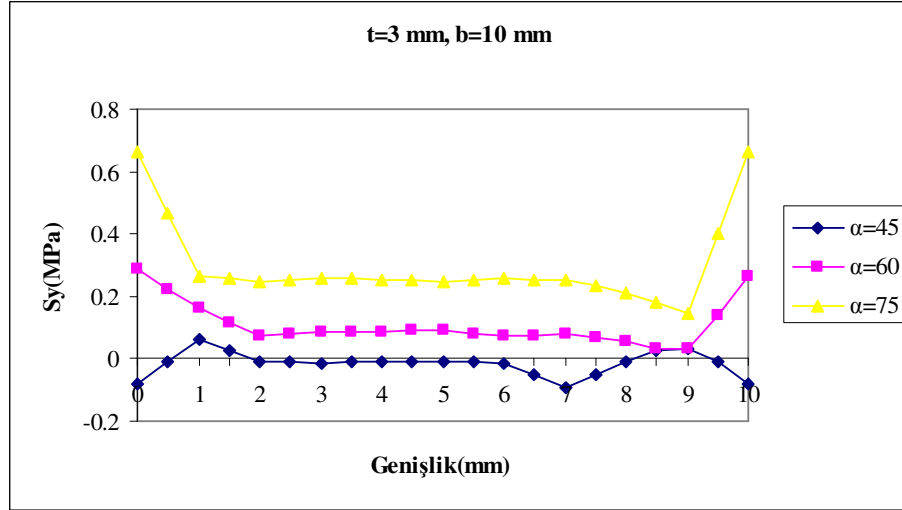
5.3.2.8. Sy Gerilmelerinin Karşılaştırılması

- α 'ya Göre Sy Gerilmelerinin İncelenmesi

Açı etkisi gösterilirken x eksenini b (genişlik), y eksenini ise S_y gerilmesi olarak alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda S_y gerilmesinin açığa göre değişimi Şekil 5.130.'da gösterilmiştir. Açı değerleri arttıkça S_y gerilmesi de artmıştır.



Şekil 5.130. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=1,10,19)

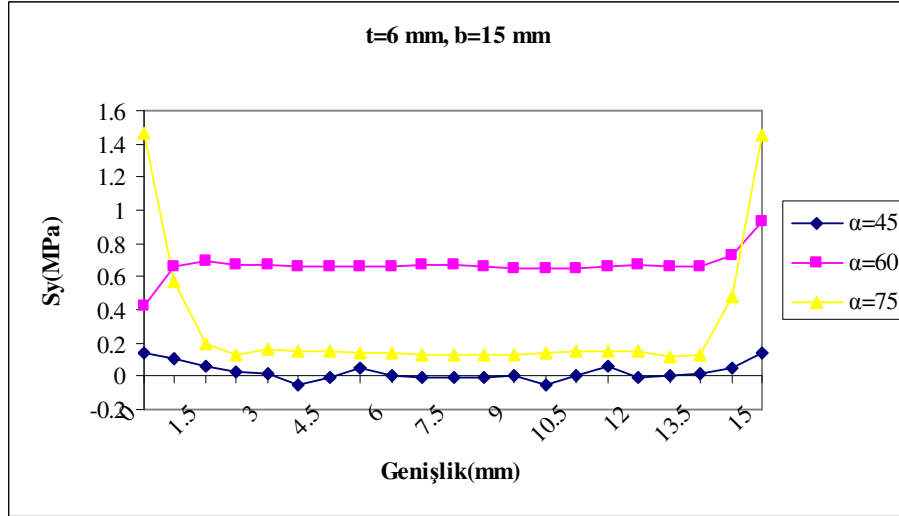
$t=3$ mm ve $b=15, 20$ mm olduğunda da S_y gerilmelerinin açığa göre değişimi Şekil 5.130.'a çok benzediği için burada gösterilmemiştir. Her iki durumda da açı değerleri arttıkça S_y gerilmeleri artmıştır. Genelde $\alpha=45^\circ$ olduğunda gerilmeler negatif bölgededir.

$t=5$ mm ve $b=10, 15, 20$ mm olduğunda S_y gerilmelerinin açığa göre değişimi Şekil

5.130.'a çok benzediği için burada gösterilmemiştir. Her üç durumda da açılı değerleri arttıkça S_y gerilmeleri artmıştır. Genelde $\alpha=45^\circ$ olduğunda gerilmeler negatif bölgededir. $b=10$ olduğunda $\alpha=60^\circ$ 'den 75° 'ye artarken S_y gerilmeleri diğerlerine göre daha fazla artmıştır.

$t=6$ mm ve $b=10, 20$ mm olduğunda S_y gerilmelerinin açılıya göre değişimi şekil 5.130.'a çok benzediği için burada gösterilmemiştir. Her iki durumda da açılı değerleri arttıkça S_y gerilmeleri artmıştır. Artış miktarları da birbirlerine çok yakındır.

$t=6$ mm ve $b=15$ mm olduğunda S_y gerilmesinin açılıya göre değişimi şekil 5.131.'de gösterilmiştir. Açılı 45° 'den 60° 'ye artarken S_y gerilmesi artmış, açılı 75° 'ye artarken azalmıştır.

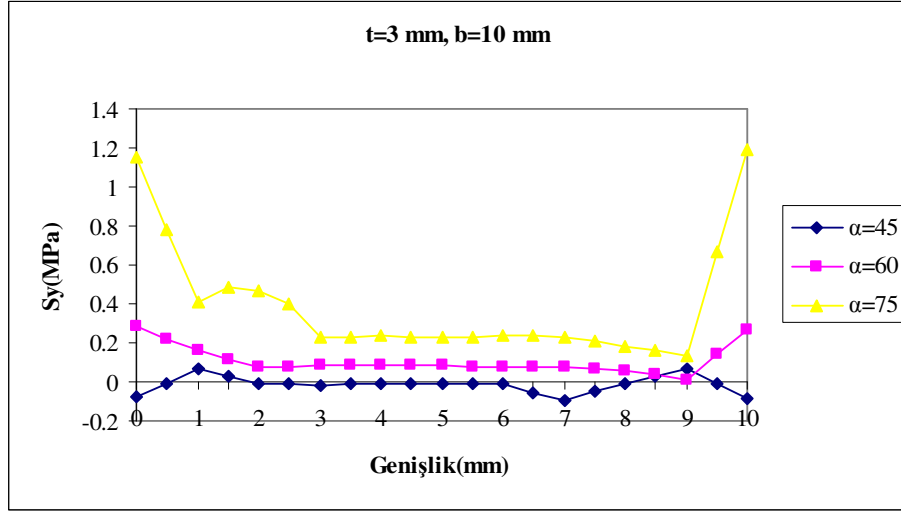


Şekil 5.131. $t=6$ mm ve $b=15$ mm olduğunda α (açılı) etkisi (Numune No=6,15,24)

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda S_y gerilmesinin açılıya göre değişimi şekil 5.132.'de gösterilmiştir. Açılı değerleri arttıkça S_y gerilmesi kenarlarda daha fazla olmak üzere artmıştır. $b=15$ ve 20 mm olduğunda S_y gerilme grafikleri buradaki duruma benzer olup açılı arttıkça S_y gerilmeleri artmıştır. Artış miktarları çok küçük ve birbirlerine yakın gerçekleşmiştir.

$t=5$ mm ve $b=10,15$ ve 20 mm olduğunda S_y gerilmelerinin açılıya göre değişimleri şekil 5.132.'ye benzediği burada gösterilmemiştir. Bu üç durumda da açılı değerleri arttıkça S_y gerilmeleri kenarlarda daha fazla olmak üzere artmıştır.



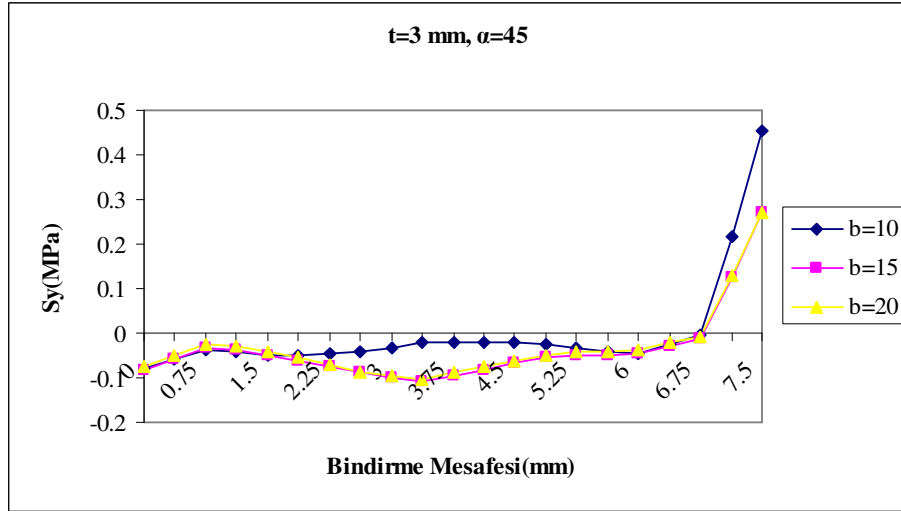
Şekil 5.132. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=28,34,40)

- b'ye Göre Sy Gerilmelerinin İncelenmesi**

Burada grafikler çizilirken x eksenini a (bindirme mesafesi), y eksenini ise S_y alınmıştır.

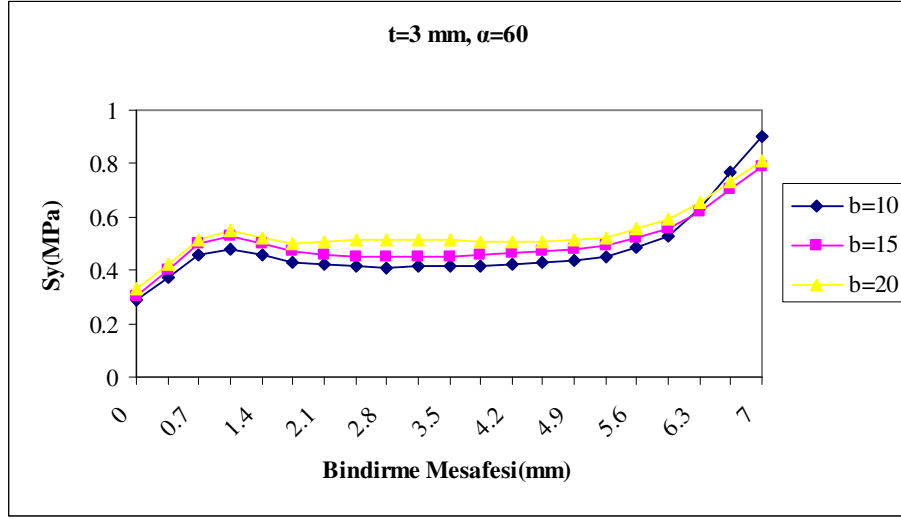
A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi Şekil 5.133.'te gösterilmiştir. Genişlik artarken S_y gerilmeleri bindirme mesafesinin orta kısmı dışında artmıştır. Orta kısımda $b=15$ mm'den 20 mm'ye artarken S_y gerilmeleri bir miktar azalmıştır.



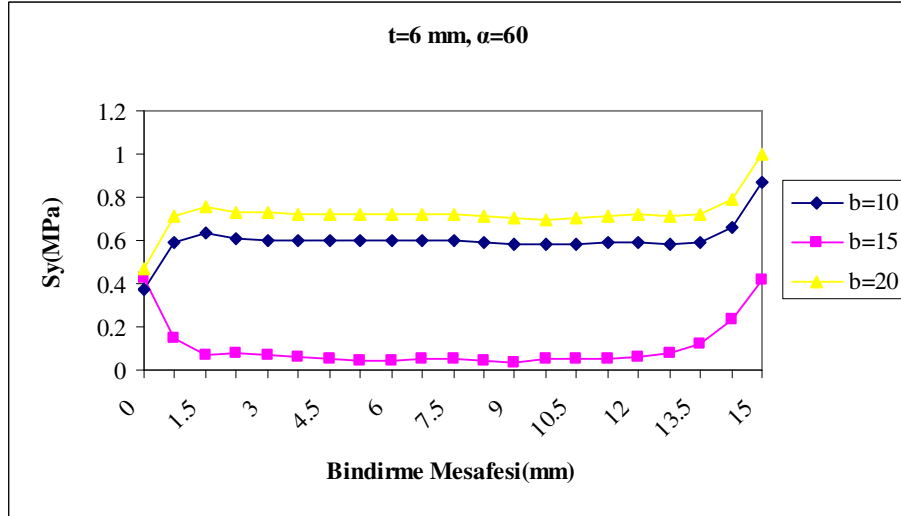
Şekil 5.133. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=1,4,7)

$t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi Şekil 5.134.'te gösterilmiştir. Genişlik artarken S_y gerilmeleri yaklaşık 0.04 MPa artmıştır. $t=3$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda genişlik artarken gerilmeler artmıştır. Aynı durum $t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ$, 60° ve 75° için de geçerlidir. $t=6$ mm ve $\alpha=45^\circ$ ve 75° olduğunda da genişlik artarken S_y gerilmeleri de artmıştır.



Şekil 5.134. $t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=10,13,16)

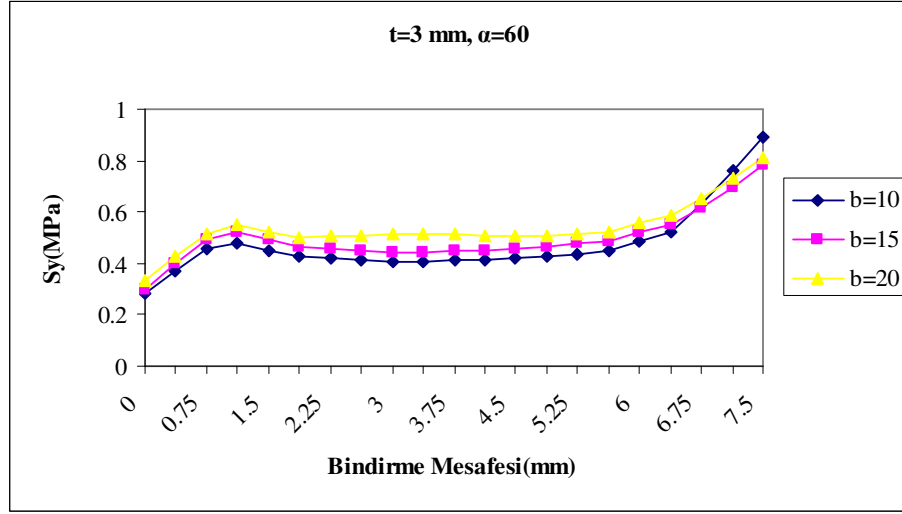
$t=6$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.135.'te gösterilmiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken S_y gerilmeleri azalırken, 15 mm'den 20 mm'ye geçerken ise artmıştır.



Şekil 5.135. $t=6$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=12,15,18)

A- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.133.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik artarken S_y gerilmeleri bindirme mesafesinin orta kısmı dışında artmıştır. Orta kısımda $b=15$ mm'den 20 mm'ye geçerken gerilme azalmıştır.



Şekil 5.136. $t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=34,36,38)

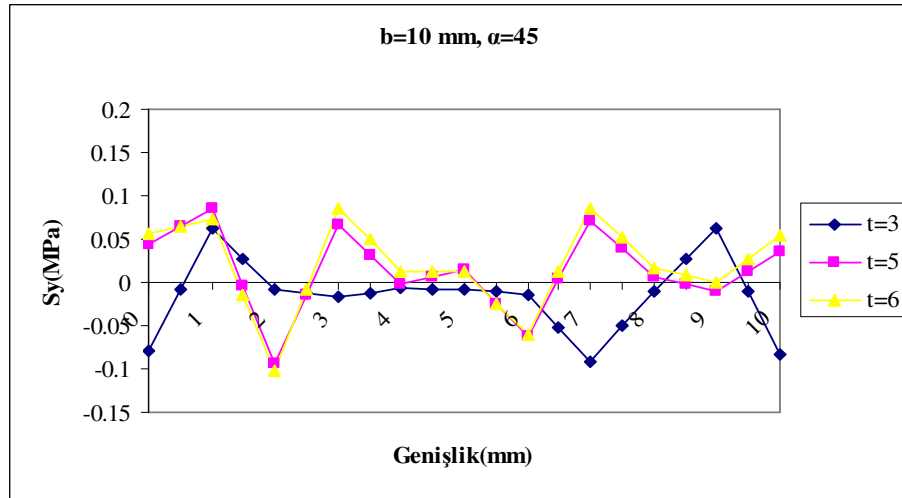
$t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.136.'da gösterilmiştir. Genişlik artarken S_y gerilmeleri yaklaşık 0.04 MPa artmıştır. Artış $t=3$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda da görülmüştür. Ayrıca $t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ olduğunda da S_y gerilmeleri artmıştır. Sadece açı artarken gerilmelerin artış miktarları birbirlerinden farklıdır.

- t 'ye Göre S_y Gerilmelerinin İncelenmesi**

Burada grafikler çizilirken x eksen b (genişlik), y eksen ise S_y alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.137.'de gösterilmiştir. Kalınlık artarken S_y gerilmeleri genişliğin üç noktası dışında artmıştır.



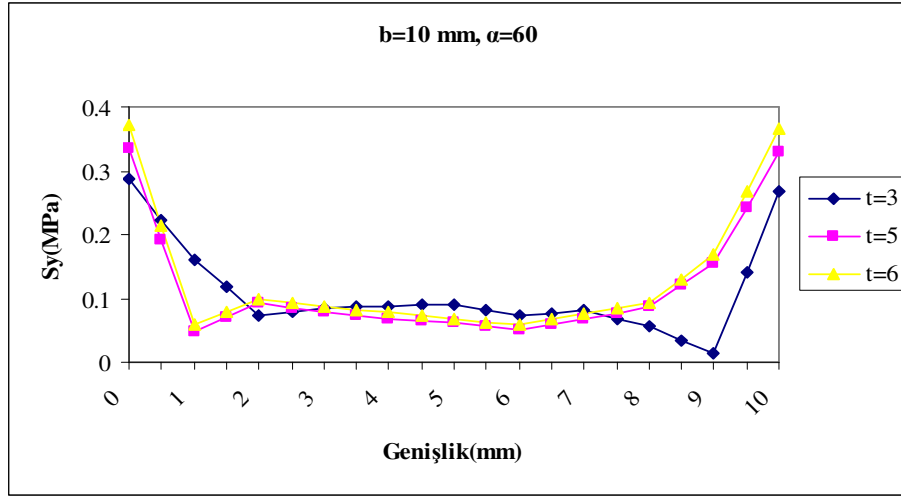
Şekil 5.137. $\alpha=60^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=1,2,3)

$b=15, 20$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.137.'e benzediği için

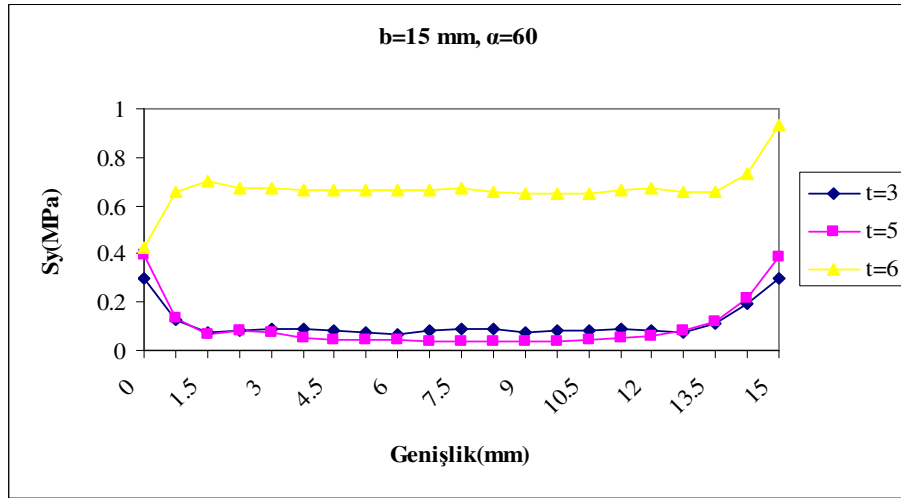
burada gösterilmemiştir. Burada da kalınlık artarken S_y gerilmeleri iki nokta dışında artmıştır. Genişliğin 6. ve 13. mm'lerinde ise gerilmeler azalmıştır. Grafiklerde zikzaklar görülmüştür.

$b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.138.'de gösterilmiştir. Kalınlık artarken S_y gerilmeleri genişliğin orta kısmı dışında artmıştır. Gerilmeler genişliğin orta kısmında $t=5$ mm'ye artarken azalmasına rağmen 6 mm'ye artarken S_y gerilmeleri azalmıştır. Grafiğin bazı noktalarında zikzaklar görülmüştür.

$b=15$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.139.'da gösterilmiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_y gerilmeleri azalmıştır. Kalınlık 5 mm'den 6 mm'ye artarken ise gerilmeler yaklaşık 0.65 MPa artmıştır.



Şekil 5.138. $b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=10,11,12)



Şekil 5.139. $b=15$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=13,14,15)

$b=20$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.138.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık artarken S_y gerilmeleri genişliğin orta kısmı dışında artmıştır.

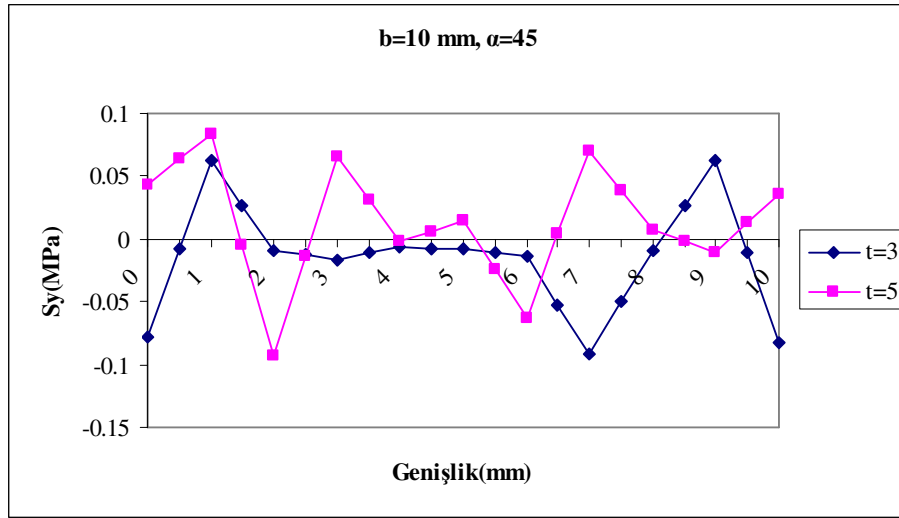
Gerilmeler genişliğin orta kısmında $t=5$ mm'ye artarken S_y azalmasına rağmen 6 mm'ye artarken S_y azalmıştır. Burada zikzaklar daha az görülmüştür.

$b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.139.'a benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_y gerilmeleri yaklaşık 0.8 MPa artmıştır. Kalınlık 5 mm'den 6 mm'ye artarken ise gerilmeler yaklaşık 0.9 MPa azalmıştır. Grafik çok benzer olmasına rağmen burada artma ve azalmalar yer değiştirmiştir.

$b=15$ ve 20 mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_y gerilmelerinin değişimi şekil 5.138.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık artarken S_y gerilmeleri kenarlar dışında azalmıştır. Sadece her kenardaki bir noktada kalınlıklar artarken gerilmeler artmıştır. Şekil 5.138.'den daha az zikzaklar görülmüştür.

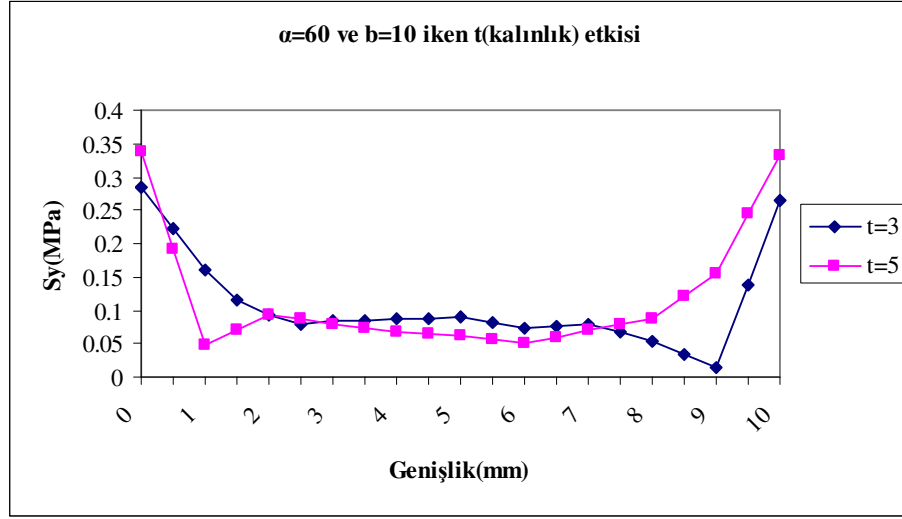
B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.140.'ta gösterilmiştir. Kalınlık artarken S_y gerilmeleri genişliğin 2,6 ve 9. mm'leri dışında artmıştır. Bu üç noktada kalınlık artarken gerilmeler azalmıştır. Grafikte zikzaklar görülmüştür. Aynı durum $b=15$ ve 20 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda da geçerli olduğu görülmüş olup grafikleri burada çizilmemiştir.



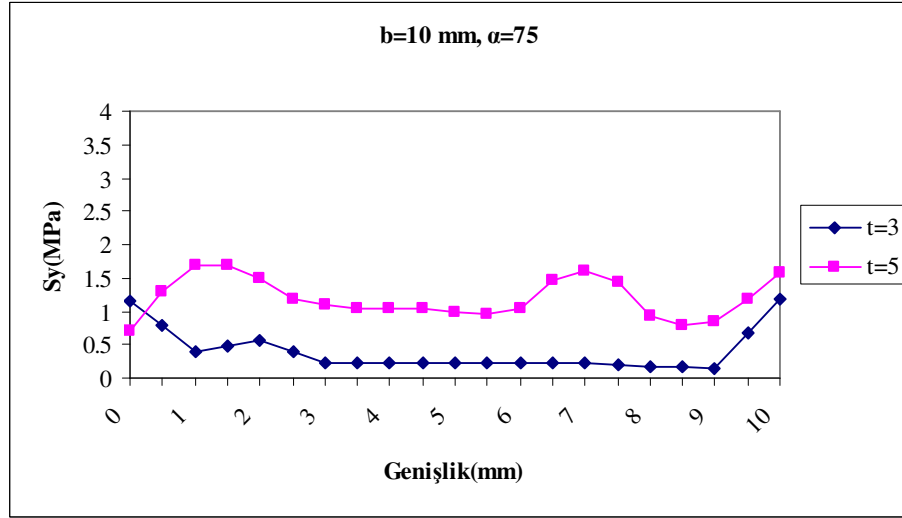
Şekil 5.140. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=28,29)

$b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.141.'de gösterilmiştir. Kalınlık artarken S_y gerilmeleri genişliğin iki noktası dışında azalmıştır. Bu iki noktada ise gerilmeler artmıştır. Aynı durum $b=15$ ve 20 mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda da geçerli olduğu görülmüş olup grafikleri burada çizilmemiştir



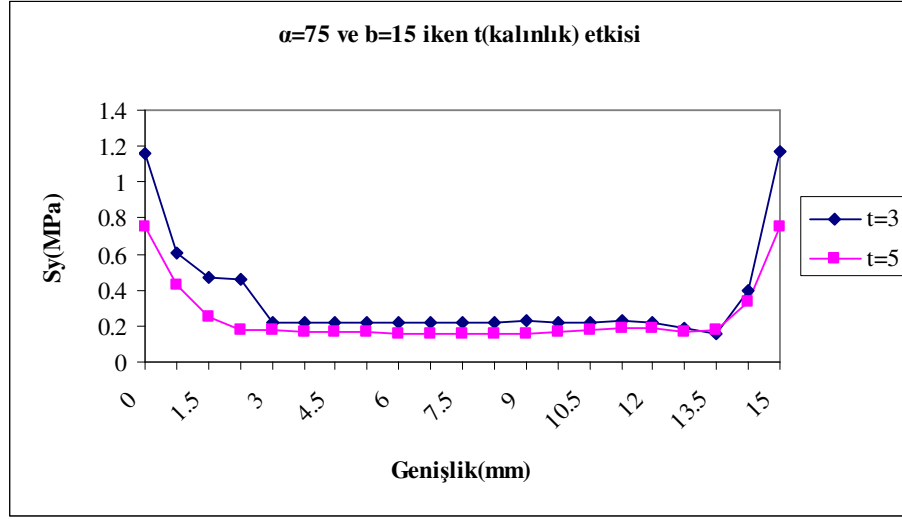
Şekil 5.141. $b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=34,35)

$b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.142.'de gösterilmiştir. Kalınlık artarken S_y gerilmeleri artmıştır(yaklaşık 0.8 MPa).



Şekil 5.142. $b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=40,41)

$b=15$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_y gerilmesinin değişimi şekil 5.143.'te gösterilmiştir. Kalınlık artarken S_y gerilmeleri azalmıştır(yaklaşık 0.1 MPa). Aynı durum $b=20$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda da gerçekleşmiştir.



Şekil 5.143. $\alpha=75^\circ$ ve $b=15$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=42,43)

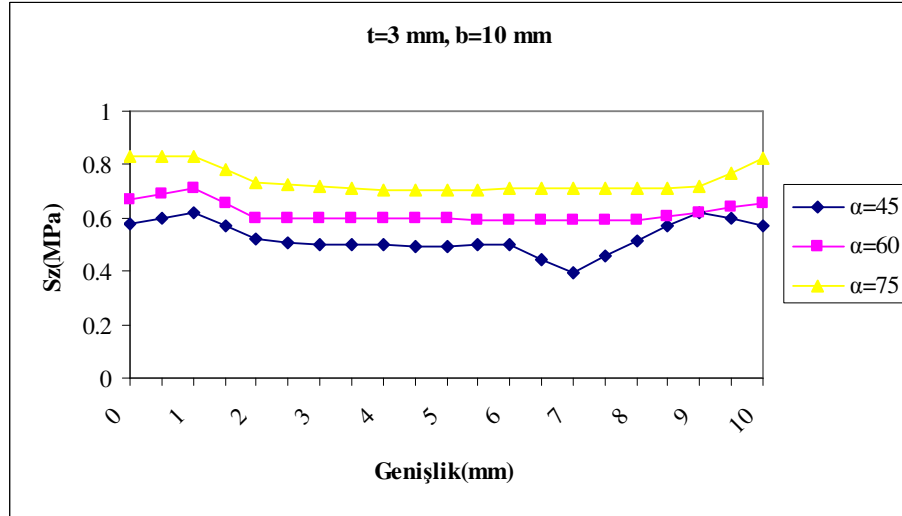
5.3.2.9. Sz Gerilmelerinin Karşılaştırılması

- α 'ya Göre Sz Gerilmelerinin İncelenmesi

Burada grafikler çizilirken x eksenini b (genişlik), y eksenini ise Sz gerilmesi alınmıştır.

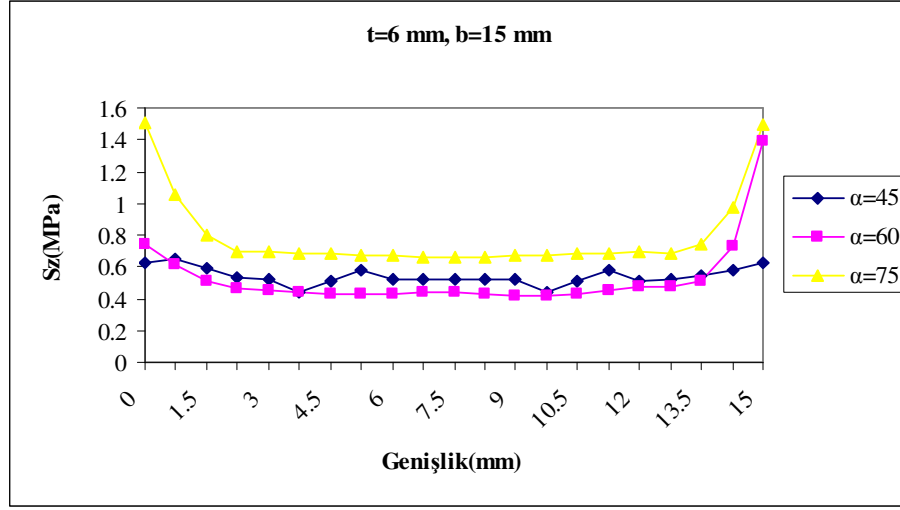
A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$t=3$ mm ve $b=10$ olduğunda Sz gerilmesinin değişimi Şekil 5.144.'te gösterilmiştir. α artarken Sz gerilmesi artmıştır. Artış $t=3$ mm ve $b=15, 20$ mm olduğunda da gerçekleşmiştir.



Şekil 5.144. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=1,10,19)

$t=5$ mm ve $b=10, 15, 20$ mm olduğunda Sz gerilmelerinin değişimi Şekil 5.144.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Her üç durumda da açılar artarken Sz gerilmeleri de artmıştır. Artış miktarı genelde yaklaşık 0.1 MPa olmuştur.



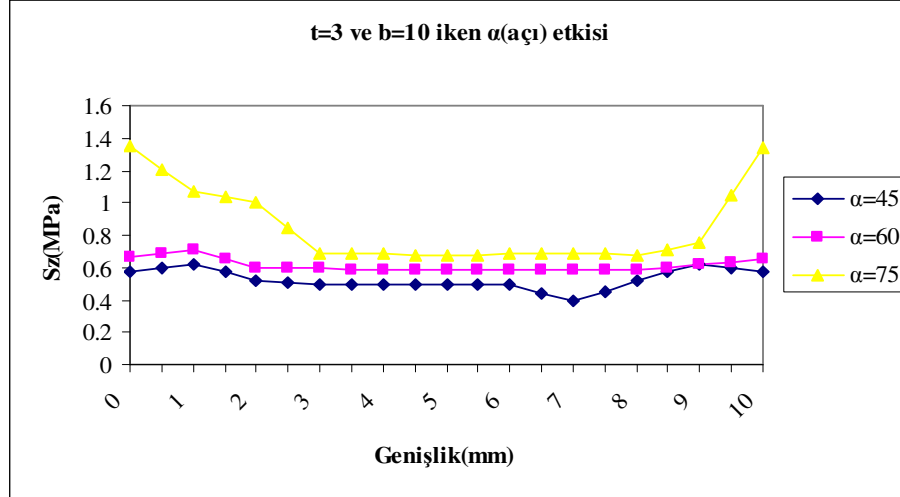
Şekil 5.145. t=6 mm ve b=15 mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=6,15,24)

t=6 mm ve b=10, 20 mm olduğunda Sz gerilmelerinin değişimi şekil 5.144.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Her iki durumda da açılar artarken Sz gerilmeleri de artmıştır.

t=6 mm ve b=15 mm olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.145.'te gösterilmiştir. Açı(α) 45°'den 60°'ye artarken Sz kenarlar dışında azalmış, 60°'den 75°'ye artarken artmıştır.

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

t=3 mm ve b=10 mm olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.146.'da gösterilmiştir. Açı(α) artarken Sz gerilmesi artmıştır. Aynı artış b=15 ve 20 mm hallerinde de görülmüştür.



Şekil 5.146. t=3 mm ve b=10 mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=28,34,40)

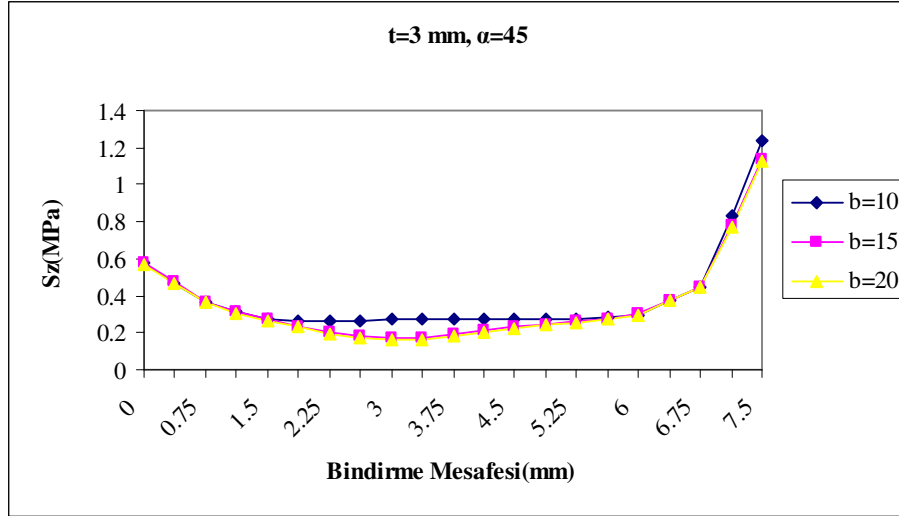
t=5 mm ve b=10, 15 ve 20 mm olduğunda Sz gerilmelerinin değişimi şekil 5.146.'ya benzediği için burada gösterilmemiştir. Her üç durumda da açı artarken Sz gerilmeleri de artmıştır. Artış miktarları yaklaşık 0.1 MPa olmuştur.

- **b'ye Göre Sz Gerilmelerinin İncelenmesi**

Burada grafikler çizilirken x ekseni a(bindirme mesafesi), y ekseni ise Sz alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.147.'de gösterilmiştir. Genişlik artarken Sz gerilmeleri bindirme mesafesinin orta kısmı dışında çok küçük bir miktar artmıştır(0.002 MPa). Orta kısımda $b=15$ mm'den 20 mm'ye artarken bir miktar azalmıştır.



Şekil 5.147. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=1,4,7)

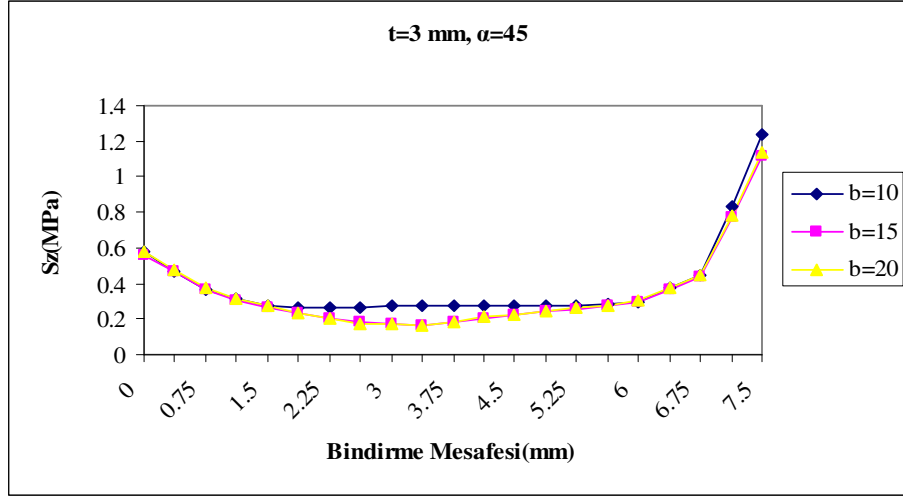
$t=3, 5$ mm ve $\alpha=45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ olduğunda Sz gerilmelerinin değişimi şekil 5.147.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Her üç durumda da genişlik artarken Sz gerilmeleri çok küçük bir miktarda azalmıştır(0.01 MPa). Sadece $t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ durumunda $b=10$ mm'den 15 mm'ye artarken Sz gerilmesindeki azalma yaklaşık 0.2 MPa olmuştur.

Numune kalınlığı $t=6$ mm ve $\alpha=45^\circ, 60^\circ$ ve 75° olduğunda gerilme değişimi şekil 5.147.'e benzer olup gösterilmemiştir. $\alpha=45^\circ$ ve 75° durumlarında genişlik artarken Sz gerilmeleri çok küçük bir miktarda azalmıştır. Sadece $\alpha=60^\circ$ durumunda $b=10$ mm'den 15 mm'ye geçerken gerilmeler 0.1 MPa artmış, 20 mm'ye geçerken ise aynı miktarda azalmıştır.

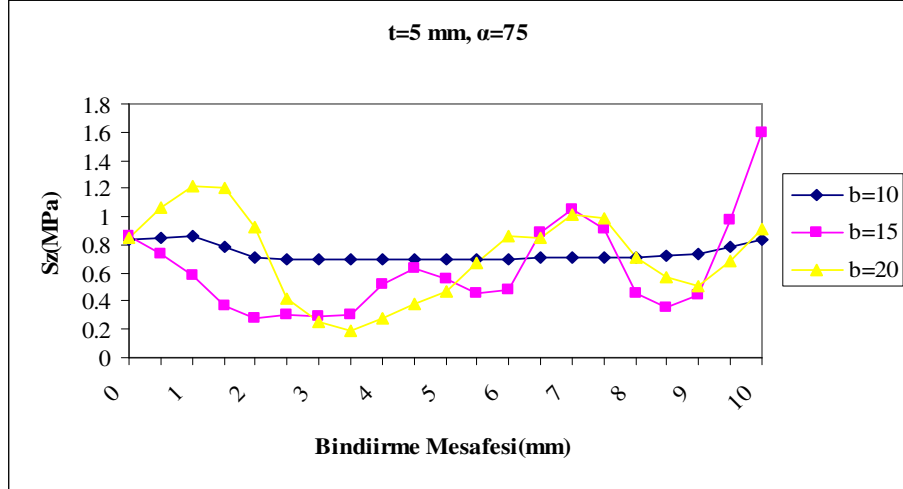
B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.148.'de gösterilmiştir. Bindirme mesafesinin orta kısmı dışında b 10 mm'den 15 mm'ye artarken Sz azalmış, 20 mm'de ise artmıştır. Ortada yaklaşık 0.1 MPa azalmıştır. Aynı durum $t=3$ mm, $\alpha=60^\circ, 75^\circ$ olduğunda da görülmüştür. Dolayısıyla Sz gerilmeleri önce azalmış daha sonra artmıştır.

$t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ olduğunda Sz gerilmelerinin değişimi şekil 5.148.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik, 10 mm'den 15 mm'ye artarken Sz azalmış, 20 mm'ye artarken ise Sz artmıştır



Şekil 5.148. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=28,30,32)



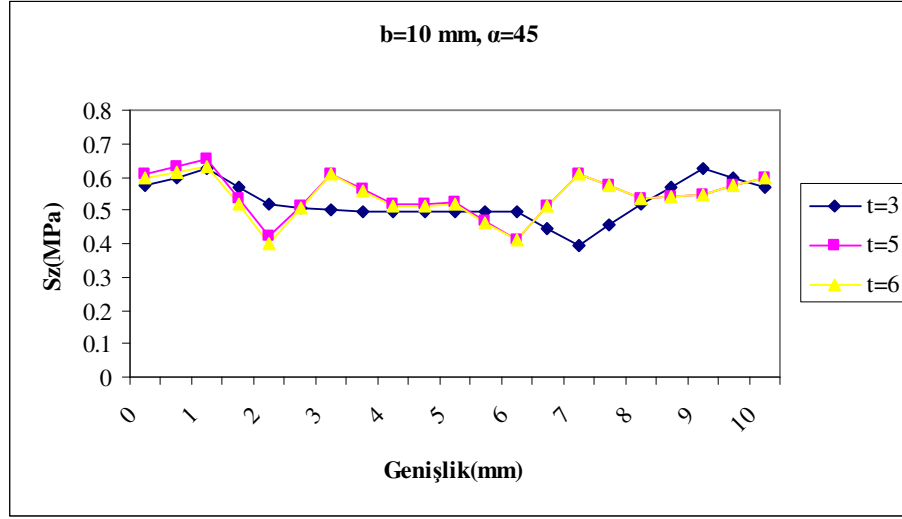
Şekil 5.149. $t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=41,43,45)

- **t'ye Göre Sz Gerilmelerinin İncelenmesi**

Burada grafikler çizilirken x eksen b (genişlik), y eksen ise S_z alınmıştır.

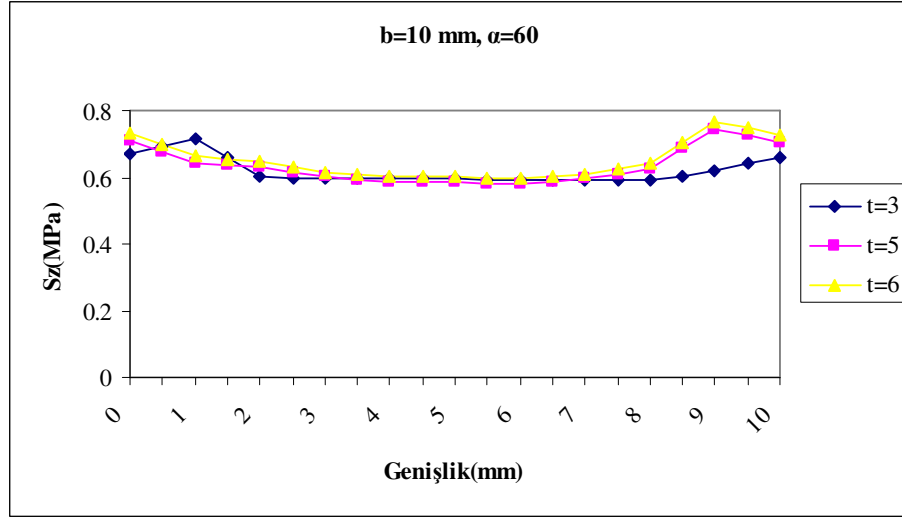
A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.150.'de gösterilmiştir. Kalınlık artarken S_y gerilmeleri iki nokta dışında artmıştır. Genişliğin 2. ve 6. mm'lerinde ise azalmıştır. Grafiğin bazı noktalarında zikzaklar görülmüştür. Aynı durum $b=15, 20$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda da görülmüştür. Şekil 5.150.'den biraz daha az zikzak görülmüştür.



Şekil 5.150. $b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=1,2,3)

$b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.151.'de gösterilmiştir. İki nokta dışında, kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken azalmıştır, 5 mm'den 6 mm'ye artarken ise S_y gerilmeleri artmıştır. Genişliğin sol kenarında kalınlık artarken gerilmeler azalmış, sağ kenarında ise S_z gerilmeleri artmıştır.



Şekil 5.151. $b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=10,11,12)

Genişlik $b=15,20$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda gerilme grafikleri Şekil 5.151.'e benzemektedir. Kalınlık artarken gerilmeler, her kademedeki yaklaşık 0.01 MPa azalmıştır.

Numune genişliği $b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil 5.151.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_z gerilmeleri azalmış, 5 mm'den 6 mm'ye geçerken ise artmıştır.

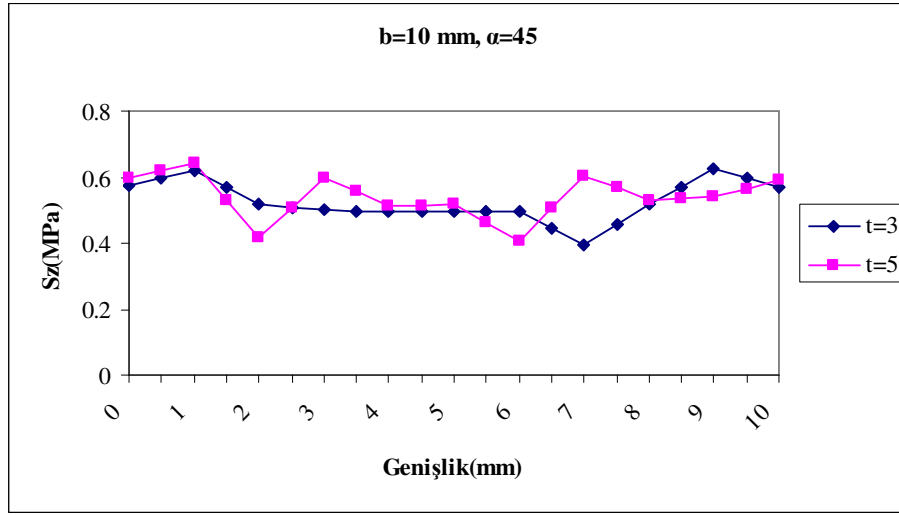
Numune genişliği $b=15,20$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_z gerilmesinin değişimi şekil

5.151.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık artarken Sz gerilmeleri azalmıştır.

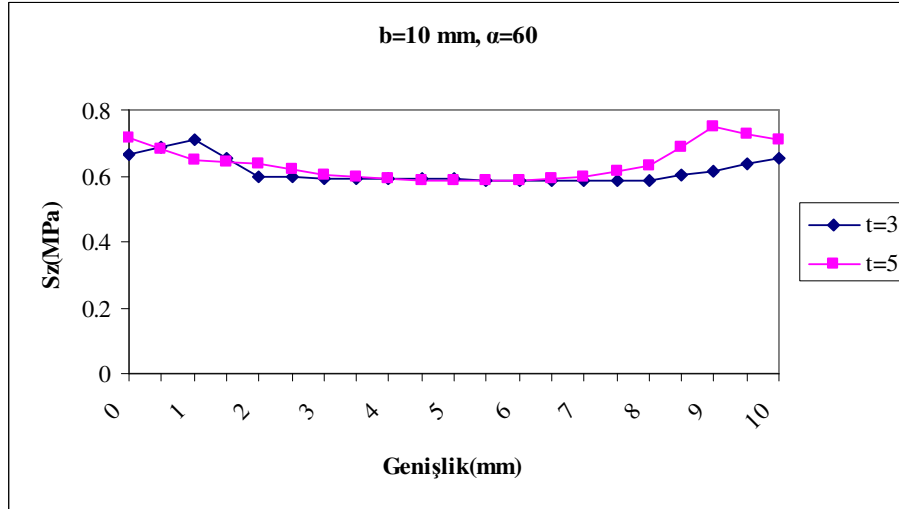
B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.152.'de gösterilmiştir. Kalınlık artarken Sy gerilmeleri üç nokta dışında artmıştır(yaklaşık 0.05 MPa). Grafiğin bazı noktalarında zikzaklar görülmüştür. Aynı artış $b=15, 20$ mm ve $\alpha=45^\circ$ durumlarında da görülmüştür(yaklaşık 0.02 MPa). Şekil 5.152.'den daha az zikzak görülmüştür.

$b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.153.'te gösterilmiştir. Kalınlık artarken Sy gerilmeleri bir nokta dışında artmıştır(yaklaşık 0.02 MPa). $b=15, 20$ mm ve $\alpha=60^\circ$ durumlarında da kalınlık artarken birer nokta dışında gerilmeler artmıştır(0.01 MPa).



Şekil 5.152. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=28,29)



Şekil 5.153 $b=10$ mm ve. $\alpha=60^\circ$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=34,35)

5.3.2.10. Sxy Gerilmelerinin Karşılaştırılması

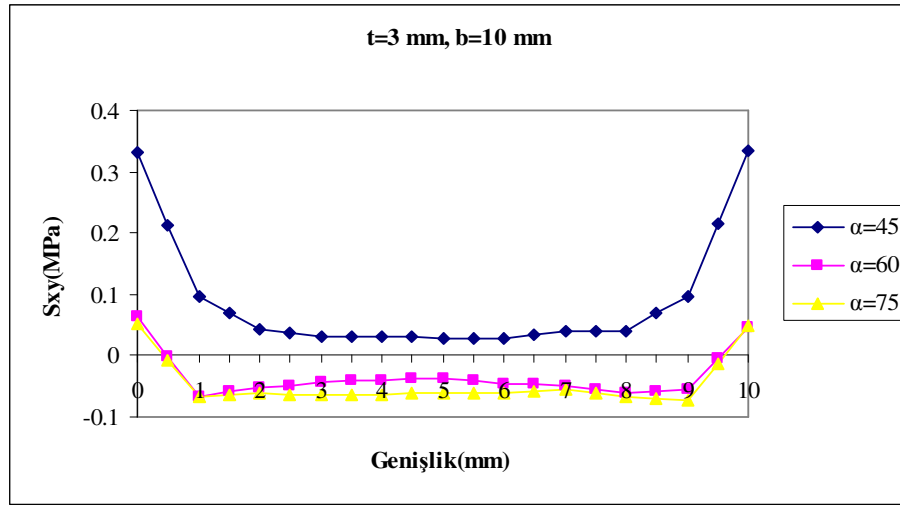
- α 'ya Göre Sxy Gerilmelerinin İncelenmesi

x eksen b(genişlik), y eksen ise Sxy gerilmesi olarak alınmıştır.

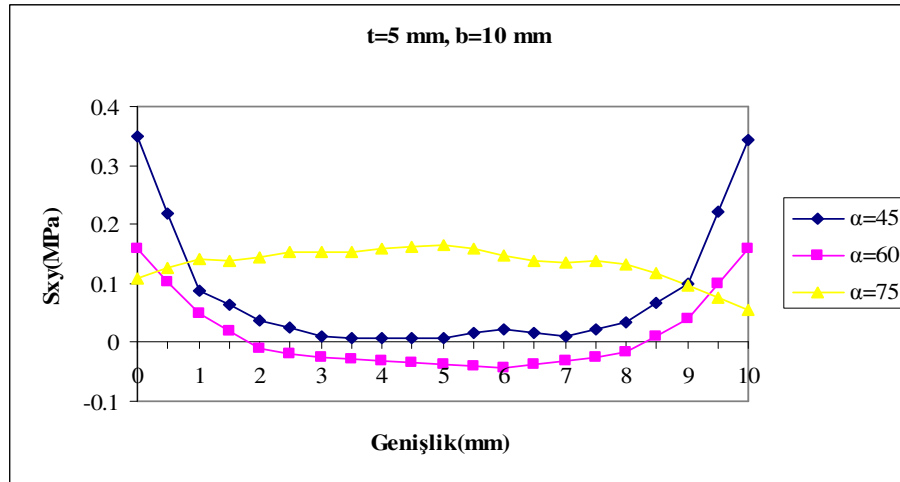
A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda Sxy gerilmesinin α 'ya göre değişimi şekil 5.154.'te gösterilmiştir. α açısı arttıkça Sxy gerilmesi azalmıştır(yaklaşık 0.01 MPa). Aynı kalınlıkta $b=15$ ve 20 mm olduğunda da α açısı arttıkça gerilmeler azalmıştır.

$t=5$ mm ve $b=10$ mm olduğunda Sxy gerilmesinin α 'ya göre değişimi şekil 5.155.'te gösterilmiştir. α 45°'den 60°'ye artarken Sxy gerilmesi azalmış, 75°'ye artarken artmıştır



Şekil 5.154. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=1,10,19)



Şekil 5.155. $t=5$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=2,11,20)

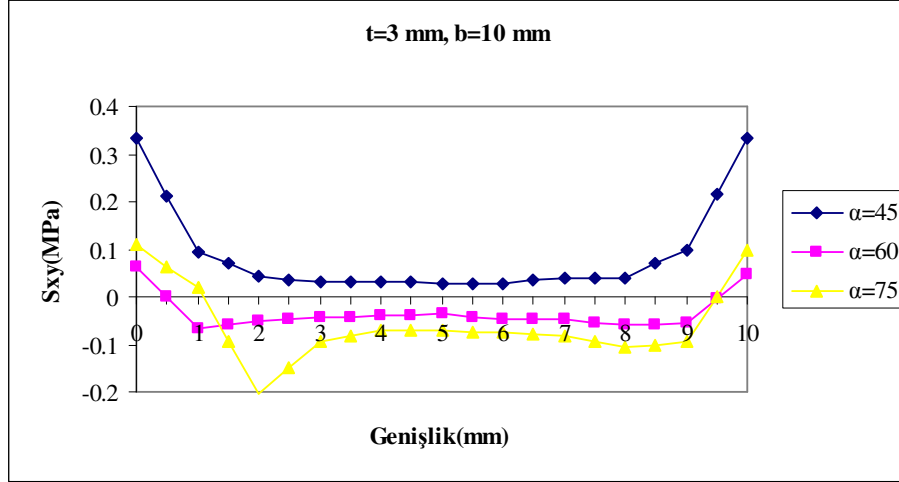
$t=5$ mm ve $b=15, 20$ mm olduğunda Sxy gerilmelerinin α 'ya göre değişimi şekil 5.154.'e benzer elde edilmiştir. Burada α açısı arttıkça Sxy gerilmeleri genelde azalmıştır.

$t=6$ mm ve $b=10, 20$ mm olduğunda S_{xy} gerilmelerinin açığa göre değişimi şekil 5.154.'e benzer elde edilmiştir. α açısı arttıkça S_{xy} gerilmeleri genellikle azalmıştır.

$t=6$ mm ve $b=15$ mm olduğunda S_{xy} gerilmelerinin açığa göre değişimi şekil 5.155.'e benzer elde edilmiştir. S_{xy} , açı 45° 'den 60° 'ye artarken artmış, 75° 'ye artarken ise azalmıştır.

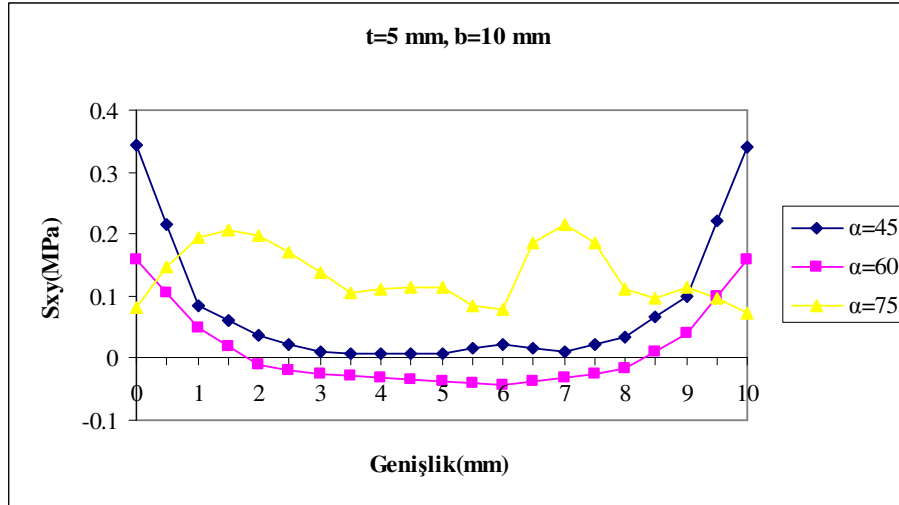
B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda S_{xy} gerilmesinin açığa göre değişimi şekil 5.156.'da gösterilmiştir. α arttıkça S_{xy} gerilmesi azalmıştır. $b=15, 20$ mm'de de de açının artması S_{xy} gerilmesini azaltmıştır.



Şekil 5.156. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=28,34,40)

$t=5$ mm ve $b=10$ mm olduğunda S_{xy} gerilmesinin açığa göre değişimi şekil 5.157.'de gösterilmiştir. α açısı 45° 'den 60° 'ye artarken S_{xy} gerilmesi azalmıştır. α açısı 60° 'den 75° 'ye artarken ise S_{xy} gerilmesi genişliğin iki kenarı dışında artmıştır.



Şekil 5.157. $t=5$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=29,35,41)

$t=5$ mm ve $b=15,20$ mm olduğunda S_{xy} gerilmelerinin açığa göre değişimi şekil

5.156.'ya benzediği için burada gösterilmemiştir. Her iki genişlik durumunda da α açısı arttıkça Sxy gerilmeleri azalmıştır. Sxy, genişliğin kenarlarında da aynı biçimde azalmıştır.

- **b'ye Göre Sxy Gerilmelerinin İncelenmesi**

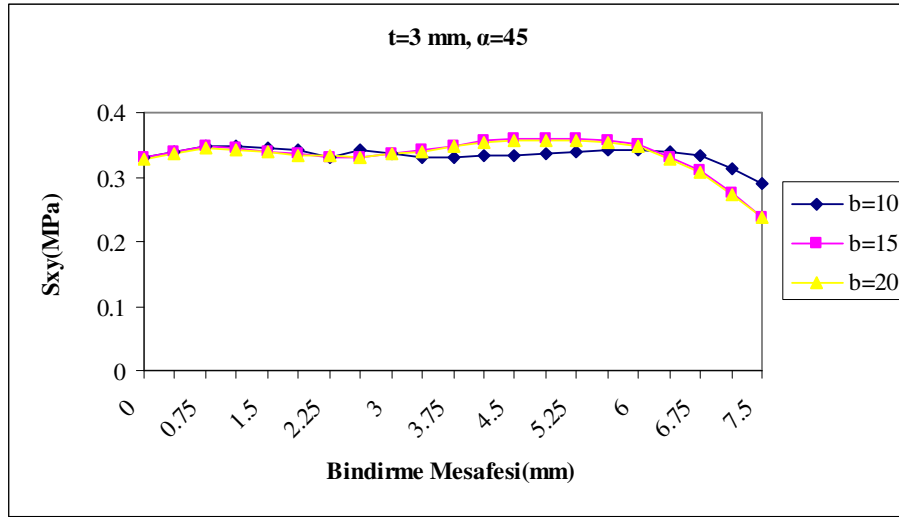
Burada grafikler çizilirken x eksenini a(bindirme mesafesi), y eksenini ise Sxy alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.158.'de gösterilmiştir. Genişlik artarken Sxy gerilmeleri bindirme mesafesinin sağ kenarı dışında çok küçük bir miktar artmıştır(0.01 MPa). Aynı kalınlıkta $\alpha=60^\circ$ ve 75° olduğunda da genişlik artarken Sxy gerilmeleri artmıştır. Ancak burada artış miktarı biraz daha fazla olmuştur(0.02 MPa).

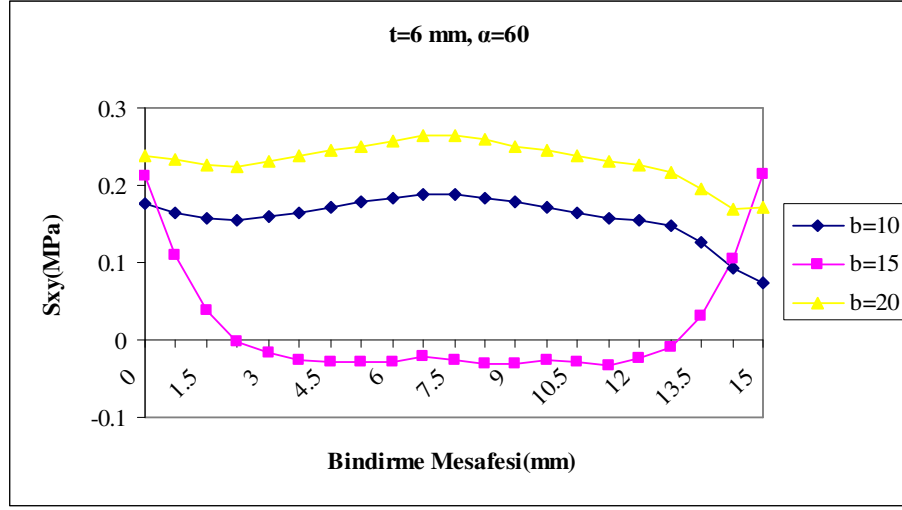
$t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ$ ve 60° olduğunda Sxy gerilmelerinin değişimi şekil 5.158.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Her iki durumda da genişlik artarken Sxy gerilmeleri artmıştır. Şekil 5.158.'in sağ kenarındaki azalma burada görülmemiştir. $t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda da genişlik artarken Sxy gerilmesi de artmıştır. Ancak $b=10$ mm olduğunda Sxy gerilmesi negatif bölgede olup $b=15$ mm'ye artınca Sxy de pozitif bölgeye geçerek daha fazla artmıştır.

$t=6$ mm ve $\alpha=45^\circ$ ve 75° olduğunda Sxy gerilmelerinin değişimi şekil 5.158.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Her iki durumda da genişlik artarken Sxy gerilmeleri artmıştır. Şekil 5.158.'in sağ kenarındaki azalma burada görülmemiştir.



Şekil 5.158. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=1,4,7)

$t=6$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.159.'da gösterilmiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken Sxy gerilmeleri kenarlar dışında azalmıştır. Ancak genişlik 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise Sxy artmıştır.



Şekil 5.159. $t=6$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=12,15,18)

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$, 60° ve 75° olduğunda S_{xy} gerilmelerinin değişimi şekil 5.158.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Her üç durumda da genişlik artarken S_{xy} gerilmeleri artmıştır. Şekil 5.158.'in sağ kenarındaki azalma burada sadece $\alpha=45^\circ$ olduğunda görülmüştür. Diğer tüm genişlik hallerinde S_{xy} artmıştır.

$t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ$ ve 60° olduğunda de S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.158'e benzemektedir. Genişlik artarken S_{xy} gerilmesi de artmıştır.

$t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.159'a benzemektedir. Fakat burada genişlik artarken S_{xy} gerilmesi de artmıştır. $b=10$ mm olduğunda S_{xy} gerilmeleri negatif bölgede olup 15 mm'de ise pozitif bölgeye geçmiştir.

• t 'ye Göre S_{xy} Gerilmelerinin İncelenmesi

Burada grafikler çizilirken x eksen b (genişlik), y eksen ise S_{xy} alınmıştır.

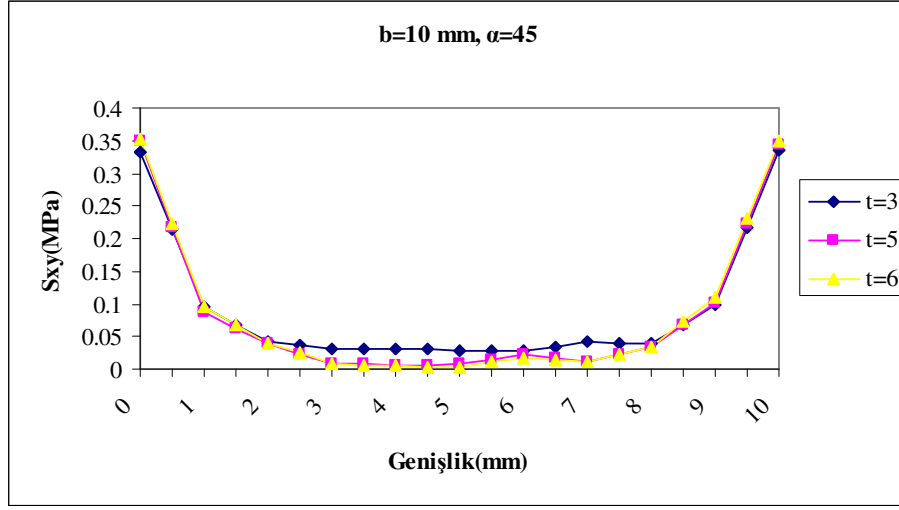
A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.160.'ta gösterilmiştir. Kalınlık artarken S_{xy} gerilmeleri genişliğin kenarları dışında azalmış(yaklaşık 0.01 MPa), kenarlarda ise artmıştır. Aynı durum $b=15,20$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda da görülmüştür. Kalınlık artarken S_{xy} gerilmeleri kenarlar dışında azalmıştır. Kenarlarda ise artmıştır.

$b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.161.'de gösterilmiştir. Kalınlık artarken S_{xy} gerilmeleri artmıştır. Artış orta kısımda çok çok az olmuştur. Aynı durum $b=20$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda da görülmüştür. Burada da kalınlık artarken S_{xy} gerilmeleri orta kısımda daha az olmak üzere artmıştır. S_{xy} kenarlar dışında negatif bölgededir.

$b=15$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.161.'e benzemiştir.

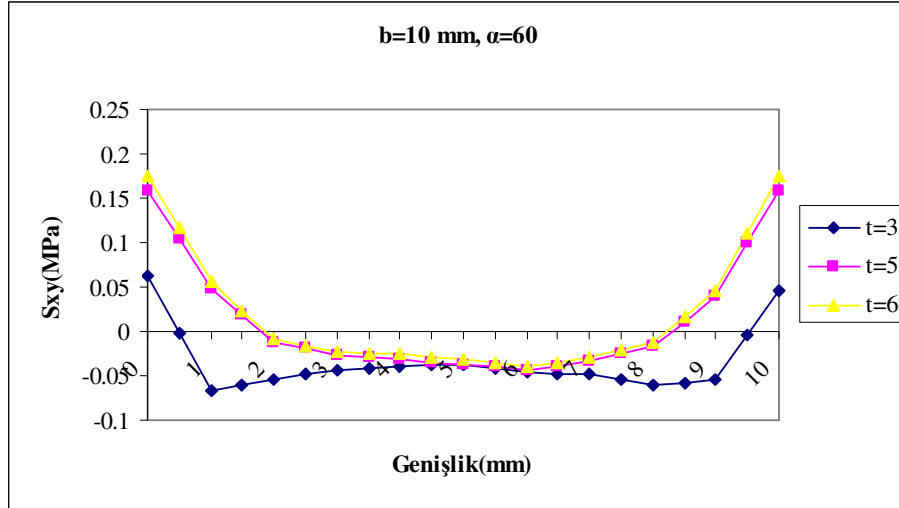
Ancak burada $t=6$ mm olduğunda S_{xy} grafiğinin tümü pozitif bölgede yer almıştır. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken genişliğin orta kısmında azalmış ama diğer yerlerde artmıştır.



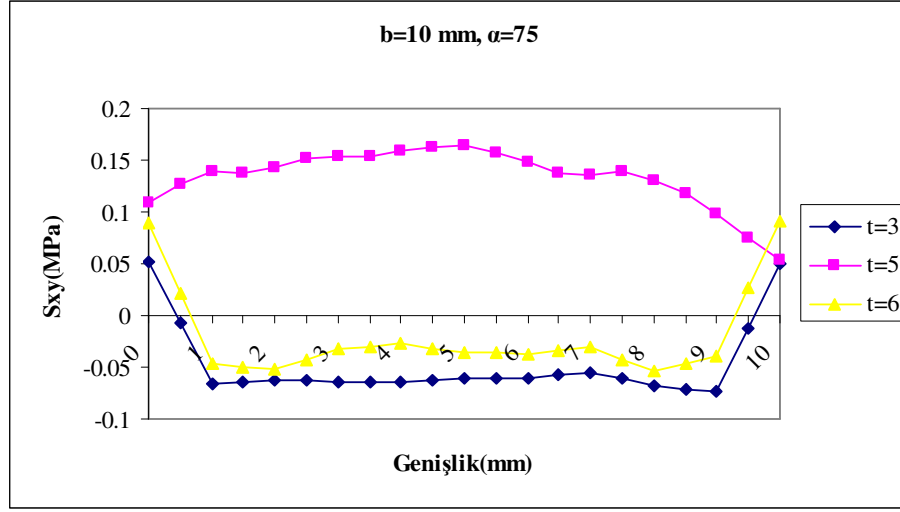
Şekil 5.160. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=1,2,3)

$b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_{xy} gerilmesinin değişimi şekil 5.162.'de gösterilmiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_{xy} gerilmeleri de artmıştır. Ancak kalınlık 5 mm'den 6 mm'ye artarken S_{xy} gerilmeleri azalmıştır.

$b=20$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_{xy} gerilmelerinin değişimi şekil 5.161.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık artarken S_{xy} gerilmeleri artmıştır.



Şekil 5.161. $b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=10,11,12)

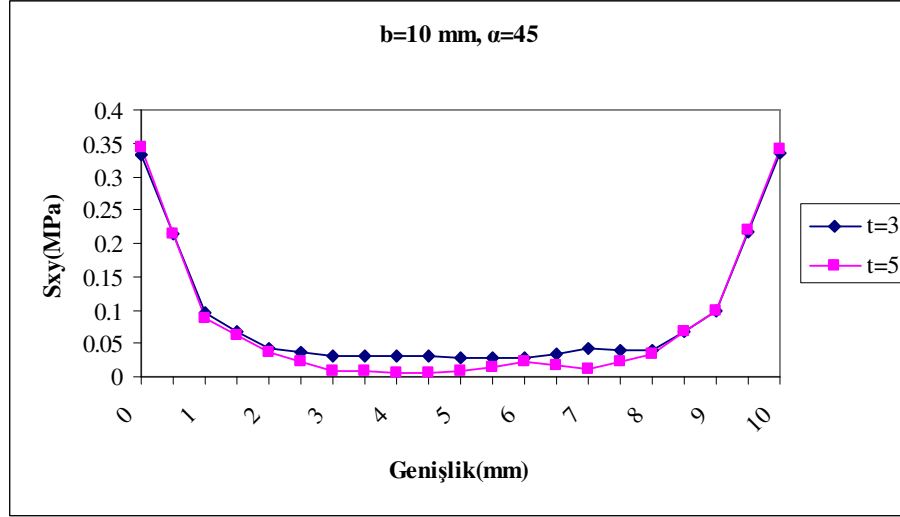


Şekil 5.162. b=10 mm ve α=75° olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=19,20,21)

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

b=10 mm ve α=45° olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.163.'te gösterilmiştir. Kalınlık artarken Sxy gerilmeleri özellikle genişliğin orta kısmında azalmıştır.

b=10 mm ve α=60° olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.164.'te gösterilmiştir. Kalınlık artarken Sxy gerilmeleri genişliğin orta kısmı dışında artmıştır. Ort kısımda küçük bir azalma olmuştur.

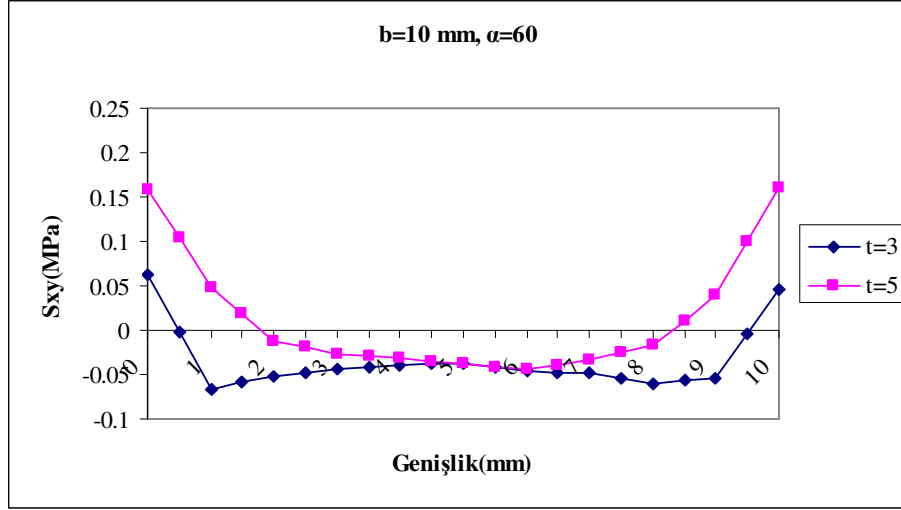


Şekil 5.163. b=10 mm ve α=45° olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=28,29)

b=10 mm ve α=75° olduğunda Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.165.'te gösterilmiştir. Kalınlık artarken Sxy gerilmeleri iki kenar dışında artmıştır.

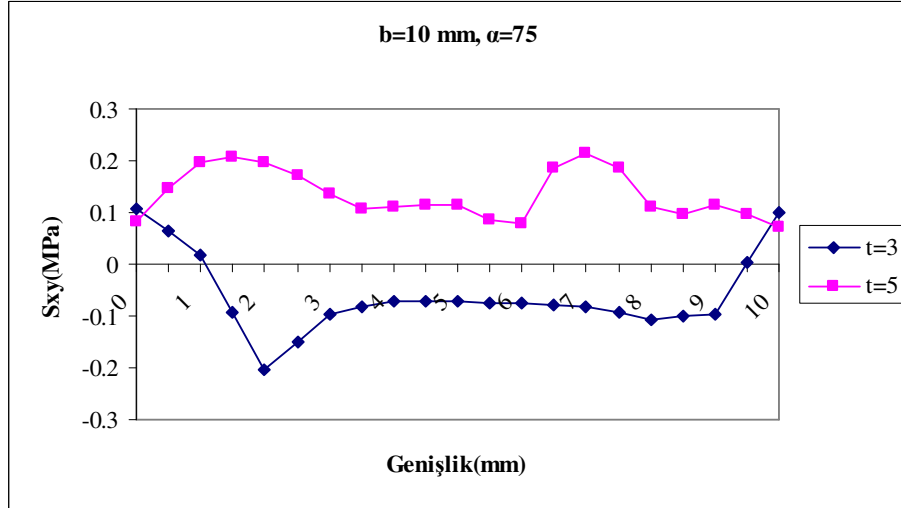
b=10,15,20 mm ve α=60° iken Sxy gerilmelerinin değişimi şekil 5.163.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Her iki durumda da kalınlık artarken Sxy gerilmeleri genişliğin orta

kısmı dışında artmıştır. Orta kısımda ise azalmıştır. S_{xy} kenarlarda pozitifdir.



Şekil 5.164. $b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=34,35)

$b=15,20$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda n S_{xy} gerilmelerinin değişimi şekil 5.163.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Her iki durumda da kalınlık artarken S_{xy} gerilmeleri kenarlar dışında artmıştır. İki kenarda ise azalmıştır.



Şekil 5.165. $b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=40,41)

5.3.2.11. S_{xz} Gerilmelerinin Karşılaştırılması

- α 'ya Göre S_{xz} Gerilmelerinin İncelenmesi

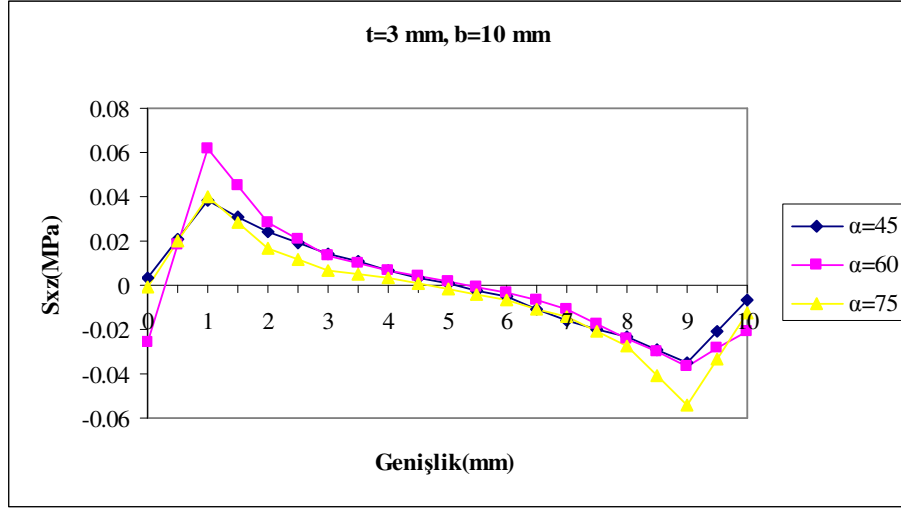
Açı etkisi gösterilirken x eksen b (genişlik), y eksen ise S_{xz} gerilmesi olarak alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.166.'da gösterilmiştir.

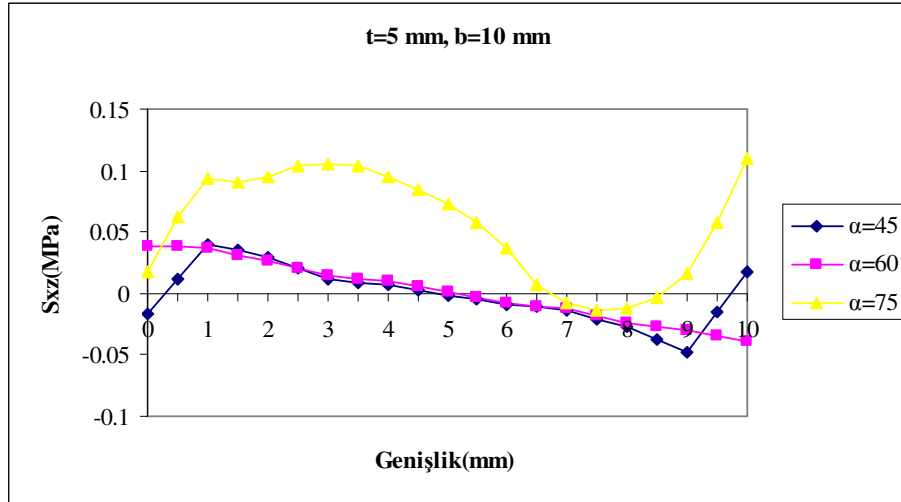
α 45° 'den 60° 'ye artarken S_{xz} gerilmeleri genelde artmıştır. Ancak α açısı 60° 'den 75° 'ye

artarken S_{xz} gerilmeleri azalmıştır. Genişliğin ortasına göre simetriktir. $b=15$ ve 20 mm için de bu durum geçerlidir.



Şekil 5.166. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=1,10,19)

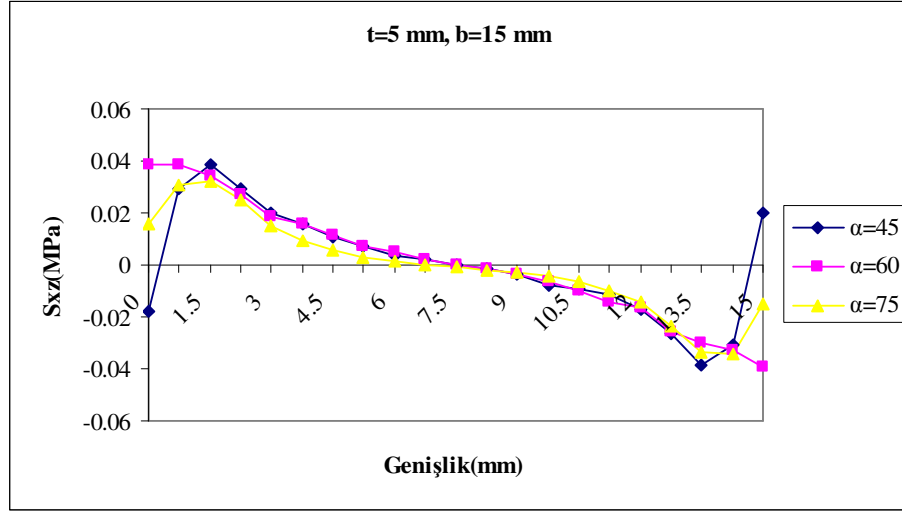
Aynı durum $t=5$ mm ve $b=10,15,20$ mm olduğunda da geçerli olup şekil 5.166.'ya benzerdir. α açısı 45° 'den 60° 'ye artarken S_{xz} gerilmeleri genelde artmıştır. Ancak α açısı 60° 'den 75° 'ye artarken S_{xz} gerilmeleri azalmıştır. Genişliğin ortasına göre simetriktir.

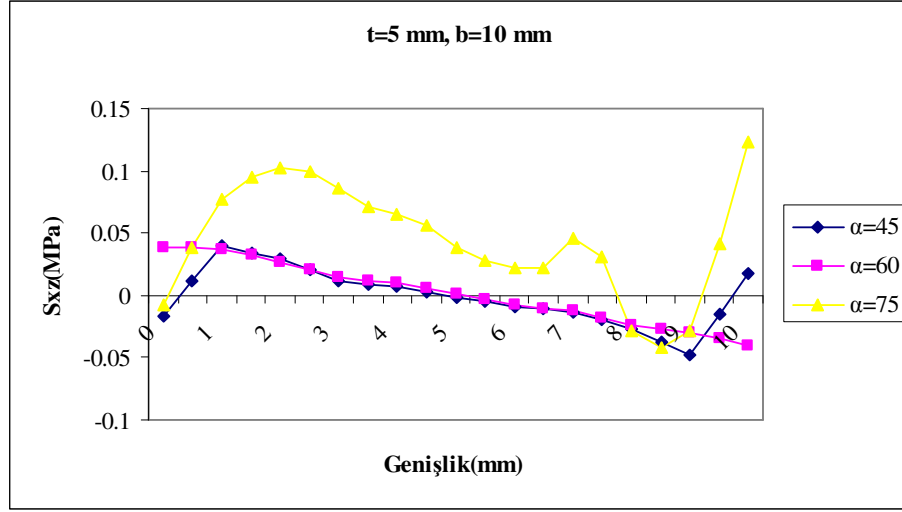


Şekil 5.167. $t=5$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=2,11,20)

$t=6$ mm ve $b=10,20$ mm olduğunda S_{xz} gerilmelerinin değişimi şekil 5.168.'e benzer olduğu için burada gösterilmemiştir. Her iki durumda da α açısı artarken S_{xz} gerilmeleri azalmıştır. Ayrıca α açısı 45° olduğunda S_{xz} gerilmeleri pozitif bölgededir.

$t=6$ mm ve $b=15$ mm olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.167.'ye benzerdir. α açısı 45° 'den 60° 'ye artarken S_{xz} gerilmeleri genişliğin iki kenarı dışında artmıştır. Ancak α 60° 'den 75° 'ye artarken S_{xz} genişliğin iki kenarı dışında azalmıştır.





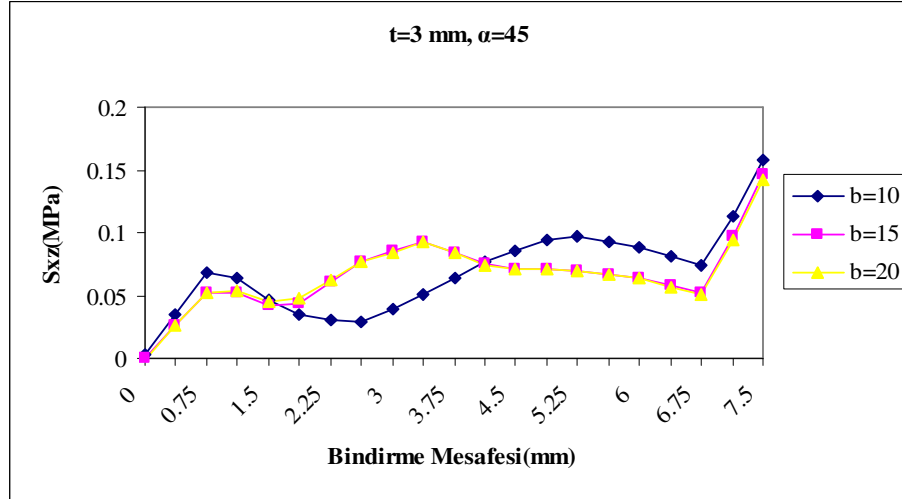
Şekil 5.170. t=5 mm ve b=10 mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=29,35,41)

- **b'ye Göre Sxz Gerilmelerinin İncelenmesi**

Burada grafikler çizilirken x eksenini a(bindirme mesafesi), y eksenini ise Sxz alınmıştır.

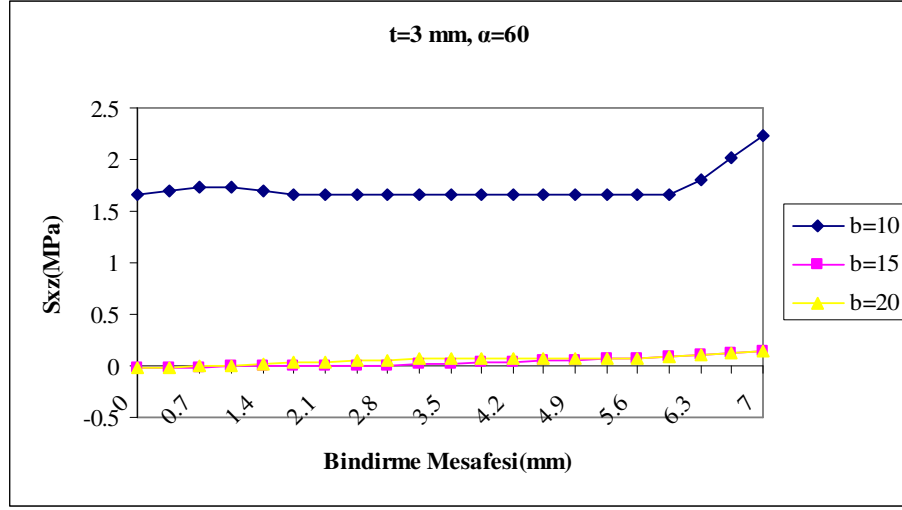
A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

t=3 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Sxz gerilmesinin değişimi Şekil 5.171.'de gösterilmiştir. Genişlik artarken Sxz gerilmeleri bazı yerlerde azalmış bazı yerlerde de artmıştır. Aynı kalınlıkta $\alpha=75^\circ$ olduğunda da gerilme dağılımı Şekil 5.171'e benzemektedir. Burada bindirme mesafesinin 3-5 mm'leri arası dışında genişlik artarken Sxz gerilmeleri de artmıştır.



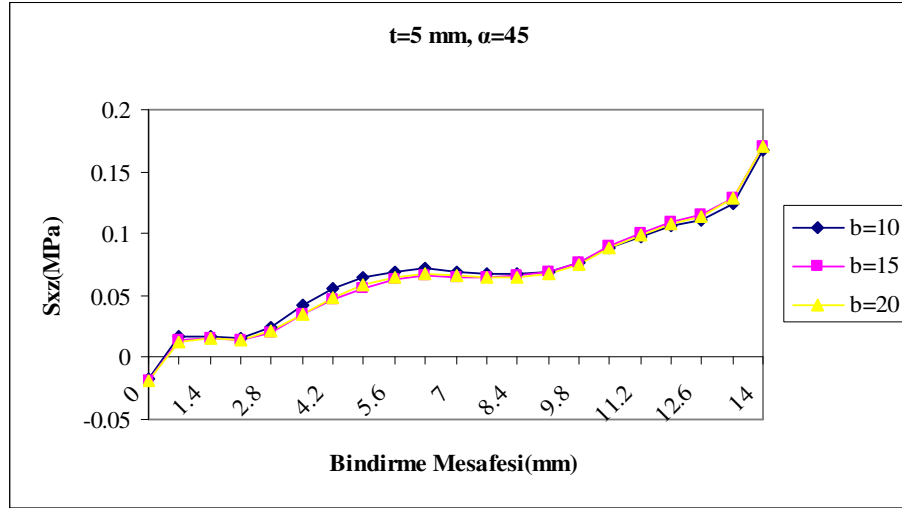
Şekil 5.171. t=3 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=1,4,7)

t=3 mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda Sxz gerilmesinin değişimi Şekil 5.172.'de gösterilmiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken Sxz gerilmeleri azalmıştır. Ancak 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise Sxz gerilmeleri çok küçük bir miktar artmıştır.



Şekil 5.172. $t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=10,13,16)

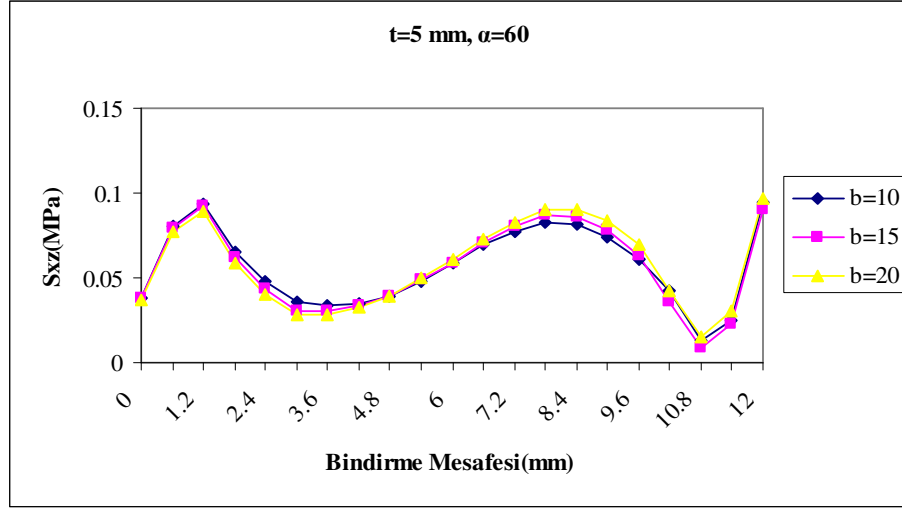
$t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.173.'te gösterilmiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken S_{xz} gerilmeleri azalmıştır. Ancak 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise S_{xz} gerilmeleri küçük bir miktar artmıştır(yaklaşık 0.001 MPa).



Şekil 5.173. $t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=2,5,8)

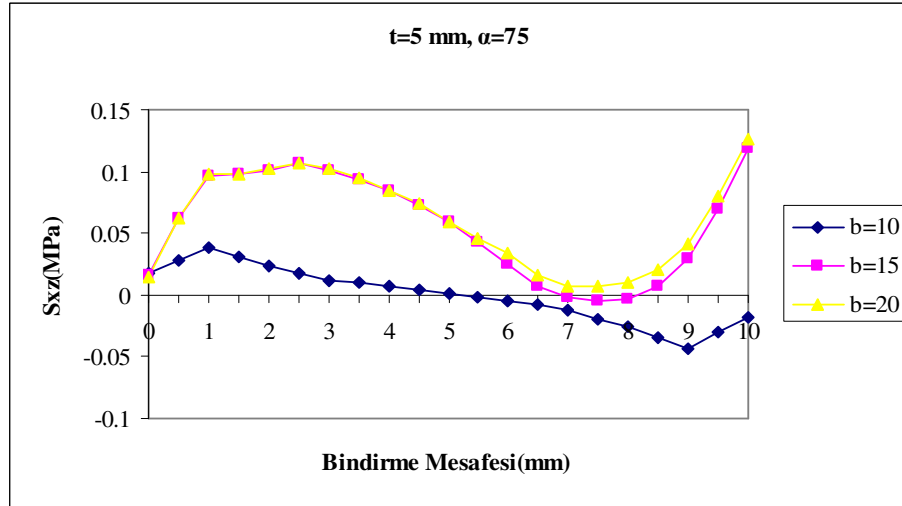
$t=5$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.174.'te gösterilmiştir. Genişlik artarken bindirme mesafesinin 7-10 mm'leri arasındaki mesafe dışında S_{xz} gerilmeleri azalmıştır. Bu arada ise genişlik arttıkça S_{xz} gerilmeleri yaklaşık 0.003 MPa artmıştır.

$t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.175.'te gösterilmiştir. Genişlik artarken S_{xz} gerilmeleri bazı yerlerde çok az bile olsa artmıştır.



Şekil 5.174. t=5 mm ve α=60° olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=11,14,17)

t=6 mm ve α=45° olduğunda Sxz gerilmesinin değişimi şekil 5.173.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Bindirme mesafesinin orta noktasına kadar genişlik artarken Sxz gerilmeleri azalmış ancak orta noktadan sonra ise Sxz küçük bir miktar artmıştır.



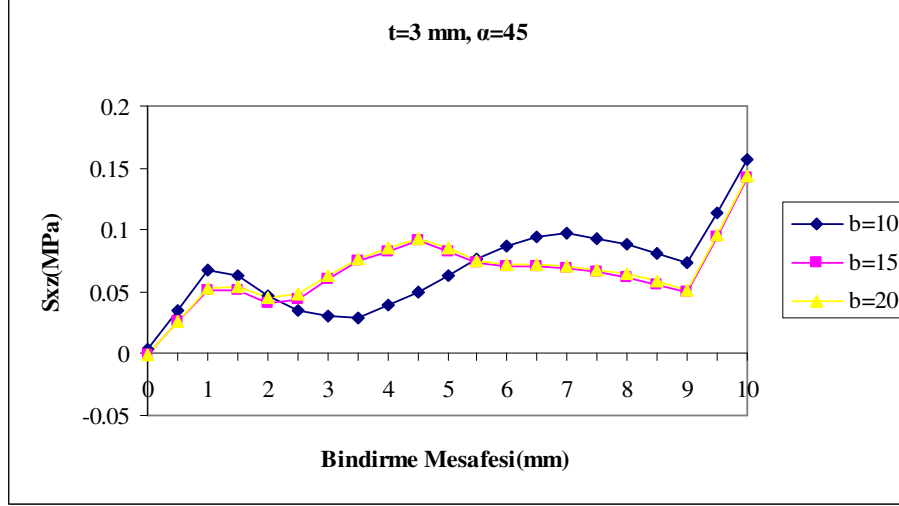
Şekil 5.175. t=5 mm ve α=75° olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=20,23,26)

t=6 mm ve α=60° olduğunda Sxz gerilmesinin değişimi şekil 5.175.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Tek farkı grafikte b=10 mm ile 15 mm yer değiştirmiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken Sxz gerilmeleri azalmıştır. Ancak 15 mm'den 20 mm'ye geçerken ise Sxz gerilmeleri küçük bir miktar artış göstermiştir.

t=6 mm ve α=75° olduğunda Sxz gerilmesinin değişimi şekil 5.171.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Bindirme mesafesinin orta noktasına kadar genişlik artarken Sxz gerilmeleri azalmıştır. Orta noktadan sonra bindirmenin sağ kenarı dışında Sxz artmıştır.

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ durumunda S_{xz} gerilme değişimi şekil 5.176.'da gösterilmiştir. Genişlik artarken bindirme mesafesinin 3-5 mm'leri arasındaki kısım dışında S_{xz} azalmıştır. Ancak 3-5 mm'leri arasındaki kısımda ise S_{xz} gerilmeleri küçük bir miktar artış göstermiştir.



Şekil 5.176. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b (genişlik) etkisi (Numune No=28,30,32)

$t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.173.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken S_{xz} gerilmeleri azalmıştır. Ancak genişlik 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise S_{xz} gerilmeleri artmıştır.

$t=3$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.171.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Bindirme mesafesinin ortasına kadar genişlik artarken S_{xz} gerilmeleri azalmış ancak orta noktadan sonra genişlik artarken S_{xz} de artmıştır.

$t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.173.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Genişlik artarken S_{xz} gerilmeleri azalmıştır.

$t=5$ mm ve $\alpha=60^\circ, 75^\circ$ olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.174.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Her iki durumda da genişlik artarken bindirme mesafesinin 8-10 mm'leri arasındaki mesafe dışında S_{xz} gerilmeleri azalmıştır. Bu arada ise genişlik arttıkça S_{xz} gerilmeleri küçük bir miktarda artmıştır.

- **t'ye Göre S_{xz} Gerilmelerinin İncelenmesi**

Burada grafikler çizilirken x eksen b (genişlik), y eksen ise S_{xz} alınmıştır.

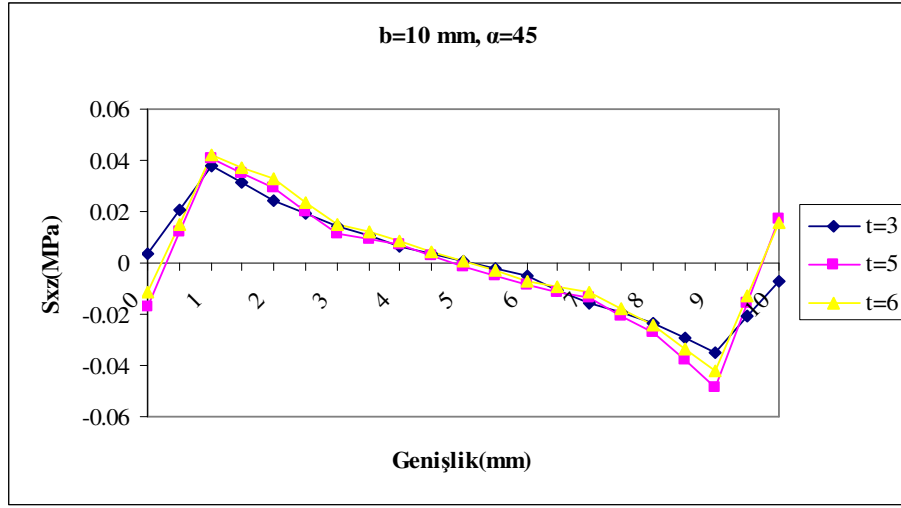
A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.177.'de gösterilmiştir. Kalınlık artarken S_{xz} gerilmeleri genişliğin kenarları dışında azalmıştır (yaklaşık 0.01 MPa). Kenarlarda ise artmıştır. Aynı durum $b=15, 20$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda da görülmüştür. Kalınlık

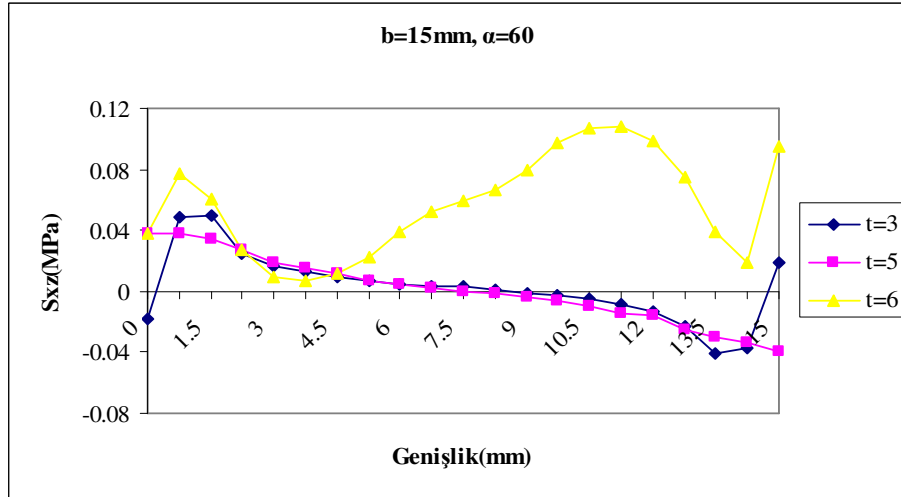
artarken S_{xz} gerilmeleri kenarlar dışında azalmıştır. Kenarlarda ise artmıştır.

$b=10,20$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_{xz} gerilmelerinin değişimi şekil 5.177.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık artarken genişliğin orta noktasına kadar S_{xz} gerilmeleri de artmıştır. Ancak orta noktadan sonra kalınlık artarken S_{xz} gerilmeleri azalmıştır. Grafikler genişliğin orta noktasına göre sanki simetriktr.

$b=15$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.178.'de gösterilmiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_{xz} gerilmeleri iki nokta dışında çok küçük bir artış göstermiştir. Ancak bu iki noktada kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken gerilmeler azalmıştır. Kalınlık 5 mm'den 6 mm'ye artarken ise S_{xz} gerilmeleri artmıştır.



Şekil 5.177. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=1,2,3)

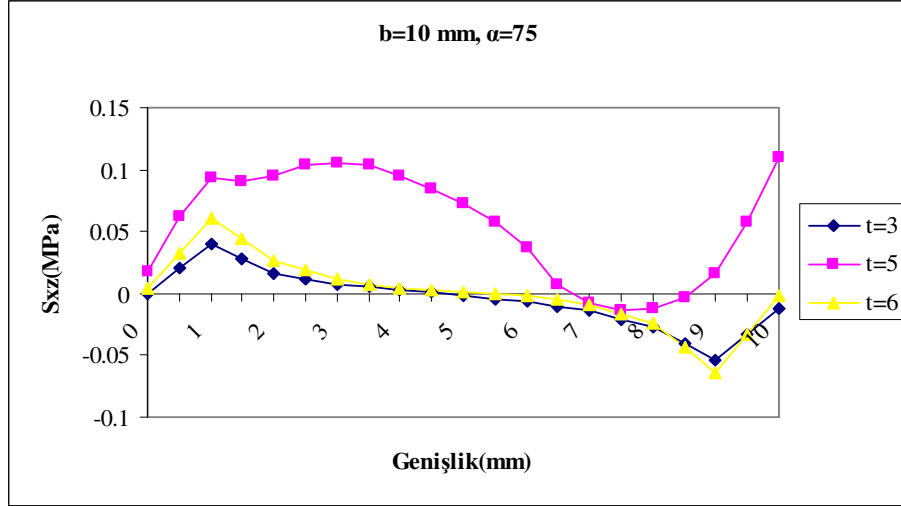


Şekil 5.178. $b=15$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=13,14,15)

$b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.178.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken S_{xz} gerilmeleri artmıştır. Ancak t

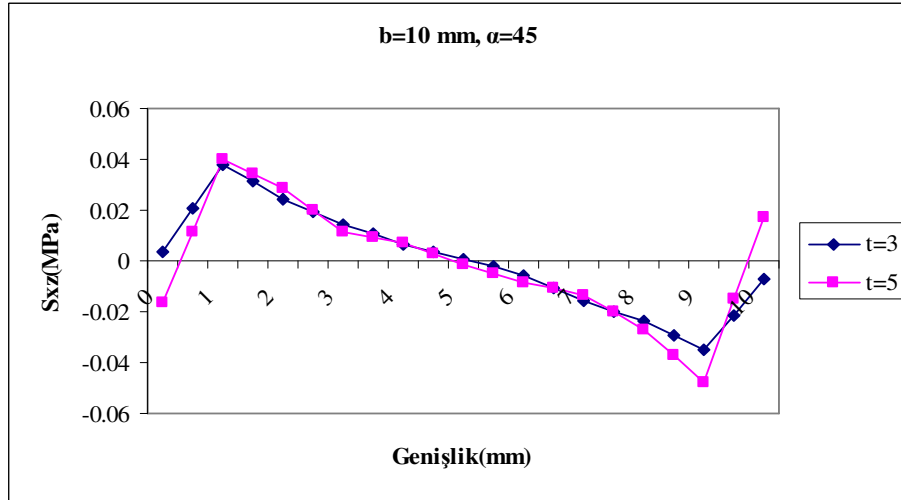
5 mm'den 6 mm'ye artarken gerilmeler azalmıştır.

$b=15,20$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_{xz} gerilmelerinin değişimi şekil 5.177.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık artarken genişliğin orta noktasına kadar S_{xz} gerilmeleri de artmıştır. Ancak orta noktadan sonra kalınlık artarken S_{xz} gerilmeleri azalmıştır. Grafikler genişliğin orta noktasına göre sanki simetriktir.



Şekil 5.179. $b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=19,20,21)

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)



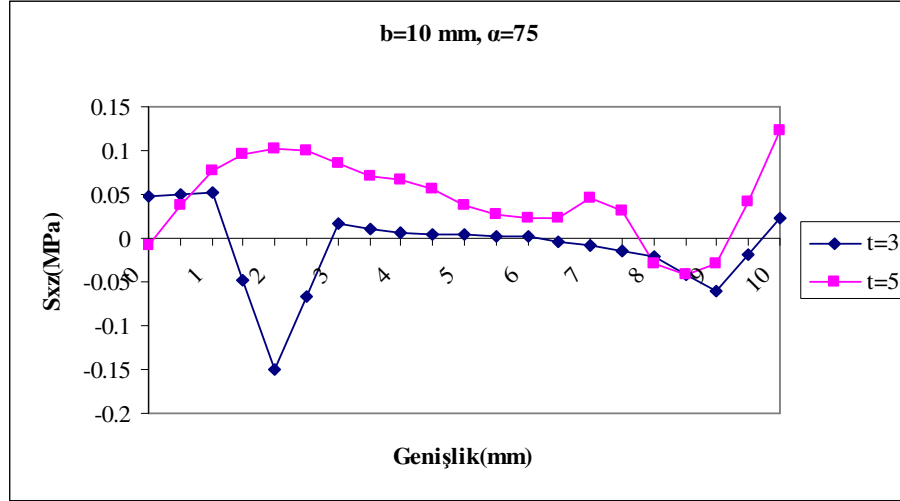
Şekil 5.180 $b=10$ mm ve. $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=28,29)

$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.180.'de gösterilmiştir. Kalınlık artarken genişliğin ortasına kadar S_{xz} gerilmeleri sol kenar dışında artmıştır. Genişliğin orta noktasından sonra ise sağ kenar dışında azalmıştır. Kenarda artmıştır. Aynı durum $b=15$ ve 20 mm iken de görülmüştür. Şekiller orta noktaya göre sanki simetriktir.

$b=10,15$ ve 20 mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda S_{xz} gerilmelerinin değişimi şekil 5.180.'e

benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık artarken genişliğin ortasına kadar S_{xz} gerilmeleri iki nokta dışında artmıştır. Bu iki noktada azalmıştır. Genişliğin orta noktasından sonra ise bir nokta dışında azalmıştır. Bu noktada ise artmıştır.

$b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_{xz} gerilmesinin değişimi şekil 5.181.'de gösterilmiştir. Kalınlık artarken genişliğin sol kenarı dışında S_{xz} gerilmeleri artmıştır. Sol kenarda ise S_{xz} azalmıştır. Aynı durum $\alpha=75^\circ$ ve $b=15, 20$ mm olduğunda da görülmüştür.



Şekil 5.181. $b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=40,41)

5.3.2.12. Seqv Gerilmelerinin Karşılaştırılması

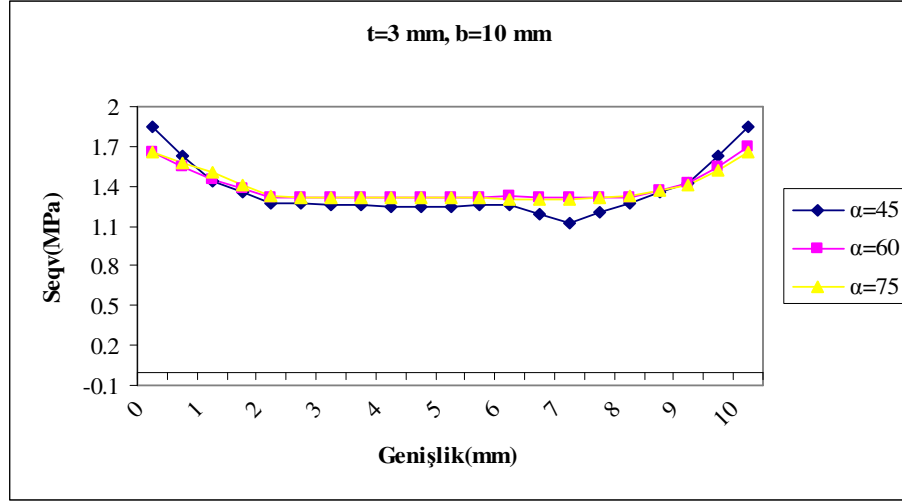
- α 'ya Göre Seqv Gerilmelerinin İncelenmesi

Açı etkisi gösterilirken x eksenini b (genişlik), y eksenini ise Seqv gerilmesi alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda Seqv gerilmesinin açıya göre değişimi şekil 5.182.'de gösterilmiştir. α açısı artarken Seqv gerilmeleri genişliğin iki kenarı dışında artmıştır. Kenarlarda ise azalmıştır. Aynı durum genişlik 15 ve 20 mm olduğunda da görülmüştür.

$t=5$ mm ve $b=10, 15$ ve 20 mm olduğunda Seqv gerilmelerinin açıya göre değişimi şekil 5.182.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. α açısı artarken Seqv gerilmeleri genişliğin iki kenarı dışında artmıştır. Kenarlarda ise azalmıştır. Sadece $b=10$ mm olduğunda açı 60° 'den 75° 'ye artarken Seqv gerilmeleri diğerlerine göre biraz daha fazla artmıştır.

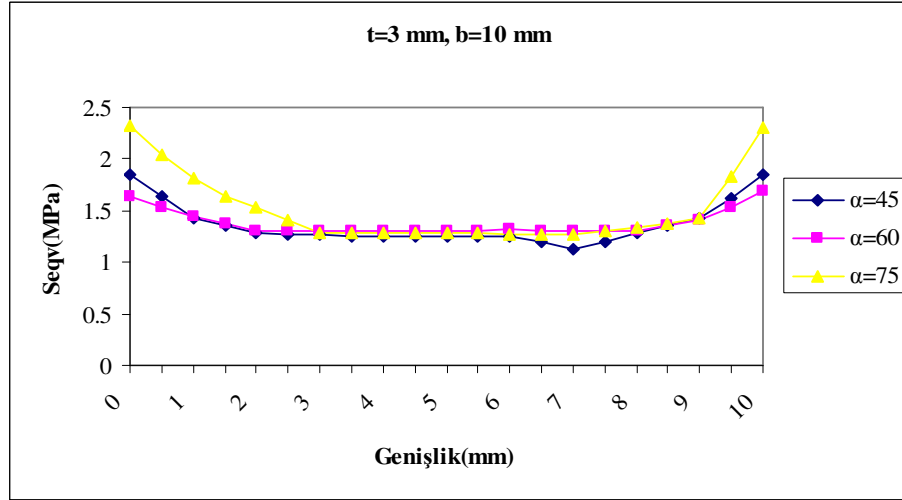


Şekil 5.182. t=3 mm ve b=10 mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=1,10,19)

t=6 mm ve b=10,15 ve 20 mm olduğunda Seqv gerilmelerinin açığa göre değişimi şekil 5.182.'ye benzediği için burada gösterilmemiştir. α açısı artarken Seqv gerilmeleri artmıştır. Sadece b=15 mm olduğunda açı 60°'den 75°'ye artarken Seqv gerilmeleri azaltmıştır. Bu istisna dışındaki diğer durumlarda açı artarken Seqv gerilmeleri de artmıştır.

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

t=3 mm ve b=10 mm olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.182.'de gösterilmiştir. α açısı arttıkça Seqv gerilmeleri genişliğin iki kenarı dışında artmıştır. Kenarlarda açı 45°'den 60°'ye artarken azalmıştır. Bu durum b=15 ve 20 mm olduğunda da görülmüştür.



Şekil 5.183. t=3 mm ve b=10 mm olduğunda α (açı) etkisi (Numune No=28,34,40)

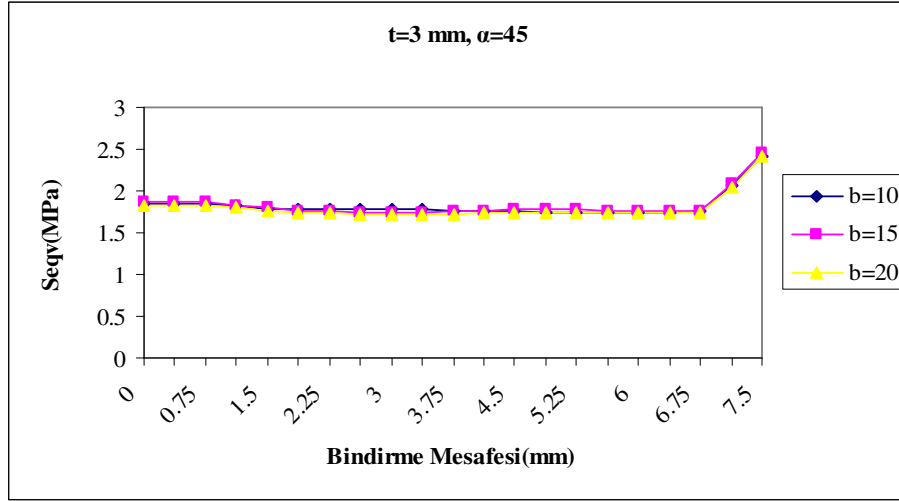
t=5 mm ve b=10,15 ve 20 mm olduğunda Seqv gerilmelerinin açığa göre değişimi şekil 5.182.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. α açısı artarken Seqv gerilmeleri genişliğin iki kenarı dışında artmıştır. Kenarlarda ise α açısı artarken Seqv azalmıştır.

- **b'ye Göre Seqv Gerilmelerinin İncelenmesi**

Burada grafikler çizilirken x eksenini a(bindirme mesafesi), y eksenini ise Seqv alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

t=3 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.184.'te gösterilmiştir. Genişlik artarken Seqv gerilmeleri yaklaşık 0.03 MPa azalmıştır. t=3 mm ve $\alpha=60^\circ$, 75° olduğunda da gerilme dağılımı şekil 5.184'e benzemektedir. Ancak b artarken Seqv'de artmıştır.



Şekil 5.184. t=3 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=1,4,7)

t=5 mm ve $\alpha=45^\circ$, 60° ve 75° olduğunda Seqv gerilmelerinin değişimi şekil 5.184.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Her üç durumda da genişlik artarken Seqv gerilmeleri artmıştır. Aynı kalınlıkta $\alpha=75^\circ$ iken b=10 mm'den 15 mm'ye artarken Seqv diğer bütün durumlardan daha fazla olarak yaklaşık 0.3 MPa artmıştır.

t=6 mm ve $\alpha=45^\circ$ ve 75° olduğunda Seqv gerilmelerinin değişimi şekil 5.184.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. İki durumda da genişlik artarken Seqv artmıştır.

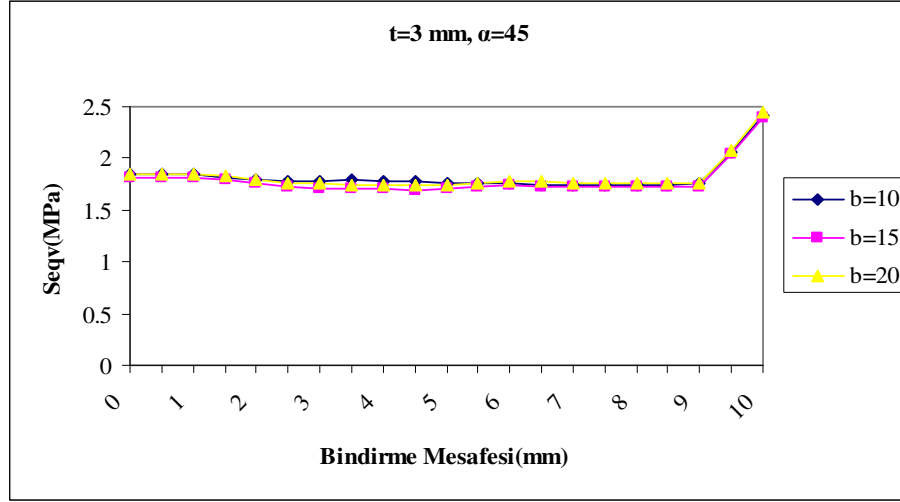
t=6 mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda da Seqv gerilme dağılımı grafiği şekil 5.184.'e benzer elde edilmiştir. Burada b=10 mm'den 15 mm'ye artarken Seqv gerilmeleri azalmıştır. Ancak 15 mm'den 20 mm'ye geçerken Seqv gerilmeleri artmıştır.

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

t=3 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.185.'te gösterilmiştir. Genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken Seqv gerilmeleri azalmıştır. Ama genişlik 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise Seqv gerilmeleri artmıştır. t=3 mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda gerilme grafiği şekil 5.185.'e benzer olup genişlik arttıkça Seqv gerilmeleri artmıştır. t=3 ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b=10 mm'den 15 mm'ye artarken Seqv gerilmeleri azalırken 20 mm'ye geçerken artmıştır.

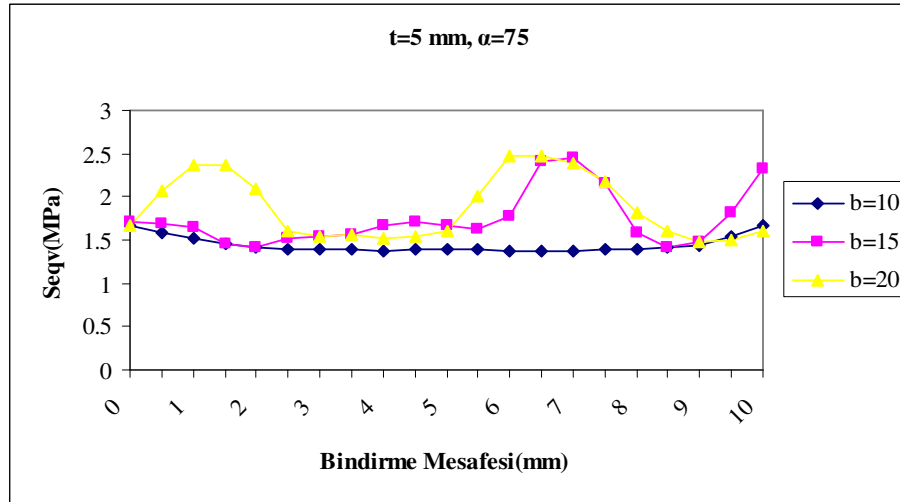
t=5 mm ve $\alpha=45^\circ$ ve 60° olduğunda Seqv gerilmelerinin değişimi şekil 5.185.'e benzer

olduğu için burada gösterilmemiştir. $\alpha=45^\circ$ olduğunda genişlik 10 mm'den 15 mm'ye artarken Seqv gerilmeleri artmıştır. Ancak genişlik 15 mm'den 20 mm'ye artarken ise Seqv gerilmeleri azalmıştır. $\alpha=60^\circ$ olduğunda gerilme grafiği şekil 5.185.'e benzer olup genişlik arttıkça Seqv gerilmeleri de artmıştır.



Şekil 5.185. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=28,30,32)

$t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.186.'da gösterilmiştir. Genişlik artarken bindirme mesafesinin 3-5 mm'leri arasındaki mesafe dışında Seqv gerilmeleri artmıştır. Ancak bu iki nokta sadece genişlik 15 mm'den 20 mm'ye artarken Seqv azalmıştır.



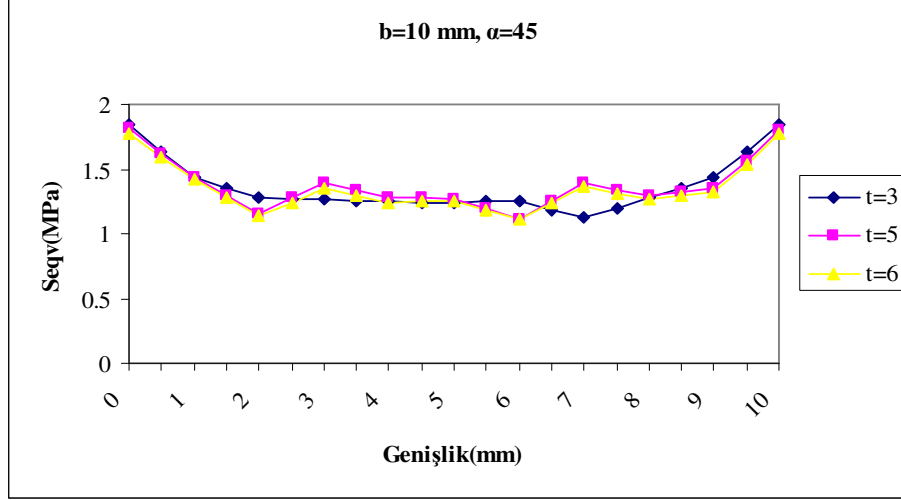
Şekil 5.186. $t=5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b(genişlik) etkisi (Numune No=41,43,45)

- t'ye Göre Seqv Gerilmelerinin İncelenmesi**

Burada grafikler çizilirken x eksenini b(genişlik), y eksenini ise Seqv alınmıştır.

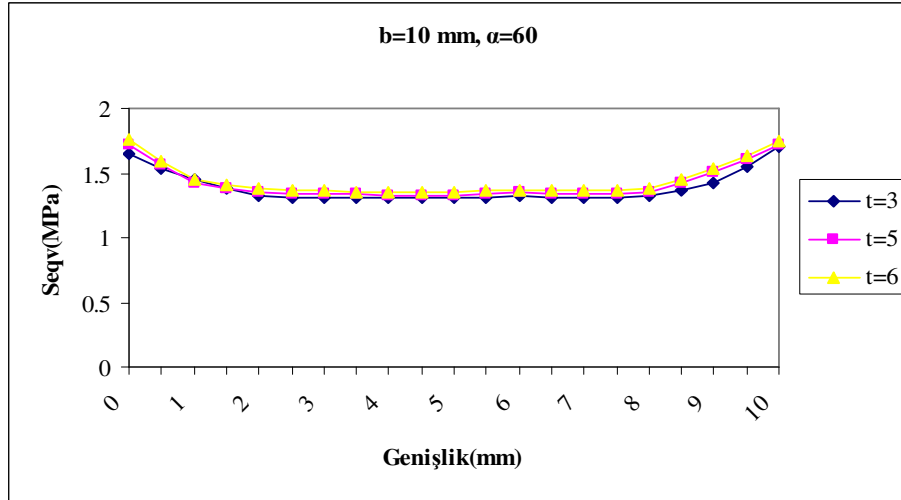
A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.187.'de gösterilmiştir. Kalınlık artarken genişliğin 2.,3. ve 6. mm'leri dışında kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken Seqv gerilmeleri artmış ancak 6 mm'ye artarken ise azalmıştır. Bu üç noktada ise kalınlık artarken Seqv azalmıştır. Aynı durum genişlik 15 ve 20 mm olduğunda da görülmüştür.



Şekil 5.187. $b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=1,2,3)

$b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.188.'de gösterilmiştir. Kalınlık artarken Seqv gerilmeleri de artmıştır. $b=15$ mm olduğunda da Seqv artmıştır.



Şekil 5.188. $b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda t(kalınlık) etkisi (Numune No=10,11,12)

$b=20$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.188.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken Seqv gerilmeleri de artmıştır. Ama kalınlık 5 mm'den 6 mm'ye artarken Seqv gerilmesi yaklaşık 0.005 MPa azalmıştır.

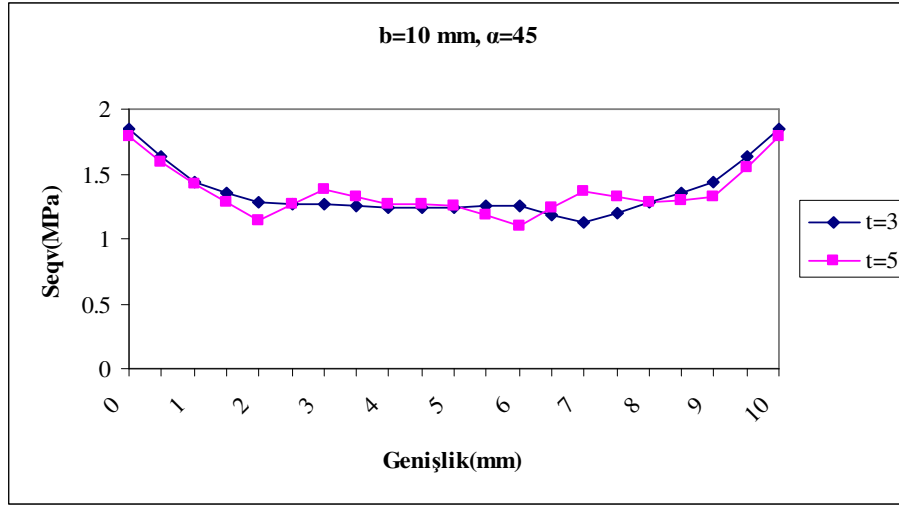
$b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.188.'e benzediği için

burada gösterilmemiştir. Kalınlık 3 mm'den 5 mm'ye artarken Seqv gerilmeleri de artmıştır. Ancak kalınlık 5 mm'den 6 mm'ye artarken Seqv gerilmesi 0.03 MPa azalmıştır.

$b=15$ ve 20 mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda Seqv gerilmelerinin değişimi şekil 5.188.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Her iki genişlik durumunda da t artarken Seqv artmıştır.

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.189.'da gösterilmiştir. Kalınlık artarken Seqv gerilmeleri iki nokta dışında azalmıştır. $b=15$ ve 20 mm olduğunda da gerilme grafiği şekil 5.189.'a benzerdir. Ancak burada kalınlık artarken iki nokta dışında Seqv gerilmeleri de artmıştır. Bu iki noktada ise Seqv azalmıştır.

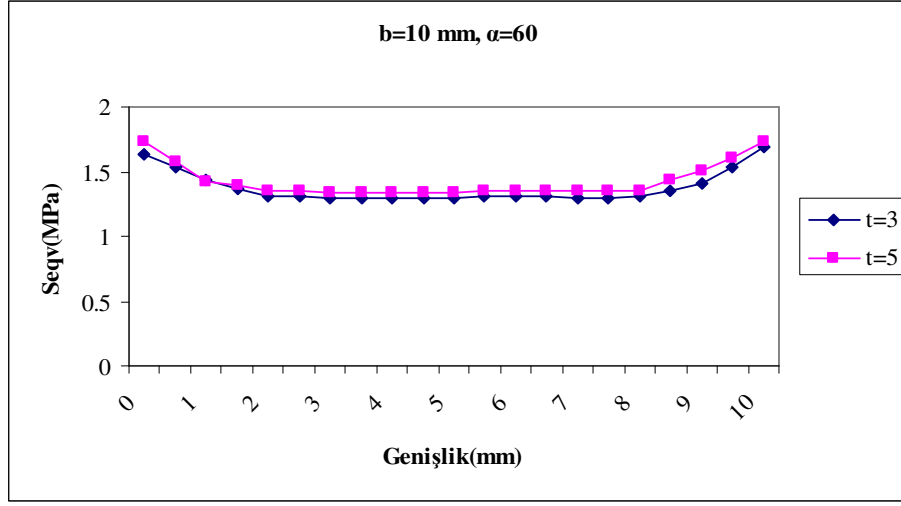


Şekil 5.189. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=28,29)

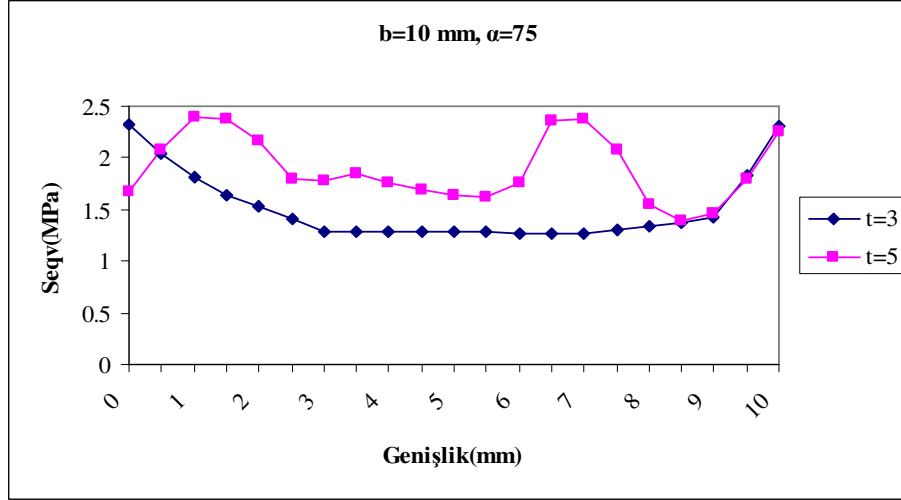
$b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.190.'da gösterilmiştir. Kalınlık artarken Seqv gerilmeleri de artmıştır. $b=15$ ve 20 mm olduğunda da gerilme grafiği şekil 5.189.'a benzerdir. Burada kalınlık artarken Seqv gerilmeleri de artmıştır.

$b=10$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda Seqv gerilmesinin değişimi şekil 5.191.'de gösterilmiştir. Kalınlık artarken Seqv gerilmeleri de artmıştır. Ancak genişliğin sol kenarında azalmış ve kalınlık 5 mm'ye artarken Seqv bazı noktalarda daha fazla artmıştır.

$b=15$ ve 20 mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda Seqv gerilmelerinin değişimi şekil 5.190.'a benzediği için burada gösterilmemiştir. Kalınlık artarken genişliğin iki kenarı dışında Seqv gerilmeleri de artmıştır. Kenarlarda ise kalınlık artarken Seqv gerilmeleri azalmıştır.



Şekil 5.190. $\alpha=60^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=34,35)



Şekil 5.191. $\alpha=75^\circ$ ve $b=10$ mm olduğunda t (kalınlık) etkisi (Numune No=40,41)

5.4. Yapıştırıcıların Gerilmelerinin Karşılaştırılması

Çalışmamızda kullanılan Flexo Tix ve Vinylester Atlac 580 yapıştırıcılarının gerilmelerinin karşılaştırılması yapılırken grafiklerde F(Flexo Tix) ve V(Vinylester Atlac 580) şeklinde gösterilmiştir.

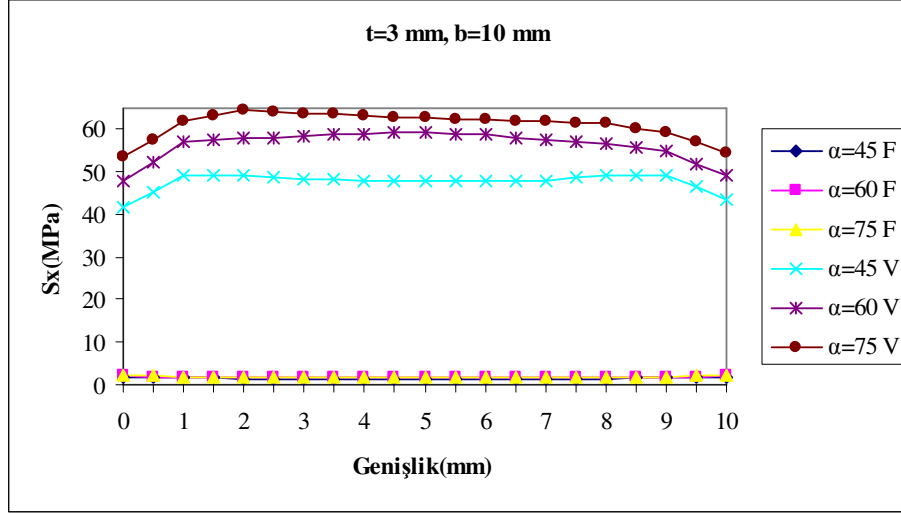
• Yapıştırıcılarda α 'ya Göre S_x Gerilmelerinin Karşılaştırılması

Burada x eksenini b (genişlik), y eksenini ise S_x gerilmesi olarak alınmıştır.

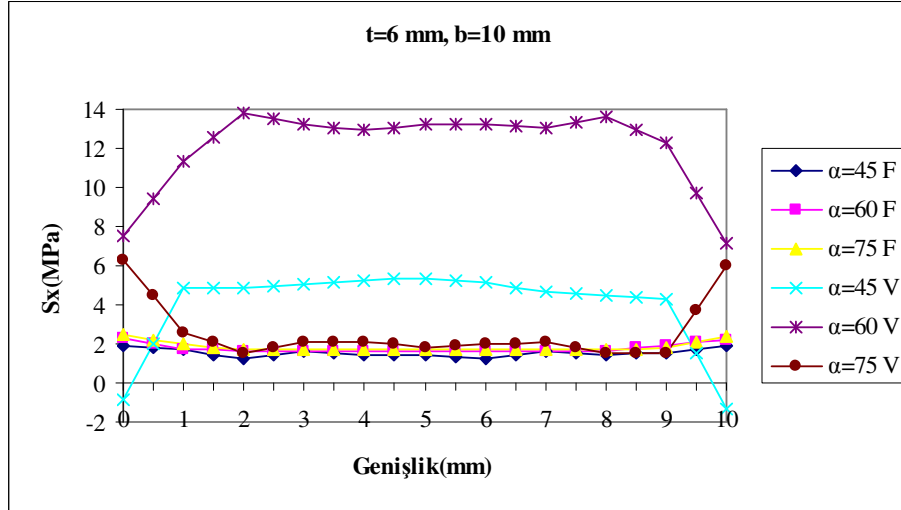
A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda yapıştırıcıların S_x gerilmesinin değişimi Şekil 5.192.'de gösterilmiştir. α açısı arttıkça Vinylester'deki gerilme artışı Flexo Tix'ten çok daha fazladır. İki yapıştırıcıda da α arttıkça S_x gerilmeleri artmıştır ($t=3$ mm ve $b=15,20$ mm'de de görülmüştür).

$t=5$ mm ve $b=10, 15, 20$ mm olduğunda yapıştırıcıların S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.192.'ye benzer olduğu için burada gösterilmemiştir. α açısı arttıkça Vinylester yapıştırıcıdaki gerilme artışı Flexo Tix yapıştırıcıdan çok daha fazladır. α etkisi Vinylester'de daha belirgindir.



Şekil 5.192. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması (Numune No=1,10,19)



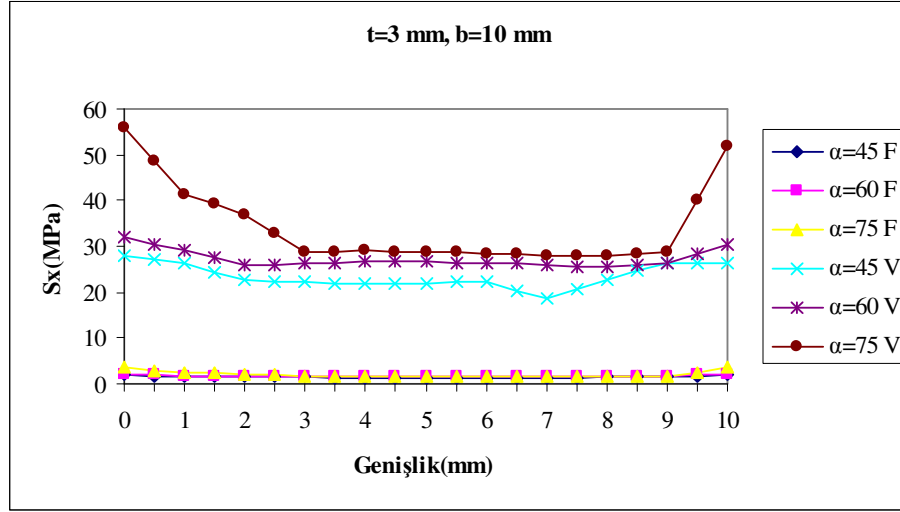
Şekil 5.193. $t=6$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması (Numune No=3,12,21)

$t=6$ mm ve $b=10, 15, 20$ mm olduğunda yapıştırıcıların S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.193.'e benzerdir. α etkisi Vinylester yapıştırıcıda daha fazla ve daha belirgin olup Flexo Tix yapıştırıcıdan çok daha fazladır. İki yapıştırıcıda S_x , $\alpha=75^\circ$ de birbirine yaklaşmıştır.

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda yapıştırıcıların S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.194.'te gösterilmiştir. α açısı arttıkça Vinylester yapıştırıcıdaki S_x gerilme artışı Flexo Tix yapıştırıcıdan daha fazladır. Her iki yapıştırıcıda da açı arttıkça S_x gerilmeleri artmıştır.

$t=5$ mm ve $b=10, 15, 20$ mm olduğunda yapıştırıcıların S_x gerilmesinin değişimi şekil 5.194.'e benzer olduğu için burada gösterilmemiştir. α açısı arttıkça Vinylester yapıştırıcısındaki gerilme artışı Flexo Tix yapıştırıcıdan çok daha fazladır. α etkisi Vinylester'de daha belirgindir. Her iki yapıştırıcıda da açı arttıkça S_x gerilmeleri artmıştır.

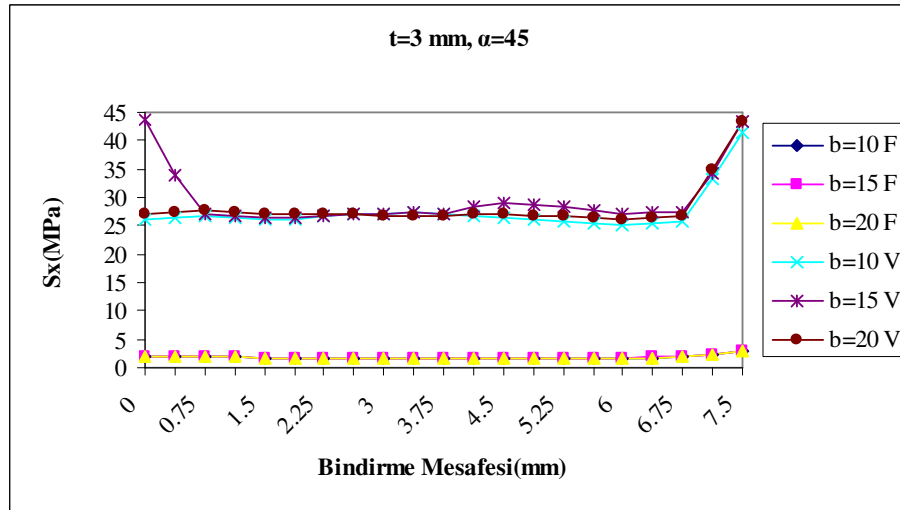


Şekil 5.194. $t=6$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması (Numune No=28,34,40)

- **Yapıştırıcılarda b 'ye Göre S_x Gerilmelerinin Karşılaştırılması**

Burada x eksenini a (bindirme mesafesi), y eksenini ise S_x gerilmesi olarak alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)



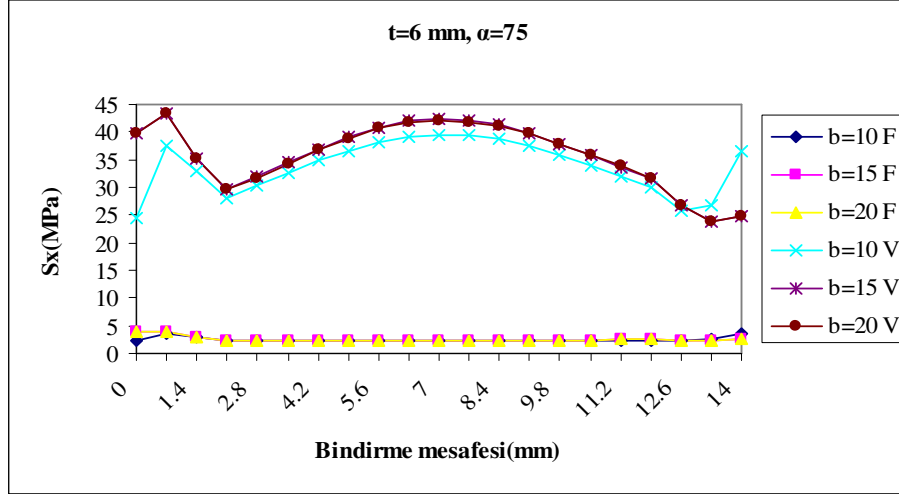
Şekil 5.195. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b etkisinin karşılaştırılması (Numune No=1,4,7)

$t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların S_x grafiği şekil 5.195.'te gösterilmiştir. b (genişlik) arttıkça Vinylester yapıştırıcısındaki S_x gerilme değişimi Flexo Tix yapıştırıcıdan çok daha fazladır. Her iki yapıştırıcıda da b arttıkça S_x gerilmeleri önce artmış daha sonra

azalmıştır. $t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$, 75° olduğunda da aynı durum görülmüştür.

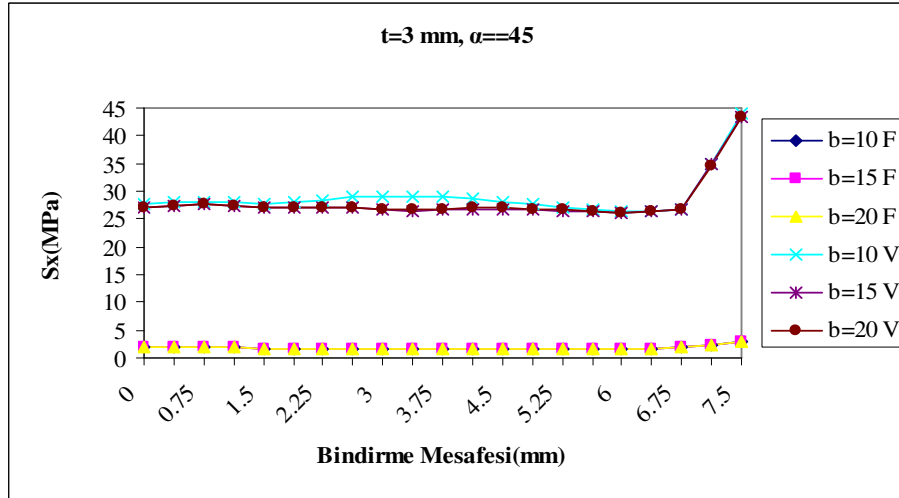
$t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ$, 60° , 75° olduğunda yapıştırıcıların S_x grafiği şekil 5.195.' e benzer olduğu için burada gösterilmemiştir. Her iki yapıştırıcıda da b arttıkça S_x gerilmeleri önce artmış daha sonra azalmıştır. Genişlik etkisi Vinylester'de daha belirgindir.

$t=6$ mm ve $\alpha=45^\circ$, 60° , 75° olduğunda yapıştırıcıların S_x grafiği şekil 5.196.'da gösterilmiştir. Her iki yapıştırıcıda da b arttıkça S_x gerilmeleri birbirine yakın olarak artmıştır. Genişlik etkisi Vinylester'de biraz daha belirgindir.



Şekil 5.196. $t=6$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda b etkisinin karşılaştırılması (Numune No=21,24,27)

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)



Şekil 5.197. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b etkisinin karşılaştırılması (Numune No=21,24,27)

$t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların S_x grafiği şekil 5.197.'de gösterilmiştir. b (genişlik) arttıkça Vinylester yapıştırıcısındaki S_x gerilme artışı Flexo Tix yapıştırıcısından çok daha fazladır. Her iki yapıştırıcıda da b arttıkça S_x gerilmeleri artmıştır. $t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$, 75°

olduğunda da aynı durum görülmüştür.

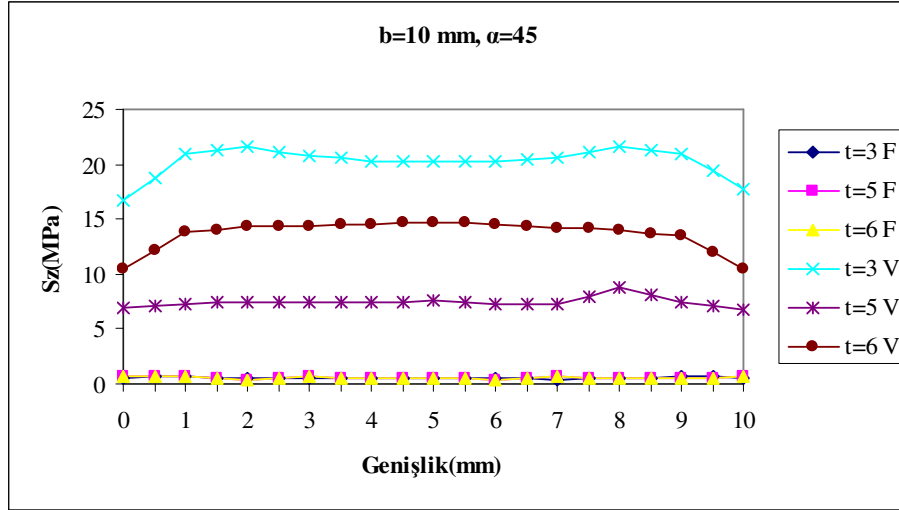
$t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ$, 60° , 75° olduğunda yapıştırıcıların S_x grafiği şekil 5.197.'ye benzer olduğu için burada gösterilmemiştir. Her iki yapıştırıcıda da b arttıkça S_x gerilmeleri birbirlerine yakın olarak artmıştır. Gerilme değerleri Vinylester'de daha büyüktür.

- **Yapıştırıcılarda t 'ye Göre S_x Gerilmelerinin Karşılaştırılması**

Burada x eksen b (genişlik), y eksen ise S_x gerilmesi olarak alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

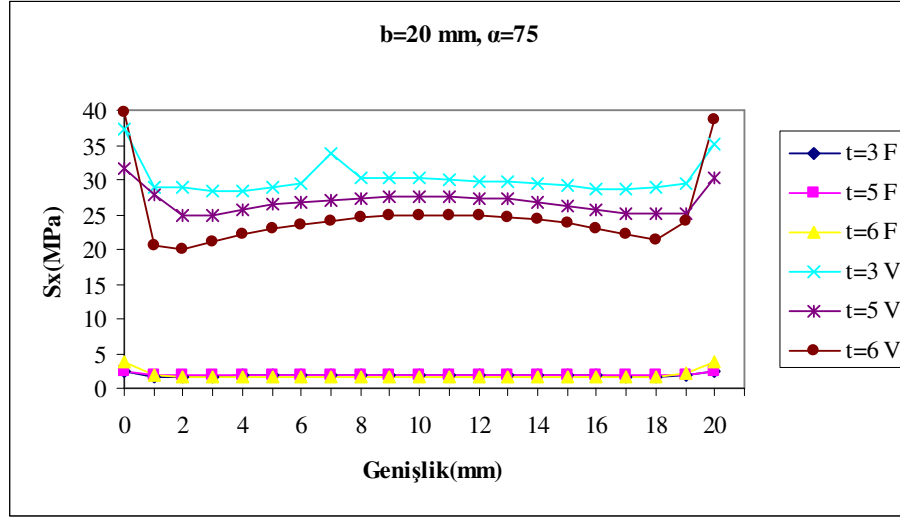
$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların S_x grafiği şekil 5.198.'de gösterilmiştir. t (kalınlık) arttıkça Vinylester yapıştırıcısındaki S_x gerilme değişimi Flexo Tix yapıştırıcıdan çok daha fazladır. Her iki yapıştırıcıda da t arttıkça S_x gerilmeleri önce azalmış daha sonra artmıştır. Gerilme değişimi Vinylester'de daha belirgindir.



Şekil 5.198. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t etkisinin karşılaştırılması (Numune No=1,2,3)

$b=15$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların S_x grafiği şekil 5.198.'e benzemiştir. t (kalınlık) arttıkça Vinylester yapıştırıcısındaki S_x gerilme değişimi Flexo Tix yapıştırıcıdan çok daha fazladır. Her iki yapıştırıcıda da kalınlık arttıkça S_x gerilmeleri önce azalmış daha sonra artmıştır. Gerilme değişimi Vinylester'de daha belirgindir. $b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$, 75° olduğunda da aynı durum görülmüştür. $b=20$ mm ve $\alpha=60^\circ$, 75° olduğunda da aynı durum görülmüştür.

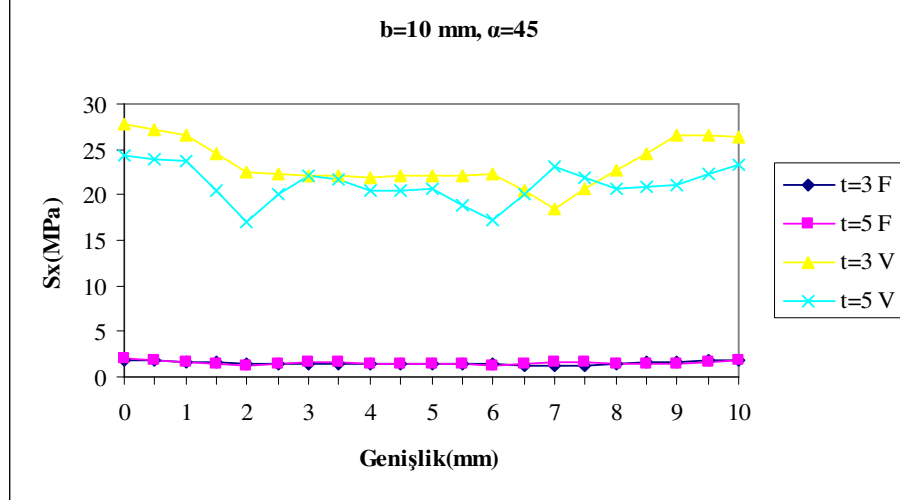
$b=20$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların S_x grafiği şekil 5.199.'da gösterilmiştir. t (kalınlık) arttıkça Vinylester yapıştırıcısındaki S_x gerilme değişimi Flexo Tix yapıştırıcıdan çok daha fazladır. Her iki yapıştırıcıda da t arttıkça S_x gerilmeleri azalmıştır.



Şekil 5.199. b=20 mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda t etkisinin karşılaştırılması (Numune No=25,26,27)

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

b=10 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Sx grafiği şekil 5.200.'de gösterilmiştir. t(kalınlık) arttıkça Vinylester yapıştırıcısındaki Sx gerilme değişimi Flexo Tix yapıştırıcıdan daha fazladır. Her iki yapıştırıcıda da t arttıkça Sx gerilmeleri azalmıştır. Gerilme değişimi Vinylester'de daha belirgindir. b=10 mm ve $\alpha=60^\circ, 75^\circ$ olduğunda da aynı durum görülmüştür.



Şekil 5.200. b=10 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t etkisinin karşılaştırılması (Numune No=28,29)

b=15, 20 mm ve $\alpha=45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Sx grafiği şekil 5.200.'e benzer olmuştur. t(kalınlık) arttıkça Vinylester yapıştırıcısındaki Sx gerilme değişimi Flexo Tix yapıştırıcıdan daha fazladır. Her iki yapıştırıcıda da t arttıkça Sx gerilmeleri azalmıştır. Gerilme değişimi Vinylester'de daha belirgindir.

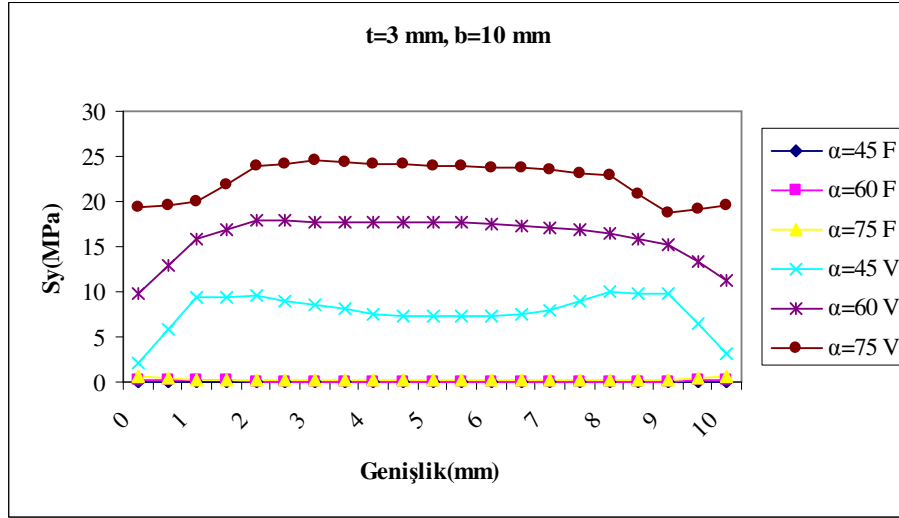
- **Yapıştırıcılarda α 'ya Göre Sy Gerilmelerinin Karşılaştırılması**

Burada x eksenini b(genişlik), y eksenini ise Sy gerilmesi olarak alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda yapıştırıcıların Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.201.'de gösterilmiştir. α açısı arttıkça Vinylester yapıştırıcıdaki Sy gerilme artışı Flexo Tix yapıştırıcıdan çok daha fazladır. Her iki yapıştırıcıda da açı arttıkça Sy gerilmeleri artmıştır. $t=3$ mm ve $b=15, 20$ mm olduğunda da aynı durum görülmüştür.

$t=5, 6$ mm ve $b=10, 15, 20$ mm olduğunda yapıştırıcıların Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.201.'e benzer olduğu için burada gösterilmemiştir. Her iki yapıştırıcıda da açı arttıkça Sy gerilmeleri artmıştır. α açısı arttıkça Vinylester yapıştırıcıdaki gerilme artışı Flexo Tix yapıştırıcıdan çok daha fazla ve daha belirgindir.

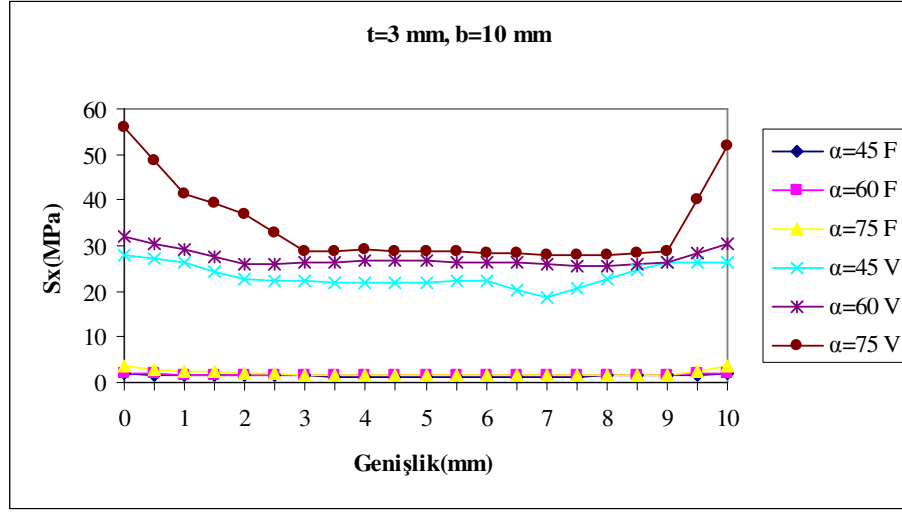


Şekil 5.201. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması (Numune No=1,10,19)

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda yapıştırıcıların Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.202.'de gösterilmiştir. α açısı arttıkça Vinylester yapıştırıcıdaki Sy gerilme artışı Flexo Tix yapıştırıcıdan çok daha fazladır. Her iki yapıştırıcıda da açı arttıkça Sy gerilmeleri artmıştır. $t=3$ mm ve $b=15, 20$ mm olduğunda da aynı durum görülmüştür.

$t=5$ mm ve $b=10, 15, 20$ mm olduğunda yapıştırıcıların Sy gerilmesinin değişimi şekil 5.202.'ye benzer olduğu için burada gösterilmemiştir. Her iki yapıştırıcıda da açı arttıkça Sy gerilmeleri artmıştır. α açısı arttıkça Vinylester yapıştırıcıdaki gerilme artışı Flexo Tix yapıştırıcıdan çok fazla ve daha belirgindir.



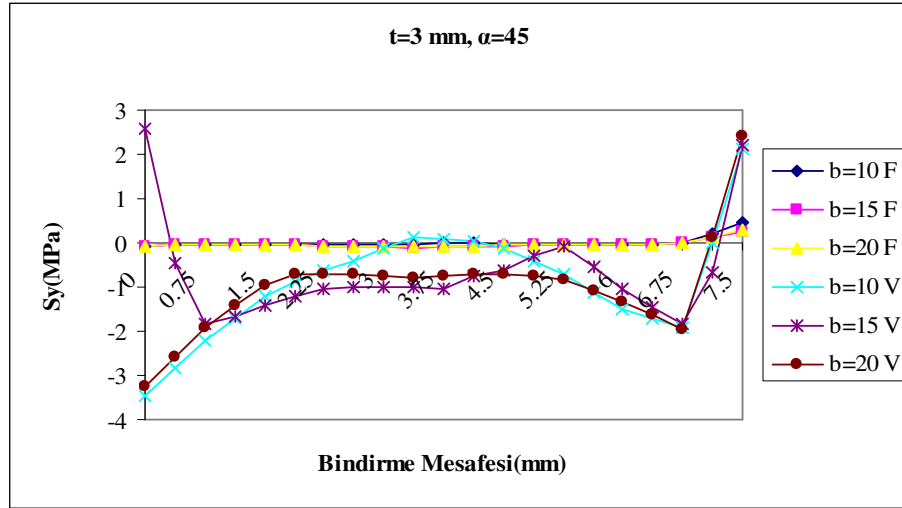
Şekil 5.202. t=3 mm ve b=10 mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması (Numune No=28,34,40)

- Yapıştırıcılarda b'ye Göre Sy Gerilmelerinin Karşılaştırılması

Burada x eksenini a(bindirme mesafesi), y eksenini ise Sy gerilmesi olarak alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

t=3 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Sy grafiği şekil 5.203.'te gösterilmiştir. Her iki yapıştırıcıda da b arttıkça Sy gerilmeleri özellikle bindirme mesafesinin ortasında daha fazla olmak üzere artmıştır. Vinylester yapıştırıcıdaki Sy gerilme değişimi Flexo Tix yapıştırıcıdan çok daha fazladır. t=3 mm ve $\alpha=60^\circ$, 75° olduğunda da aynı durum görülmüştür.



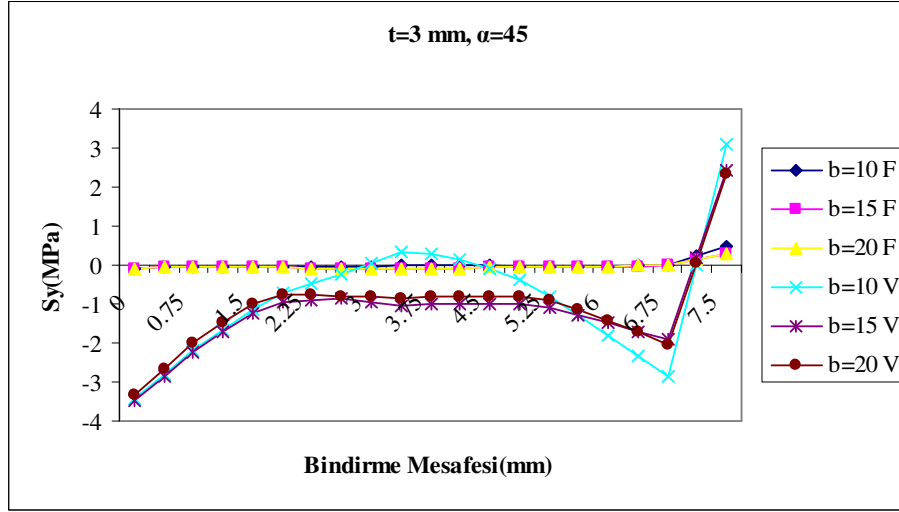
Şekil 5.203. t=3 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b etkisinin karşılaştırılması (Numune No=1,4,7)

t=5,6 mm ve $\alpha=45^\circ$, 60° , 75° olduğunda yapıştırıcıların Sy grafikleri şekil 5.203.'e benzer olduğu için gösterilmemiştir. Her iki yapıştırıcıda da b arttıkça Sy gerilmeleri özellikle bindirme mesafesinin ortasında daha fazla olmak üzere artmıştır. Vinylester yapıştırıcıdaki Sy

gerilme değişimi Flexo Tix yapıştırıcıdan çok daha fazladır.

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Sy grafiği şekil 5.204.'te gösterilmiştir. Her iki yapıştırıcıda da b arttıķa Sy gerilmeleri özellikle bindirme mesafesinin ortasında daha fazla olmak üzere artmıştır. Vinylester yapıştırıcıdaki Sy gerilme değişimi Flexo Tix yapıştırıcıdan çok daha fazladır. $t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$, 75° olduğunda da aynı durum grlmştir.



şekil 5.204. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b etkisinin karşılaştırılması (Numune No=28,30,32)

$t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ$, 60° , 75° olduğunda yapıştırıcıların Sy grafikleri şekil 5.204.'e benzer olduğu için gösterilmemiştir. Her iki yapıştırıcıda da b arttıķa Sy gerilmeleri özellikle bindirme mesafesinin ortasında daha fazla olmak üzere artmıştır. Vinylester yapıştırıcıdaki Sy gerilme değişimi Flexo Tix yapıştırıcıdan çok daha fazladır. Sadece Vinylester'de bazı noktalarda aı artarken azalmalar olmuştur.

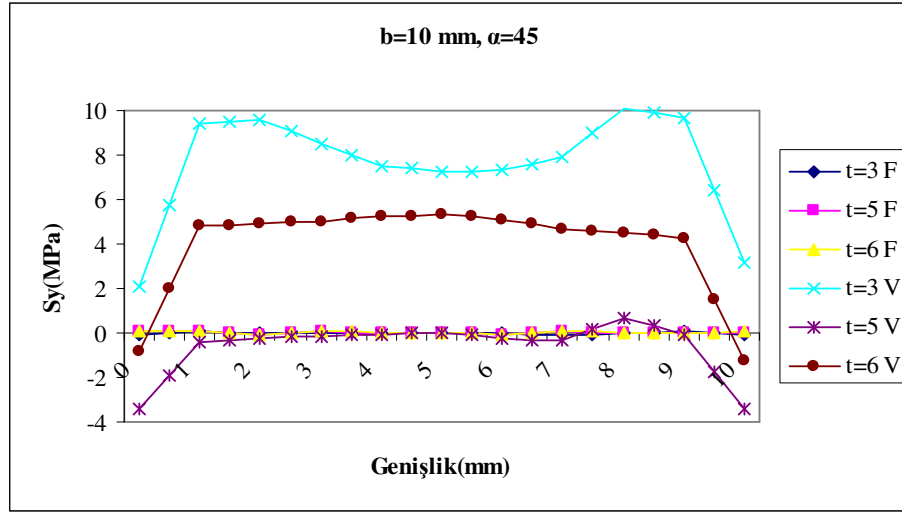
- **Yapıştırıcılarda t'ye Göre Sy Gerilmelerinin Karşılaştırılması**

Burada x eksenini b (genişlik), y eksenini ise Sy gerilmesi olarak alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Sy grafiği şekil 5.205.'te gösterilmiştir. Her iki yapıştırıcıda da t arttıķa Sy gerilmeleri önce azalmış daha sonra artmıştır. Gerilme değişimi Vinylester'de daha belirgindir. $b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$, 75° de de aynı durum olmuştur.

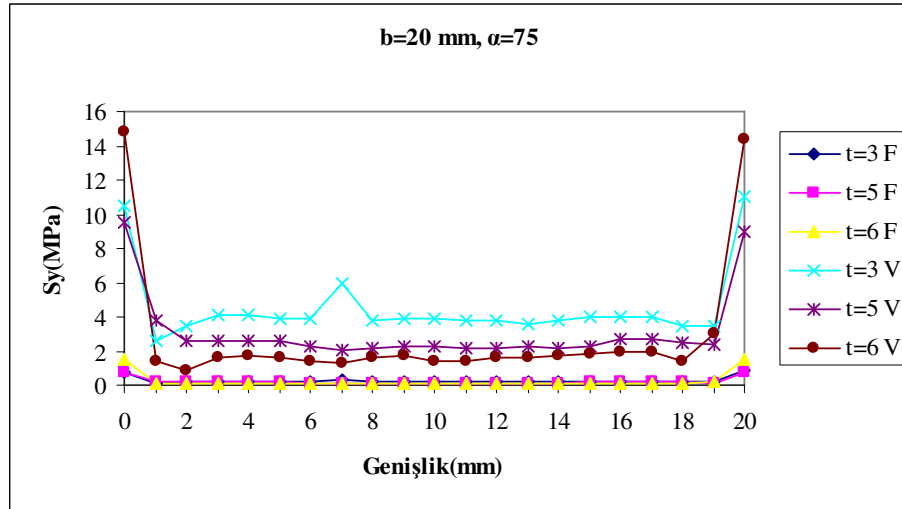
$b=15$ mm ve $\alpha=45^\circ$, 60° , 75° olduğunda yapıştırıcıların Sy grafiği şekil 5.205.'e benzer olduğu için gösterilmemiştir. Her iki yapıştırıcıda da t arttıķa Sy gerilmeleri önce azalmış daha sonra artmıştır. Gerilme değişimi Vinylester'de daha belirgindir. $b=20$ mm ve $\alpha=45^\circ$, 60° olduğunda da aynı durum gerçekleşmiştir.



Şekil 5.205. b=10 mm ve $\alpha = 45^\circ$ olduğunda t etkisinin karşılaştırılması (Numune No=1,2,3)

b=20 mm ve $\alpha = 75^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Sy grafiği şekil 5.206.'da gösterilmiştir.

Her iki yapıştırıcıda da t arttıkça Sy gerilmeleri azalmıştır.

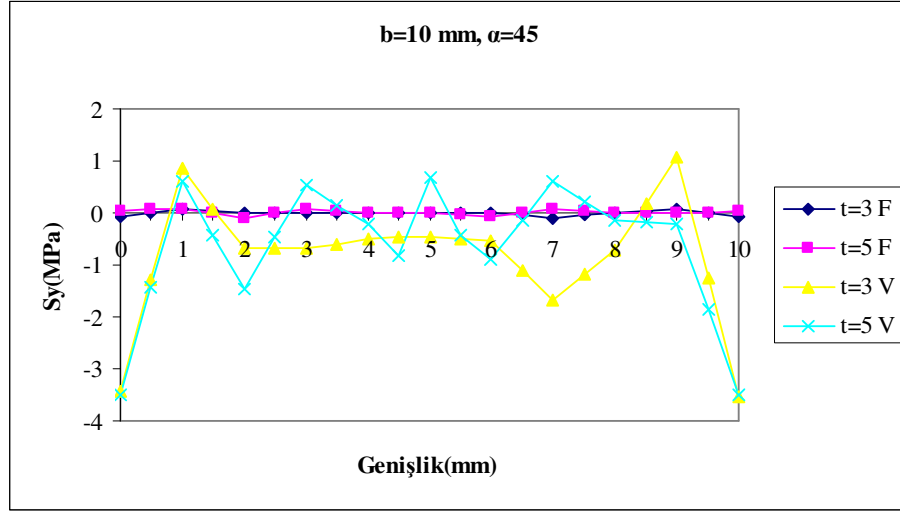


Şekil 5.206. b=20 mm ve $\alpha = 75^\circ$ olduğunda t etkisinin karşılaştırılması (Numune No=25,26,27)

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

b=10 mm ve $\alpha = 45^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Sy grafiği şekil 5.206.'da gösterilmiştir.

Her iki yapıştırıcıda da t arttıkça Sy gerilmeleri genelde artmıştır. Vinylester'de zikzaklar görülmüştür. b=15, 20 mm ve $\alpha = 45^\circ$ de de aynı durum görülmüştür. Ancak b=15, 20 mm ve $\alpha = 60^\circ, 75^\circ$ olduğunda ise kalınlık arttıkça Sy gerilmeleri artmıştır.



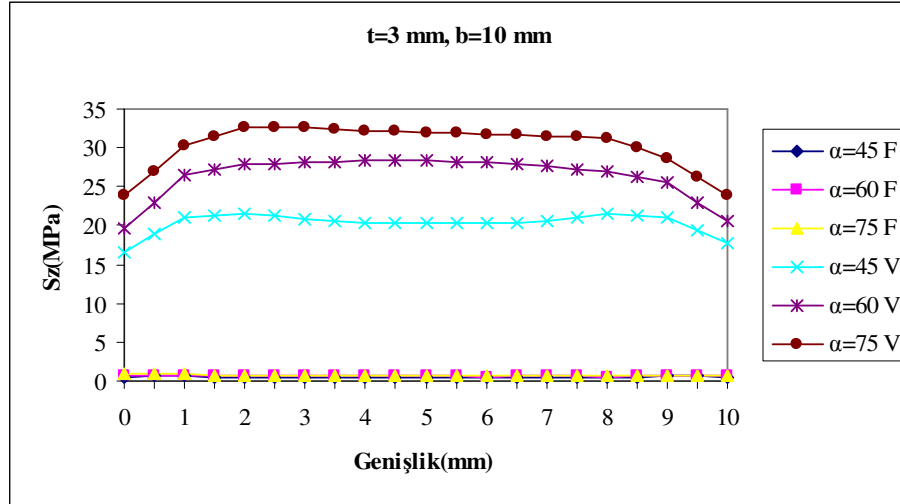
Şekil 5.207. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t etkisinin karşılaştırılması (Numune No=28,29)

- Yapıştırıcılarda α 'ya Göre Sz Gerilmelerinin Karşılaştırılması

Burada x eksenini b (genişlik), y eksenini ise S_z gerilmesi olarak alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda yapıştırıcıların S_z gerilmesinin değişimi Şekil 5.208.'de gösterilmiştir. Her iki yapıştırıcıda da açı arttıkça S_z gerilmeleri artmıştır. Gerilme değişimi Vinylester'de daha belirgindir. $t=3$ mm ve $b=15, 20$ mm olduğunda da aynı durum görülmüştür.

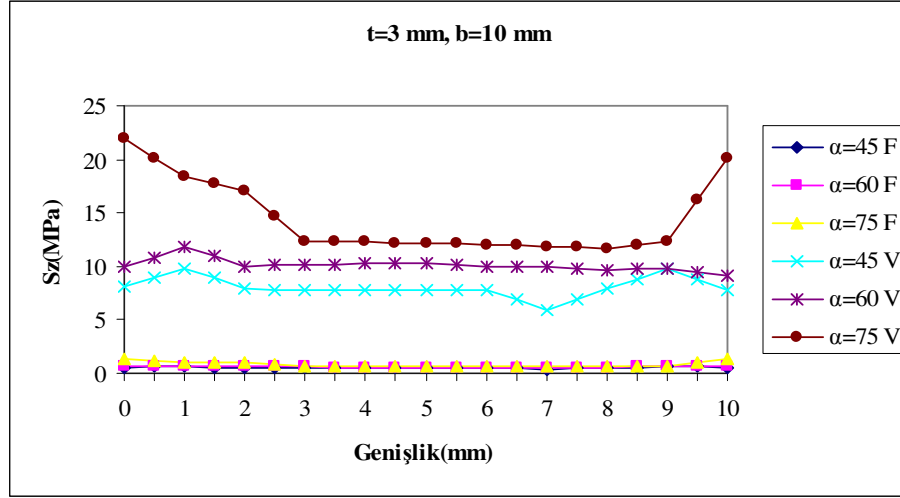


Şekil 5.208. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması (Numune No=1,10,19)

$t=5, 6$ mm ve $b=10, 15$ mm olduğunda yapıştırıcıların S_z gerilmesinin değişimi Şekil 5.208.'e benzer olduğu gösterilmemiştir. Her iki yapıştırıcıda da açı arttıkça S_z gerilmeleri artmıştır. Gerilme değişimi Vinylester'de daha belirgindir. Sadece $t=5, 6$ mm ve $b=20$ mm olduğunda açı arttıkça S_z gerilmeleri sürekli azalmıştır.

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda yapıştırıcıların Sz gerilmesinin değişimi şekil 5.208.'de gösterilmiştir. Her iki yapıştırıcıda da açı arttıkça Sz gerilmeleri artmıştır. $t=3,5$ mm ve $b=10$, 15, 20 mm olduğunda da aynı durum görülmüştür.

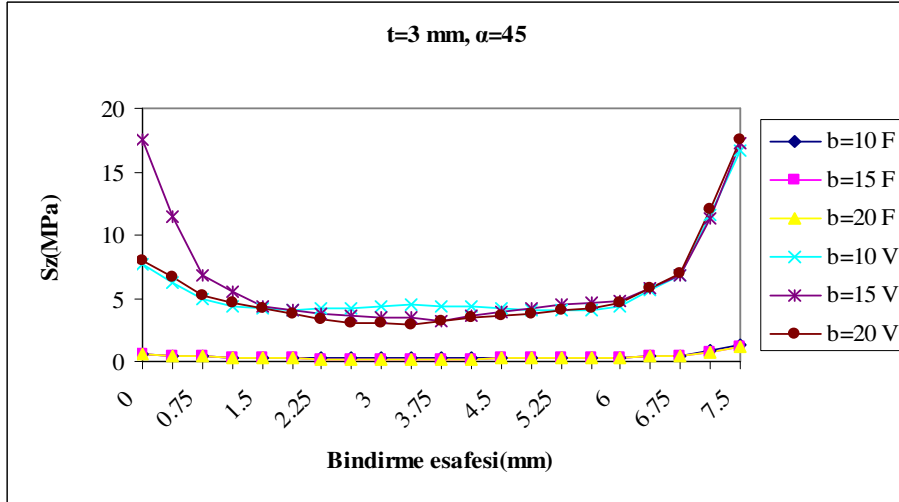


Şekil 5.209. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması (Numune No=28,34,40)

• Yapıştırıcılarda b'ye Göre Sz Gerilmelerinin Karşılaştırılması

Burada x ekseni a (bindirme mesafesi), y ekseni ise Sz gerilmesi olarak alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)



Şekil 5.210. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b etkisinin karşılaştırılması (Numune No=1,4,7)

$t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Sz grafiği şekil 5.210.'da gösterilmiştir. Her iki yapıştırıcıda da b arttıkça Sz gerilmeleri özellikle bindirme mesafesinin ortasında daha fazla olmak üzere azalmıştır. Vinylester yapıştırıcısındaki Sz gerilme değişimi Flexo Tix

yapıştırıcıdan çok daha fazladır. $t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$, 75° olduğunda da aynı durum görülmüştür.

$t=5,6$ mm ve $\alpha=45^\circ$, 60° , 75° olduğunda yapıştırıcıların Sz grafiği şekil 5.210.'a benzediği için burada gösterilmemiştir. Her iki yapıştırıcıda da b arttıkça Sz gerilmeleri özellikle bindirme mesafesinin ortasında daha fazla olmak üzere azalmıştır. Vinylester yapıştırıcıdaki Sz gerilme azalması Flexo Tix yapıştırıcıdan daha fazla olmuştur.

0B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

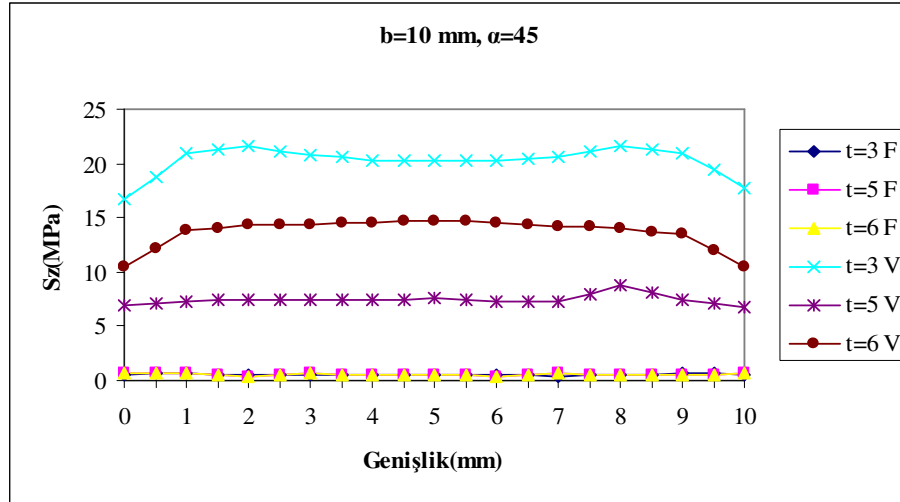
$t=3,5$ mm ve $\alpha=45^\circ$, 60° olduğunda yapıştırıcıların Sz grafiği şekil 5.210.'a benzediği için burada gösterilmemiştir. Her iki yapıştırıcıda da b arttıkça Sz gerilmeleri özellikle bindirme mesafesinin ortasında daha fazla olmak üzere azalmıştır. Vinylester yapıştırıcıdaki Sz gerilme azalması Flexo Tix yapıştırıcıdan daha fazla olmuştur. Sadece aynı kalınlıklarda ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda grafiklerde zikzaklar olduğu için grafiklerin bazı noktalarında Sz gerilmesi artmıştır.

• Yapıştırıcılarda t'ye Göre Sz Gerilmelerinin Karşılaştırılması

Burada x eksen b(genişlik), y eksen ise Sz gerilmesi olarak alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Sz grafiği şekil 5.211.'de gösterilmiştir. Her iki yapıştırıcıda da t arttıkça Sz gerilmeleri önce azalmış daha sonra artmıştır. Gerilme değişimi Vinylester'de daha belirgindir. $b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$, 75° de de aynı durum olmuştur.



Şekil 5.211. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t etkisinin karşılaştırılması (Numune No=1,2,3)

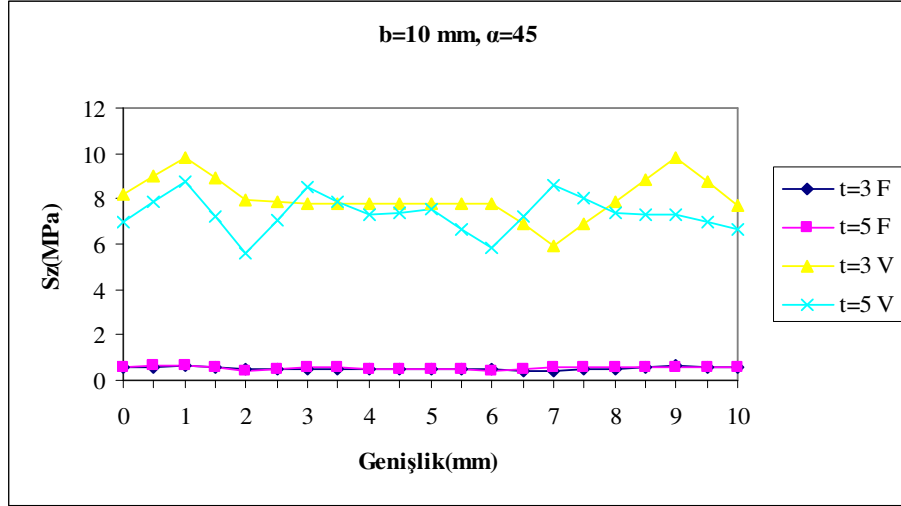
$b=15, 20$ mm ve $\alpha=45^\circ$, 60° , 75° olduğunda yapıştırıcıların Sz grafiği şekil 5.211.'e benzer olduğu için gösterilmemiştir. Her iki yapıştırıcıda da t arttıkça Sz gerilmeleri azalmıştır.

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Sz grafiği şekil 5.212.'de gösterilmiştir. Her iki yapıştırıcıda da kalınlık arttıkça Sz gerilmeleri azalmıştır. Vinylester yapıştırıcıdaki Sz

gerilme azalması Flexo Tix yapıştırıcıdan daha fazla olmuştur. $b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ$, 75° olduğunda da aynı durum gerçekleşmiştir.

$b=15$, 29 mm ve $\alpha=45^\circ$, 60° , 75° olduğunda yapıştırıcıların Sz grafiği şekil 5.212.'ye benzer olduğu için burada gösterilmemiştir. Burada kalınlık arttıkça Sz gerilmeleri azalmıştır.



Şekil 5.212. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t etkisinin karşılaştırılması (Numune No=28,29)

- **Yapıştırıcılarda α 'ya Göre Sxy Gerilmelerinin Karşılaştırılması**

Burada x eksen b (genişlik), y eksen ise Sxy gerilmesi olarak alınmıştır.

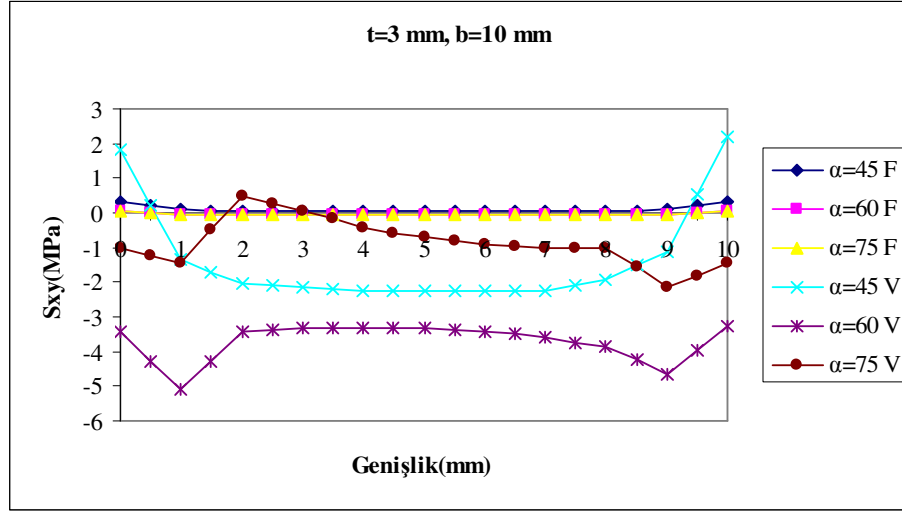
A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda yapıştırıcıların Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.213.'te gösterilmiştir. α açısı arttıkça Sxy gerilmeleri önce azalmış daha sonra artmıştır. Gerilme değişimi Vinylester'de daha belirgin olmuştur. Gerilmeler genelde negatif bölgededir.

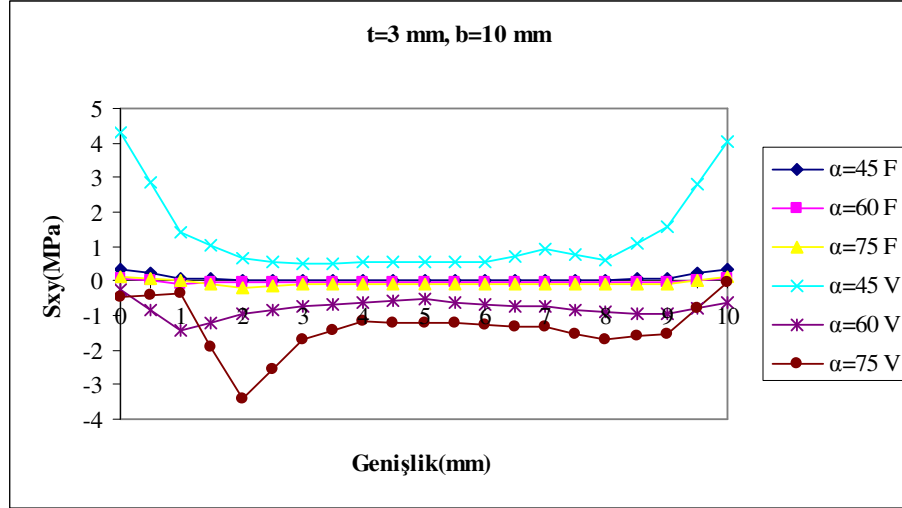
$t=5$, 6 mm ve $b=10$, 15 , 20 mm olduğunda yapıştırıcıların Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.213.'e benzer olduğu için burada gösterilmemiştir. Her iki yapıştırıcıda da α arttıkça Sxy gerilmeleri önce artmış daha sonra azalmıştır. α etkisi Vinylester'de daha belirgindir.

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda yapıştırıcıların Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.214.'te gösterilmiştir. α açısı arttıkça Sxy gerilmeleri azalmıştır. Gerilme değişimi Vinylester'de daha belirgin olmuştur. Gerilmeler genelde negatif bölgededir.



Şekil 5.213. t=3 mm ve b=10 mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması (Numune No=1,10,19)



Şekil 5.214. t=3 mm ve b=10 mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması (Numune No=28,34,40)

t=5 mm ve b=10, 15, 20 mm olduğunda yapıştırıcıların Sxy gerilmesinin değişimi şekil 5.214.'e benzer olduğu için burada gösterilmemiştir. α açısı arttıkça Sxy gerilmeleri önce çok küçük bir miktar artmış daha sonra da azalmıştır. Gerilme değişimi Vinylester'de daha belirgin olmuştur. Gerilmeler t=5 mm ve b=20 mm durumu dışında negatif bölgededir.

- **Yapıştırıcılarda b'ye Göre Sxy Gerilmelerinin Karşılaştırılması**

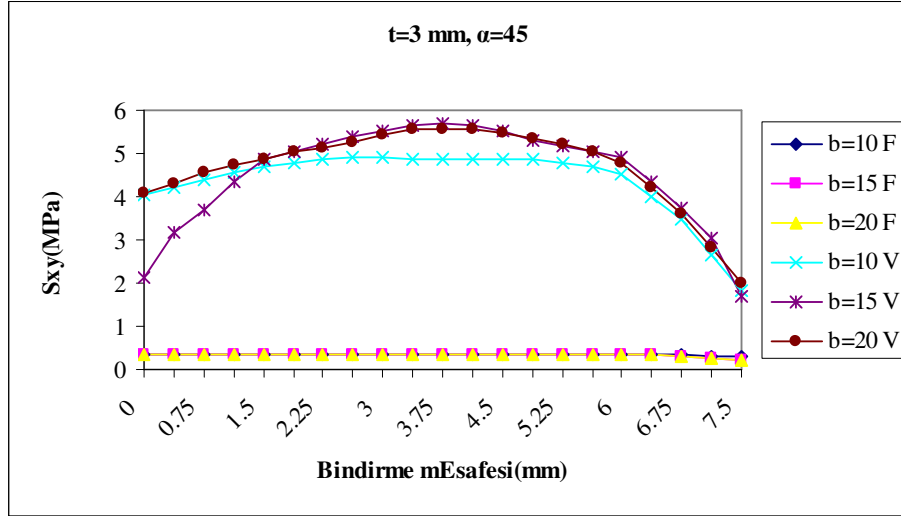
Burada x eksenini a(bindirme mesafesi), y eksenini ise Sxy gerilmesi olarak alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

t=3 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Sxy grafiği şekil 5.215.'te gösterilmiştir. Her iki yapıştırıcıda da b arttıkça Sxy gerilmeleri özellikle bindirme mesafesinin ortasında daha fazla olmak üzere artmıştır. Vinylester yapıştırıcısındaki Sxy gerilme değişimi Flexo Tix

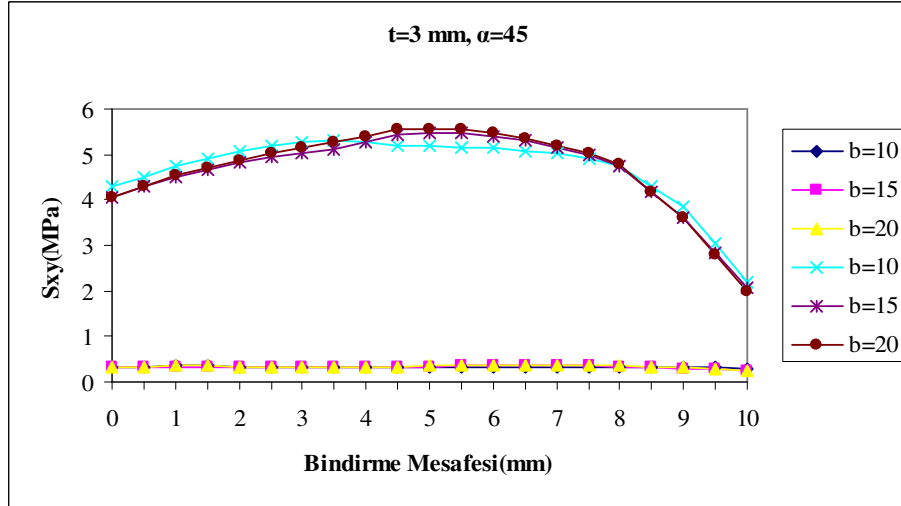
yapıştırıcıdan çok daha fazladır. $t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$, 75° olduğunda da aynı durum görülmüştür.

$t=5,6$ mm ve $\alpha=45^\circ$, 60° , 75° olduğunda yapıştırıcıların Sxy grafiği şekil 5.215.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Her iki yapıştırıcıda da b arttıkça Sxy gerilmeleri özellikle bindirme mesafesinin ortasında daha fazla olmak üzere artmıştır. Vinylester yapıştırıcıdaki Sxy gerilme artması Flexo Tix yapıştırıcıdan daha fazla olup grafiklerin pozitif bölgede olduğu görülmüştür.



Şekil 5.215. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b etkisinin karşılaştırılması (Numune No=1,4,7)

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)



Şekil 5.216. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda b etkisinin karşılaştırılması (Numune No=28,30,32)

$t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Sxy grafiği şekil 5.216.'da gösterilmiştir. Her iki yapıştırıcıda da b arttıkça Sz gerilmeleri özellikle bindirme mesafesinin ortasında daha fazla olmak üzere artmıştır. Vinylester yapıştırıcıdaki Sxy gerilme değişimi Flexo Tix yapıştırıcıdan çok daha fazladır. $t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ$, 75° olduğunda da aynı durum görülmüştür.

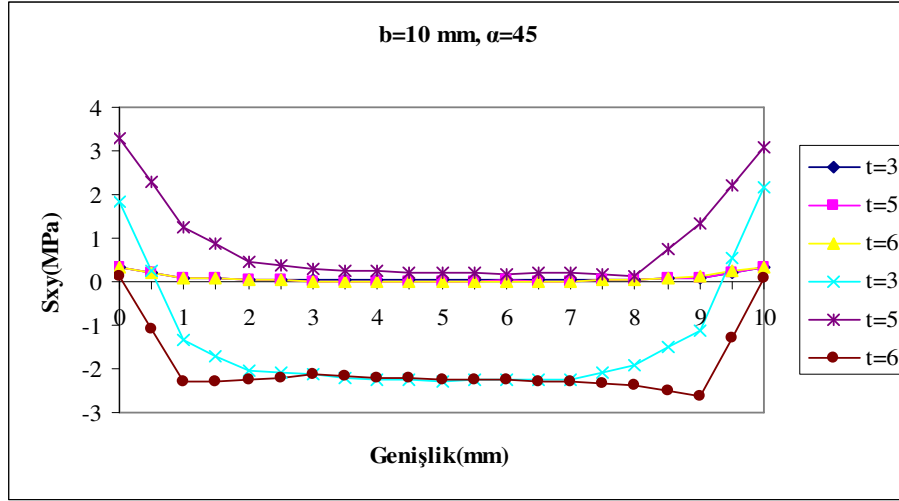
$t=5$ mm ve $\alpha=45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Sxy grafiği şekil 5.216.'ya benzediği için burada gösterilmemiştir. Her iki yapıştırıcıda da b arttıkça Sxy gerilmeleri özellikle bindirme mesafesinin ortasında daha fazla olmak üzere artmıştır. Vinylester yapıştırıcıdaki Sxy gerilme artması fazla olup grafiklerin pozitif bölgede olduğu görülmüştür.

- **Yapıştırıcılarda t'ye Göre Sxy Gerilmelerinin Karşılaştırılması**

Burada x eksen b(genişlik), y eksen ise Sxy gerilmesi olarak alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Sxy grafiği şekil 5.217.'de gösterilmiştir. Her iki yapıştırıcıda da t arttıkça Sxy gerilmeleri önce artmış daha sonra azalmıştır. Gerilme değişimi Vinylester'de daha belirgindir. $b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ, 75^\circ$ de de aynı durum olmuştur.



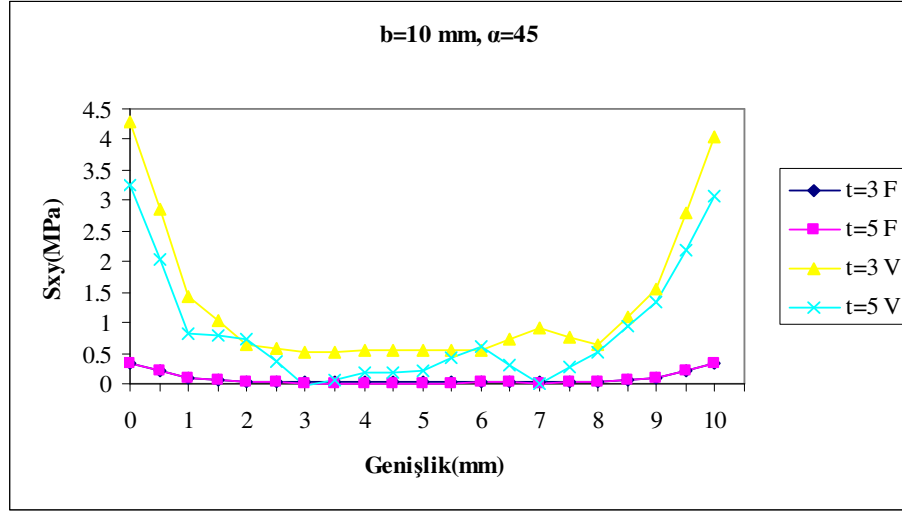
Şekil 5.217. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t etkisinin karşılaştırılması (Numune No=1,2,3)

$b=15, 20$ mm ve $\alpha=45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Sxy grafiği şekil 5.217.'ye benzer olduğu için gösterilmemiştir. Her iki yapıştırıcıda da t arttıkça Sxy gerilmeleri önce artmış daha sonra azalmıştır. Azalma Vinylester'de daha belirgin olmuştur.

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Sxy grafiği şekil 5.218.'de gösterilmiştir. Her iki yapıştırıcıda da kalınlık arttıkça Sxy gerilmeleri azalmıştır. Vinylester yapıştırıcıdaki Sxy gerilme azalması Flexo Tix yapıştırıcıdan daha fazla olmuştur. $b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ, 75^\circ$ olduğunda da aynı durum gerçekleşmiştir.

$b=15, 20$ mm ve $\alpha=45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Sxy grafiği şekil 5.218.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Her iki yapıştırıcıda da kalınlık arttıkça Sxy gerilmeleri azalmıştır. Özellikle genişliğin orta kısmında Vinylester yapıştırıcıdaki Sxy gerilme azalması Flexo Tix yapıştırıcıdan daha fazla olmuştur.

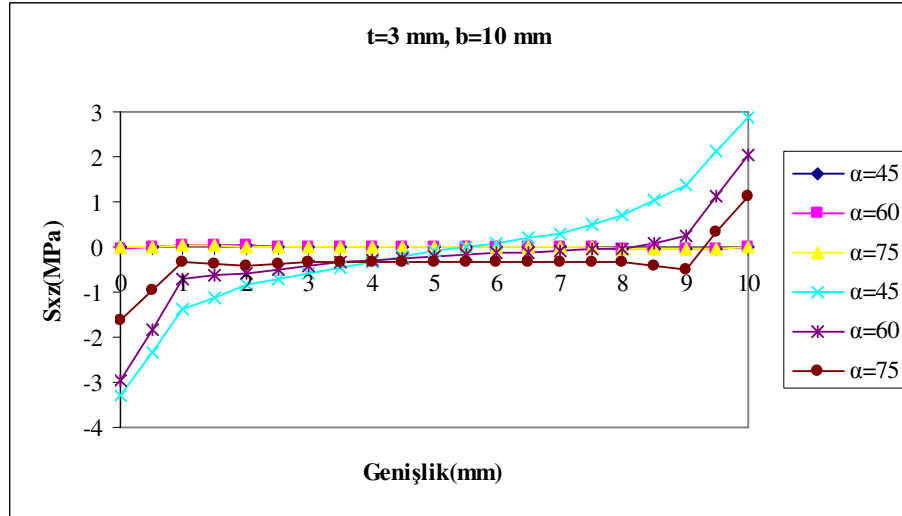


Şekil 5.218. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t etkisinin karşılaştırılması (Numune No=28,29)

- Yapıştırıcılarda α 'ya Göre S_{xz} Gerilmelerinin Karşılaştırılması

Burada x eksenini b (genişlik), y eksenini ise S_{xy} gerilmesi olarak alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)



Şekil 5.219. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması (Numune No=1,10,19)

$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda yapıştırıcıların S_{xz} grafiği Şekil 5.219.'da gösterilmiştir. α açısı arttıkça, Vinylester'de S_{xz} gerilmeleri genişliğin orta noktasına kadar artmış orta noktadan sonra ise azalmış olup orta noktaya göre sanki simetriktir. Flexo Tix'te ise simetriklik yoktur. Gerilme değişimi Vinylester'de daha belirgin olmuştur. $t=3$ mm ve $b=15, 20$ mm olduğunda da aynı durum görülmüştür.

$t=5, 6$ mm ve $b=10, 15, 20$ mm olduğunda yapıştırıcıların S_{xz} gerilmesinin değişimi

şekil 5.219.'e benzer olduğu için burada gösterilmemiştir. α açısı arttıkça, Vinylester'de Sxz gerilmeleri genişliğin orta noktasına kadar artmış orta noktadan sonra ise azalmış olup orta noktaya göre sanki simetrik. Flexo Tix'te ise simetriklik yoktur.

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

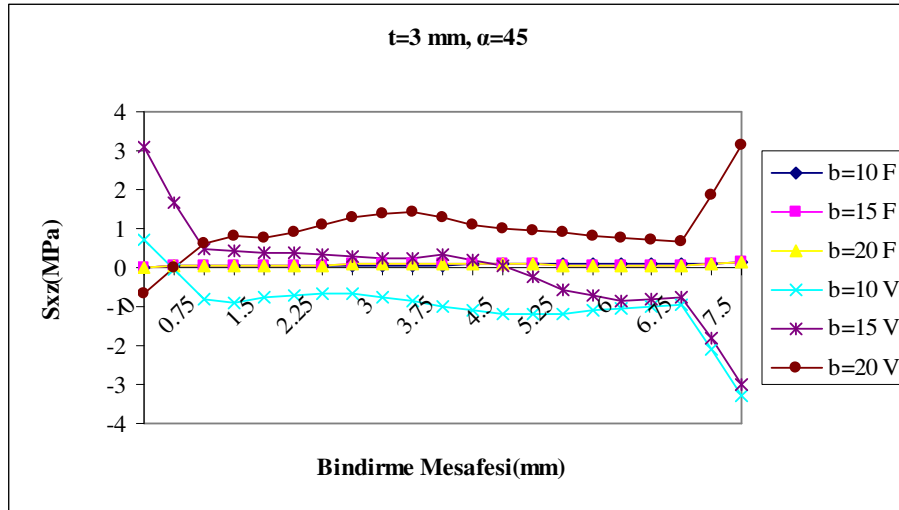
$t=3, 5$ mm ve $b=10, 15, 20$ mm olduğunda yapıştırıcıların Sxz gerilmesinin değişimi şekil 5.219.'e benzer olduğu için burada gösterilmemiştir. α açısı arttıkça, Vinylester'de Sxz gerilmeleri genişliğin orta noktasına kadar artmış orta noktadan sonra ise azalmış olup orta noktaya göre sanki simetrik. Flexo Tix'te simetriklik yoktur.

• Yapıştırıcılarda b'ye Göre Sxz Gerilmelerinin Karşılaştırılması

Burada x eksenini a(bindirme mesafesi), y eksenini ise Sxz gerilmesi olarak alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Sxz grafiği şekil 5.220.'de gösterilmiştir. Her iki yapıştırıcıda da b arttıkça Sxz gerilmeleri özellikle bindirme mesafesinin ortasında daha fazla olmak üzere artmıştır. Vinylester yapıştırıcısındaki Sxz gerilme değişimi Flexo Tix yapıştırıcıdan çok daha fazladır. $t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ, 75^\circ$ olduğunda da aynı durum görülmüştür.



Şekil 5.220. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ mm olduğunda b etkisinin karşılaştırılması (Numune No=1,4,7)

$t=5,6$ mm ve $\alpha=45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Sxz grafiği şekil 5.220.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Her iki yapıştırıcıda da b arttıkça grafiklerde zikzaklar bulunduğu için Sxz bazen artmış bazen azalmıştır. Vinylester yapıştırıcısındaki Sxz gerilme değişimi Flexo Tix yapıştırıcıdan daha belirgin olup negatif bölgede gerçekleşmiştir.

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$t=3, 5$ mm ve $\alpha=45^\circ, 60^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Sxz grafiği şekil 5.220.'ye benzer olduğu için burada gösterilmemiştir. Her iki yapıştırıcıda da b arttıkça Sxz gerilmeleri özellikle

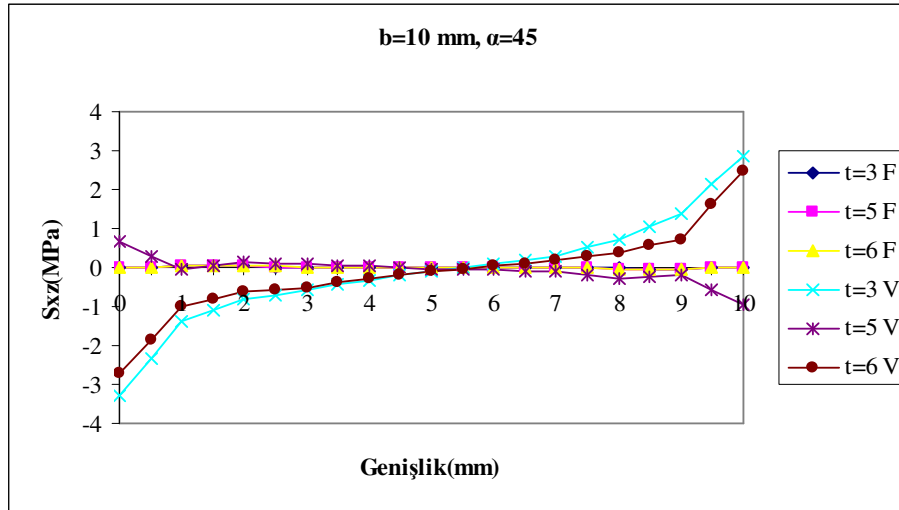
bindirme mesafesinin ortasında daha fazla olmak üzere azalmıştır. Vinylester yapıştırıcıdaki S_{xz} gerilme değişimi Flexo Tix yapıştırıcıdan çok daha fazladır. $t=3,5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda S_{xz} gerilme grafiklerinde zikzaklar olduğu için genişlik arttıkça bazen S_{xz} gerilmeleri de artmıştır.

- **Yapıştırıcılarda t'ye Göre S_{xz} Gerilmelerinin Karşılaştırılması**

Burada x eksenini b (genişlik), y eksenini ise S_{xz} gerilmesi olarak alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların S_{xz} grafiği şekil 5.221.'de gösterilmiştir. Vinylester yapıştırıcıda t arttıkça S_{xz} gerilmeleri genişliğin orta noktasına kadar önce artmış daha sonra azalmıştır. Orta noktadan sonra tam tersi bir durum görülmüştür. Felxo Tix yapıştırıcıda ise kalınlık arttıkça S_{xz} gerilmeleri azalmıştır. $b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ, 75^\circ$ de de aynı durum gerçekleşmiştir.



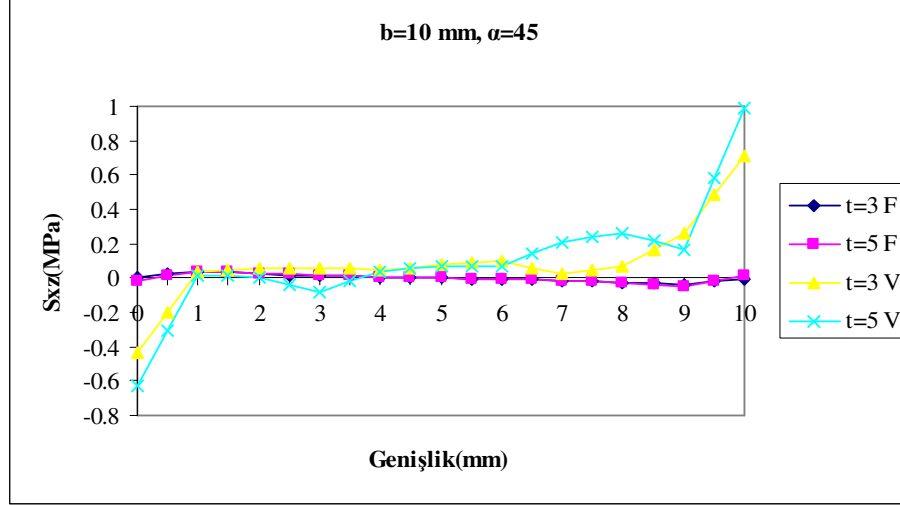
Şekil 5.221. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ mm olduğunda t etkisinin karşılaştırılması (Numune No=1,2,3)

$b=15,20$ mm ve $\alpha=45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ durumlarında yapıştırıcıların S_{xz} grafiği şekil 5.221.'de gösterilmiştir. Vinylester yapıştırıcıda t arttıkça S_{xz} gerilmeleri genişliğin orta noktasına kadar önce artmış daha sonra azalmıştır. Orta noktadan sonra tam tersi bir durum görülmüştür. Felxo Tix yapıştırıcıda ise kalınlık arttıkça S_{xz} gerilmeleri azalmıştır.

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların S_{xz} grafiği şekil 5.222.'de gösterilmiştir. Vinylester yapıştırıcıda t arttıkça S_{xz} gerilmeleri genelde artmıştır. Felxo Tix yapıştırıcıda ise kalınlık arttıkça S_{xz} gerilmeleri genelde azalmıştır. $b=10$ mm ve $\alpha=60^\circ, 75^\circ$ de de aynı durum gerçekleşmiştir.

$b=15,20$ mm ve $\alpha=45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ durumlarında yapıştırıcıların S_{xz} grafiği şekil 5.222.'deki gibidir. Vinylester'de t arttıkça S_{xz} gerilmeleri artmıştır. Vinylester grafikleri orta noktaya göre simetriktir. Felxo Tix'te ise kalınlık arttıkça S_{xz} gerilmeleri azalmıştır.



Şekil 5.222. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ mm olduğunda t etkisinin karşılaştırılması (Numune No=28,29)

- **Yapıştırıcılarda α 'ya Göre Seqv Gerilmelerinin Karşılaştırılması**

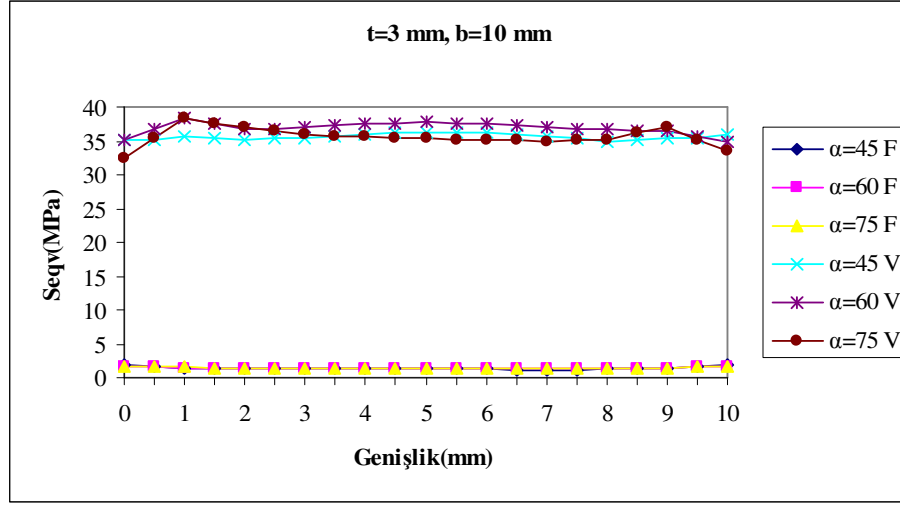
Burada x ekseni b (genişlik), y ekseni ise Seqv gerilmesi olarak alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda yapıştırıcıların Seqv grafiği şekil 5.223.'te gösterilmiştir. α açısı arttıkça, Vinylester'de Seqv gerilmeleri genişliğin kenarları dışında artmıştır. Kenarlarda azalmıştır. Gerilme değişimi Vinylester'de daha belirgin olmuştur. $t=3$ mm ve $b=15, 20$ mm olduğunda da aynı durum görülmüştür.

$t=5$ mm ve $b=10, 15, 20$ mm olduğunda yapıştırıcıların Seqv grafikleri şekil 5.223.'teki gibi bulunmuştur. α açısı arttıkça, Vinylester'de Seqv gerilmeleri artmıştır. Sadece açı 75° olduğunda Vinylester Seqv gerilmesi azalmıştır. Flexo Tix'te açı arttıkça Seqv sürekli artmıştır.

$t=6$ mm ve $b=10, 15, 20$ mm olduğunda yapıştırıcıların Seqv grafikleri şekil 5.223.'e benzer olmuştur. α açısı arttıkça, Vinylester'de Seqv gerilmeleri azalmıştır. Ancak Flexo Tix'te açı arttıkça Seqv gerilmeleri sürekli artmıştır.

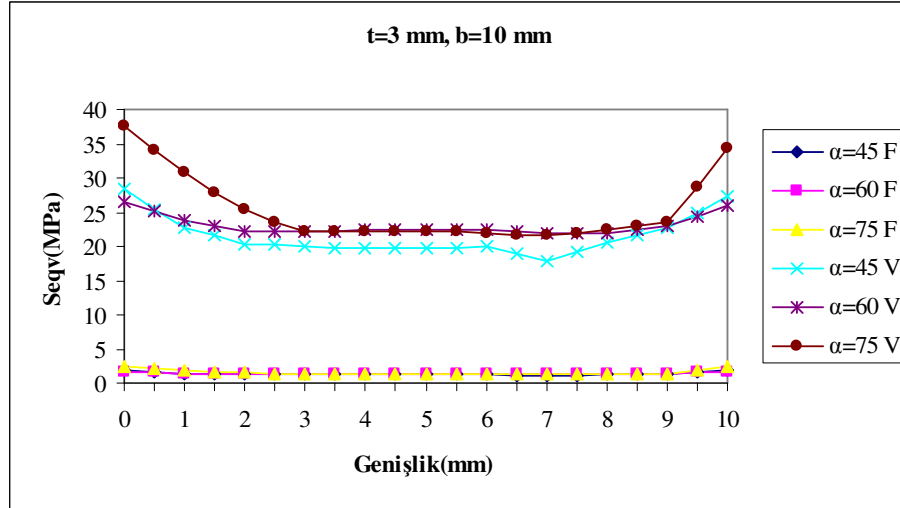


Şekil 5.223. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması (Numune No=1,10,19)

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda yapıştırıcıların Seqv grafiği şekil 5.224.'te gösterilmiştir. Her iki yapıştırıcıda da α açısı arttıkça Seqv gerilmeleri artmıştır. $t=3$ mm ve $b=15, 20$ mm olduğunda da aynı durum görülmüştür.

$t=5$ mm ve $b=10, 15, 20$ mm olduğunda yapıştırıcıların Seqv grafikleri şekil 5.224.'e benzer olduğu burada gösterilmemiştir. α açısı arttıkça Seqv gerilmeleri Vinylester'de azalmış Felxo Tix'te ise artmıştır. Vnylester'de $b=20$ mm olduğunda iki noktada artış görülmüştür.



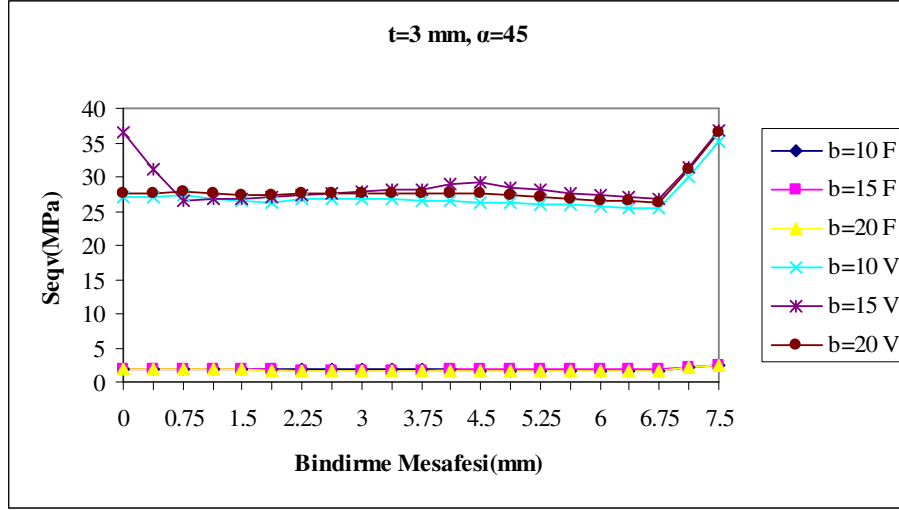
Şekil 5.224. $t=3$ mm ve $b=10$ mm olduğunda α etkisinin karşılaştırılması (Numune No=28,34,40)

• Yapıştırıcılarda b'ye Göre Seqv Gerilmelerinin Karşılaştırılması

Burada x eksenini a (bindirme mesafesi), y eksenini ise S_{xz} gerilmesi olarak alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Seqv grafiği şekil 5.225.'te gösterilmiştir. Her iki yapıştırıcıda da b arttıkça Seqv gerilmeleri genelde artmıştır. Vinylester yapıştırıcıdaki Seqv gerilme değişimi Flexo Tix yapıştırıcıdan çok daha fazladır. $t=3$ mm ve $\alpha=60^\circ, 75^\circ$ olduğunda da aynı durum görülmüştür. Gerilmeler pozitif bölgededir.



Şekil 5.225. $t=3$ mm ve $\alpha=45^\circ$ mm olduğunda b etkisinin karşılaştırılması (Numune No=1,4,7)

$t=5,6$ mm ve $\alpha=45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Seqv grafiği şekil 5.225.'e benzediği için burada gösterilmemiştir. Her iki yapıştırıcıda da b arttıkça Seqv gerilmeleri bindirme mesafesinin ortasında daha fazla olmak üzere artmıştır. Vinylester yapıştırıcıdaki Seqv gerilme değişimi Flexo Tix yapıştırıcıdan daha belirgin olup pozitif bölgede gerçekleşmiştir.

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

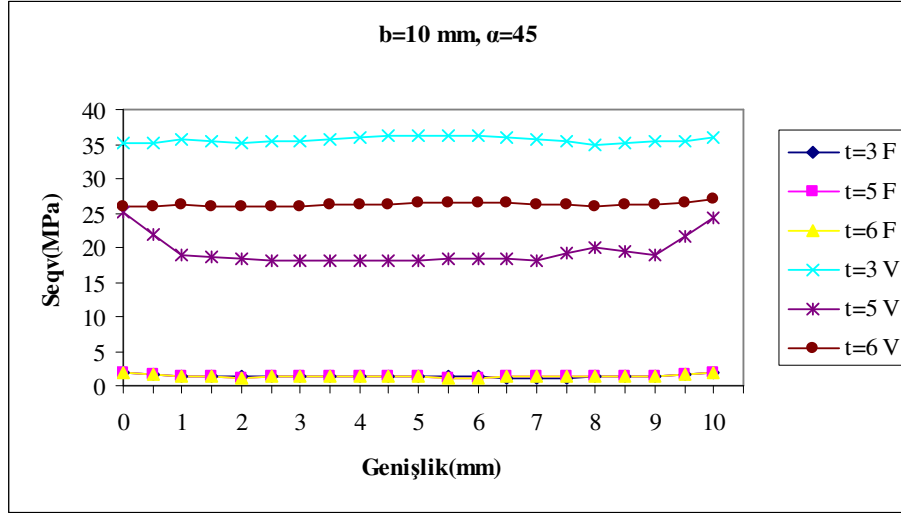
$t=3,5$ mm ve $\alpha=45^\circ, 60^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Seqv grafikleri şekil 5.225.'e benzer olduğu için burada gösterilmemiştir. Her iki yapıştırıcıda da b arttıkça Seqv gerilmeleri 60° 'de artmış ancak 75° 'de azalmıştır. Vinylester yapıştırıcıdaki Seqv gerilme değişimi Flexo Tix yapıştırıcıdan çok daha fazladır. $t=3,5$ mm ve $\alpha=75^\circ$ olduğunda Vinylester grafiklerinde zikzaklar olduğu için gerilmeler bazen artmış bazen de azalmıştır. Gerilmeler pozitif bölgededir.

• Yapıştırıcılarda t 'ye Göre Seqv Gerilmelerinin Karşılaştırılması

Burada x eksenini b (genişlik), y eksenini ise Seqv gerilmesi olarak alınmıştır.

A- Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 (Yerli)

$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda yapıştırıcıların Seqv grafiği şekil 5.226.'da gösterilmiştir. Vinylester yapıştırıcıda t arttıkça Seqv gerilmeleri önce azalmış daha sonra artmıştır. Flexo Tix yapıştırıcıda ise Seqv önce artmış sonra azalmıştır. $\alpha=60^\circ, 75^\circ$ 'de aynı durum gerçekleşmiştir.

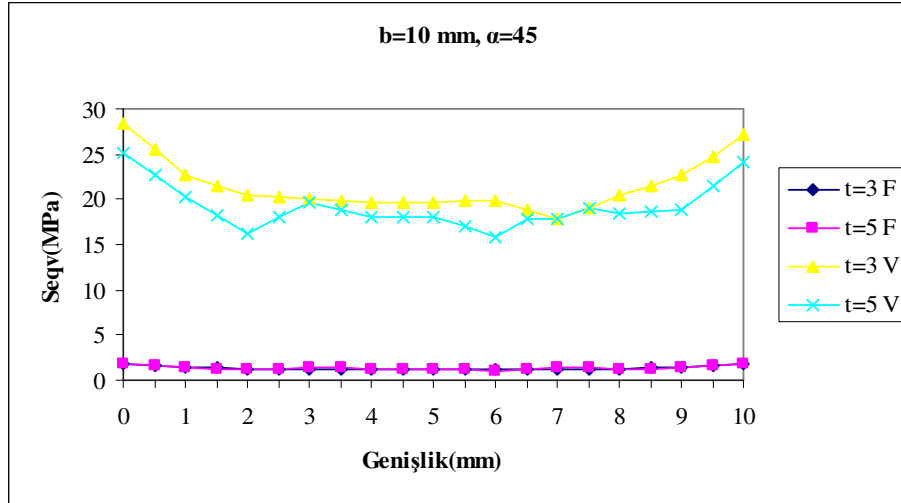


Şekil 5.226. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ mm olduğunda t etkisinin karşılaştırılması (Numune No=1,2,3)

$b=15, 20$ mm ve $\alpha=45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ olduğunda Seqv grafikleri şekil 5.226.'ya benzediği için burada gösterilmemiştir. Vinylester yapıştırıcıda t arttıkça Seqv gerilmeleri azalmıştır. Felxo Tix yapıştırıcıda ise t arttıkça Seqv artmıştır.

B- Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203 (İthal)

$b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda Seqv grafiği şekil 5.227.'de gösterilmiştir. Her iki yapıştırıcıda da kalınlık arttıkça Seqv gerilmeleri azalmıştır. $b=10$ ve $\alpha=60^\circ, 75^\circ$ olduğunda da aynı durum görülmüştür.



Şekil 5.227. $b=10$ mm ve $\alpha=45^\circ$ mm olduğunda t etkisinin karşılaştırılması (Numune No=28,29)

$b=15, 20$ mm ve $\alpha=45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ durumlarının Seqv grafikleri şekil 5.227.'ye benzer olduğu burada gösterilmemiştir. Vinylester yapıştırıcıda t arttıkça Seqv gerilmeleri azalmıştır. Felxo Tix yapıştırıcıda ise t arttıkça Seqv gerilmeleri artmıştır.

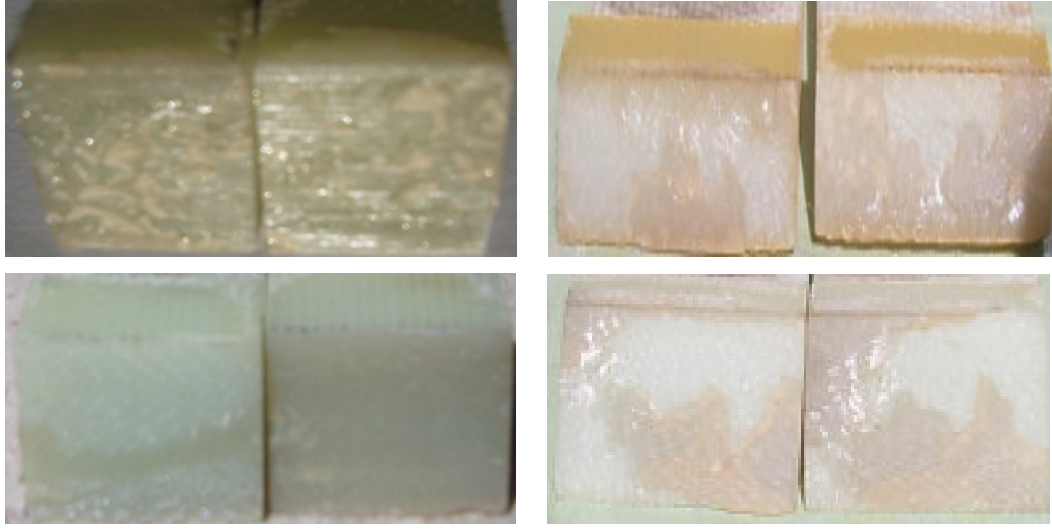
5.5. GENEL SONUÇLAR

Burada deneylerden ve Sonlu Eleman Analizinden(SEM) elde edilen genel sonuçlar belirtilmiştir.

- Bulk numunelerin maksimum gerilme değerleri, Sonlu Eleman Analizi(SEM)'deki maksimum von Misses gerilmelerine yakın çıkmıştır(tablo 5.1). Dolayısıyla deneylerden sağlıklı sonuçlar elde edilmiştir.
- SEM ile elde edilen gerilmelerin çekme alanı ile çarpılması sonucu analiz kopma yükü bulunmuştur. Bu kuvvetler, deneysel kopma yükleri ile karşılaştırıldığında birbirlerine yakın oldukları görülmüştür(tablo 5.2 ve 5.3.). Bazı yükler arasında farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar, deney aparatlarından, numune geometrisinden ve yapıştırıcıların insan eliyle yapılmasından dolayıdır.
- Gerilmelerin ve kuvvetlerin oranlarının bire yakın olmasından analizimizin gerçekçi ve doğruya yakın olduğu anlaşılmıştır.
- Flexo Tix ve Vinylester Atlac 580 yapıştırıcıları birleştirilen cam elyaf takviyeli epoxy kompozit malzemeler çekme deneyleri sonucunda herhangi bir hasar görmemişlerdir. Çünkü malzemelerin çekme mukavemetleri, yapıştırıcıların çekme mukavemetlerinden daha büyüktür(tablo 4.1 ve tablo 4.4). Kopmalar yapıştırıcı bölgesinde olmuştur.
- Kopma bölgesinde hem adheziv hasar(yapıştırıcının malzeme yüzeyinden kalkması) hem de koheziv hasar(yapıştırıcının ortadan veya belirli bir kısımdan bölünmesi) görülmüştür. Yapıştırıcı bölgesinde meydana gelen koheziv hasarlar şekil 5.228.'de, adheziv hasarlar ise şekil 5.229.'da gösterilmiştir. Burada kopan numunelerin yapışma yüzeyleri yan yana getirilmiştir.

Genellikle Flexo Tix yapıştırıcıda koheziv hasarlar, Vinylester Atlac 580 yapıştırıcısında ise adheziv hasarlar görülmüştür. Ancak koheziv hasarlar daha fazla olmuştur.

- Her iki yapıştırıcıda da bindirme mesafesinin(a) kenarlarında normal gerilmeler(S_x , S_y , S_z) en yüksek değerdedir. Ayrıca burada Renton ve Vinton[73]'un çalışmalarında görülen eğilme problemi burada görülmemiştir. Çünkü numuneler simetrik olup serbest uçlara destekler konularak eğilme engellenmiştir(şekil 4.4).
- Yapıştırılan malzeme yapıştırıcı ara yüzeyinin(genişlik ve bindirme mesafesi) iki uç noktasında kayma gerilmeleri(S_{xy} ve S_{xz}) Ojalvo ve Eidinoff[65]'a benzer şekilde en yüksek değerlere ulaşmıştır. Ojalvo ve Eidinoff[65]'dan farklı olarak çalışmamızda numunelerin bazı geometrik ölçüleri de dikkate alınmıştır(genişlik, açı ve bindirme mesafesi).
- S_x , S_y , S_z ve S_{eqv} gerilmeleri bindirme mesafesinin(a) ortasında maksimum değerlere ulaşmıştır. Bu durum Vinylester Atlac 580 yapıştırıcısında daha belirgin olarak gözlenmiştir.

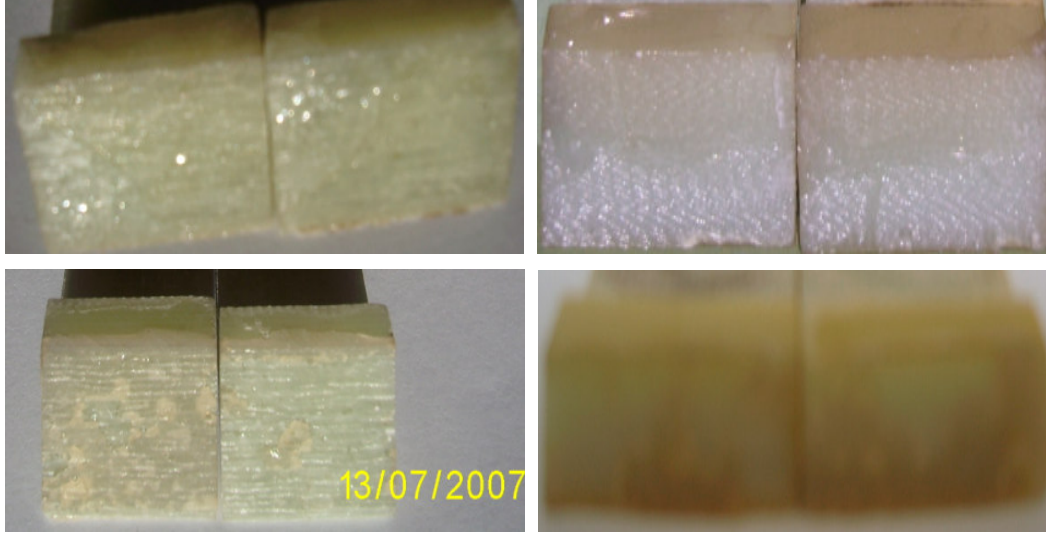


a) Hgw 2372 Grade G10EPGC 201(İzoreel)

b) Hgw 2372.4 Grade G11EPGC 203(ithal)

Şekil 5.228. Koheziv hasar bölgeleri; a) İzoreel üretimi kompozit malzeme b) İthal kompozit malzeme

- Numunelerde meydana gelen gerilmeler(Seqv: Von Misses gerilmesi) yapıştırıcı ara yüzeyinde meydana gelen gerilmelerden daha büyük olduğu için kopmalar yapıştırıcı bölgelerinde olmuştur(tablo 5.1 be 5.2). Aksi olması durumunda kopma numunelerde gerçekleşecekti.
- Çalışmamızda Delale ve arkadaşları[26]'nın çalışmasına benzer olarak yapıştırıcı kalınlığı sabit alınmıştır(0.25 mm). Çünkü Dean Duncan[25], yapıştırıcı kalınlığının yapıştırıcının mekanik özelliklerini etkilemediğini bulmuşlardı. Delale ve arkadaşları[26], düzlemsel(iki boyutlu) gerilme analizi yapmalarına rağmen çalışmamızda üç boyutlu gerilme analizi yapılmıştır.
- Numunelerin kalınlığı, yapıştırma bölgesinde ve serbest uçlarda meydana gelen gerilmeleri etkilemiştir. Etkileme durumları aşağıda özel sonuçlarda belirtilmiştir. Sawa ve arkadaşları[75]'da numune kalınlığının serbest uçlardaki gerilme dağılımını etkilediğini belirtmişlerdir.
- Yapıştırma bölgesinin geometrisi, özellikle gerilmelerin pik(maksimum) değerlerinde artma ve azalma etkisi yapmıştır. Apalak[8,10], çalışmalarında genelde iki boyutlu çalışarak bu etkileri göstermiştir. Ancak bizim çalışmamızda yapıştırma bölgesinin geometrisinin ve numunenin açılarının etkileri üç boyutlu olarak incelenmiştir.
- Vinylester Atlac 580 yapıştırıcısının bütün gerilme değerleri Flexo Tix yapıştırıcının gerilme değerlerinden daha büyük ve grafiklerinde daha belirgin olduğu gözlenmiştir. Çünkü bulk numunelerden elde edilen mekanik değerler birbirinden farklıdır(tablo 4.4'te gösterildiği gibi Vinylester'in elastisite modülü 442.46 MPa iken Flexo Tix'in ise 11.4892 MPa'dır.).



a) Hgw 2372 Grade G10EPGC 201(İzoreel)

b) Hgw 2372.4 Grade G11EPGC 203(ithal)

Şekil 5.229. Adheziv hasar bölgeleri; a) İzoreel üretimi kompozit malzeme b) İthal kompozit malzeme

5.7. ÖZEL SONUÇLAR

Bu kısımda α (numune açısı), b(genişlik) ve t(numune kalınlığı)'nın artırılması sonucu S_x , S_y , S_z , S_{xy} , S_{xz} ve $Seqv$ (Von Misses) gerilmelerine olan etkileri anlatılmıştır.

• S_x Gerilmeleri

1-) α (açı): Her iki yapıştırıcıda(Vinylester Atlac 580 ve Flexo Tix) da α açısı artınca S_x gerilmeleri de artmıştır. Bu durum her iki kompozit malzemedeki(İzoreel üretimi ve yerli olarak anılacak olan Hgw 2372 Grade G10 EP GC 201 ve ithal edilen Hgw 2372.4 Grade G11 EP GC 203) de görülmüştür. Ayrıca gerilme artış miktarları birbirlerine çok yakın olmuştur.

2-) b(genişlik): Her iki yapıştırıcıda da t ve α sabit iken genişlik arttırıldığında hem yerli hem de ithal kompozitte S_x gerilmeleri artmıştır. Tüm durumlarda gerilme değerleri birbirine yakın olup artış miktarları az olmuştur.

3-) t(kalınlık): Flexo Tix yapıştırıcılarda diğer parametreler sabit tutularak kalınlık arttırıldığında S_x gerilmelerinin her iki kompozit malzemedeki de arttığı görülmüştür. Ayrıca burada gerilme dağılım grafikleri düzgün ve birbirlerine yakındır. Ancak Vinylester Atlac 580 yapıştırıcısında S_x gerilmeleri azalmıştır. Sadece bazen genişliğin kenarlarında artmıştır.

• S_y Gerilmeleri

1-) α (açı): Her iki yapıştırıcıda iki kompozit malzemenin α açısı arttırıldığında S_y gerilmeleri de artmıştır. Genellikle artışlar genişliğin kenarlarında daha fazla olmuştur.

2-) b(genişlik): Her iki yapıştırıcıda iki kompozit malzemenin genişliği arttırıldığında S_y gerilmeleri de artmıştır. Artışlar genelde düzgün bir şekilde olmuştur. Ancak bazen bindirme mesafesinin(a) ortasından sonra küçük azalmalar olmuştur.

3-) t(kalınlık): Yerli kompozit numunelerin Vinylester Atlac 580 yapıştırıcı ile birleştirilmiş durumlarında t arttıkça Sy gerilmeleri azalmıştır. Azalmalar düzgün olup bazen kenarlarda çok küçük artışlar olmuştur. İthal kompozit numunelerin tüm genişlik durumlarında $\alpha=45^\circ$ olduğunda t arttıkça Sy gerilmeleri de artmıştır. Ancak $\alpha=60^\circ$ ve 75° olduğunda t arttıkça Sy gerilmeleri de azalmıştır.

Flexo Tix ile birleştirilmiş yerli kompozit numunelerde t artarken Sy gerilmeleri de artmıştır. Ancak ithal kompozit numunelerde Sy gerilmeleri çok az artış göstermesine rağmen genelde azalmıştır. Azalama genişliğin kenarlarında biraz daha fazla olmuştur.

- **Sz Gerilmeleri**

1-) α (açı): Vinylester Atlac 580 yapıştırıcısı ile birleştirilmiş yerli kompozit numunelerde α açısı 45° 'den 60° 'ye artarken Sz gerilmeleri artmıştır. Ancak 60° 'den 75° 'ye artarken Sz gerilmeleri azalmıştır. Flexo Tix yapıştırıcı ile birleştirilmiş yerli kompozit numunelerde ise açı arttırıldığında Sz gerilmeleri de artmıştır.

İthal kompozit numunelerin iki yapıştırıcı durumunda da açı arttırıldığında Sz gerilmeleri artmıştır. Artışlar genişliğin kenarlarında daha fazla olmuştur.

2-) b(genişlik): Her iki kompozit ve yapıştırıcı türünde $b=10$ mm'den 15 mm'ye artarken Sz gerilmeleri azalmış ancak $b=15$ mm'den 20 mm'ye artarken ise Sz gerilmeleri artmıştır. Gerilme artma ve azalma aralıkları küçüktür. Grafiklerde bindirme mesafesinin(a) ortasında ve kenarlarında Sz gerilmelerinde farklılıklar görülmüştür.

3-) t(kalınlık): Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş yerli kompozit numunelerde $b=10, 15, 20$ mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda kalınlık arttıkça Sz gerilmeleri de artmıştır. Ancak $\alpha=60^\circ$ ve 75° olduğunda kalınlık arttıkça Sy gerilmeleri de azalmıştır.

Vinylester ile birleştirilmiş ithal kompozit numunelerde kalınlık arttırıldığında Sz gerilmeleri azalmış Flexo Tix yapıştırıcıda ise Sz gerilmeleri artmıştır.

- **Sxy Gerilmeleri**

1-) α (açı): Vinylester Atlac 580 ile yapıştırılmış yerli kompozit numunelerde $\alpha=45^\circ$ ve 60° 'ye artarken Sxy gerilmeleri azalmıştır. Ancak $\alpha=60^\circ$ 'den 75° 'ye artarken ise Sxy gerilmeleri artmıştır. Flexo Tix yapıştırıcıda ise α açısı arttırıldığında Sxy gerilmeleri azalmıştır.

Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş ithal kompozit numunelerde α açısı arttırıldığında Sxy gerilmeleri azalmıştır. Gerilmeler genişliğin kenarları dışında genelde negatif bölgededir.

2-) b(genişlik): Vinylester Atlac 580 ile birleştirilmiş yerli kompozit numunelerde $b=10$ mm'den 15 mm'ye artarken Sxy gerilmeleri artmıştır. Ancak $b=15$ mm'den 20 mm'ye artarken ise Sxy gerilmeleri azalmıştır. İthal kompozit numunelerde ise b genişliği artarken Sxy gerilmeleri de artmıştır.

Flexo Tix ile birleştirilmiş yerli ve ithal kompozit numunelerde b genişliği

arttırıldığında Sxy gerilmeleri de artmıştır.

Her iki durumda artma ve azalma tüm numuneler için çok küçüktür(yaklaşık 0.01 MPa).

3-) t(kalınlık): Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş numunelerin tümünde b=10, 15, 20 mm ve $\alpha=45^\circ$ olduğunda t kalınlığı arttırıldığında Sxy gerilmeleri azalmıştır. Ancak b=10, 15, 20 mm'de $\alpha=60^\circ$ ve 75° olduğunda t kalınlığı arttıkça Sxy gerilmeleri de artmıştır. Burada her iki yapıştırıcı ve her iki kompozitte de genişliğin kenarlarında tersi durumlar görülmüştür. Artma ve azalmalar çok küçük olmuştur.

- **Sxz Gerilmeleri**

1-) α (açı): Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş kompozit numunelerin tümünde α açısı artarken genişliğin orta noktasına kadar Sxz gerilmeleri de artmış ancak orta noktadan sonra azalmıştır. Artma ve azalmalar küçüktür. Bütün grafikler orta noktaya göre yaklaşık simetrik.

2-) b(genişlik): Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş tüm kompozit numunelerde genelde b=10 mm'den 15 mm'ye artarken Sxz gerilmeleri azalmıştır. Ancak b=15 mm'den 20 mm'ye artarken ise Sxz gerilmeleri artmıştır. Gerilme grafikleri genelde zikzaklı olup daha çok azalma görülmüştür. Tüm durumlarda bindirme mesafesinin ortasına kadar Sxz azalmış sonra artmıştır.

3-) t(kalınlık): Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş yerli kompozit numunelerde t kalınlığı arttıkça genişliğin ortasına kadar Sxz gerilmeleri azalmıştır. Ancak orta noktadan sonra genelde Sxz gerilmeleri artmıştır.

Vinylester Atlac 580 ile birleştirilmiş ithal kompozitlerde b=10 mm olduğunda simetriklik görülmemiştir. Bazı noktalar dışında burada kalınlık artarken Sxz gerilmeleri azalmıştır. b=15 ve 20 mm'lik genişliklerde simetriklik görülmüştür. Burada Genişliğin ortasına kadar kalınlık arttıkça Sxz gerilmeleri artmış ancak kenarlarda azalma olmuştur.

- **Seqv(Von Misses) Gerilmeleri**

1-) α (açı): Vinylester ile birleştirilmiş yerli kompozit numunelerde $\alpha=45^\circ$ 'den 60° 'ye artarken Seqv gerilmeleri artmış ancak 60° 'den 75° 'ye artarken azalmıştır.

Flexo Tix ile yapıştırılmış yerli kompozit numunelerde ise genişliğin kenarları dışında α artarken Seqv gerilmeleri de artmıştır. Ancak kenarlarda azalma olmuştur. Bu durum her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş ithal kompozit numunelerde de görülmüştür.

Seqv gerilme grafikleri bütün durumlarda düzgün olup zikzaklar görülmemiştir.

2-) b(genişlik): Vinylester ile birleştirilmiş yerli kompozit numunelerin t=6 mm kalınlıkta olanlarda genişlik arttıkça Seqv gerilmeleri artmıştır. Ancak t=3 ve 5 mm olan numunelerde b=10 mm'de 15 mm'ye artarken Seqv gerilmeleri artmıştır. Ancak genişlik 20 mm'ye artarken Seqv azalmıştır. Flexo Tix ile birleştirilen yerli kompozit numunelerinin t=3 mm kalınlığında olanlarda genişlik artarken Seqv azalmasına rağmen t=5 ve 6 mm kalınlıkta ise Seqv azalmıştır.

Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş ithal kompozitlerde b=10 mm'den 15 mm'ye

artarken Seqv azalmış ancak genişlik 15 mm'den 20 mm'ye artarken artmıştır.

3-) t(kalınlık): Vinylester ile yapıştırılmış yerli ve ithal kompozit numunelerde kalınlık arttıkça Seqv gerilmeleri azalmıştır. Burada grafikler çok düzgün olup sabit doğrulara yakındır.

Flexo Tix ile yapıştırılmış yerli ve ithal kompozit numunelerde kalınlık arttıkça Seqv gerilmeleri genelde artmıştır. Ancak her grafikte bir veya iki noktada azalm görülmüştür. Birkaç grafikte küçük zikzaklar görülmesine rağmen çoğunluğunun düzgün olduğu görülmüştür.

5.7.1 Yapıştırıcıların Gerilmelere Göre Karşılaştırılmasından Elde Edilen Sonuçlar

- **Sx Gerilmeleri**

Vinylester ve Flexo Tix ile birleştirilen yerli ve ithal kompozitlerde α açısı arttıkça genelde Sx gerilmeleri de artmıştır. Artış Vinylester'de daha fazla ve daha belirgin olmuştur. Çünkü Vinylester'in elastisite modülü 442.46 MPa iken Flexo Tix yapıştırıcının elastisite modülü 11.4892 MPa'dır.

Vinylester ve Flexo Tix ile birleştirilen yerli ve ithal kompozitlerde numunelerin b genişliği arttıkça Sx gerilmeleri de artmıştır. Her yapıştırıcının artışı birbirine yakın olmuştur. Artış Vinylester'de daha fazla ve daha belirgin olmuştur. Bu Vinylester'in mekanik değerlerinin farklı olmasından kaynaklanmıştır.

Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş yerli kompozitlerde numune kalınlığı(t) arttıkça Sx gerilmeleri önce artmış daha sonra da azalmıştır. t, 3 mm'den 5 mm'ye artarken Sx gerilmeleri artmış ancak t, 6 mm'ye artarken Sx gerilmeleri azalmıştır. Ancak burada $\alpha=75^\circ$ olduğunda t arttıkça Sx gerilmeleri de artmıştır. İthal kompozitlerde ise kalınlık arttıkça Sx gerilmeleri azalmıştır. İthal kompozitlerde sadece 3 ve 5 mm kalınlığındaki numuneler kullanılmıştır.

- **Sy Gerilmeleri**

Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş hem yerli hem de ithal kompozitlerde α açısı arttıkça Sy gerilmeleri de artmıştır.

Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş hem yerli hem de ithal kompozitlerde b genişliği arttıkça Sy gerilmeleri bindirme mesafesinin orta kısmında daha fazla olmak üzere artmıştır.

Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş yerli kompozitlerde numune kalınlığı(t) arttıkça Sy gerilmeleri önce artmış daha sonra da azalmıştır. t, 3 mm'den 5 mm'ye artarken Sy gerilmeleri artmış ancak t, 6 mm'ye artarken Sy gerilmeleri azalmıştır. İthal kompozitlerde ise kalınlık arttıkça Sy gerilmeleri de artmıştır. Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş ithal kompozitlerde sadece 3 ve 5 mm kalınlığındaki numuneler kullanılmıştır.

- **Sz Gerilmeleri**

Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş hem yerli hem de ithal kompozitlerde α açısı arttıkça Sz gerilmeleri de artmıştır.

Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş hem yerli hem de ithal kompozitlerde b genişliği arttıkça Sz gerilmeleri bindirme mesafesinin orta kısmında daha fazla olmak üzere azalmıştır.

Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş yerli kompozitlerde numune kalınlığı(t) arttıkça Sz gerilmeleri önce azalmış daha sonra da artmıştır. t, 3 mm'den 5 mm'ye artarken Sz gerilmeleri azalmış ancak t, 6 mm'ye artarken Sz gerilmeleri artmıştır. Sadece $\alpha=75^\circ$ olduğunda grafiklerde zikzaklar olduğu için bazen artmış bazende azalmıştır. Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş ithal kompozitlerde ise kalınlık arttıkça Sz gerilmeleri azalmıştır.

- **Sxy Gerilmeleri**

Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş hem yerli hem de ithal kompozitlerde aç 45°'den 60°'ye artınca Sxy gerilmeleri artmış, aç 60°'den 75°'ye artınca ise Sxy azalmıştır. Sxy grafikleri negatif bölgededir.

Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş yerli ve ithal kompozitlerde b genişliği arttıkça Sxy gerilmeleri bindirme mesafesinin orta kısmında daha fazla olmak üzere artmıştır.

Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş yerli kompozitlerde numune kalınlığı(t) arttıkça Sxy gerilmeleri önce artmış daha sonra da azalmıştır. t, 3 mm'den 5 mm'ye artarken Sxy gerilmeleri artmış ancak t, 6 mm'ye artarken Sxy gerilmeleri azalmıştır. Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş ithal kompozitlerde ise kalınlık arttıkça Sxy gerilmeleri genişliğin orta kısmında daha fazla olmak üzere azalmıştır.

- **Sxz Gerilmeleri**

Vinylester ile birleştirilmiş yerli ve ithal kompozitlerde α açısı arttıkça genişliğin orta noktasına kadar Sxz gerilmeleri artmış, orta noktadan sonra ise azalmıştır. Ayrıca Vinylester grafikleri orta noktaya göre simetriktr. Flexo Tix yapıştırıcı ile birleştirilmiş yerli ve ithal kompozitlerde ise aç arttıkça Sxz gerilmeleri artmış olup grafiklerde simetriklik görülmemiştir.

Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş yerli kompozitlerde b genişliği arttıkça Sxz gerilmeleri de bindirme mesafesinin orta kısmında daha fazla olmak üzere artmıştır. Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş ithal kompozitlerde ise b genişliği arttıkça Sxz gerilmeleri bindirme mesafesinin orta kısmında daha fazla olmak üzere azalmıştır. Ayrıca Sxz grafiklerinde zikzaklar olduğu için bazen bu durumların tersi gerçekleşmiştir.

Vinylester ile birleştirilmiş yerli ve ithal kompozitlerde numune kalınlığı(t) arttıkça Sxz gerilmeleri genişliğin orta noktasına kadar artmış, orta noktadan sonra azalmıştır. Flexo Tix birleştirilmiş yerli ve ithal kompozitlerde ise kalınlık arttıkça Sxz gerilmeleri genelde azalmıştır

- **Seqv Gerilmeleri**

Vinylester ile birleştirilmiş yerli ve ithal kompozitlerde α açısı arttıkça genişliğin kenarları dışında Seqv gerilmeleri artmıştır. Kenarlarda ise azalmıştır. Flexo Tix yapıştırıcı ile birleştirilmiş yerli ve ithal kompozitlerde ise aç arttıkça Seqv gerilmeleri de artmıştır.

Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş yerli ve ithal kompozitlerde b genişliği arttıkça Seqv gerilmeleri de bindirme mesafesinin orta kısmında daha fazla olmak üzere artmıştır.

Vinylester ile birleştirilmiş yerli kompozitlerde $t=3$ mm'den 5 mm'ye artarken Seqv gerilmeleri azalmış, $t=5$ mm'den 6 mm'ye artarken ise Seqv gerilmeleri artmıştır. Flexo Tix'te önce artmış daha sonra azalmıştır. Her iki yapıştırıcı ile birleştirilmiş ithal kompozitlerde ise t kalınlığı arttıkça Seqv gerilmeleri azalmıştır.

KAYNAKLAR

1. Abdel Wahab, M. M., Crocombe, A. D., Beevers, A., and Ebtehaj, K., 2002. Coupled stress-diffusion analysis for durability study in adhesively bonded joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 22, 61-73.
2. Adams, R. D. and Peppiatt, N. A., 1974. Stress analysis of adhesive-bonded lap joints. *Journal of Strain Analysis*, 9, 185-196.
3. Adams, R. D., and Wake, W. C., 1984. *Structural Adhesive Joint in Engineering*. Elsevier Science Publisher, London.
4. Aivazzadeh, S., Babi, M. and Verchery, G., 1987, Assesment and Comparison of Clasical, Mixed and Interface Elements for the Stress Analysis in Adhesive Joints, *Mechanical Behavior of Adhesive Joints*, Proc.of the European Mechanics Colloquium 227, Paris, 537-540.
5. Andruet, R.H., 1998. Special 2-D and 3-D geometrically non-linear finite elements for analysis of adhesively bonded joints. PhD, The Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.
6. ANSYS, The General Purpose Finite Element Software (Version 10.0). Swanson Analysis Systems, Inc., Houston, Texas.
7. Apalak, M.K., and Davies, R., 1993, Ananalysis and Design of Adhesively Bonded Corner Joints, *Int. J. Adhesion and Adhesives*, No:13/4, 219-235
8. Apalak, M.K., 2000. Geometrically non-linear analysis of an adhesively bonded modified double containment corner joint-I. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 9, 1159-1177.
9. Apalak, M.K. and Güneş, R., 2002. On non-linear thermal stresses in an adhesively bonded single lap joint. *Computers and Structures*, 80, 85-98.
10. Apalak, M.K., Güneş, R. and Fidanci, L., 2003. Geometrically non-linear thermal stress analysis of an adhesively bonded tubular single lap joint. *Finite Elements in Analysis and Design*, 39, 155-174.
11. ASTM D1002, 1983. Standard test method for strength properties of adhesives in shear by tension loading (metal-to-metal).
12. Ashby, M.F. and Jones D.R.H., 1980. *Engineering Materials 1, An introduction to their properties and applications*. First Edition, Pergamon Press.
13. Bağda, E., 1976. *Polimer Kimyası*. M. E. Sungur Kaymak Mini Kitap Sarayı, Ankara.

14. Bank, L.C., and Gentry, T. R., 1995. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 14, 559-587.
15. Barrel, L., Cano, J., Lopez, A., J., Lopez, J., Nogueira, P., and Ramirez, C., 1996. *Journal of Thermal Analysis*, 47, 791-796.
16. Bowditch, M. R., Clarke, J. D., and Stannard, K. J., 1986. *Adhesion*, 11, pp.1
17. Bowditch, M. R., 1996. The durability of adhesive joints in the presence of water. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 16, 73-79.
18. Brandon, D., and Kaplan, W. D., 1997. *Joining Processes*. John Wiley and Sons, 290, Chichester, England
19. Brewis, D.M.; Comyn, J., and Tegg, J.L., 1980. The durability of some epoxide adhesive-bonded joints on exposure to moist warm air. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 1, 35-39
20. Brockmann, W., and Hüther, R., 1996. Adhesion mechanisms of pressure sensitive adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 16, 81-86.
21. Chateauminois, A., Vincent, L., Chabert, A., and Soulier, J. P., 1994. Study of the interfacial degradation of a glass-epoxy composite during hygrothermal ageing using water diffusion measurements and dynamic mechanical thermal analysis. *Polymer*, 35 (22), 4766-4774.
22. Comyn, J., Day, J., and Shaw, S. J., 1997. Durability of aluminium-sealant joints in jet-fuel, water and antifreeze. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 17, 213-221.
23. Court, R. S., Sutcliffe, M. P. F., and Tavakoli, S. M., 2001. Ageing of adhesively bonded joints-fracture and failure analysis using video imaging techniques. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 21, 455-463.
24. David, A., and Sims, D., 1983. *Weathering of Polymers*, Applied Science Publishers, London.
25. Dean, G.D. and Duncan, B.C., 1995. Tensile behavior of bulk specimens of adhesives. NPL Report DMM (B), UK.
26. Delale, F., Erdoğan, F. and Aydinoglu, M.N., 1980, Stress in Adhesively Bonded Joints; Closed Form Solution, *Journal of Composite Materials*, 15, 249-271.
27. De'Neve, B., Delamar, M., Nguyen, T.T., and Shanahan, M.R., 1998. Failure mode and ageing of steel/epoxy joint. *Applied Surface Science*, 134, 202-212.
28. Deryaguin, B. V., 1948. *Research*, 8, 70.

29. Emanuel, N. M., and Buchachenko, A. L., 1978. Chemical Physics of Polymer Degradation and Stability, VNU Science Press, Netherlands.
30. Engin, A., 1997, Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Çift Bindirmeli Ankastre Bağlantıların Sonlu Elemanlar Metodu ile Geometrik Bakımdan Lineer ve Lineer Olmayan Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 130s.
31. Fowkes, F. M., 1972. Journal of Adhesion, 4, 155.
32. Ghorbel, I., and Valentin, D., 1993. Hydrothermal effects on the physico-chemical properties of pure and glass fiber reinforced polyester and vinylester resins. Polymer Composites, 14 (4), 324.
33. Gledhill, R. A., Kinloch, A. J., and Shaw, S. J., 1980. Journal of Adhesion, 11, 3-15.
34. Goland, M. and Reissner, E., 1944. The stresses in cemented joints. Journal of Applied Mechanics, 11, A17-A27.
35. Gutowski, W., 1991. Fundamentals of Adhesion. L. H. Lee (Ed.), Plenum Press, New York.
36. Hashim, S. A., 1999. Adhesive bonding of thick steel adherends for marine structures. Marine Structures, 12, 405-423.
37. http://www.dsm.com/en_US/downloads/drs/Atlac_580.pdf
38. <http://www.poliya.com.tr/documents/catalogs/POLIJEL%20TIX.pdf>
39. Huntsberger, J. R., 1981. Treatise on Adhesion and Adhesives, Vol. 5, R. L. Patrick (Ed.), Marcel Dekker, Inc., New York.
40. ISO 10365, 1992. Adhesives- Designation of main failure patterns.
41. ISO 527-2, 1993. Plastics- Determination of tensile properties- Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics.
42. ISO 291, 2000. Plastics- Standards atmospheres for conditioning and testing.
43. Jang, J., and Lim, B., 2001. Investigation of a fiber-reinforced plastic/rubber adhesive system using statistical experimental design. Polymer Testing, 20, 117-123.
44. Jiao, D., Pourrezaei, K., Li, S., and Rose J., L., 1992. An ultrasonic oblique incidence technique for moisture determination in epoxy. British Journal of Non-Destructive Testing, 34 (10), 494-498.
45. Jennings, C. W., 1972. Journal of Adhesion 4, 25.
46. Jones, R. M., 1999, Mechanics Of Composite Materials, Second Edition, Taylor&Francis

Publishing.

47. Kaya, F., 2004, Ana Hatlarıyla Yapıştırıcılar, Birsen Yayınevi, İstanbul, 240s.
48. Kayacan, R.,1988. Yapıştırma ve metal bağlantılar için yapıştırıcı kullanımı,Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
49. Kemball, C., 1961. Adhesion, D. D. Eley (Ed.), Oxford University Press, London.
50. Kinloch, A. J., 1987. Adhesion and Adhesive Science and Technology. First Edition, Chapman and Hall.
51. Kline, R.A., 1982, Stress Analysis of Adhesively Bonded Joints, Proceeding of The International Symposium on Adhesive Joints, Kansas City, 587-610.
52. Knox, E.M., and Cowling, M.J. 2000. Durability aspect of adhesively bonded thick adherend lap shear joints. International Journal of Adhesion and Adhesives, 20, 323-331.
53. Komai, K., and Shiroshita, S., 1992. Journal of the Society of Materials Science, 41 (469), 1539-1544.
54. Kovacs, A. J., Stratton, R. A., and Ferry, J. D., 1963. Dynamic Mechanical Properties of Polyvinyl Acetate in Shear in the Glass Transition Temperature Range. Journal of Physical Chemistry, 67, (1), 152-161.
55. Lee, S. B., Rockett, T. J., and Hoffman, R. D., 1992. Interactions of water with unsaturated polyester, vinyl ester and acrylic resins. Polymer, 33 (17), 3691-3697.
56. Lefebvre, D.R., Takahashi, K.M., Muller, A.J., and Raju, V.R., 1991. J. Adhesion Science and Technology, 5 (3), 201-227.
57. Lian, M. K., 1998. Study of durability of epoxy bonded joints in aqueous environments. MS These, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.
58. Loctite Global Tasarım Elkitabı, 2005. Erasmusdruck GmbH, Mainz, Germany.
59. Lunder, O., Olsen, B., and Nişancioğlu, K., 2002. Pre-treatment of AA6060 aluminium alloy for adhesive bonding. International Journal of Adhesion and Adhesives, 22, 143-150.
60. Mallick, P. K., 1997, Composites Engineering Handbook, Einband 1. Marcel Dekker, Inc.
61. McBain, J. W. , and Hopkins, D. G., 1925. Journal of Physical Chemistry, 29, 188 .
62. Mercer, A. D.,1990. Corrosion in Seawater Systems. First Edition, Ellis Horwood Limited.
63. Min, B. G., Shin, D. K., Stachurski, Z. H., and Hodgkin, J.H.,1994. Polymer Bulletin, 33, 465-470.

64. Mittal, K. L., 1976. Journal of Vacuum Science and Technology 13, 19.
65. Ojalvo, I.O. and Eidinof, H.L., 1978, Bond Thickness Effect Upon Stresses in Single Lap Adhesive Joints, AIAA Journal, cilt;16/8, 204-211
66. Oplinger, D.W., 1994. Effects of adherend deflections on single lap joints, Int. J. of Solids and Structures, 31(18), 2565-2587.
67. Ozel, A., Kadioglu, F., Sen, S. and Sadeler, R., 2003. Finite element analysis of adhesive joints in four point bending load. Journal of Adhesion, 79(7), 683-697.
68. Orman, S., and Kerr, C., 1971. Aspect of Adhesion. University of London Press.
69. Parvatareddy, H.,1997. Durability of polyimide adhesives and their bonded joints for high temperature applications. Ph. D. These, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia
70. Petrie, E.M, 1975. Handbook of Plastics and Elastomers. McGraw-Hill, New York.
71. Pissis, P., Maggana, C., Spathis, G., and Kontou, E., 1997. Netherlands Society for Materials Science, Polymers and Ceramics, 2, 159-162.
72. Ploehn, H. J., and Wang, J. Y., 1996. Dynamic mechanical analysis of the effect of water on glass bead-epoxy composites. Journal of Applied Polymer Science, 59 (2), 245-257.
73. Renton, W.J. and Vinton J.R., 1977. Analysis of adhesively bonded joints between panels of composite materials. Journal of Applied Mechanics, 44, 101-106.
74. Sancaktar, E. and Simmons, S.R., 2000, Optimization of adhesively bonded single lap joints by adherent notching. J. of Adhesion Science and Technology,14(11),1363-1404.
75. Sawa, T., Liu, J., Nakano, K. and Tanaka, J., 2000. A two dimensional stress analysis of single lap adhesive joints of dissimilar adherents subjected to tensile loads. J. of Adhesion Science and Technology, 14(1), 43-66.
76. Sawyer, J.W., and Cooper, P.A., 1981, Analytical and Experimental Results for Bonded Single Lap, Joints With Performed Adherends, AIAA Journal, cilt:19/11,1443-1451.
77. Sayman, O., ve Aksoy, S.,1982, Kompozit Malzemeler, E.Ü. Makine Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Bornova/İzmir.
78. Shanahan, M., Xiao, G. Z., and Delamar, M., 1997. Irreversible interactions between water and DGEBA/DDA epoxy resin during hygrothermal aging. Journal of Applied Polymer Science, 65 (3), 449-458.
79. Sharpe, L. H., and Schonhorn, H., 1963. Chemical Engineering News, 15, 67.

80. Skinner, S. M., Savage, R. L., and Rutzler, J., 1953. *Journal of Applied Physics*, 24, 439.
81. Smith, L. V., and Weitsman, Y. J., 1996. The immersed fatigue response of polymer composites. *International Journal of Fracture*, 82, 31-42.
82. So, H. W., Chen, N., and Niem, P. I. F., 1995. Strength of square-edged and bevel-edged adhesive joints immersed in different solutions. *Plastics, Rubber and Composites Processing and Application*, 23, 87-92.
83. Struik, L. C. E., 1978. *Physical Aging in Amorphous Polymers and other Materials*, Elsevier, Amsterdam.
84. Sullivan, J. L., 1990. Creep and Physical Aging of Composites. *Composite Science and Technology*, 39, 207-232.
85. Szekcky, J., 1976. *Gas-Solid Reactions*, Academic Press, New York.
86. Takiguchi, M. and Yoshida, F., 2001. Plastic bending of adhesive bonded sheet metals. *Journal of Materials Processing Tech.*, 113, 743-748.
87. Temiz, Ş., 2003, Study of the Effect of Environmental Factors on Mechanical Properties of Adhesively Bonded Joints, Ph. D. Thesis, Ataturk University, Erzurum, Turkey
88. Topçu. M., 2001, Kompozit Malzemeler, Pamukkale Üniversitesi Ders Notları, Denizli.
89. Tsai, M.Y. and Morton, J., 1994. An evaluation of analytical and numerical solutions to the single lap joint. *Int. J. of Solids and Structures*, 31(18), 2537-2563.
90. Venables, J. D., McNamara, D. K., Chen, J. M., Sun, T. S., and Hopping, R. L., 1979. *Applied Surface Science* 3, 88.
91. Venables, J. D., 1984. *Journal of Materials Science*, 19, 2431-2453.
92. Voyutskii, S. S., 1963. *Autohesion and Adhesion of High Polymers*, Wiley-Interscience, New York.
93. Xiao, G. Z., and Shanahan, M. E. R., 1997. Swelling of DGEBA/DDA epoxy resin during hygrothermal ageing. *Polymer*, 39 (14), 3253-3260.
94. Wu, G. and Crocombe, A.D., 1996. Simplified finite element modeling of structural adhesive joints. *Computers and Structures*, 61(2), 385-391.
95. Wylde, J.W., and Spelt, J.K., 1998. Measurement of adhesive joint fracture properties as a function of environmental degradation. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 18, 237-246.

96. Turgut, A., and Sancaktar, E., (1991) The Effects of Cure and Loading Conditions on Fiber-Matrix Adhesion, The Adhesion Society, v.41, 24-26.
97. Turgut, A., and Sancaktar, E., (1992), Viscoelastic and Processing Effects on The Fiber Matrix İnterphase Strength, Journal of Adhesion, v.38, 111-129.
98. Turgut, A., Gür, M., ve Arslan, N., (1995), Birleştirmelerde Kullanılan Yapıştırıcı Malzemelerin Polimerleştirme Sıcaklığının ve Süresinin Çekme Mukavemeti ve Elastisite Modülüne Etkilerinin Araştırılması, Uluslararası Havacılık ve İleri Teknolojiler Sempozyumu, İ.T.Ü., İstanbul.
99. Zanni-Deffargen, M. P. and Sanahan, M. E. R.,1994. Bulk and interphase effects in aged structural joints. Journal of Adhesion, 45, 245.
100. Zeng, Q., and Morgan R.J., 1993. Synergistic thermal-moisture damage mechanisms of epoxies and their carbon fiber composites. Journal of Composite Materials, 27 (15), 1465-1478.
101. Zienkiewicz, O.C., and Taylor, R.L., 1991, The Finite Element Method, cilt:1-2, McGraw-Hill, New York.

ÖZGEÇMİŞ

03.09.1972’de Batman’da doğdu. İlk-orta-lise tahsilini Batman’da yaptı. 1991’de Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünü kazandı. 26.06.1995’te Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 10.02.1998’de Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliğinde yüksek lisansa başladı. 20.03.2001’de “Yüksek Mühendis” olarak mezun oldu. Evli ve üç çocuk babasıdır.