

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**CAM ELYAF TAKVİYELİ PLASTİKLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİNİN
DENEYSEL KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS

Gemi İnş. ve Mak. Müh. Çağın GENÇ

Anabilim Dalı: Makina Mühendisliği

Danışman: Yard.Doç.Dr. Armağan ARICI

KOCAELİ, 2006

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**CAM ELYAF TAKVİYELİ PLASTİKLERİN ÜRETİM
YÖNTEMLERİNİN DENEYSEL KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gemi İnş. ve Mak. Müh. Çağın GENÇ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 20 Eylül 2006

Tezin Savunulduğu Tarih: 31 Ekim 2006

Tez Danışmanı

Yard.Doç.Dr.Armağan ARICI

(.....)

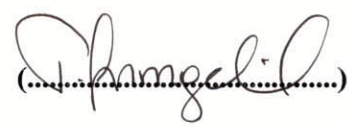

Üye

Doç.Dr.Özgen ÇOLAK

(.....)


Üye

Doç.Dr. Tamer SINMAZÇELİK

(.....)


KOCAELİ, 2006

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Cam elyaf takviyeli plastikler günümüzde otomotivden gıda sektörüne birçok alanda kullanılmaktadır. İhtiyaç oranı arttıkça, imalatı kolaylaştıracak yöntemler de karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntemlerin çoğunun kullanıldığı NUMARİNE Denizcilik A.Ş.'de çeşitli yöntemlerle üretilen cam elyaf takviyeli plastik numunelerinden yararlanılarak yapılan deneyler sonucunda, imalat yöntemleri ve kapasiteleri hakkında bilgi sahibi olunması amaçlanmıştır.

Cam elyaf takviyeli plastiklerin üretim yöntemlerinin deneysel karşılaştırılması konusunda bana çalışma fırsatı veren NUMARİNE A.Ş.'ye ve değerli çalışanlarına, tez aşamasında fikirleri ile beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen KOÜ Makine Fakültesi öğretim üyelerinden Sn.Yard.Doç.Dr. Armağan ARICI'ya teşekkür ederim. Ayrıca hayatım boyunca beni destekleyen ve bu tezi hazırlamama sebep olan annem Günsey GENÇ ve babam Secat GENÇ ile yardımlarıyla beni teşvik eden eşim Elvan GENÇ'e ve malzeme bilgileriyle bana destek olan kuzenim Baran TEPIROĞLU'na sonsuz minnet duygularımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. CAM ELYAF TAKVİYELİ PLASTİKLER	2
2.1 Giriş	2
2.1.1 Reçineler	2
2.1.1.1 Polyester reçine	2
2.1.1.2 Vinilester reçine	3
2.1.1.3 Epoksi reçine	4
2.1.2 Cam elyafı	6
3. CAM ELYAF TAKVİYELİ PLASTİKLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ	9
3.1 El Yatırması Yöntemi	9
3.1.1 Giriş	9
3.1.2 Kalıp hazırlığı	9
3.1.3 Çalışma şartları	10
3.1.4 Jelkot	11
3.1.5 Reçinenin hazırlanması	11
3.1.6 Çalışma Prosedürü	12
3.1.7 Ürünün kalıptan çıkarılması	15
3.2 Vakumlama Yöntemi	17
3.2.1 Vakumla sıkıştırma nedir?	17
3.2.1.1 Teori	17
3.2.1.2 Vakum yönteminin avantajları	17
3.2.2 Vakum yönteminde kullanılan ekipmanlar	19
3.2.2.1 Vakum pompaları	19
3.2.2.1.1 Vakum basıncı	20
3.2.2.1.2 Debi	20
3.2.2.1.3 Beygir gücü ve performans	20
3.2.2.1.4 Pompa seçimi	21
3.2.2.1.5 Pompa çeşitleri	21
3.2.2.2 Vakum ekipmanları	23
3.2.2.2.1 Ayırıcı kumaş	23
3.2.2.2.2 Hava geçirici kumaş	23
3.2.2.2.3 Vakum naylonu	23
3.2.2.2.4 Mastik sızdırmaz macun	24

3.2.2.2.5 Tesisat	24
3.2.3 Vakum uygulamaları	26
3.2.3.1 Diş kalıpta laminasyon uygulaması	26
3.3 İnfüzyon Yöntemi	34
3.3.1 Giriş	34
3.3.2 İnfüzyon uygulaması	37
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	58
4.1 Malzeme	58
4.2 Kompozit plaka üretimleri	58
4.3 Görsel İnceleme	61
4.4 Mekanik İnceleme	61
4.4.1 Çekme deneyi	61
4.4.2 Darbe deneyi	61
4.4.3 Eğme deneyi	62
4.5 Kırılma Yüzeylerinin İncelenmesi	63
5. DENEYSEL SONUÇLAR	64
5.1 Görsel İnceleme	64
5.2 Mekanik İnceleme	68
5.3 Kırılma Yüzeylerinin İncelenmesi	102
6. SONUÇLAR VE VERİLER	112
KAYNAKLAR	114
ÖZGEÇMİŞ	115

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Tipik bir isoftalik polyester kimyasal yapısı.....	3
Şekil 2.2: Tipik bir vinilester kimyasal yapısı	4
Şekil 2.3: Tipik bir epoksi kimyasal yapısı.....	5
Şekil 2.4 Dokuma ve dikilmiş kumaş	6
Şekil 3.1: Kalıbın Cilalanması	9
Şekil 3.2: Kalıp ayırıcının uygulanması.....	9
Şekil 3.3: Jelkot reçinesinin sürülmesi.....	11
Şekil 3.4: Laminasyon reçinesi kalıba bolca sürülür	12
Şekil 3.5: Elyafın ilk katı ıslak kalıp yüzeyine yatırılır	13
Şekil 3.6: Elyaf rulo ile reçineye yedirilir böylece laminasyon içindeki hava kabarcıkları da çıkarılmış olur	13
Şekil 3.7: Laminasyon bittikten sonra kenarlara taşmış reçine hala jelleşmemişken keskin bir bıçak ile alınabilir.....	14
Şekil 3.8: Ürün kürleştikten sonra kama ile kalıp kenarında kanıtılarak kalıptan ayrılması sağlanır	15
Şekil 3.9: Ürün kalıptan çıkarılır.....	16
Şekil 3.10: El yatırma işlemi.....	16
Şekil 3.11: Vakumlama yöntemi prensibi.....	18
Şekil 3.12: Vakum sistemi ekipmanları	19
Şekil 3.13: Vakum 1. adım.....	27
Şekil 3.14: Vakum 2. adım.....	27
Şekil 3.15: Vakum 3. adım.....	28
Şekil 3.16: Vakum 4. adım.....	28
Şekil 3.17: Vakum 5. adım.....	29
Şekil 3.18: Vakum 6. adım.....	30
Şekil 3.19: Vakum 7. adım.....	30
Şekil 3.20: Vakum 8. adım.....	31
Şekil 3.21: Vakum 9. adım.....	31
Şekil 3.22: Vakum 10. adım.....	32
Şekil 3.23: Vakum 11. adım.....	32
Şekil 3.24: Vakum 12. adım.....	33
Şekil 3.25: Vakum 13. adım.....	33
Şekil 3.26: Vakum 14. adım.....	34
Şekil 3.27: İnfüzyonun genel görünümü.....	35
Şekil 3.28: İnfüzyon genel sistemi-1.....	36
Şekil 3.29: İnfüzyon sistemi – 2.....	36
Şekil 3.30: İnfüzyon sistemi – 3.....	37
Şekil 3.31: İnfüzyon 1. adım.....	38
Şekil 3.32: İnfüzyon 2. adım.....	38

Şekil 3.33: İnfüzyon 3. adım	39
Şekil 3.34: İnfüzyon 4. adım	39
Şekil 3.35: İnfüzyon 5. adım	40
Şekil 3.36: İnfüzyon 6. adım	40
Şekil 3.37: İnfüzyon 7. adım	41
Şekil 3.38: İnfüzyon 8. adım	41
Şekil 3.39: İnfüzyon 9. adım	42
Şekil 3.40: İnfüzyon 10. adım	42
Şekil 3.41: İnfüzyon 11. adım	43
Şekil 3.42: İnfüzyon 12. adım	43
Şekil 3.43: İnfüzyon 13. adım	44
Şekil 3.44: İnfüzyon 14. adım	44
Şekil 3.45: İnfüzyon 15. adım	45
Şekil 3.46: İnfüzyon 16. adım	45
Şekil 3.47: İnfüzyon 17. adım	46
Şekil 3.48: İnfüzyon 18. adım	46
Şekil 3.49: İnfüzyon 19. adım	47
Şekil 3.50: İnfüzyon 20. adım	47
Şekil 3.51: İnfüzyon 21. adım	48
Şekil 3.52: İnfüzyon 22. adım	48
Şekil 3.53: İnfüzyon 23. adım	49
Şekil 3.54: İnfüzyon 24. adım	49
Şekil 3.55: İnfüzyon 25. adım	50
Şekil 3.56: İnfüzyon 26. adım	50
Şekil 3.57: İnfüzyon 27. adım	51
Şekil 3.58: İnfüzyon 28. adım	51
Şekil 3.59: İnfüzyon 29. adım	52
Şekil 3.60: İnfüzyon 30. adım	52
Şekil 3.61: İnfüzyon 31. adım	53
Şekil 3.62: İnfüzyon 32. adım	53
Şekil 3.63: İnfüzyon 33. adım	54
Şekil 3.64: İnfüzyon 34. adım	54
Şekil 3.65: İnfüzyon 35. adım	55
Şekil 3.66: İnfüzyon 36. adım	55
Şekil 3.67: İnfüzyon 37. adım	56
Şekil 3.68: İnfüzyon 38. adım	56
Şekil 3.69: İnfüzyon 39. adım	57
Şekil 4.1: Test için hazırlanmış elyaf tabakaları	58
Şekil 4.2: Vakum yöntemiyle elde edilen parçalar	59
Şekil 4.3: İnfüzyon yöntemiyle elde edilen parçalar.....	59
Şekil 4.4:El yatırması yönteminde 80/20'lik elyaf/reçine oranı ile elde edilmiş numune.....	59
Şekil 4.5: Çekme için hazırlanan parça boyutları	61
Şekil 4.6: Darbe deneyi için kullanılacak parça boyutları	62
Şekil 4.7: Eğme deneyi için kullanılacak parça boyutları.....	62

Şekil 4.8: Deney yapılan parçaların kodlama sistemi	63
Şekil 5.1: 37/63 Elyaf/Reçine oranlı el yatırması ile imal edilen ürün kesitlerinde gözlenen boyut kararsızlıkları	64
Şekil 5.2: 63/37 Elyaf/Reçine oranlı el yatırması ile imal edilen ürün yüzeyindeki kararsızlık	65
Şekil 5.3: El yatırması ürünlerde gözlenen hava boşluklar	65
Şekil 5.4: El yatırması yönteminde parçalardan birinde karşılaşılan delaminasyon	66
Şekil 5.5: İnfüzyon yöntemiyle elde edilmiş ürünlerin kesit görünüşü	66
Şekil 5.6: İnfüzyon yöntemiyle elde edilmiş ürünün yüzey resmi	67
Şekil 5.7: Vakum yöntemiyle elde edilmiş parça yüzeyi	67
Şekil 5.8: Vakum yöntemiyle elde edilmiş parçaların kesitleri	68
Şekil 5.9: El yatırması ile elde edilen 32/68 oranlı numunenin çekme deney sonuçları	69
Şekil 5.10: El yatırması ile elde edilen 37/63 oranlı numunenin çekme deney sonuçları	70
Şekil 5.11: El yatırması ile elde edilen 40/60 oranlı numunenin çekme deney sonuçları	71
Şekil 5.12: El yatırması ile elde edilen 48/52 oranlı numunenin çekme deney sonuçları	72
Şekil 5.13: El yatırması ile elde edilen 52/48 oranlı numunenin çekme deney sonuçları	73
Şekil 5.14: El yatırması ile elde edilen 59/41 oranlı numunenin çekme deney sonuçları	74
Şekil 5.15: El yatırması ile elde edilen 63/37 oranlı numunenin çekme deney sonuçları	75
Şekil 5.16: El yatırması ile elde edilen 65/35 oranlı numunenin çekme deney sonuçları	76
Şekil 5.17: El yatırması ile elde edilen 71/29 oranlı numunenin çekme deney sonuçları	77
Şekil 5.18: Vakum ile elde edilen 50/50 oranlı numunenin çekme deney sonuçları	78
Şekil 5.19: Vakum ile elde edilen 60/40 oranlı numunenin çekme deney sonuçları	79
Şekil 5.20: Vakum ile elde edilen 70/30 oranlı numunenin çekme deney sonuçları	80
Şekil 5.21: Vakum ile elde edilen 80/20 oranlı numunenin çekme deney sonuçları	81
Şekil 5.22: İnfüzyon ile elde edilen 70/30 oranlı numunenin çekme deney sonuçları	82
Şekil 5.23: İnfüzyon ile elde edilen 80/20 oranlı numunenin çekme deney sonuçları	83
Şekil 5.24: Çekme deney sonuçları	84
Şekil 5.25: Darbe deney sonuçları	85

Şekil 5.26: El yatırması ile elde edilen 32/68 oranlı numunenin eğme deney sonuçları	86
Şekil 5.27: El yatırması ile elde edilen 37/63 oranlı numunenin eğme deney sonuçları	87
Şekil 5.28: El yatırması ile elde edilen 40/60 oranlı numunenin eğme deney sonuçları	88
Şekil 5.29: El yatırması ile elde edilen 48/52 oranlı numunenin eğme deney sonuçları	89
Şekil 5.30: El yatırması ile elde edilen 52/48 oranlı numunenin eğme deney sonuçları	90
Şekil 5.31: El yatırması ile elde edilen 59/41 oranlı numunenin eğme deney sonuçları	91
Şekil 5.32: El yatırması ile elde edilen 63/37 oranlı numunenin eğme deney sonuçları	92
Şekil 5.33: El yatırması ile elde edilen 65/35 oranlı numunenin eğme deney sonuçları	93
Şekil 5.34: El yatırması ile elde edilen 71/29 oranlı numunenin eğme deney sonuçları	94
Şekil 5.35: Vakum ile elde edilen 50/50 oranlı numunenin eğme deney sonuçları	95
Şekil 5.36: Vakum ile elde edilen 60/40 oranlı numunenin eğme deney sonuçları	96
Şekil 5.37: Vakum ile elde edilen 70/30 oranlı numunenin eğme deney sonuçları	97
Şekil 5.38: Vakum ile elde edilen 80/20 oranlı numunenin eğme deney sonuçları	98
Şekil 5.39: İnfüzyon ile elde edilen 70/30 oranlı numunenin eğme deney sonuçları	99
Şekil 5.40: İnfüzyon ile elde edilen 80/20 oranlı numunenin eğme deney sonuçları	100
Şekil 5.41: Eğme deney sonuçları	101
Şekil 5.42: 8. nolu parçada matris kabuk gibi kalkmış ve altında ıslanmamış elyaflar gözükmemektedir	102
Şekil 5.43: İşaretli alanlarda elyaf liflerinin interlaminar bağlarından kurtulduğunu ve hala iç kısımlarda yeterince ıslanmamış kısımlar olduğunu görmekteyiz	103
Şekil 5.44: 6 nolu parçaların kırılma şekilleri	103
Şekil 5.45: 1'den 5'e kadar olan parçalarda gözlemlenen kopma resmi ve matrisle yaptığı bağdan kurtulan lifler	104
Şekil 5.46: Vakumla üretilmiş 4,5 ve 6. parçaların çekme testi sonrası	104
Şekil 5.47: İnfüzyonla üretilmiş 8 ve 9 no'lu parçaların çekme deneyi sonrası görünüşü	105
Şekil 5.48: El yatırması yöntemiyle üretilmiş parçaların darbe deneyi sonrası ...	105
Şekil 5.49: El yatırması yöntemiyle üretilmiş 8 ve 9 no'lu parçaların darbe deneyi sonrası	106

Şekil 5.50: El yatırması yöntemiyle yapılan parçaların darbe deneyi sonrası kopmuş durumları	106
Şekil 5.51: Vakum yöntemiyle üretilmiş parçaların darbe deneyi sonrası görünüşleri	107
Şekil 5.52: Vakum yöntemiyle üretilmiş parçaların darbe deneyi sonrası delaminasyona uğramış örnekleri	107
Şekil 5.53: İnfüzyon yöntemiyle üretilmiş parçaların darbe deneyi sonrası görünüşleri	108
Şekil 5.54: İnfüzyon yöntemiyle elde edilmiş parçaların darbe deneyi sonrası delamine olmuş görünüşleri	108
Şekil 5.55: Eğme deneyi uygulanmış infüzyon (altta) ve vakum numuneleri	109
Şekil 5.56: Eğme deneyi uygulanmış el yatırması numuneleri.....	109

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1: Polyester katkı malzemeleri.....	3
Tablo 2.2: Cam Elyaf ve Reçineye ait bazı özellikler.....	8
Tablo 4.1: El yatırma yönteminde kullanılan malzemeler	60
Tablo 4.2: Vakum yönteminde kullanılan malzemeler	60
Tablo 4.3: İnfüzyon yönteminde kullanılan malzemeler	60
Tablo 5.1: Deneylerin ortalama değerleri	101

CAM ELYAF TAKVİYELİ PLASTİKLERİN İMALAT YÖNTEMLERİNİN DENEYSEL KARŞILAŞTIRILMASI

Çağın GENÇ

Anahtar Kelimeler: Kompozitler, Cam Elyaf, Reçine, Matris, İnfüzyon, Vakum, El yatırması, Elyaf/Reçine oranı

Özet: Hemen hemen her sektörde karşımıza çıkan kompozit malzemelerden, cam elyaf takviyeli plastiklere değinilmiş ve el yatırması, vakum ve infüzyon yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Kalınlık sabit tutulup reçine ve elyaf oranları değıştırılarak hazırlanan ürünlere EN-ISO normlarında çekme, darbe ve eğme deneyleri yapılmış, deney yapılan parçaların kırılma yüzeyleri incelenmiştir. Deneyleri yapılan yöntemlerden infüzyon yönteminin başlangıçta karmaşık gelen üretim yöntemine rağmen en iyi değerleri verdiği görülmüştür. Elyaf/reçine oranı için de beklenildiği gibi elyaf oranı arttıkça kompozit malzemenin çekme mukavemetinde artış gözlenmiş buna karşılık darbe deneyi ve yüzey kalitesinde belli noktalardan sonra azalmalar olmuştur. Bunun en büyük sebebi de kompozit malzemenin içindeki reçine elyaf dengesinde reçinenin bağlayıcı özelliklerinin azalmasıdır.

EXPERIMENTAL COMPARISON OF PRODUCTION METHODS REGARDING FIBERGLASS REINFORCED PLASTIC

Çağın GENÇ

Keywords: Composites, Fiberglass, Resin, Matrix, Vacuum infusion, Vacuum bagging, Hand lay-up, Fibre/resin ratio

Abstract: Three different production methods were explained with the properties of fiber and resin. These methods are hand lay-up, vacuum bagging and vacuum infusion. Charpy impact, tensile and three point bending tests were done according to EN-ISO standards with composite pieces that were thickness fixed and produced by variable resin-fiber ratios. Those samples were examined according to their failure mechanics. The results show that vacuum infusion method had the high tensile and impact strengths. Also it is seen that normally increasing the fiber content in the composite has got higher values of tensile strength however from a point has a tendency to decrease in impact tests and poor surface quality. It is appeared that the interlaminar bonding capability of resin also effects the composite strength.

1. GİRİŞ

Bilim ve teknolojinin büyük bir hızla ilerlediği günümüzde her geçen gün yeni ve üstün özelliklere sahip malzeme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu ihtiyaçlar kompozit malzemelerin geliştirilmesi için itici güç olmuştur. Son yıllarda elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemelerin üretimi ve endüstriyel alanlarda kullanımı oldukça artmıştır. Bu alanlar;

- Havacılık / Uzay / Savunma
- Ev aletleri ve iş ekipmanları
- Yapı sektörü
- Tüketim malları ve Spor/Eğlence
- Korozyon dayanımlı ürünler
- Elektrik ve elektronik
- Denizcilik
- Taşımacılık ve otomotiv
- Askeri uygulamalar
- Tarım ve gıda sektörüdür.

Takviye malzemeleri içinde, tüketim ve satış miktarları açısından, en geniş ölçüde kullanılan takviye malzemesi cam elyafıdır. Cam Elyaf Takviyeli Plastik'lerin (CTP) üretim yöntemlerinden el yatırması, vakumlama ve infüzyon yöntemleri imalat aşamasında en çok kullanılan yöntemler olup diğer yöntemlere de temel teşkil etmektedir. Bu araştırmanın ikinci bölümünde CTP ile ilgili kısa bilgiler sunulmuştur. Üçüncü bölümde ise, bunların yukarıda belirtilen imalat yöntemleri anlatılmıştır. Dördüncü bölümde ise, bu yöntemlerle elde edilen CTP parçalarına uygulanan deneylerden bahsedilmiş ve son bölümde sonuçlar sunulmuştur.[3]

2. CAM ELYAF TAKVİYELİ PLASTİKLER

2.1 Giriş

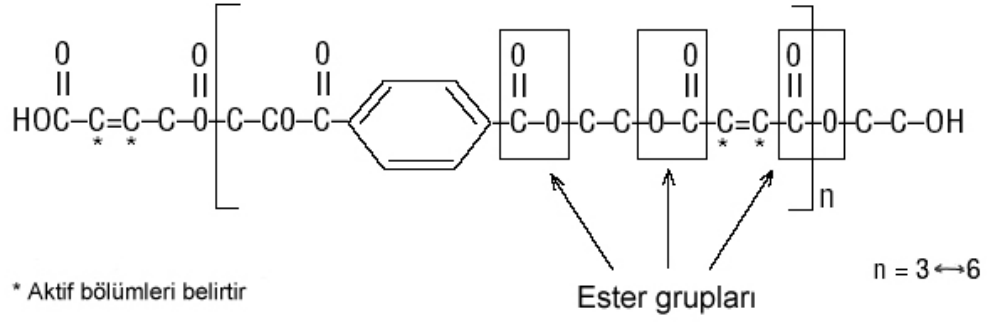
CTP'yi oluşturan iki ana malzeme reçine ve cam elyafıdır. Sistemde cam elyafı takviyeyi, reçine ise matrisi oluşturur. Bunların doğru etkileşimleri ve aşağıdaki bilgiler doğrultusunda CTP'nin özellikleri belirlenir.

- Cam Elyafın Özellikleri
- Reçinenin Özellikleri
- Kompozitteki Cam Elyaf Oranı
- Kompozitteki Cam Elyafın Geometrisi ve Yönü [10]

2.1.1 Reçineler

2.1.1.1 Polyester reçine

Polyester reçineler en basit ve en ekonomik reçine sistemidir. Özellikle doymamış polyester reçineler kompozit endüstrisinin lokomotif konumunda olup, toplam kullanılan reçine miktarının %75'ini oluşturur. Polyesterler, dikarboksilik asitler ve polihidrik alkollerin (glükoller) kondensasyon polimerizasyonu sonucu oluşurlar. Buna ek olarak doymamış polyesterler dikarboksilik asit bileşeni olarak maleik anhidrit veya fumarik asit gibi doymamış bir madde içerirler. Ürün olarak alınan polimer ağ yapısını oluşturabilmek ve düşük vizkozitede bir sıvı elde edebilmek amacıyla stiren gibi reaktif bir monomer içinde çözülür. Bu reçine sertleştiğinde, monomer polimer üzerindeki doymamış uçlar ile reaksiyona girer ve onu bir katı termoset yapıya çevirir. Hemen hemen bütün polyesterler havayı tutarlar ve havayla temas halindeyken kürleşmezler. Bu nedenle polyester içerisine parafin de ilave edilerek kürleşme anında polyester ile hava arasında koruyucu bir bariyer oluşturur.[1,3]



Şekil 2.1: Tipik bir isoftalik polyester kimyasal yapısı

Ancak yapılacak olan ikincil bir bağlama da parafin yapışma yüzeyini zayıflatacaktır, bu tip işlemler için yüzeyin parafinden arındırılması gerekir. Polyesterin ısı olmadan kürleşmesi katalizörle birlikte hızlandırıcının katkısı ile sağlanır. Jelleşme süreleri, laminasyon kalınlığı ve ortam ısısı göz önüne alınarak yeterli karışım yapılır. Tablo 2.1’de en bilinen katkı malzemeleri verilmiştir.[1]

Tablo 2.1: Polyester katkı malzemeleri

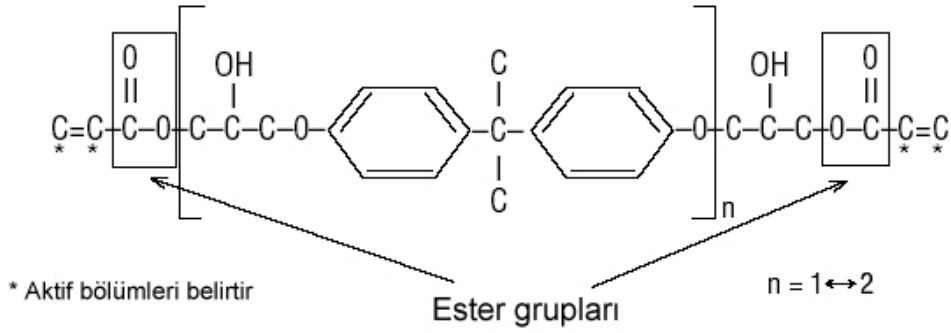
Katalizör	Hızlandırıcı
Metil Etil Keton Peroksit (MEKP)	Kobalt Naptanat
Kumen Hidroperoksit	Manganez Naptanat

Standard laminasyon işleminde kullanılan iki tip polyester vardır. Ortoftalik polyester birçok üretici tarafından kullanılan standart ekonomik bir reçinedir. Isoftalik polyester ise şimdilerde mükemmel suya direnci sayesinde deniz endüstrisinde tercih edilmektedir.[1]

2.1.1.2 Vinilester reçine

Vinilester reçineler epoksi reçinelerin avantajları ile doymamış polyester reçinelere özgü “kolay işleme” ve “hızlı sertleşme” gibi özellikleri birleştirmek üzere geliştirilmiştir. Epoksi reçine ile akrilik ya da meta akrilik asidin reaksiyona sokulması sonucu elde edilmektedirler. Bu reaksiyon maleik anhidrit kullanıldığında polyester reçinelerde olduğu gibi doymamış bir uç üzerinde meydana gelmektedir. Fakat reaktif kısımların yerleri farklıdır. Bu kısımlar molekül zincirinin uçlarında bulunur. Böylece molekül zincirinin kalan uzun kısmı şok yüklemeleri karşılayacak şekildedir. Böylece vinilesterin polyestere göre daha dayanıklı ve esnek olduğu

söylenbilir. Polyester reçinede olduğu gibi benzer bir sıvı elde etmek için üretilen polimer, stiren içinde çözülür. Vinilesterler polyester reçinelerde kullanılan geleneksel organik peroksitlerle sertleştirilebilir. Vinilester, mekanik dayanım ve mükemmel korozyon dayanımı sağlar. Bu üstün özellikleri sayesinde epoksi reçinelerdeki gibi karmaşık proses veya özel kullanım becerisi gerektirmezler.



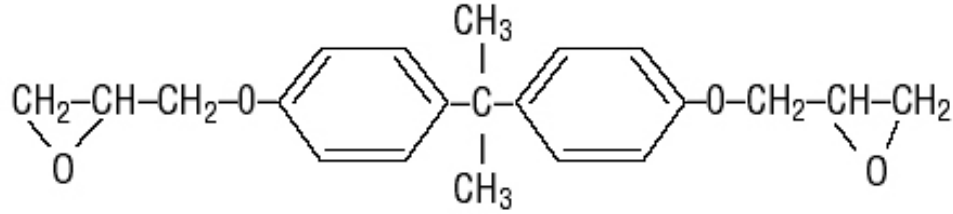
Şekil 2.2: Tipik bir vinilester kimyasal yapısı

Vinilesterde polyestere göre bulunan daha az ester grubu sayesinde reçine hidrolizde daha az zarar görür. Bu özelliği sayesinde vinilester bazen polyester laminasyonunda bariyer kat olarak kullanılır.[1,3,10]

2.1.1.3 Epoksi reçine

Epoksi reçineler, geniş bir yelpazedeki kompozit parçaların üretiminde en yaygın kullanıma sahip reçinelerdendir. Epoksiler, diğer reçine gruplarına göre, mekanik özelliklerde ve çevresel etkilere karşı dirençlerde daha iyi özellikler gösterir. Epoksi terimi, iki karbona bağlı oksijen atomunun oluşturduğu gruptan adını alır. En basiti 3 elemanlı halka yapısı oluşturur buna alfa epoksi denir. Epoksi reçineler, spesifik performans özellikleri sağlamak üzere değişik şekillerde formüle edilebilirler veya diğer epoksi reçinelerle karıştırılabilirler. Epoksi reçineleri, her molekülde iki veya daha fazla epoksi grubunu veya daha genel tanımlamada glisidil gruplarını ihtiva eden maddelerdir. Proses gereklerini yerine getirmek için uygun sertleştirici sistemi seçilerek sertleşme hızları kontrol altında tutulabilir. Genellikle epoksi reçineler bir anhidrit veya bir amin sertleştirici eklendiğinde sertleşme reaksiyonuna girer. Her sertleştirici farklı bir sertleşme profili gösterir ve son ürüne farklı özellikler katar. Tipik sertleşme maddeleri birinci ve ikinci derece aminler, poliaminler ve organik

andhidritlerdir. Bu maddeler reçineye stokiometrik oranlarda eklenir ve sertleşme için ısı gerektirir. Kullanılan diğer sertleştirici maddeleri arasında, bor triflorid kompleksleri gibi katalitik sertleşme maddeleri de bulunur. Bu maddeler katalitik miktarlarda kullanılıp, az bir ısıya veya ısı sertleşmesine ihtiyaç gösterirler. Epoksi vinilester gibi uzun zincir molekül yapılarına sahiptir, bunlarda da reaktif kısımlar uçlardadır fakat reaktif uçlarında ester yerine epoksi bulunur. Sonuçta çıkan sertleşmiş reçine genelde mükemmel kimyasal, mekanik ve elektrik özellikleri olan sert termoset maddelerdir. Epoksi reçineler öncelikle üstün mekanik özellikleri, çok iyi yapışma özelliği, korozif sıvılara ve ortamlara dayanımı, üstün elektriksel özellikleri, yüksek ısı derecelerine dayanımı veya bu değerlerin bir kombinasyonu olarak yüksek performanslı kompozit ürünlerinin üretimi amacı ile kullanılmaktadır.



Şekil 2.3: Tipik bir epoksi kimyasal yapısı

Kürleşme anında çok az çekme özelliğinin olması nedeniyle de elyaf izini çıkarmaz ve iç gerilmeleri azaltır. Epoksi reçineler genellikle üstün performanslı fakat daha yüksek maliyetteki reçine sistemlerinin kullanımını öngören kritik uygulamalarda tercih edilmektedir. Epoksi reçineler denizcilik, otomotiv, elektrik/elektronik ve diğer çeşitli sektörlerdeki kompozit parçaların üretiminde performans faktörünün maliyet faktöründen daha önemli olduğu uygulamalarda kullanılmaktadır. Ancak, epoksi reçinenin vizkozitesinin çoğu polyester reçineninkinden yüksek olması ve üstün mekanik özellikler elde etmek için post-kür gerektirmesi nedeniyle epoksilerin kullanımı zordur. Epoksi reçineler özellikle “vakum torba”, “otoklav”, “vakum infüzyon”, “pres”, “elyaf sarma” ve “el yatırması” gibi kompozit üretim tekniklerinde kullanıma elverişlidir.[1,3,10]

2.1.2 Cam elyafı

Cam elyaf takviyesi plastik kullanılan işlerin %90'ında yer alır. Nedeni ise ucuz olması ve bununla birlikte iyi bir ağırlık/mukavemet oranı vermesidir. Cam elyaf üretiminde; çeşitli taşlar yaklaşık 1600 °C'de sıvı halde birleşerek camı oluştururlar. Bu sıvı çok ince kovanlardan geçerek 9 ile 25 mikron çaplarındaki cam elyaf ipliklerini oluşturur. Bu iplikler de sıkı bir şekilde birleşerek lifleri ya da gevşek bir şekilde fitilleri oluşturur. Bunlar daha sonra çeşitli kimyasallarla kaplanarak ipliklerin yapışma özellikleri oluşturulur ve aşınmaya karşı direnci artırılır. Cam elyafı iyi bir kimyasal direnç ve kolay işlenebilirlik gösterir. Çekme mukavemetleri mükemmeldir. Buna rağmen uzun süreli yükler altında kaldıklarında bozulabilirler. Kullanılan taşların tiplerine göre değişik cam elyaf tipleri oluşturulabilir.[1]

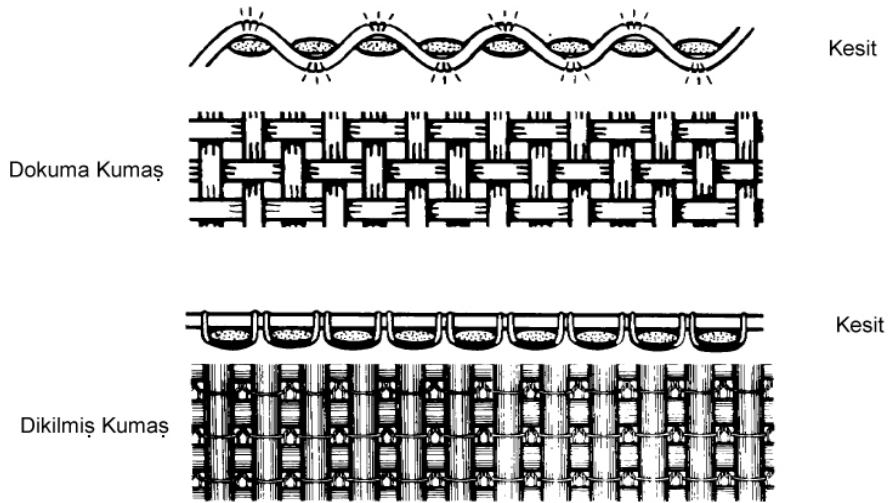
“E” cam elyaf; Alümina, kireç ve borosilikat ana malzemesidir. Çekme, basma mukavemeti ve elektrik özellikleri iyidir. Diğerlerine göre daha ucuzdur fakat darbeye karşı dayanımı azdır.[10]

“C” cam elyaf; Kimyasal etkilere karşı dayanıklıdır. Genellikle kimyasal ya da su borularında veya tanklarda iç yüzey katı olarak kullanılır. [10]

“R”, “S”, “T” cam elyaf; “E” camından daha iyi çekme mukavemeti ve modülüne sahiptir. Islak halde de yüksek mukavemet özellikleri gösterir. Genelde uzay ve savunma endüstrisinde ve ağı balistik kalkanlarının imalatında kullanılır.”E” cam'a göre pahalıdır. [10]

Keçeler, genellikle birim alan ağırlığı ile ifade edilmektedir. Örneğin; 300-450 gr/m² kırılmış demetten keçenin birim alan ağırlığı 300-450 gr. olacaktır. Keçede elyaflar 7-10 cm. boylarında olup rastgele yerleştirilmiştir. Düşük elyaf uzunluğu sebebiyle çok güçlü değildir. Buna rağmen izotropiktir. Bu özelliğe sahip tek elyaf çeşitidir. En ucuz ve en çok kullanılan takviye şeklidir. Kalıp ve parça imalatında kullanılır.[3]

Çok sayıda bükümlü veya bükümsüz iplikler kullanılarak üretilen dokunmuş cam kumaşlarda mevcuttur. Bu kumaşlar farklı dokuma çeşitleri olup dört yönde ve farklı birim ağırlıklarda üretilirler. Bu kumaşlardan yönlendirilmiş mukavemet ve yüksek elyaf oranı elde edilebilir. Ayrıca, reçine uygulandığında kumaş kalıp içerisinde sürüklenmez, sabit olarak kalır. Kumaşlar hem elyaf oranı olarak hem de takviyenin yerleşimi bakımından gerekli ürün özelliklerini karşılamaktadır. Birçok kumaşta, elyafın devamlılık özelliği sayesinde mukavemet/ağırlık oranı, keçe elyaflara göre daha yüksektir. Kumaşlarda kendi aralarında iki sınıfa ayrılırlar; dokunmuş ve dikilmiş kumaşlar (Şekil 2.4). Dokunmuş kumaşlar yaklaşık elli yıldan beri kompozit endüstrisinde kullanılmaktadır. Dokunmuş kumaşlar sıkı örülmüş cam elyafından bir plaka oluşturur. Cam fitillerinin bükümsüz olarak dokunmasıyla veya bobin üzerine sarılmadan önce tekstil bağlayıcı ve devamlı cam elyafın bükümlü hale getirilmesi ile elde edilen tekstil ipliklerinin dokunması ile elde edilen ürünlerdir. Cam lifleri kalıp üzerine yerleştirildikten sonra veya önce de reçine emdirilebilir. Dokunmuş kumaşlar dokuma tipine göre farklı isimlerde tanımlanabilir. Genellikle bir kumaşın mekanik özellikleri, dokuma tarzından büyük ölçüde etkilenmektedir. Örneğin düz dokuma kumaşlar çok sayıda atkı ve çözgüye sahip olup düşük mekanik özelliklere sahiptir. Dikilmiş kumaşlar ise takviye ürünleri alanına yeni katılan bir üründür. Bu kumaşlar “dokunmamış” olarak da bilinir. Farklı yönlerdeki elyaf kumaşları takviye performanslarına katkıda bulunmayan çok ince polyester iplikle dikilerek birleştirilir. Bu tür kumaşlar, eşit ağırlıktaki dokunmuş kumaşlarla karşılaştırıldığında daha yüksek performans ve mekanik değerlere sahiptir.[1,3]



Şekil 2.4 Dokuma ve dikilmiş kumaş

Tablo 2.2’de bilinen bazı cam elyaf ve reçinelerin mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.2: Cam Elyaf ve Reçineye ait bazı özellikler

MALZEME	YOĞUNLUK gr/cm³	ÇEKME MUKAVEMETİ Mpa	ÇEKME MODÜLÜ Gpa	GERİNİM %
Ortoftalik Polyester	1,23	48,3	4,07	1
İsoftalik Polyester	1,21	71,1	3,90	2
Vinilester	1,12	76-83	3,38	4-5
Epoksi	1,20	48-76	3,66	5-6
“E” Cam Elyaf (Dokuma)	2,60	3450	72,45	4.8
“S” Cam Elyaf	2,49	4589	86,94	5.7

3. CAM ELYAF TAKVİYELİ PLASTİKLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

3.1 El Yatırma Yöntemi

3.1.1 Giriş

Bir basınç uygulaması olmadan reçinenin takviye elyaflara yedirilmesi ile altındaki kalıbın şeklinin verilmesi işlemidir. Bu işlem birkaç aşamada yapılır. Bunlar;

- Uygun malzemelerin seçilmesi (Reçinenin cinsi, cam elyaf gramajı ve çeşidi)
- Gerekli miktarların hesaplanması
- Kalıbın hazırlanması
- Jelkot uygulaması (gerekli ise)
- Elyaf üzerine yeterli reçinenin sürülmesi
- Kalıptaki laminasyonun kürleşmesi için uygun koşullarda bırakılması[1]

3.1.2 Kalıp hazırlığı

Kalıp yüzeyinde çizik, toz ya da yağ türü bulunmamalıdır. Eğer kalıp daha önce de kullanılmışsa üzerindeki kalıp ayırıcı kalıntılardan da arındırılmalıdır. İlk olarak tavsiye edilen uygulama altı saat arayla üç kez kalıbı cilalamaktır (Şekil 3.1), daha sonra da kalıp ayırıcı uygulamasına geçilir (Şekil 3.2). Bundan sonraki uygulamada ise, kalıbı bir kere cilalamak yeterlidir.[9]

Kalıp ayırıcı uygun miktarda (üreticinin temin edeceği kullanma kılavuzuna uyarak) püskürtme tabancası ya da fırça ile kalıp yüzeyine uygulanır. Kalıp ayırıcı sürme işlemi bittikten sonra kullanma kılavuzundaki bekleme süresine bağlı kalınarak

kurumaya bırakılmalıdır. Aksi takdirde gerektiği gibi bir yüzey oluşmaz ve ürün kalıba yapışır. [9]



Şekil 3.1: Kalıbın Cilalanması



Şekil 3.2: Kalıp ayırıcının uygulanması

3.1.3 Çalışma şartları

İdeal olarak ortam sıcaklığı en az 10 °C olmalıdır. Eğer sıcaklık bu değerlerin altındaysa, katalizör veya sertleştirici oranı % 4 e çıkarılmalı veya kış için kullanılan katkı maddesi eklenmelidir. Eğer sıcaklık 5 °C veya altındaysa en iyisi laminasyona ortam şartları iyileşince başlamaktır. Kışlık katkı maddeleri ürünün jelleşmesini ve soğuk havada reaksiyona girmesini kolaylaştırabilir ancak hiçbir zaman ürünün tam olarak kürleştiğinin garantisi olamaz. [9]

En önemli etken ise havanın yeteri kadar kuru olması gerekir. Hiçbir zaman laminasyon işini nemli ortamlarda yapmamak gerekir. Havadaki nemden dolayı bulunan su zerrecikleri reçinenin tam olarak görevini yapmasını engeller. Bu durum kimyasal katkılarla bile iyileştirilemez. [9]

3.1.4 Jelkot

Reçine bazlı bu malzeme ürünün kalıptan istenilen renkte çıkmasını sağlar. Böylece kalıplama işleminden sonra ürün hazır olur. Bunun için özel jelkot reçinesi kullanılmalıdır. Eğer renksiz bir ürün elde edilmek isteniyorsa sadece bu reçine kalıba sürülür. Ancak renkli bir ürün isteniyorsa reçine uygun renk pigmentiyle hava kabarcıklarını önleyecek şekilde karıştırılır. Eklenen pigmentler reçineye iyice karıştırılmalıdır. Reçine katalizör kullanarak aktif hale getirdikten sonra geniş ve yumuşak bir fırça ile jelkot kalıp üzerine tek yönde birer kat şeklinde sürülmelidir. Bu şekilde jelkot hep tek yönde sürülmeli, fırça aynı anda hem ileri hem de geri yönde kullanılmamalıdır. Yatay yüzeylerde jelkot yüzey üzerine dökülerek fırça ile dağıtılabilir. Sonuç olarak ulaşılmaması gereken kalınlık 0.25 ile 0.5 mm arasında olmalıdır. Eğer koyun yününden yapılmış bir fırça var ise bu kalınlığa tek katta ulaşılabilir. İlk kat atıldıktan sonra ikinci kata geçilmeden önce alttaki jelkotun jelleşmesi ya da dokunulduğunda yapışkanlık özelliğini kaybetmesi gereklidir. (Bu dokunma testi ürünün kullanılmayacak kısmında yapılmalıdır, aksi takdirde jelkot jelleşmemişse ürün üzerinde parmak izi çıkabilir.). Bundan sonraki işlemlere de geçmeden jelkotun jelleştiğinden emin olunması gerekir. [9]



Şekil 3.3: Jelkot reçinesinin sürülmesi

3.1.5 Reçinenin hazırlanması

Genelde reçine üreticiden alındığında içinde hızlandırıcı bulunur. Fakat olmadığı durumlarda ilk önce üretici firmaların tavsiye ettiği oranda hızlandırıcı reçineye karıştırılır. Bazı durumlarda reçine içine, pigment ya da macun şeklinde kullanılacaksa bu amaç için kullanılan katkı maddelerinin eklenmesi gerekir. Bu

malzemeler reçineye katıldıktan sonra çok iyi karıştırılmalı ve reçine havadan arındırılmalıdır. Bu işlem sonrasında da reçine kabının çalkalanmaması gerekir. Çünkü hava kabarcıkları tekrar reçineye girebilir. Eğer gerekliyse, reçine kabı bir süre durgun olarak bekletilerek hava kabarcıklarından arındırılabilir.

Katalizör (sertleştirici), reçine sürülmeye hazır hale geldikten sonra eklenmelidir. Çünkü eklendikten sonra reçinenin sınırlı bir raf ömrü kalır. Katalizörün katılma oranı çok kritik değildir, genelde ağırlık olarak %3 oran yeterlidir fakat bundan önce üreticinin tavsiye ettiği oranı kullanmak gerekir. Bu oran, hızlı bir jelleşme zamanı isteniyorsa ya da laminasyon yapılan ortamda ısı düşük ise %4'e çıkarılabilir ya da jelleşme zamanı uzatılmak isteniyor veya ortam sıcak ise oran %2'lere düşürülebilir. Eğer ısı çok düşük ise özel katalizör ya da kış katkısı kullanılmalı ve oranları içinde üretici firmaya danışılmalıdır. [9]



Şekil 3.4: Laminasyon reçinesi kalıba bolca sürülür

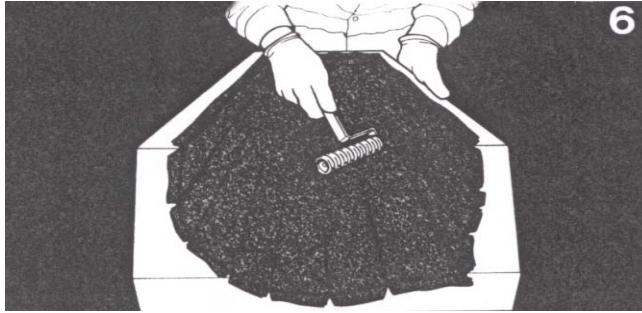
3.1.6 Çalışma prosedürü

Jelkot jelleştikten sonra kullanılmak üzere, gerekli miktarda reçine ve reçine sertleştiricisi karıştırılır. Dolgu ya da macun malzemeleri el yatırması yapılacak reçineye katılmamalıdır. Bir kat reçine jelleşmiş jelkot üzerine sürülür (Şekil 3.4), daha sonra bunun üzerindeki yüzeye uygun kesilmiş cam elyaf yatırılır (Şekil 3.5). Sert fırça ile yatırılmış cam elyaf üzerine, nokta vuruş hareketleri yapılarak elyafın reçineyi emmesi sağlanır. Aksi halde fırça süpürme hareketi ile reçine dağıtılsa özellikle mat kullanılan durumlarda elyaf dağılabilir. Daha sonra rulo kullanılarak elyafın reçineyi iyice emmesi sağlanır (Şekil 3.6). Burada dikkate alınması gereken iki önemli konu vardır :

- Bütün elyafın reçineyi emdiğinden emin olunmalıdır. Bu, durum elyaf üzerindeki beyazımsı rengin şeffafa dönmesi ile anlaşılır. Dolayısıyla laminasyon üzerinde beyazımsı bir renk kalmamalıdır.
- Elyaf reçine içine iyice bastırılmış olmalıdır. Laminasyon içinde hiç hava kalmamalıdır. Aksi halde hava kalan bölümlerde laminasyon zayıflık gösterir. [9]



Şekil 3.5: Elyafın ilk katı ıslak kalıp yüzeyine yatırılır



Şekil 3.6: Elyaf rulo ile reçineye yedirilir böylece laminasyon içindeki hava kabarcıkları da çıkarılmış olur

Cam elyafın kıvrımlı yüzeylere yatırılması pek problem yaratmaz ancak sert köşeleri olan kalıplarda elyafın istenilen şekilde yatmaması halinde elyaflar şerit halinde kesilip yatırılabilir. [9]

Elyaf birleşimleri ile ilgili fikirler farklıdır. En güvenli birleşimi elde etmek için, yanyana gelecek iki elyaf kumaşından biri, diğerinin üzerine 35-50 mm arasında bindirilmelidir. Sonra bu birleşim yeri üzerinde çalışıp üniform bir yüzey elde edilmelidir. Buna bağlı olarak elyaf kumaşları yan yana da yatırılabilir. Böylece daha düzenli bir yüzey elde edilir, fakat bu biraz riskli bir yöntemdir. Kumaşın birleşim çizgisinde incelmeler meydana gelebilir ve laminasyonun mukavemeti düşer çünkü, bu durumda cam elyafa oranla daha fazla reçine miktarı mevcuttur. Bu yöntemde riski azaltmanın en iyi yolu birleşim yerlerinin rastgele getirilmesi ve birbirlerinin üzerine gelmemesinin sağlanmasıdır. [9]

İlk kat cam elyaf kumaşını kullandıktan sonra diğer katı atmak için reçinenin jelleşmesini beklemeye gerek yoktur, hatta katları reçine ıslakken atmak daha iyidir. Sonuçta oluşan laminasyonun daha homojen olması sağlanır. [9]

Buna karşılık bazı istisnalara da dikkat etmek gerekir. Örneğin üst üste fazla elyaf kullanılan durumlarda malzeme özelliğine bağlı olarak yaklaşık 5-7mm'ye ulaşacak laminasyona izin vardır. Aksi takdirde ortaya ekzotermik bir reaksiyon çıktığından ürün aşırı ısınır ve bu da istenmeyen sonuçlara yol açar. Bu gibi kalın laminasyonlarda beklenip ilk katların jelleşmesi ya da kürleşmesinden sonra tekrar işe başlanabilir. Buradaki en önemli unsurlardan biri de laminasyona başlamadan önce jelleşmiş yada sertleşmiş laminasyon yüzeyinde hazırlık yapılmasıdır. [9]

Laminasyonun kuvvetini arttırmak için ekstradan eklenecek mukavemet elemanlarının da aynı düşünce göz önüne alınarak ürünün üzerine bağlanması sağlanmalıdır. Bu nedenle, ürünün sertleşmesi beklenmeli daha sonra bu elemanların üretilmesi veya bağlanması gerekir. Bu şekilde kalıp içindeki ürünün çarpılma ihtimali ortadan kalkar. [9]

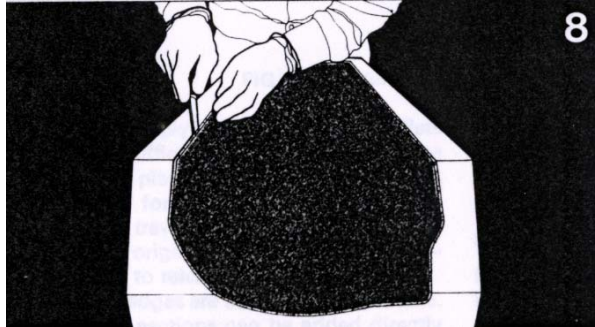


Şekil 3.7: Laminasyon bittikten sonra kenarlara taşmış reçine hala jelleşmemişken keskin bir bıçak ile alınabilir

3.1.7 Ürünün kalıptan çıkarılması

Kürlenmeden kalıptan çıkarılan üründe çarpılmalar meydana geleceğinden ürün, kalıptan çıkarılmadan önce yeterince beklenmelidir. Kritik olmayan laminasyonlarda bile en kötü 24 saat beklenmelidir ve ürünün önemine göre bu süre iki katına kadar çıkarılabilir. [9]

Ürünün kalıptan çıkarılması işleminde ise kalıp ayırıcımız ne kadar iyi kullanılmış olursa olsun, ürün kalıptan çok kolay bir şekilde çıkmaz. Genelde ürün, kenarlarından ucu sivri bir malzeme ile kanırtılır (Şekil 3.8). Fakat bu işlemi yaparken çok özenli davranılmalı, ürün ve kalıp yüzeylerine zarar verilmemelidir. Bunun için kama veya benzeri sivri uçlu bir alet ürün ile kalıp arasına sokulup bütün kenarların açılması sağlanır ve bu esnada ürün yavaş yavaş kalıptan kurtulur. Bazen ayırmak için kullanılan aleti tüm kenar boyunca gezdirmek gerekirken kalıp şekline bağlı olarak birkaç harekette de ürün kalıptan ayrılabilir. Bununla birlikte, ürünün kalıba tamamen yapışmış olma olasılığı da söz konusudur. Bu durumda ayırmak için kalıba ve ürüne en az hasarı verecek şekilde çalışma yapılmalıdır. Durum daha kötü ise şartlar gözden geçirilip ürün ya da kalıptan birini feda etmek gerekir. [9]



Şekil 3.8: Ürün kürleştikten sonra kama ile kalıp kenarında kanırtılarak kalıptan ayrılması sağlanır

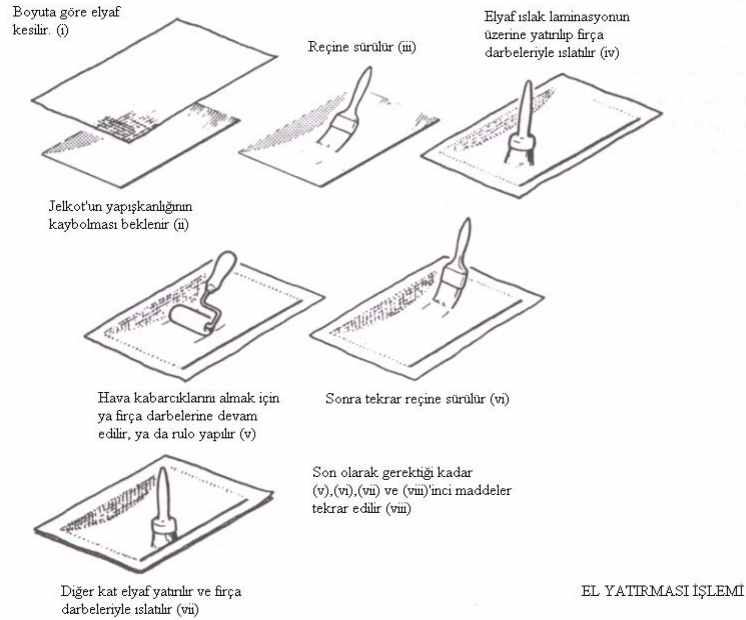
Ürün çıkarıldıktan sonra kürlenip kürlenmediğini basit bir test ile kontrol edebiliriz. Madeni bir parayı çıkan ürünün üzerine hafifçe vurduğumuzda çıkan ses yankılanıyorsa, ürün kürlenmiştir. Ancak düzgün bir ses çıkmıyorsa mümkünse tekrar kalıbın içine konulup çarpılmadan kürlenmesi sağlanmalıdır. Aksi takdirde dışarıda kürlenirse, üründe çarpılmalar meydana gelecektir. Bilimsel bir yöntemle ürünün kürleştiğini anlamak için barkol aletini kullanmamız gerekir. Basit olarak

buradan aldığımız değer karşılaştırma için kullanılır. Burada tam olarak kürlenmiş bir ürünün barkol sertlik değeri karşılaştırma için kullanılır. Bu değer altındaki her durum o ürünün ne kadar az kürlendiğini gösterir. Kürleşme sertliği aynı zamanda kullanılan reçinenin cinsine göre de değişir. Örneğin 934/1 tipindeki barkol aletini testlerde kullandığımızda, tamamıyla kürlenmiş bir polyester reçineli kompozit malzemenin sertlik değeri 80 ile 90 arasında değişmektedir. Buna göre, bu değerlerin hemen hemen yarısına veya bunun altına düşen değerler için ürünün kürlenmediğini söyleyebiliriz. [9]



Şekil 3.9: Ürün kalıptan çıkarılır

Şekil 3.10'da el yatırması yöntemindeki aşamaların bir arada gösterildiği şematik resim verilmiştir.



Şekil 3.10: El yatırma işlemi

3.2 Vakumlama Yöntemi

3.2.1 Vakumla sıkıştırma nedir?

Vakumla sıkıştırma yöntemi, atmosferik basıncı kullanarak lamine edilmiş parçanın kürleşene kadar basınç altında sıkıştırılmasıdır. Artık modern oda sıcaklığında kürleşebilen reçinelerin üretilmesiyle, bu yöntem eskisi gibi pahalı ve karışık ekipmanlara gerek duymadığından, ortalama bir laminasyon atölyesinde bile kullanılmaktadır. Vakumla sıkıştırma yönteminde her türlü elyaf, reçine ve köpük kombinasyonundan oluşan malzemelerle kompozit ürünler elde edilebilir.[2]

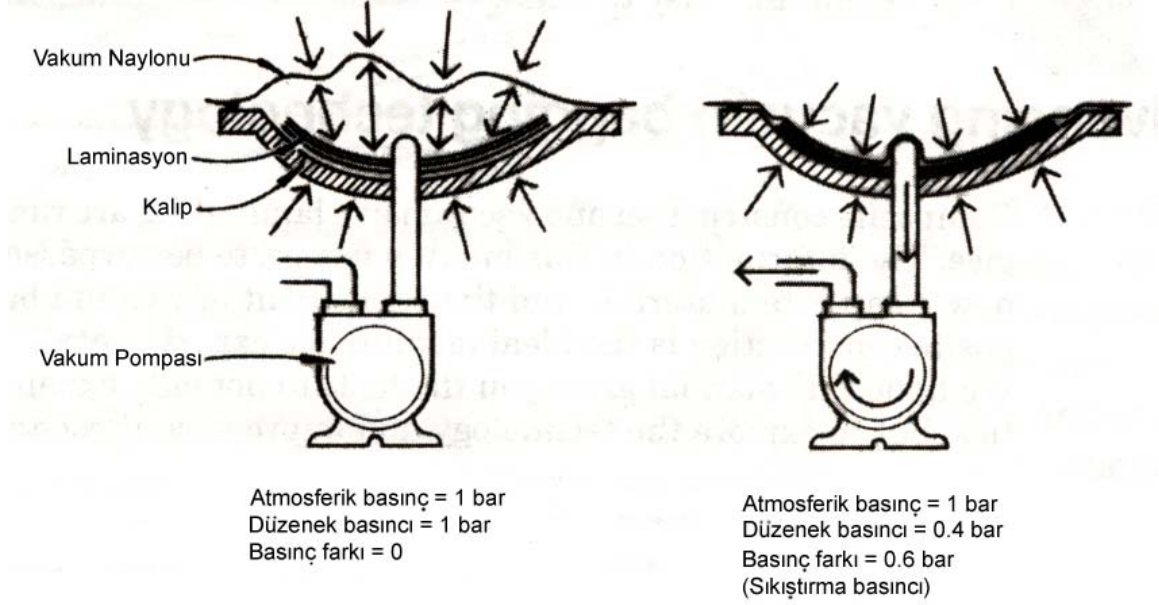
3.2.1.1 Teori

Vakum yönteminde laminasyonu sıkıştırmak için atmosferik basınçtan yararlanılır. Yapılan laminasyon hava geçirmez bir düzenek içinde tutulur. Bu düzenek genelde bir tarafı kalıp yüzeyi diğer tarafı ise hava geçirmez naylon kaplamadan oluşur (Şekil 3.11). Naylon, kalıbın üzerine yapıştırılarak içerisindeki ortamın hava geçirmezliği sağlanır. Bu anda düzeneğin içindeki ve dışındaki hava basıncı birbirine eşittir. Sonra vakum pompası çalıştırılarak düzenek içindeki hava çekilir ve ortamın vakum altında kalması sağlanır. Ortamdaki hava basıncı düştüğünden, düzenek yüzeyinde dışarıdaki atmosferik basınçtan dolayı bir baskı oluşur. Düzenek içindeki ve dışındaki basınç değerlerinin farkı ise laminasyon yüzeyine uygulanan baskı kuvvetini tayin eder. Teorik olarak ortamda yaratılabilecek maksimum basınç 1 atm dir. Bu da düzenek içindeki tüm havanın alınması ile sağlanır. Fakat gerçekçi olarak baktığımızda basınç farkı yaklaşık olarak 0,4-0,8 bar'dır. [2]

3.2.1.2 Vakum yönteminin avantajları

Vakumla sıkıştırma yönteminin diğer sıkıştırma mantığına dayanan yöntemlere göre avantajları vardır. Mekanik sıkıştırma yöntemlerinde, baskı homojen olarak dağılmaz ve kırılabilir ara malzemenin zarar görmesine neden olabilir ya da bazı bölgelerde yeterince basınç sağlanamadığından buralarda yeterli bağlanma meydana gelmez.

Sıkıştırılmış ortamda en fazla basınç, mekanik sıkıştırma aparatlarının olduğu bölgelere denk gelmektedir. Bu da bazen ürün bozulmasın diye bu noktalara daha fazla takviye koymayı gerektirir. [2]



Şekil 3.11: Vakumlama yöntemi prensibi

Vakumla sıkıştırma yönteminde ise düzgün olarak dağılmış ve içindeki ürünlerin özelliklerine bağlı olmayan bir baskı kuvveti sağlanır. Bu özelliği sayesinde vakum yöntemini çok geniş ürün yelpazesinde kullanarak iyi bir bağ sağlanır. Vakumun oluşturduğu aynı baskı ile laminasyon daha ince ve hava boşluğu olmayan bir ürün elde edilir. Atmosferik basıncın kesintisiz olması sayesinde de reçinenin sızmaya çalıştığı bağlantı noktalarına bile basınç uygulanır. [2]

Vakumla sıkıştırma aynı zamanda ortamdaki fazla reçineyi de kontrol ederek, yüksek elyaf-reçine oranı sağlar. Bu da yüksek mukavemet/ağırlık oranı ve üreticiye düşük maliyet demektir. [2]

Bir başka önemli avantajı ise vakumla sıkıştırma yönteminin basitliği ve çok çeşitli kalıplarda kullanılabilmesidir. Unutulmamalıdır ki, atmosfer sadece ürün yüzeyine baskı yapmamaktadır, aynı zamanda ürünün bütününe baskı yapıp alt tarafında kalıbın baskısına maruz kalmasını sağlamaktadır. Atmosferik basınç ürün üzerinde eşit bir şekilde baskı uyguladığından, altta bulunan kalıbın sadece ürün yüzeyinin

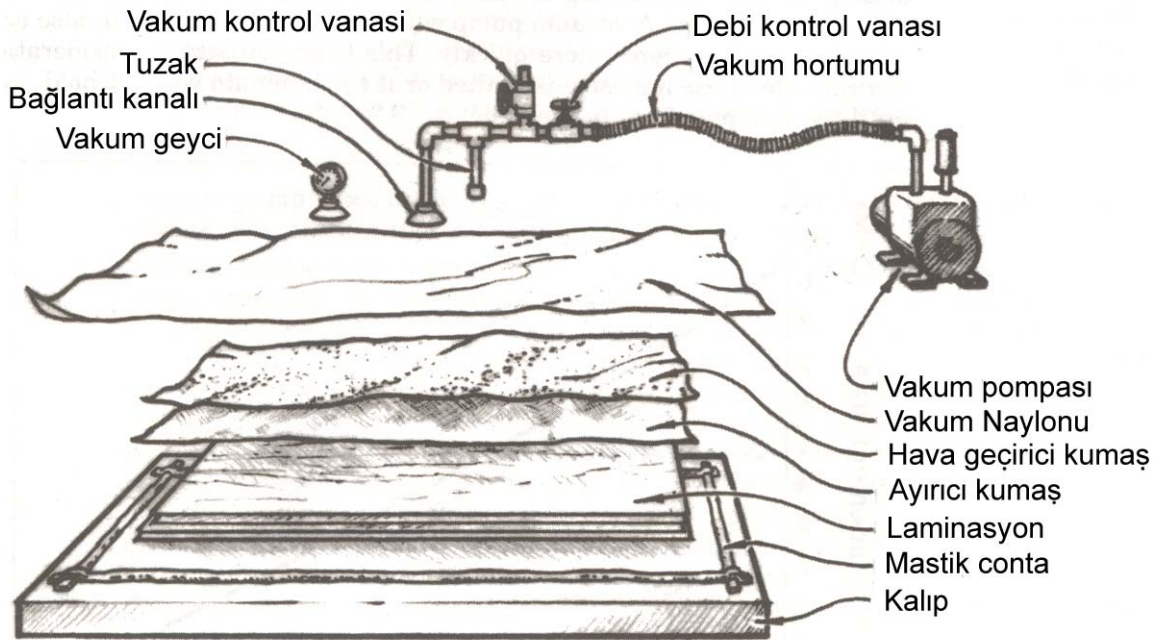
bastığı yerin ürün kürleşene kadar basınca karşı koyabilecek güçte olması gerekir. Bu da diğer yöntemlerdeki gibi ekstra takviyeler gerektirmez. [2]

3.2.2 Vakumla sıkıştırma yönteminde kullanılan ekipmanlar

Vakumla sıkıştırma yönteminde kullanılan ekipmanlar (Şekil 3.12), hava geçirmez düzenekler ve düzeneğin içinden havayı vakumlayacak sistemler olarak ikiye ayrılır. Bu bölümde bu yöntemin ekipmanlarını inceleyeceğiz. Bunlardan bazıları özel malzemeler bazıları ise genel olarak kullanılan malzemelerdir. [2]

3.2.2.1 Vakum pompaları

Bu yöntemin kalbi vakum pompalarıdır. Vakum pompası mekanik olarak hava kompresörleri ile benzerlik gösterir, fakat çalışma yönü terstir. Böylece havanın ortamdan emilmesi sağlanır ve atmosfere verilir. Vakum pompaları, vakum basınç değerlerine, debisine veya gücüne göre sınıflandırılırlar. [2]



Şekil 3.12: Vakum sistemi ekipmanları

3.2.2.1.1 Vakum basıncı

Tavsiye edilen vakum gücü en fazla olan pompayı kullanmaktır. Bu vakum seviyesi, olabilecek en büyük sıkıştırma basıncını oluşturmalıdır. Örneğin 1 m² lik bir laminasyon için 0,7 bar'lık vakum uygulamasında 70 kPa lık bir basınç ortaya çıkacaktır. Bu da tüm laminasyon üzerinde 7138 kg lık bir kuvvet uygulandığı anlamına gelir. Aynı basınçla 3 m² bir alanda vakum yaparsak bu kuvvet bu sefer 21414 kg lık değere ulaşır. [2]

3.2.2.1.2 Debi

Pompa seçiminde pompanın birim zamanda taşıyacağı hava hacminin de (genelde Litre/dak. ile ölçülür) önemi vardır. Eğer vakum sisteminde naylon, kalıp, bağlantılar ve tesisat hava geçirmez ise vakumda olabilecek maksimum değere ulaşılabilir. Ancak mükemmel bir vakum sistemi yaratmak, özellikle karmaşık şekilli ve büyük bir sistem için neredeyse imkansızdır. Bu nedenle pompanın debisi arttıkça, istenilen ideal vakum koşullarına yaklaşılar ve ufak tefek kaçaklara rağmen istenilen vakum değerlerine ulaşır gerekli baskı kuvveti oluşturulur. Aynı zamanda debisi yüksek bir pompa ile istenilen vakum değerine daha hızlı ulaşılır. Bu da kullanılan reçinenin kullanım zamanlarını tutturabilmek için önemli bir kriterdir. [2]

3.2.2.1.3 Beygir gücü ve performans

Bir pompanın beygir gücü gereksinimi, o pompanın yapılacak vakum işlemine göre ve ne kadar faydalı olması gerektiğine göre bulunur. Pompa seçerken beygir gücü yerine maksimum vakum değeri ile debi değeri ön planda tutulur. Belli başlı ufak işler için sadece maksimum vakum değeri ya da debi değeri belirleyici olabilir. Bu zamanlarda küçük güçlü pompalar tercih edilir. Ancak genelde hem yüksek vakum hem de debi özelliği istendiğinde, seçilecek pompanın gücü de artar. Örneğin bir tekne atölyesinde vakum sistemi için kullanılan pompalar ¼ ile 2 bg arasındadır. [2]

3.2.2.1.4 Pompa seçimi

Kalıbın şekli ve boyutu, yapılan laminasyonun şekli ve miktarı, minimum pompa değerlerini belirler. Eğer ince ve düz paneller imal ediliyorsa, 0,14-0,2 bar arası vakum değeri sağlayacak bir pompa seçilebilir. Eğer üretilen panel 0,1 m² civarında ise 30-60 litre/dak. lık bir pompa yeterli olacaktır. Panel alanı arttıkça, debi değeri de aynı oranda artacaktır. Örneğin 100 lt/dak. lık bir pompa 5m lik bir panel için yeterli olacaktır. Daha büyük işler içinse 250-300 lt/dak.lık pompalar gereklidir. Sistemde hava kaçakları iyi izole edilemez ise istenilen vakumu sağlamak için daha kapasiteli bir pompaya ihtiyaç duyulur. Buna göre ne kadar hava geçirmez bir sistem kurulursa, pompa o kadar küçük seçilebilir. [2]

Eğer karışık şekilli bir kalıpta daha fazla baskı basıncına ihtiyaç duyuluyorsa maksimum vakum değerli pompa seçilebilir. Kıvrımlı ya da çok parçalı kalıplarda ve kalın laminasyonun yapıldığı durumlarda, 0,7 ile 0,95 bar civarlarında vakum değerlerine sahip pompa yeterli baskı basıncına erişecektir. Eğer üretilen parçalar 0,1m² lerde sınırlı kalıyorsa, yüksek basınç değerli 30-60 litre/dak. lık bir pompa yeterlidir tabii kurulan sistem iyi izole edilmiş ise. Buna rağmen geniş bir panel veya bir teknenin vakumu için 280-300 litre/dak. lık pompalarla istenilen baskı kuvveti yaratılabilir ve elyaf katlarının reçine ile daha iyi yapışma yüzeyi sağlanır. Genel olarak belirli bir vakumlama operasyonunda en iyi pompayı seçmek için, makul güçlerde çalışan bir pompanın yeterli vakum değerlerine bakılmalı veya baskı kuvvetine ulaşması için en yüksek debili olanı seçilmelidir. [2]

3.2.2.1.5 Pompa çeşitleri

Vakum pompaları piston, rotary vane, türbin, diyafram ve venturi prensibiyle çalışır. Bunlar pozitif ya da pozitif olmayan deplasmanlı pompalar olabilir. [2]

Pozitif deplasmanlı vakum pompaları yağlamalı veya yağlamasız olabilir. Yağlamalı pompalar yüksek vakum basınçlarında çalışabilir, daha verimlidir ve ömürleri yağsızlara göre daha uzundur. Buna rağmen yağsız pompalar daha temizdir, az bakım ve takip gerektirir ve belirli değerlere kadar sistemi kolayca vakum altına alır.

Pozitif deplasmanlı pompa çeşitlerinden bazı tipleri vakum yöntemi için yararlıdır, bunlar piston tip ve rotary vane tipli pompalardır, piston tipli pompalar rotary vane lere göre daha yüksek vakum değerlerine çıkarlar, yalnız bu beraberinde gürültü ve titreşimi de getirir. Rotary vane pompaları piston tipli pompalara göre daha az vakum yapabilir, fakat piston tipli pompalara göre birkaç avantajı bulunmaktadır. Bunların vakum değerleri birçok vakum işlemine uygun sonuçlar verir, aynı zamanda daha fazla havanın düzenekten dışarı verilmesi sağlanır. Diğer bir deyişle düzenekten hava daha çabuk bir şekilde çıkarılır ve bir çok kaçağı tolere etmiş olarak sistemin istenilen vakum değerlerinde kalması sağlanır. Rotary vane pompalarına ek olarak daha yumuşak çalışmaları, daha az güce ihtiyaç duymaları ve daha ucuz olmaları gösterilebilir. [2]

Pozitif olmayan deplasman pompaları yüksek debilere sahiptir, fakat birçok vakumlama işlemi için vakum basınç değerleri düşüktür. Elektrik süpürgesi pozitif olmayan pompa tiplerine örnektir. [2]

Havayla çalışan vakum jeneratörleri basit ve ucuzdur. Venturi ekipmanları hava kompresörlerinin sağladığı hava sayesinde vakum yaratırlar. Taşınabilir olmaları, ucuz olmaları ve kompresörlerin birçok atölyede olması sebebiyle birçok küçük ölçekli vakum işlemleri için idealdir. Tek kademeli jeneratörlerin yüksek vakum değerleri vardır fakat düşük debide çalışarak vakumlama işleminin boyularını sınırlarlar. Örneğin West Systems firmasına ait bir venturi vakum jeneratörü 30 litre/dak. debide 0.7 bar.lık vakum üretir. Bunlar bir atölyede bulunabilen en azından 60litre/dak. lık debi de 4.2 bar.lık basınç üreten hava kompresörlerinde rahatlıkla çalışır. İki kademeli jeneratörler ise pompalarla kıyaslanabilecek ölçülerde vakum üretebilirler fakat bunların sistemini kurmak için daha büyük hava kompresörlerine ihtiyaç duyulur. [2]

Küçük çaplı imalatlarda süt sağma makinaları veya elektrik süpürgeleri bile kullanılabilir. Eğer kullanılmış bir pompa ile işlem yapılmak isteniyorsa da pompanın debi ve basınç değerleri vakum işleminin ne çapta yapılabileceği hakkında bir fikir verir. Unutulmamalıdırki önemli olan pompanın reçine kürleşene kadar

istenilen vakum değerlerini sağlamasıdır ki bu işlem kullanılan sertleştirici ve ortam sıcaklığına bağlı olarak 8 ile 12 saat sűrer. [2]

3.2.2.2 Vakum ekipmanları

Vakum sistemini oluşturmak ve sisteme yardımcı olmak için çeşitli malzemeler kullanılır. Bunlar;

3.2.2.2.1 Ayırıcı kumaş (Release fabric)

Bu kumař reçineye yapıřmadıęı için, laminasyon ile kumařın űzerinde bulunan ve sistemin havasının emilmesinde kolaylık saęlayan hava alıcı kumařın yapıřmasını önler. Fazla reçine bu kumařın űzerine çıkar ve laminasyon kűrleřtikten sonra kumařla beraber laminasyonun űzerinden soyulur. Laminasyon yűzeyinden ayrıldıktan sonra tırtıklı bir tabaka bırakır bu da laminasyon űzerine yapılacak ekstra baęlamalar için yűzey hazırlıęı gerektirmez. Bu kumařın birçok çeřidi űretilmektedir. Piyasada bunlar pil play, ayırıcı film yada ayırıcı kumař olarak bilinir. Bunların çoęu yűksek sıcaklıklarda çalıřabilecek űekilde ya da űzerlerinden geçebilecek reçine miktarını kontrol edebilecek űekilde imal edilirler. Yűksek basınçlı vakum sisteminin kullanıldıęı yavař kűrleřen reçine sistemlerinde ya da ince laminasyonlarda delikli plastik film ayırıcı kumař ile birlikte kullanılabilir bu film reçinenin laminasyon içinde tutulmasını saęlar. [2]

3.2.2.2.2 Hava geçirici kumaş (Breather material)

Hava geçirici kumař (breather, bleeder) havanın dűzeneęin içinden kollektöre toplanmasını saęlayıp aynı zamanda laminasyonla vakum naylonu arasında ince bir hava tabakası kalmasını saęlar. Kumař hava geçiřini saęlarken fazla reçinenin emilmesini de saęlar. Sineklik, uval bezi, cam elyafı ve yűzme havuzlarındaki kaymaz rtűler de kullanılabilir. [2]

3.2.2.2.3 Vakum naylonu

Vakum naylonu hemen hemen her zaman laminasyonun bir yüzeyinin etrafına sarılarak sistemin hava izolasyonunu sağlar. Eğer oda sıcaklığında 0,3 bar'dan az vakum basıncı kullanılacaksa, 0,15mm kalınlığında polietilen plastiği vakum naylonu olarak kullanabiliriz. Şeffaf bir naylon opak bir naylonu göre tercih sebebidir, böylece laminasyonun kurlenip kurlenmediğinin kontrolü sağlanabilir. Daha yüksek vakum ve sıcaklık değerlerinde ise özel üretilmiş vakum naylonlarının kullanılması gerekir. Genelde iyi izolasyon macunu ve iyi bir naylon kullanıldığında daha küçük pompaya ihtiyaç duyulur. Gerektiği gibi yapılamayan izolasyonlar ya da hava kaçağına izin verilen malzemeler kullanıldığında, gerekli vakum basıncını elde etmek için daha yüksek kapasiteli pompalara ihtiyaç duyulacaktır. [2]

3.2.2.2.4 Mastik sızdırmaz macun

Vakum naylonu ile kalıp çevresindeki sızdırmazlığı sağlamak için, yapıştırıcı özelliğine sahip mastik izolasyon macunu kullanılır. Macunu aynı zamanda kollektörü düzeneğe bağlamak için ve düzenekte bir kaçak olduğu zaman kullanabiliriz. [2]

3.2.2.2.5 Tesisat

Vakum pompası ile düzenek arasında hava geçirmez bir tesisat sistemi kurulmalıdır. Bu sayede vakum pompası ile düzenek içindeki tüm hava emilerek düzenek içindeki hava basıncının düşürülmesi sağlanır. Basit bir sistem; hortum veya boru, kapan, ve tesisatın düzeneğe bağlanmasını sağlayan bağlantı kanalı ile oluşturulur. Çok yönlü bir sistemde ise kontrol vanası ve vakum klapesi ile düzenek içindeki vakum değerlerinin kontrol altında tutulması sağlanır. Büyük laminasyonlarda da sisteme birçok bağlantı yapılır yada bu bağlantılar bir kollektörde toplanıp tek bir pompaya akışı sağlanır. Vakum altında sıkışmaya dayanıklı ve sızdırmaz olan her türlü boru vakum tesisatında kullanılabilir. [2]

Vakum hortumu ise özellikle vakum altında çalışması için dizayn edilmiş özel bir hortumdur. Vakumlama üzerine malzemeler satan özel firmalarda bu hortumlar bağlantıları, pompaları vakum ekipmanları ile bulunabilir. Yüksek maliyetlerinden dolayı böyle bir sistemi ancak geniş ölçekli üretimlerde kullanmak mantıklıdır. Diğer laminasyonlarda ise telli hortumlar kullanılabilir, yalnız bunların ezilmeye karşı dayanıklı olması gereklidir ve kurluşme zamanına bağlı olarak vakum testinden geçirilmelidir. Yeterli kalınlığa sahip yarı rijid borularda tesisatta kullanılabilir, fakat bunlar çoğu zaman problem çıkarırlar. Eğer laminasyona ön-kurlenme uygulanacaksa, boru ya da hortumların sıcaklığa da dayanıklı olması gereklidir. Oda sıcaklığında dayanıklı gözükken plastik hortum ya da borular sıcaklık arttıkça yumuşayabilir ve vakum altında büzüşebilir. Rijid ¾” PVC ya da CPVC borular, dirsekleri, Te ‘leri ve vanaları ile ideal bir sistem oluşturulabilir. Bu malzemenin en büyük avantajı bütün mağazalarda bulunabilmesi, ucuz olması ve kolay işçiliğidir. Böyle bir sistem küçük ölçekli üretimler için idealdir. [2]

Bağlantı kanalı; Vakum düzeneğine tesisatın bağlanmasını sağlar. Piyasada bu iş için üretilmiş soketler mevcuttur ya da elimizdeki malzemeleri kullanarak da böyle bir parça imal edebiliriz. En basit soketlerden birisi de altı delik kupadır. Soket vakum düzeneğinde bir kesik açılarak üzerine yerleştirilir ve izolasyonu yapılır. [2]

Kontrol vanaları; Vakum hattını oluşturan tesisatın üzerinde emilen hava debisini kontrol etmek üzere debi kontrol vanası yerleştirilir. Debi kontrol vanası hatta hava geçişini kontrol etmek içindir, basınç için kullanılmaz. İkinci bir vana olan basınç ayar valfi ise düzeneğe bir Te ile bağlanarak sistemde kaçak yaratıp düzeneğin basınç değerini ayarlar. Bu valf genelde debi kontrol vanası ile düzenek arasına bağlanır. En uygun bağlantı şekli vanaların düzeneğe yakın bağlanmasıdır. [2]

Tuzak düzeneğe en yakın noktaya konulmalıdır. Tuzak vakum hattı tarafından çekilen fazlalık, reçinenin hatta birikmesini veya pompaya ulaşmasını önlemek amacıyla kullanılır. Bir Te bağlantısı ile tek tarafı körlenmiş bir borunun sisteme bağlanması ile sistemde tuzak oluşturulabilir. [2]

Vakum Geyci, vakum esnasında laminasyonun kürlenene kadar geçen zaman içinde sistemin vakum basıncın değerinin kontrol edilmesini sağlar. Genelde geyler 0-1 bar değeri okuyacak şekilde seçilir. Geycin üzerinden ölçülen negatif basınc, düzenek üzerine atmosfer tarafından uygulanan pozitif basınca eşittir. [2]

3.2.3 Vakum uygulamaları

Büyük ya da küçük ölçekli profesyonel, amatör veya hobi amaçlı üretimlerde kullanılabilecek pratik bir sıkıştırma yöntemidir. Tekne inşasında, rüzgar tünel kanatlarında, mobilyada, müzik enstrümanlarında, yarış arabaları parçalarında veya model imalatında vakum yöntemi, tercih edilebilir bir yöntemdir. [2]

Bu bölümde çeşitli vakumlama örnekleri anlatılacaktır. Bu  rnekler vakumlamanın temel prensiplerinin ortaya konmasını sağlayacaktır. Unutulmamalıdırki bu örneklerden yararlanarak kendi vakum ekipmanlarını, kalıplarını ve malzemelerini belirlememiz gerekir. Her durumda sonuç olarak aynı mantık uygulanacaktır. Eğer vakum yöntemine veya reçineye karşı tecrübeli değilseniz önerilen, küçük bir proje ile balayıp reçinenin ve vakumlamanın karakteristiklerini kefetmektir. Aynı zamanda prosedürlerin sırasını ve zamanlamasını da kefetmi oluruz. [2]

3.2.3.1 Dişi kalıpta laminasyon uygulaması

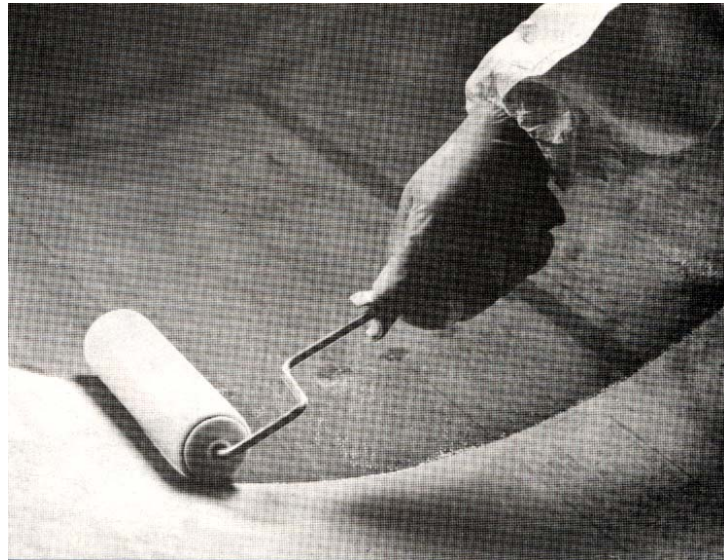
Vakumlama işlemi için ilk olarak dikkat edilecek husus, titiz bir hazırlık aşamasından geçer. Balamadan önce bütün ekipmanların çalıştığından emin olunması gereklidir. Özellikle de pompanın gerekirse yağlanıp çalışır duruma getirilmesi lazımdır. Lamine edilecek elyafı ilk olarak konulacağı yere uygun şekilde kesilmesi gerekir, daha sonra reçine ile ıslatılması ve kolayca kalıba yerleştirilmesi için uygun bir yere konur. Daha sonra naylon, hava geçirici kumaş ve ayırıcı kumaş kalıba uygun olarak kesilir ve katlanıp uygun bir yere konulur. Yüzeyi plastikle kaplanmış bir zemin oluşturulup burada laminasyon işleminin yapılabilmesi için uygun bir ortam sağlanır tercihen bu bölüm kalıba yakın olmalıdır. [2]

İşlemin bütün safhaları başlamadan önce tekrar gözden geçirilmelidir. Reçineyi kullanacak kişiler muhakkak koruyucu eldiven kullanmalıdır. Reçine, ona eklenen sertleştirici ve ortam sıcaklığına göre maksimum çalışma zamanı hesaplanmalıdır. Unutulmamalıdır ki bu çalışma zamanı dahilinde laminasyon yapılabilmektedir. Bu örnekte, yarı silindirik bir dişi kalıpta uygulama yapılacaktır. [2]

Üç kat araba vaks'ı kalıp yüzeyine sürülür, bu malzeme kalıbı üründen ayırmak için kullanılır. Vaks laminasyonla ayrılmasın diye son kat parlatılır. (Şekil 3.13) [2]



Şekil 3.13: Vakum 1. adım



Şekil 3.14: Vakum 2. adım

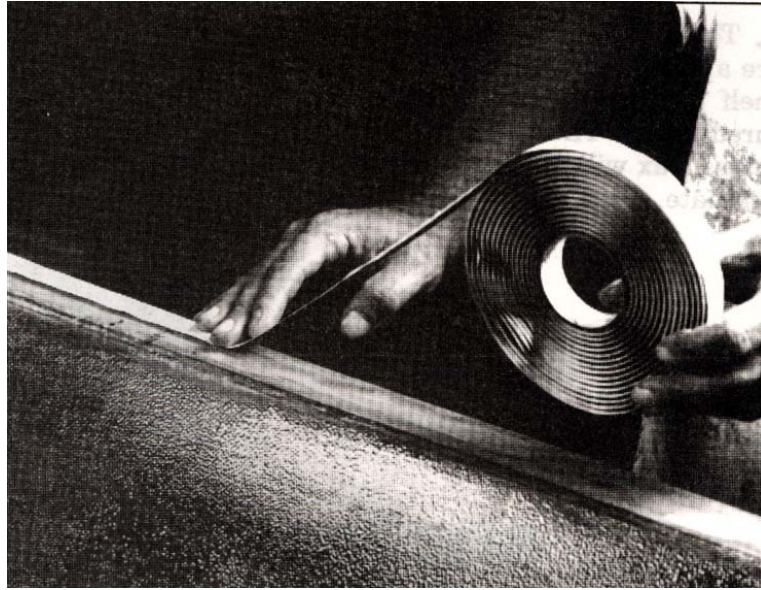
Eğer gerekli ise bir kat jelkot uygulanır ve kurlaşması beklenir. Jelkot üründe pürüzsüz bir yüzey bırakacak ve elyafın “print through” adı verilen izlerinin

gözükmesi önlenmiş olacaktır. Hava kalması muhtemel noktalar ise reçine macunu ile doldurulup kürleşmesi beklenmelidir. (Şekil 3.14) [2]



Şekil 3.15: Vakum 3. adım

Kürleşmiş jelkot yüzeyi su ile yıkanır ve zımpara ile yüzeyi temizlenir böylece reçineden dolayı oluşan “amine blush” da kaldırılmış olur. Sonra yüzey kağıt havlu ile kurulanır. Amine blush kalırsa jelkot ile ilk kat arasındaki bağlarda problem yaratabilir. Çıkıntılar ve yüzeyi bozuk kısımlar zımpara ile düzeltilmelidir ki laminasyon kalıp üzerine tamamıyla yatırılabilsin. (Şekil 3.15) [2]



Şekil 3.16: Vakum 4. adım

Mastik izolasyon bandı kalıp çevresine yapıştırılır. Mastiği yapıştırırken sıkı bir şekilde bastırıp yüzeye yapıştığından emin olunmalıdır ve sonlar birbirlerinin üzerine bindirilmeli böylece hiçbir kaçağa izin verilmemelidir. Laminasyon ile bant arasında makul bir uzaklık bırakılıp reçine ile temas etmesi önlenmelidir ve üzerinde kağıt koruyucu naylon sarılana kadar çıkarılmamalıdır. Reçine bulaşmış bir bant ile düzeneği kapatmak neredeyse imkansızdır. (Şekil 3.16) [2]



Şekil 3.17: Vakum 5. adım

Elyafın ilk katı kalıpta yerini alır. Bu örnekte elyafa kalıbın içinde reçine sürmek kolaydır. Fazla reçine kalıptan çekilmelidir böylece reçine birikintileri önlenmiş olur. İlk reçine karışımı hazırlandıktan sonra prosesin tüm süresi belirlenmiş olur. Bu reçine kürleşmeye başlamadan önce sıkıştırma vakumuna düzeneğin ulaşması gerekir. (Şekil 3.17) [2]

Son elyaf katı da kalıp üzerine serilir ve reçine sürülür. Yine fazla reçine ortamdaki çekilir. Laminasyon işlemi tamamlandıktan sonra eldivenler çıkarılmalıdır ki mastik banda veya naylona bulaşmasın. (Şekil 3.18) [2]

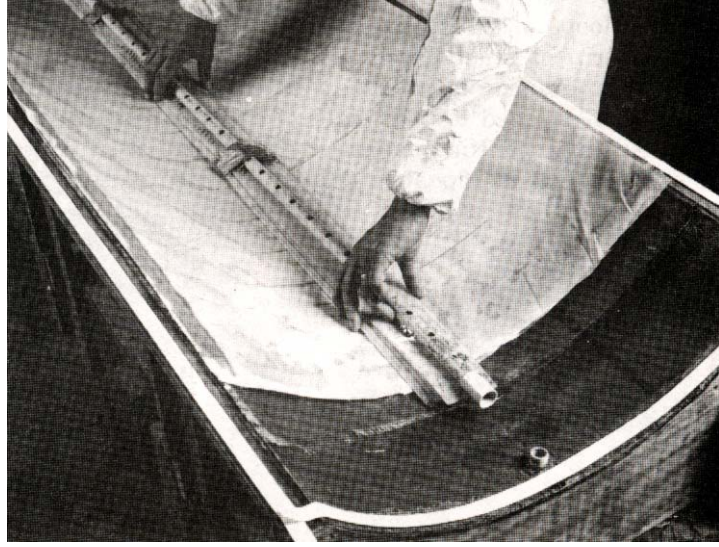


Şekil 3.18: Vakum 6. adım



Şekil 3.19: Vakum 7. adım

Ayırıcı kumaş laminasyon üzerine yerleştirilir. Bunun sayesinde işlem bitip ayırıcı kumaş kaldırıldığında laminasyonun işleme hazır bir yüzeyi olacaktır ve düzenekteki fazla epoksi de bu kumaş sayesinde dışarı akacaktır. (Şekil 3.19) [2]



Şekil 3.20: Vakum 8. adım

Eğer bir kollektör kullanılacaksa, ayrıcı kumaşın üzerine yerleştirilecektir. Kollektör laminasyonun tepesine yerleştirildikten sonra manifold altındaki plaka basıncın dağılmasını sağlayacak ve böylece laminasyonun üzerinde basınç düşmesine olanak vermeyecektir. Birçok işlemde kollektöre gerek duyulmaz . Hava geçirici kumaş kollektör gibi davranıp laminasyon üzerinde vakumsuz bölge bırakmaz. Bu kumaş aynı zamanda fazla reçineyi de emer. (Şekil 3.20) [2]



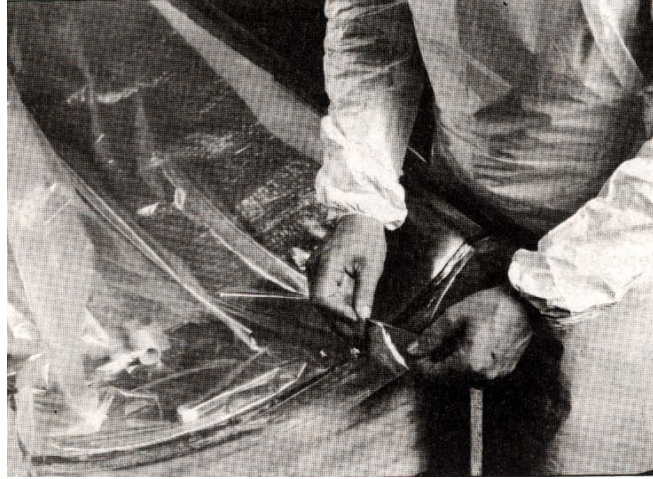
Şekil 3.21: Vakum 9. adım

Hava geçirici kumaş laminasyon ve kollektörün üzerine kaplanır. Burada resimde hava kabarcıklı kumaş türü kullanılmıştır. Kabarcıkların yanındaki boşluklar kollektöre doğru hava kanalcıkları oluşturur. (Şekil 3.21) [2]



Şekil 3.22: Vakum 10. adım

Vakum naylonu ile laminasyon kaplanır ve mastik banda yapıştırılır. Bu işleme köşeden başlanır ve mastik üzerindeki kağıt koruyucu sökülür. Bir yandan koruyucu sökülürken diğer yandan naylonda mastik üzerine bastırılarak yapıştırılır böylece naylonda kırışıklıkların oluşması önlenir. Naylon çevresi kalıp çevresinden fazla olduğu için düzenek tamamen izole edildikten sonra fazla naylon katlanmalıdır. Naylonu keserken kalıp yüzeyini dikkate almak gerekir derin bir kalıp söz konusu ise ona göre fazlalık bırakılmalıdır ki vakum verildiğinde naylon tüm yüzeylere basabilsin. (Şekil 3.22) [2]



Şekil 3.23: Vakum 11. adım

Fazlalık naylonlar mastik ile birbirlerine yapıştırılabilir. Böylece naylon çevresinde komple bir hava geçirmezliği sağlanmış olur. Bu prosedür kalıbın çevresindeki tüm naylona uygulanmalıdır. (Şekil 3.23) [2]



Şekil 3.24: Vakum 12. adım

Vakum hattı Naylona bağlanır. Bu örnekte kollektör kullanılmaktadır. Naylon üzerinde delik açılmak suretiyle kollektörün ucu yaklaşık 15mm çıkarılarak vakum hattına bağlanır. Ve daha sonra naylon etrafına mastik ile yapıştırılır. Eğer vakum kanalı kullanılacaksa bu laminasyonun hemen hemen ortasına konulmalıdır. Geniş parçalarda bazen birden çok kanal bağlantısı gerekebilir. (Şekil 3.24) [2]



Şekil 3.25: Vakum 13. adım

Vakum pompası çalıştırılıp vana açılır ve düzenekten hava çekilmeye başlanır. Eğer gerekirse vakum geçici olarak durdurulur ve naylon düzeltilir. Havanın tamamına yakını düzeneği terk ettiğinde, düzenek üzerinde kalıp kenarlarında ve kollektör bağlantısında hava kaçağı olup olmadığı kontrol edilir. Eğer kaçak var ise mastik bant ile izole edilir. (Şekil 3.25) [2]



Şekil 3.26: Vakum 14. adım

Düzenek üzerinde bir delik açılarak vakum geyci yerleştirilir. Hafif bir tıslama sesi ile vakumun geyçten hava çektiği anlaşılır. Geyç düzeneğin ortasına vakumun çekildiği hattın mümkün olduğunca uzağına konmalıdır. Kürleşme anına kadar vakum basıncı kontrol altında tutulmalıdır. Kürleşmeden emin olunduktan sonra vakum kapatılabilir. (Şekil 3.26) [2]

3.3 İnfüzyon Yöntemi

3.3.1 Giriş

Kompozit imalatında kullanılan RTM (Resin Transfer Moulding - Reçine Transfer Kalıplama) yönteminin bir alt kolu olan infüzyon yöntemi 1980'li yıllardan beri başta A.B.D. olmak üzere tüm dünyada, farklı sanayi dallarında uygulanmakta olan bir kompozit imalat yöntemidir. Vakumlanmış ortam içerisinde reçinenin ilerlemesi prensibiyle çalışan bu yöntemde, imalat hazırlıkları tamamlanmış ürünün el değmeden üretimi amaçlanmaktadır. İnfüzyon yönteminde kullanılan malzemeler, bir önceki vakumlama konusunda bahsi geçen malzeme ve ekipmanlarla aynıdır.

İnfüzyon yönteminin kullanılan diğer kompozit imalat yöntemlerine göre bazı avantajları vardır. Bu avantajları şu şekilde sayabiliriz;

Düşük reçine / elyaf karışım oranı, El yatırması yöntemindeki %70 reçine %30 elyaf kullanım oranı, infüzyon yönteminde tam tersine dönüp, %70 elyaf %30 reçine

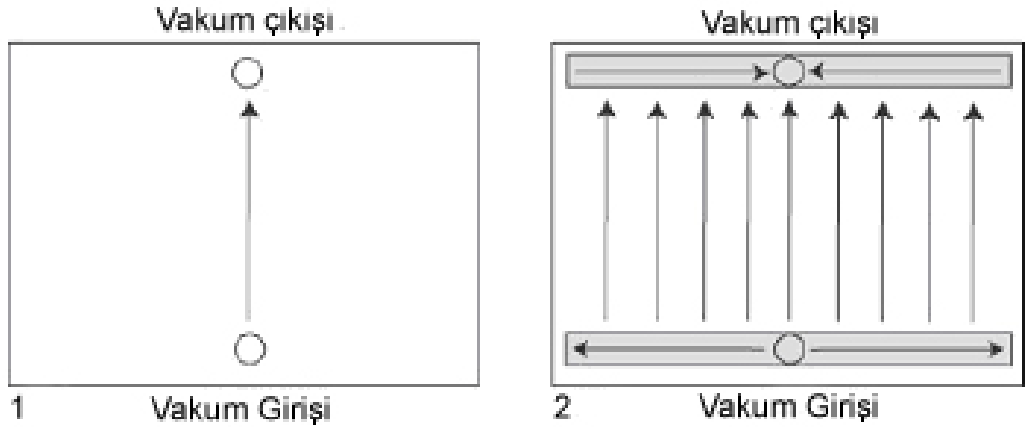
kullanım oranını vermektedir. Bu da malzeme yapısının daha sağlam olmasına ve malzemenin daha uzun ömürlü kullanımına olanak sağlar.

Tutarlı reçine kullanımı, İnfüzyon yönteminde harcanan reçine miktarı, aynı şartlar altında üretilen her üründe için aynıdır. El yatırmasında olduğu gibi kişilere bağlı farklı malzeme tüketimi olmamaktadır.

Homojen ürün eldesi, İnfüzyonla ürün eldesinde reçinenin elyaf yüzeyine dağılımı ve emilimi aynı miktarda olduğundan reçine birikmeleri veya elyaf katlanmaları meydana gelmez bu da malzemenin yapısında ve görüntüsünde homojenlik sağlar.

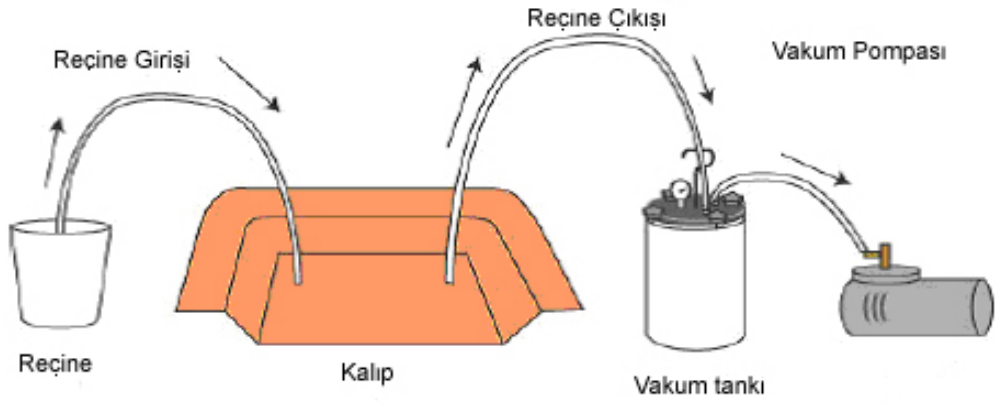
Temiz imalat, Vakum naylonuyla üzeri kapatılmış olan elyaf katlarına reçine ilavesi naylonun altından boru yardımı ile yapıldığından, ürün yüzeyine ve çevreye reçine bulaşması gerçekleşmez, reçinenin ve tepkime sonucunda ürün yüzeyinde oluşan gazların da etrafa yayılması engellenir.

İnfüzyon yönteminin genel sistemi aynı olmakla beraber uygulama yolları farklılıklar gösterebilmektedir. Sistemin en genel tanımıyla; kapalı ortam içinde reçinenin vakum deliğine doğru ilerlemesi olan infüzyonun genel görünümü aşağıdaki gibidir.



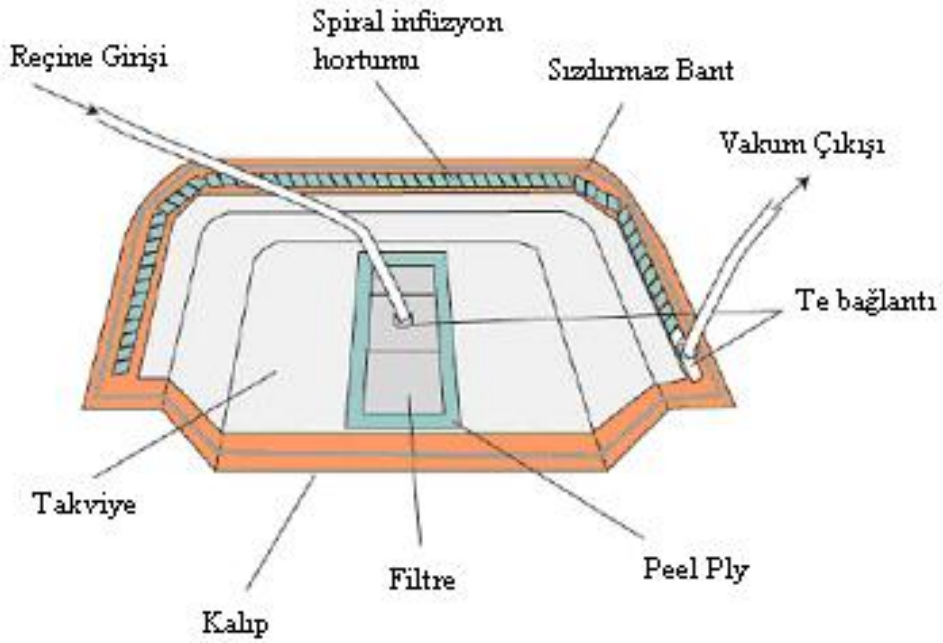
Şekil 3.27: İnfüzyonun genel görünümü

İnfüzyon yöntemi 4 bölümden oluşur: Vakum pompası, vakum tankı (reçine toplama tankı), kalıp ve reçine kovası. Bu 4 bölümün bağlantıları ve şekilleri değişebilir ancak genel sistem mantığı hep aynıdır.[4]



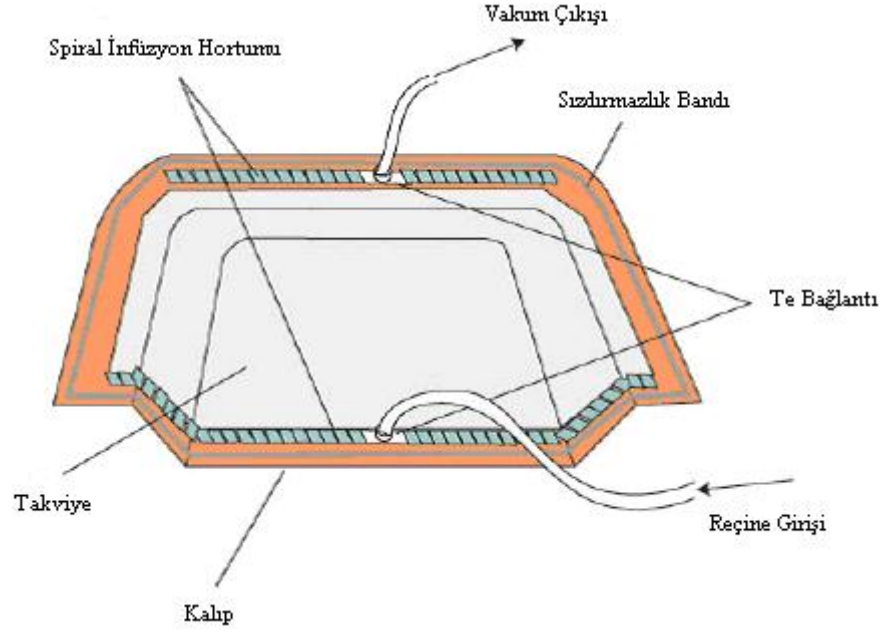
Şekil 3.28: İnfüzyon genel sistemi-1

Şekil 3.29'da etrafından vakumlanıp ortasından reçine verilen bir ürün imalatı görülmektedir.



Şekil 3.29: İnfüzyon sistemi - 2

Şekil 3.30'da ise aynı ürün farklı bir yolla imal edilmektedir. Bu sefer vakum ve reçine hatları karşılıklı olarak yerleştirilmiş ve ürün imalatı bu şekilde yapılmaktadır.



Şekil 3.30: İnfüzyon sistemi - 3

Sonuç olarak iki biçimde de ürün infüzyonu yapılmakta, ürünlerin infüzyon biçimleri farklı olmasına rağmen infüzyon yönteminin ana prensibi aynı kalmaktadır.

3.3.2 İnfüzyon uygulaması

İnfüzyon ile ürün imalatını aşağıda ki gibi 6 bölümde inceleyebiliriz.

1. Kalıp hazırlığı yapılır, elyaf kullanılacak ise köpükler hazırlanır.
2. Reçine ve Vakum Hatları, kalıbın çevresine göre reçine hatları ve vakum hatları ayarlanır, infüzyon macunu kalıbın etrafını çevreleyecek şekilde yapıştırılır ve vakum tankları hatlara bağlanır.
3. Torbalama, Vakum torbası kalıp üzerine yeterli derecede baskı yapabilmesi için kalıba göre kesilir, özellikle derin kalıplarda elyaf yüzeyine tam olarak basması gerektiğinden derinlik hesaba katılarak kesilmelidir. Kesildikten sonra infüzyon macunu ile kalıp etrafına sızdırmaz şekilde yapıştırılır.
4. Vakumlama, infüzyon düzeneğine vakum göstergesi bağlanır ve vakum pompası açılır. Vakum torbasında kaçak olup olmadığı vakum göstergesi ve kaçak dedektörü ile kontrol edilir.

5. İnfüzyon Hazırlığı, Reçine geçişini sağlayacak portlar düzenek üzerine bağlanır. Gerekli reçine miktarı hazırlanır, bu miktar hazırlanırken hortum içinde kalacak reçine de hesap edilmelidir. Reçineye gerekli katkı maddeleri eklenir ve karıştırılır.

6. İnfüzyon, Hortumlar portlara takılarak reçine akışına başlanır, işlem esnasında gerekirse vakum tankları boşaltılır ve vakum geycinde vakum değerini ayarlayıp reçinenin vakumla düzenekte baskı halinde kalması sağlanır. İlerideki şekillerde bir infüzyon işleminin nasıl yapıldığı anlatılmıştır.[4]



Şekil 3.31: İnfüzyon 1. adım

Kalıp kontrol edilir, temizlenir. (Şekil 3.31) [11]



Şekil 3.32: İnfüzyon 2. adım

Kalıp ayırıcı uygulanır. (Şekil 3.32) [11]



Şekil 3.33: İnfüzyon 3. adım

Yüze kullanılmak ortama uygun biçimde jelkot seçilir, püskürtme veya fırça olarak uygulanır. (Şekil 3.33) [11]



Şekil 3.34: İnfüzyon 4. adım

Üst üste takviye malzemeleri koyulur, aralarına kaymamaları için yapıştırıcı püskürtülür. Yukarıdaki resimde takviye malzemesi olarak Karbon Elyafı kullanılmaktadır.(Şekil 3.34) [11]



Şekil 3.35: İnfüzyon 5. adım

Takviye malzemelerin kenarları kırılır, kesilir. (Şekil 3.35) [11]



Şekil 3.36: İnfüzyon 6. adım

Kalıbın dış çevresine sızdırmaz bant yapıştırılır. (Şekil 3.36) [11]



Şekil 3.37: İnfüzyon 7. adım

Çift taraflı bant yapıştırılır. (Şekil 3.37) [11]



Şekil 3.38: İnfüzyon 8. adım

Polietilen Spiral Sarma, bu çift taraflı bantın üzerine yapıştırılarak kalıbın çevresi dönülür. (Şekil 3.38) [11]



Şekil 3.39: İnfüzyon 9. adım

Peel Ply (soyma kumaşı) tüm kalıp üzerine yayılarak, serilir. (Şekil 3.39) [11]



Şekil 3.40: İnfüzyon 10. adım

Peel Ply kumaşı spiral sarma üzerinden kesilir. (Şekil 3.40) [11]



Şekil 3.41: İnfüzyon 11. adım

Daha sonra sprej yapıştırıcı ile takviye malzemelerinin üzerine yapıştırılır. (Şekil 3.41) [11]



Şekil 3.42: İnfüzyon 12. adım

Sprej yapıştırıcı her koşulda olabilecek en az miktarda kullanılmalıdır. (Şekil 3.42) [11]



Şekil 3.43: İnfüzyon 13. adım

Spiral Sarmayı kapatacak kadar soyma kumaşı şeritleri kesilir ve spiral sarmanın üzerine spreyle yapıştırılarak kapatılır. Bu işlem soyma kumaşı ile vakum hattı arasındaki vakum sürekliliğini sağlamak için yapılır. Bu şeritlerin ve soyma kumaşının bütününe de sızdırmaz bant üzerine taşmamasına dikkat edilmelidir. Aksi halde torba uygulaması sırasında kaçaklara sebebiyet verilebilir. (Şekil 3.43) [11]



Şekil 3.44: İnfüzyon 14. adım

Tüm Spiral Sarma'nın çevrelediği alanın iç kısmını kaplayacak biçimde Mesh (reçine yayılma ağı) kesilir. Soyma Kumaşı'nın üzerine yapıştırılır, az miktarda bindirme olabilir. (Şekil 3.44) [11]



Şekil 3.45: İnfüzyon 15. adım

Önceden tasarlanmış reçine akış hatlarını oluşturmak için reçine akış hatları bu meshin üzerine yerleştirilir. Kalıp büyükse bu reçine hatları bant ile mesh üzerine sabitlenir. (Şekil 3.45) [11]



Şekil 3.46: İnfüzyon 16. adım

Önceden kalıp yüzey alanının %30 - %40 fazlası (kalıbın karmaşıklığına bağlı olarak) kesilmiş olan vakum torbası ile Torbalama işlemine başlanır. (Şekil 3.46) [11]



Şekil 3.47: İnfüzyon 17. adım

Vakumlama hatları (Spiral sarma) üzerinde torbanın ilk yapıştırılacağı kritik noktaları önceden tespit edilir. Bu noktalarda sızdırmaz bant'ın üzerindeki koruyucu film kaldırılarak (10-15 cm genişlikte) torba sızdırmaz bantın üzerine yapıştırılır. (Şekil 3.47) [11]



Şekil 3.48: İnfüzyon 18. adım

Bu kritik noktalar arasında kalan bölgede torba bol bırakılmalıdır. Daha sonra bu arada kalan bölgelerde belli noktalarda torbaya pile verilir. (Şekil 3.48) [11]



Şekil 3.49: İnfüzyon 19. adım

Pile verilirken, pilenin iç kısmı sızdırmaz bant ile dönülür. (Şekil 3.49) [11]



Şekil 3.50: İnfüzyon 20. adım

Pilenin her iki tarafında yer alan sızdırmaz bantlar birbirlerine ve ana çerçeve sızdırmaz bant hattına yapıştırılır. Teorik olarak tarifi zor olan bu işlem tecrübe kazanıldıkça hızlı biçimde gerçekleşebilir. (Şekil 3.50) [11]



Şekil 3.51: İnfüzyon 21. adım

Kalıp çevresi boyunca dolaşan Polietilen Spiral Sarmanın her iki ucu bir araya getirilir ve T bağlantının ucuna da hortum bağlanır. (Şekil 3.51) [11]



Şekil 3.52: İnfüzyon 22. adım

Hortum ile gelen vakum hattının etrafını sızdırmaz bant ile kapatılır. (Şekil 3.52) [11]



Şekil 3.53: İnfüzyon 23. adım

Üzerine vakum torbasını örtülür ve yapıştırılır. (Şekil 3.53) [11]



Şekil 3.54: İnfüzyon 24. adım

Hortumu, vakum tankına bağlanır. Böylece vakum sırasında borudan gelebilecek reçine pompaya ulaşmadan yakalanabilir. (Şekil 3.54) [11]



Şekil 3.55: İnfüzyon 25. adım

Reçine Akış hatlarının ucuna hortum takılıyor. (Şekil 3.55) [11]



Şekil 3.56: İnfüzyon 26. adım

Torbadan çıkış noktalarında hortumların dışına sızdırmaz bant sarılıyor ve pileli biçimde torbanın dışına çıkartılıyor. (Şekil 3.56) [11]



Şekil 3.57: İnfüzyon 27. adım

Tüm bu reçine girişi için hortumun dışarıda kalan uçları klemplerle sıkılır. (Şekil 3.57) [11]



Şekil 3.58: İnfüzyon 28. adım

Daha sonra vakum, vakum taşıma tankına bağlanır. (Şekil 3.58) [11]



Şekil 3.59: İnfüzyon 29. adım

Vakum torbasının kalıp üzerinde bütüldüğü şekil üzerinde rahatlıkla görülüyor. (Şekil 3.59) [11]



Şekil 3.60: İnfüzyon 30. adım

Hortumu çıkardıktan sonra düşerse (manometre) kaçak olduğu anlaşılıyor. (Şekil 3.60) [11]



Şekil 3.61: İnfüzyon 31. adım

Daha sonra infüzyon tipi vinilester reçine (bu uygulama da Karbon Elyafı takviye olduğu için kullanıldı) veya infüzyon tipi Polyester reçine içerisine gerekli miktarda hızlandırıcı ve ardından sertleştirici ekleniyor ve karıştırılıyor. (Şekil 3.61) [11]



Şekil 3.62: İnfüzyon 32. adım

Hortum'dan oluşturulan reçine besleme hatları kovanın içine yerleştirilir. (Şekil 3.62) [11]



Şekil 3.63: İnfüzyon 33. adım

Önceden tasarlanmış akış şemasına (Not: prensip olarak, vakumun tüm kalıp çevresi boyunca uygulanması, reçine akışının da merkezden çevreye doğru yapılması tavsiye edilmektedir) göre, ilk reçine besleme hattının (hortumun) klempini açılır. İlk açılacak hat en ortada yer alan hat olmalıdır. (Şekil 3.63) [11]



Şekil 3.64: İnfüzyon 34. adım

Vinilester veya polyester reçine kalıp içinde yayılmaya başlar. (Şekil 3.64) [11]



Şekil 3.65: İnfüzyon 35. adım

Kalıbın içinde reçine diğer reçine akış hatlarına ulaştığında, o hatların klempini açılarak o reçine beslemelerinden de besleme sağlanır. Önceden açılan ilk hat veya hatlar klemp ile kapatılır.(Şekil 3.65) [11]



Şekil 3.66: İnfüzyon 36. adım

Kalıp her noktası reçine ile ıslanana kadar operasyona bu şekilde devam edilir. En son kalıbın köşe noktaları ıslanır. (Şekil 3.66) [11]



Şekil 3.67: İnfüzyon 37. adım

Tüm noktalar ıslandıktan sonra tüm reçine besleme hatları klemp ile kapatılır. Parça, vakum altında tamamen sertleşene kadar tutulur. (Şekil 3.67) [11]



Şekil 3.68: İnfüzyon 38. adım

Sızdırmaz bant ayrılarak, önce torba kalıptan sökülür, sonra soyma kumaşı ve spiral parça üzerinde çekilir. Reçine akış hatları temizlenir. (Şekil 3.68) [11]



Şekil 3.69: İnfüzyon 39. adım

Vinilester- Karbon fiber infüzyon ürünü hazırdır. Bu ürünü istek üzerine cam elyaf takviyeli polyester olarak da elde edebilirsiniz. [11]

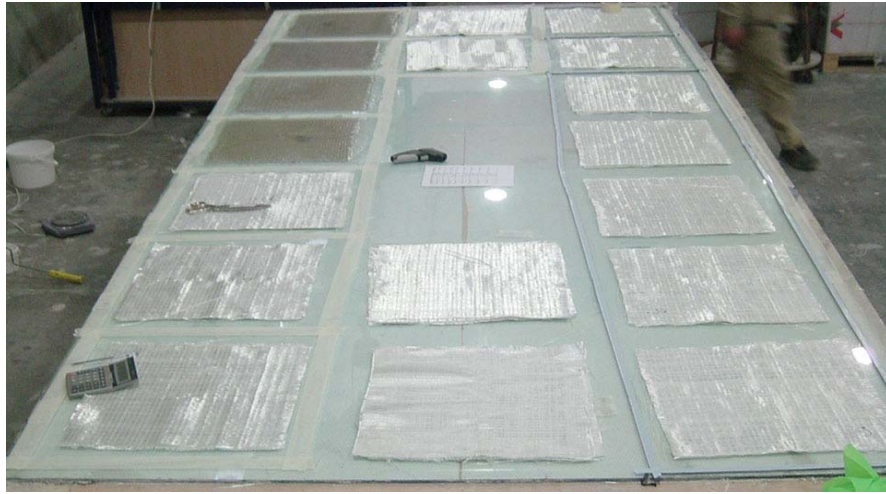
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Malzeme

Deneyleerde test edilmiş olan cam elyaf takviyeli vinilester reçine matrisli kompozit malzemeler Numarine Denizcilik A.Ş. firmasında el yatırması, vakumlama ve vakum infüzyon yöntemleriyle üretilmiştir. Matris olarak Reichold Dion 1053 marka vinilester reçine, takviye olarak da Metyx firmasının 710 ve 940 gr/m²'lik 0/90 yönlü dikişli cam elyafları kullanılmıştır.

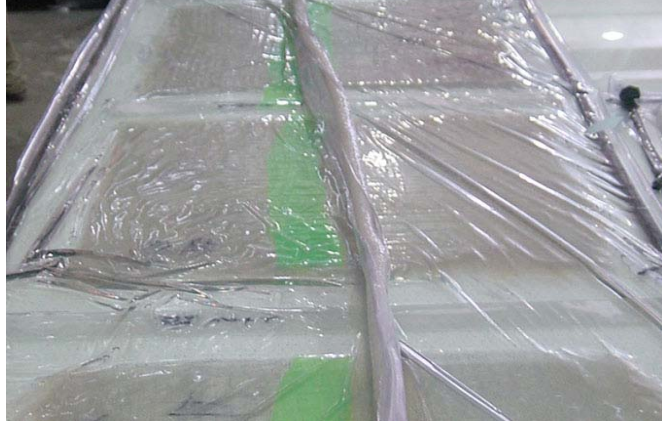
4.2 Kompozit Plaka Üretimleri

Deneylede el yatırma yöntemi ile %30 Cam elyaf, %70 reçine ağırlık oranından başlayarak Cam elyafı %5 arttırıp Reçineyi ise %5 düşürerek 9 çeşit numune; vakum yöntemi ile %50 reçine ve %50 cam elyaf, %40 reçine ve %60 elyaf, %30 reçine ve %70 elyaf kombinasyonlu 3 çeşit numune; infüzyon yöntemi ile ise de %30 reçine ve %70 elyaf ile %20 reçine kombinasyonlu 500x500x4 mm.'lik plakalar testler için üretilmiştir (Şekil 4.1). Elde edilen kompozit plakalara ait bilgiler Tablo 4.1'de verilmiştir.

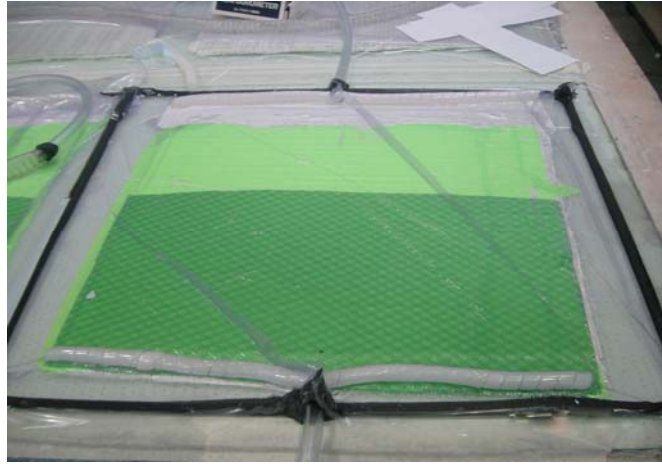


Şekil 4.1: Test için hazırlanmış elyaf tabakaları

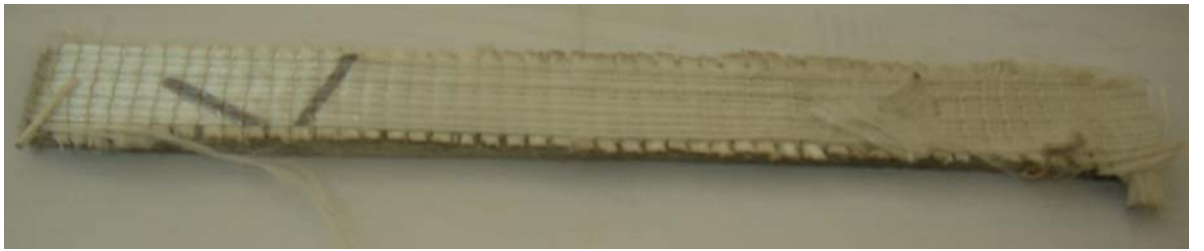
Üretime başlamadan önce infüzyon ve vakum yöntemleri için tasarlanan reçine elyaf kombinasyonları el yatırmasında kullanılacaklarla aynı idi. Ancak iki yöntemde de sürekli vakum altında kaldığından reçine miktarlarının kontrol edilebilirliği azalmış, sadece tablo 4.2 ve 4.3'deki oranlarda üretim sağlanmıştır (Şekil 4.2 ve 4.3). El yatırması yönteminde ise 80/20'lik elyaf/reçine oranında son elyaf katı ıslanmadığı için deneyler yapılamamıştır. (Şekil 4.4)



Şekil 4.2: Vakum yöntemiyle elde edilen parçalar.



Şekil 4.3: İnfüzyon yöntemiyle elde edilen parçalar.



Şekil 4.4: El yatırması yönteminde 80/20'lik elyaf/reçine oranı ile elde edilmiş numune.

Tablo 4.1: El yatırma yönteminde kullanılan malzemeler

El Yatırma Yöntemi için Kullanılan Malzemeler ve Ürün Detayları				
Plaka No	Elyaf-Reçine Oranı	Elyaf Katları gr/m²	Elyaf Ağırlığı gr	Laminasyon Ağırlığı gr
1	%32-%68	940/710	421,9	1316,8
2	%37-%63	940/940	485,4	1322,9
3	%40-%60	940/940/710	626,2	1483,3
4	%48-%52	940/940/940	714,8	1503,6
5	%52-%48	710/710/940 940	863,4	1643,2
6	%59-%41	940/940/940 940	974	1655,9
7	%63-%37	710/940/940 940/940	1110,4	1759,6
8	%65-%35	940/940/940 940/940	1219,8	1881,2
9	%71-%29	940/940/940 940/940/710	1407,4	1976,8

Tablo 4.2: Vakum yönteminde kullanılan malzemeler

Vakum Yöntemi için Kullanılan Malzemeler ve Ürün Detayları				
Plaka No	Elyaf-Reçine Oranı	Elyaf Katları gr/m²	Elyaf Ağırlığı gr	Laminasyon Ağırlığı gr
4	%50-%50	940/940/940	677,5	1355
5	%60-%40	710/710/940/940	841	1401,8
6	%70-%30	940/940/940/940	1042,3	1481,2
7	%80-%20	940/940/940 940/710	1117,5	1395,3

Tablo 4.3: İnfüzyon yönteminde kullanılan malzemeler

İnfüzyon Yöntemi için Kullanılan Malzemeler ve Ürün Detayları				
Plaka No	Elyaf-Reçine Oranı	Elyaf Katları gr/m²	Elyaf Ağırlığı gr	Laminasyon Ağırlığı gr
8	%70-%30	940/940/940/940/9 40	1201,7	1643,8
9	%80-%20	940/940/940/940/9 40/710	1413,8	1862,6

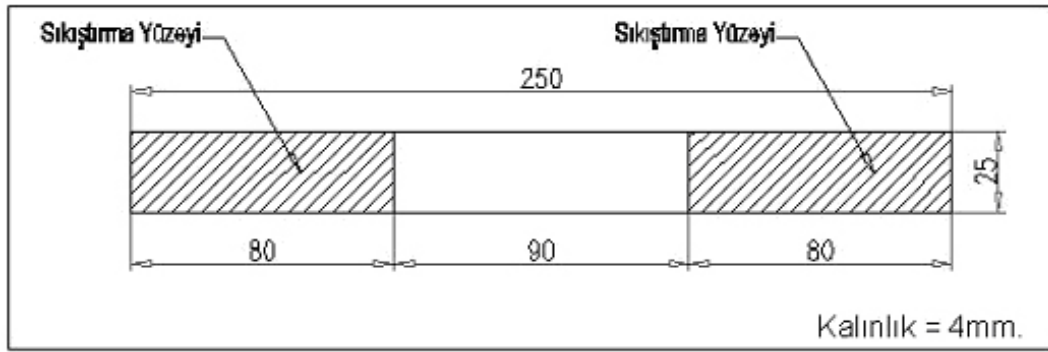
4.3 Görsel İnceleme

Farklı reçine elyaf oranlarında üretilen kompozit parçaların görsel incelemeleri yapılmıştır. Buna göre parçaların üretim yöntemlerine ve elyaf ile reçine oranlarına bağlı olarak değişen yüzey farklılıkları ortaya konmuş. Boyut kararlılıkları, yüzey düzgünlüğü ve üretim hataları resimlerle sunulmuştur. Parçaların mukavemet değerlerini etkileyebilecek, üretim esnasında dikkat edilmemesi sonucu ortaya çıkmış hava baloncukları gösterilmiştir. Bunların sonucunda ortaya çıkan delaminasyon olayı belirtilmiştir.

4.4 Mekanik İnceleme

4.4.1 Çekme deneyi

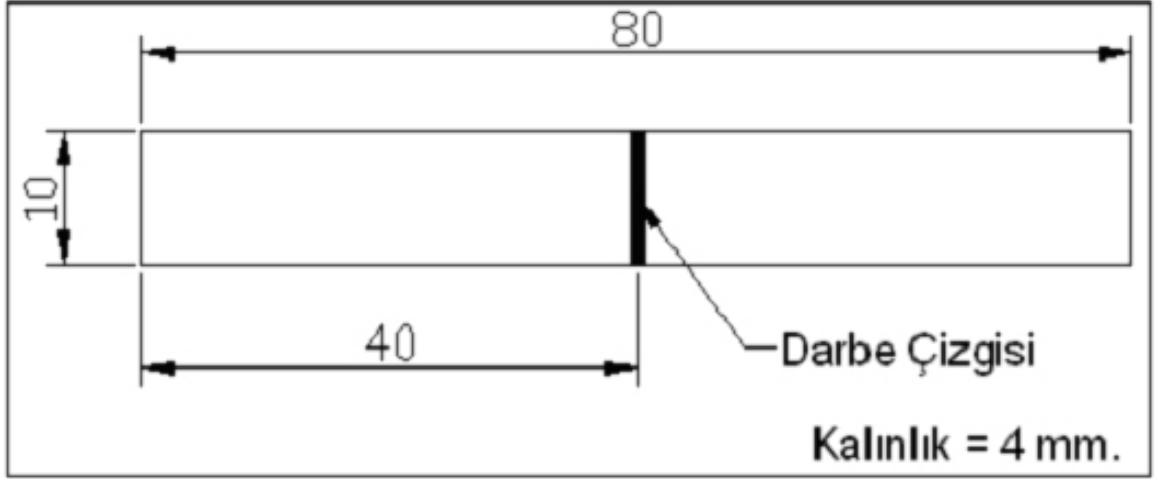
Çekme deneyinde kullanılan numuneler EN ISO 527-5 standardına uygun olarak hazırlanmıştır (Şekil 4.5). İlgili yöntem için belirtilen her oran grubu için 5'er adet hazırlanan numuneler Dartec Universal Test Cihazında 2.5mm/dak hızla çekilmiştir.



Şekil 4.5: Çekme için hazırlanan parça boyutları

4.4.2 Darbe deneyi

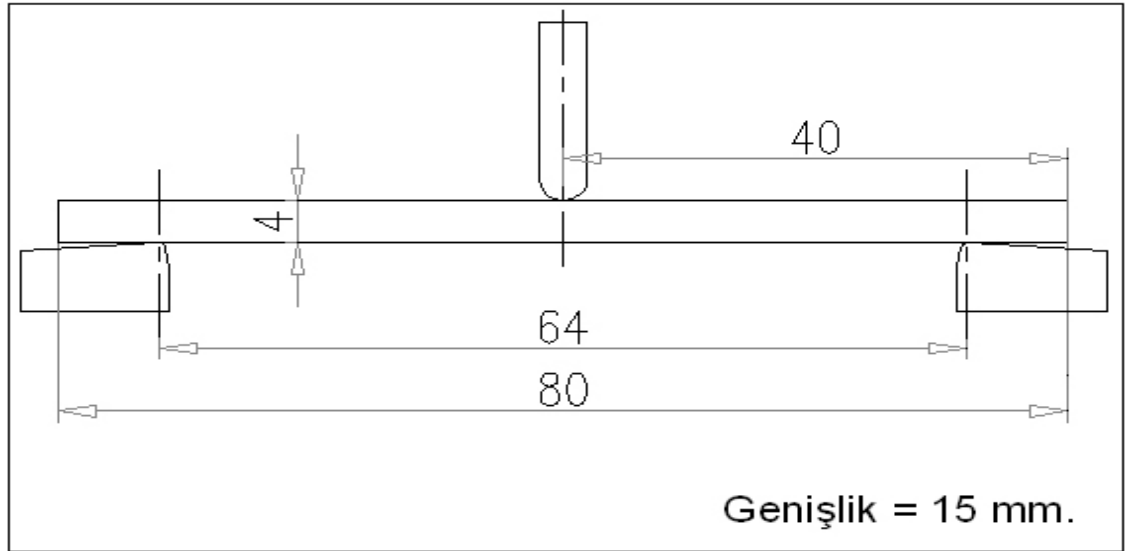
Darbe deneylerinde kullanılan numuneler EN ISO 179-1 standardına uygun olarak hazırlanmıştır (Şekil 4.6). İlgili yöntem için belirtilen her oran grubundan 5'er adet hazırlanan çentiksiz numuneler 7,5 Joule kapasiteli deney sisteminde çekicinin geniş yüzeyine etki ettirilmesiyle gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.6: Darbe deneyi için kullanılacak parça boyutları

4.4.3 Eğme deneyi

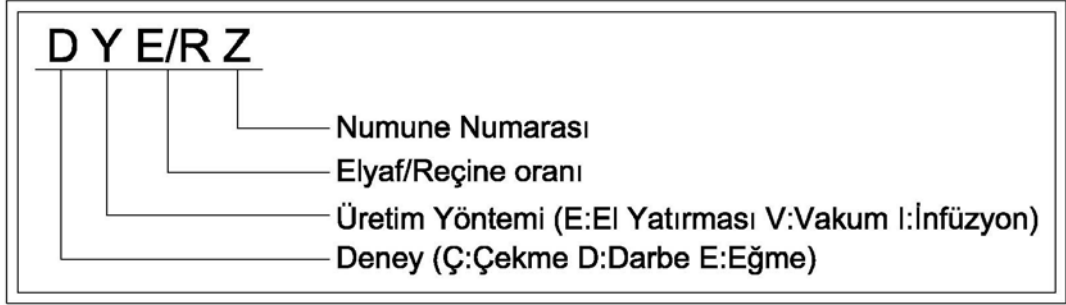
Eğme deneylerinde kullanılan numuneler EN ISO 178 standardına uygun olarak hazırlanmıştır (Şekil 4.7). İlgili yöntem için belirtilen her oran grubundan 3'er adet hazırlanan numunelere Instron 4411 Test Cihazında eğme deneyi yapılmıştır.



Şekil 4.7: Eğme deneyi için kullanılacak parça boyutları

4.5 Kırılma Yüzeylerinin İncelenmesi

Yapılan darbe ve çekme testleri sonucunda elde edilen kırılmış parçaların kırılma yüzeyleri incelenmiştir. Kırılmayı sağlayan hatalar ortaya konurken parçaların interlaminar bağları, elyafların ıslaklık durumları, gevrek ya da sünek oluşları göz önüne alınmıştır.

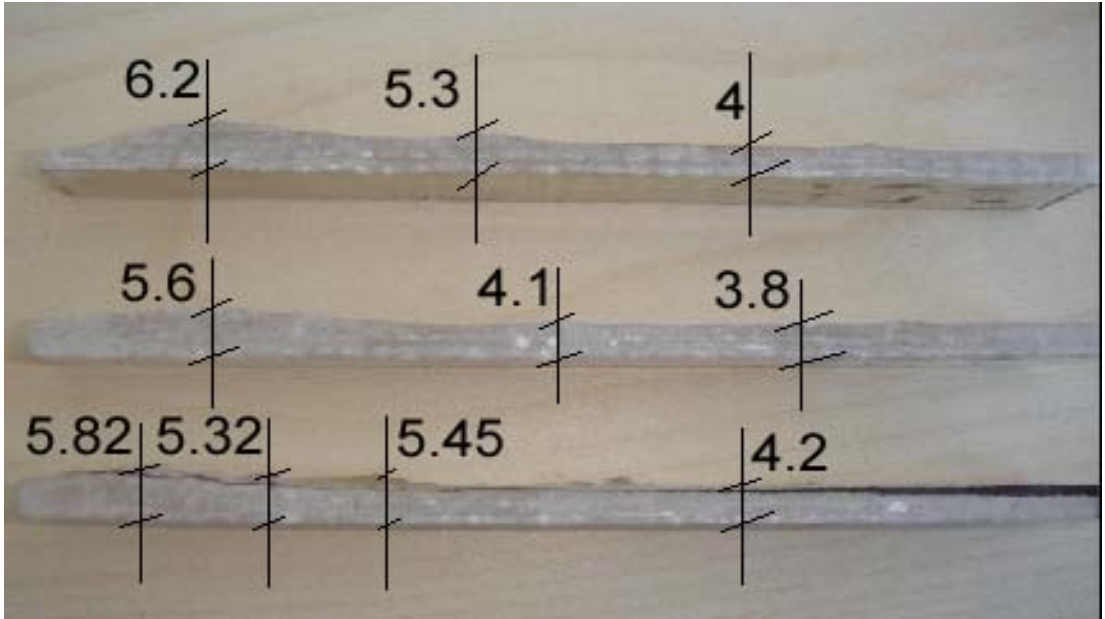


Şekil 4.8: Deney yapılan parçaların kodlama sistemi

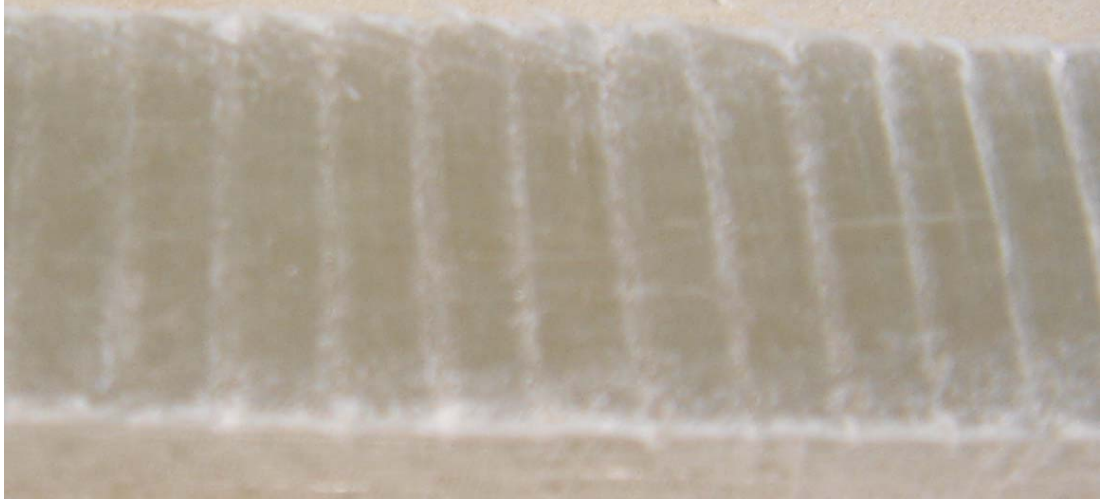
5. DENEYSEL SONUÇLAR

5.1 Görsel İnceleme

Özellikle el yatırması işleminde elde edilen numune yelpazesinin uçlarında reçine elyaf oranları arasında büyük farklar olduğundan, bu noktalardaki ürünlerde yavaş yavaş hakim olan malzemenin özellikleri ortaya çıkmaya başlamıştır. Reçine oranının yüksek olduğu kompozit plakalarda ürün yüzeyleri amorf bir yapı sergilemektedir. Bunun nedeni fazla reçinenin bütün yüzeye homojen dağıtılamamasından kaynaklanmaktadır. Bu durum her ne kadar çalışanların kontrolü altında olsa da, reçine jelleşene kadar reçinenin akışkanlık özelliğini sürdürdüğünden yüzeylerde kararlı bir yapı sağlanamamasından kaynaklanmaktadır. Aynı şekilde reçine miktarlarının az olduğu durumlarda da kuru kalan kısım ile yaş kısım arasında yüzey farklılığı oluşmaktadır. Dolayısıyla bu kararsızlık ürünün boyutlarını da etkilemektedir. Alınan kesitlerde aynı ürün üzerinde çeşitli kalınlıklarla karşılaşılmaktadır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1: 37/63 Elyaf/Reçine oranlı el yatırması ile imal edilen ürün kesitlerinde gözlenen boyut kararsızlıkları



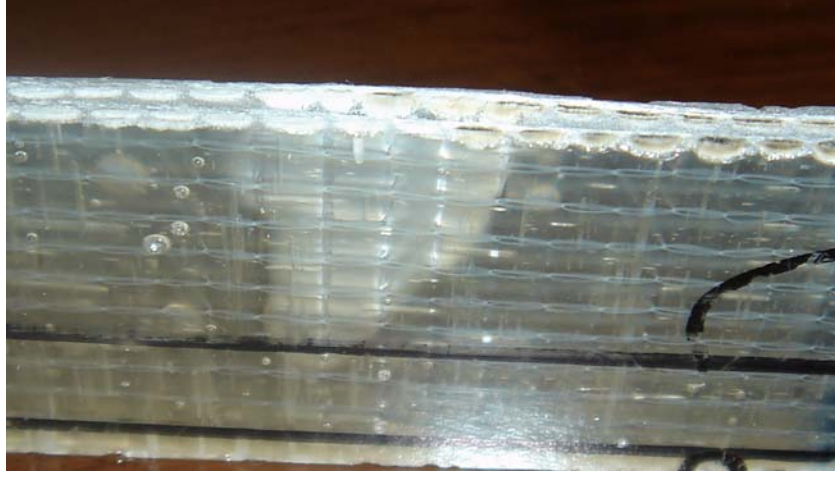
Şekil 5.2: 63/37 Elyaf/Reçine oranlı el yatırması ile imal edilen ürün yüzeyindeki kararsızlık

El yatırması ile elde edilen ürünlerde karşılaşılan bir diğer sorun ise hava baloncuklarıdır (Şekil 5.3). Bu hata, daha çok üretim esnasında ortaya çıkan bir problemdir. Reçinenin elyaf üzerine uygulanması sırasında rulo ile bastırılıp muntazam bir şekilde katmanlar arasında kalan havanın alınması gerekir. Bu kusur ileride delaminasyon problemine (Şekil 5.4) ve matriste oluşan süreksizlikten dolayı mukavemet değerlerinin azalmasına neden olacaktır.

Reçine miktarının az olduğu plakalarda ürün yüzeyindeki elyaf takviyeler dış etkilere karşı daha korumasız kalacaktır. Bu dış etkiler çeşitli sürtünmeler, nem, sertlik vb. olarak adlandırılabilir.

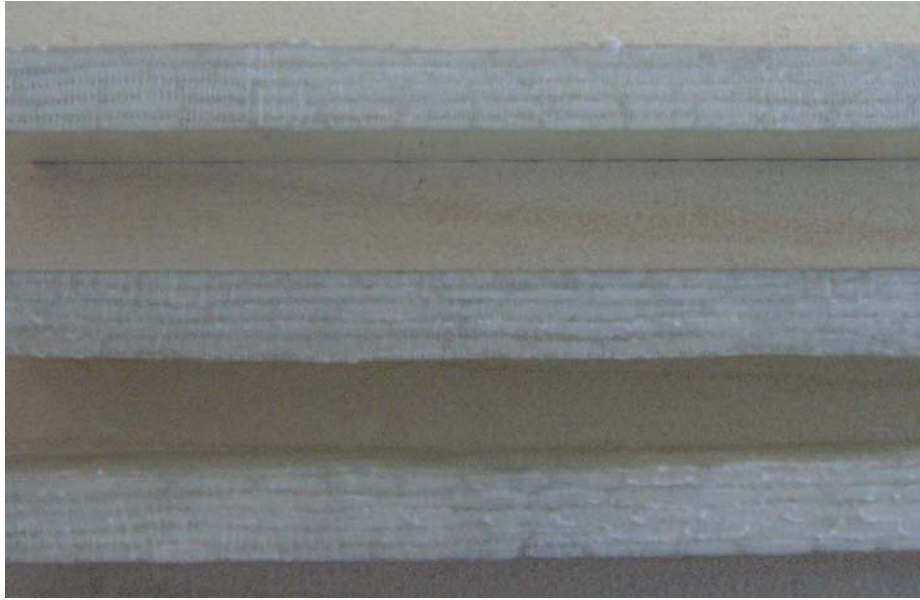


Şekil 5.3: El yatırması ürünlerde gözlenen hava boşlukları

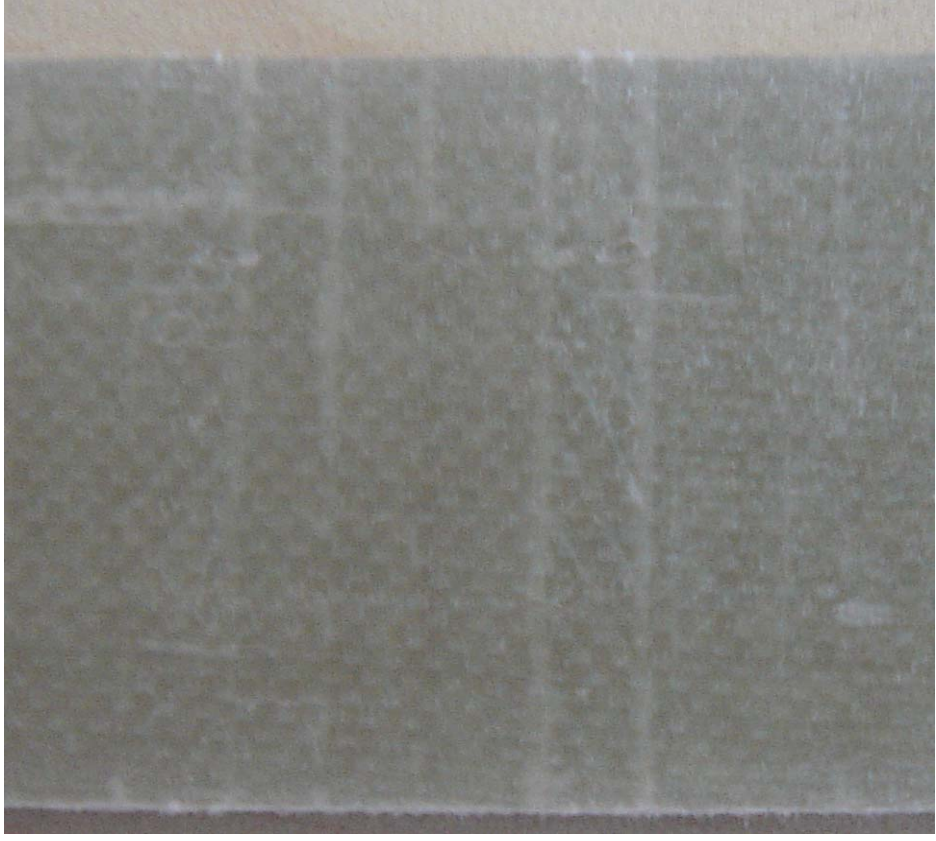


Şekil 5.4: El yatırması yönteminde parçalardan birinde karşılaşılan delaminasyon

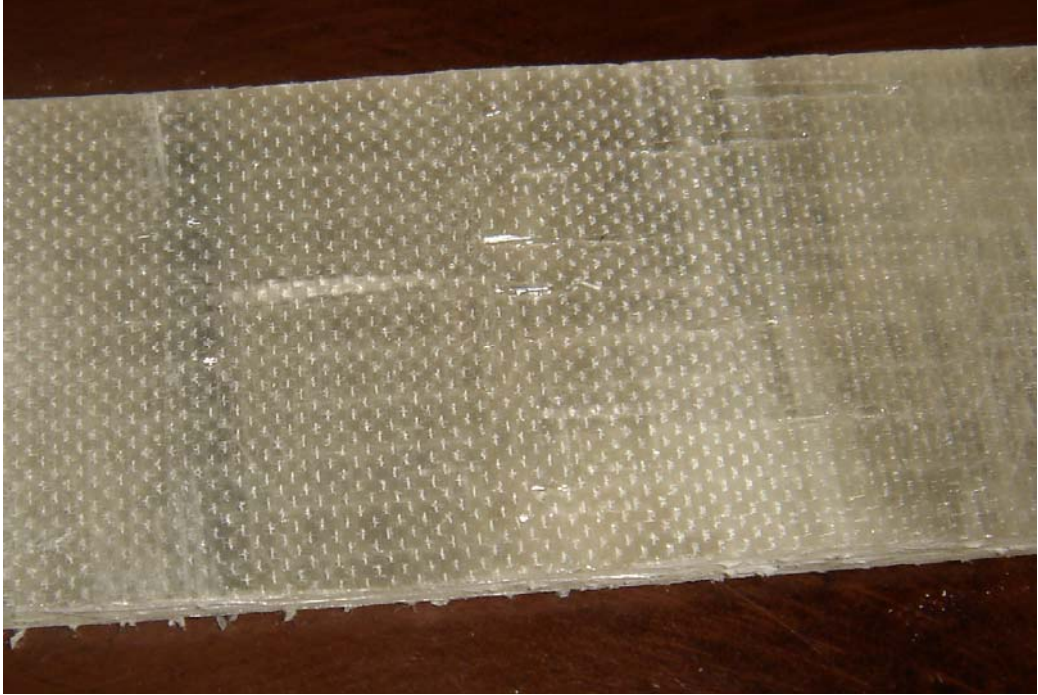
Vakum ve infüzyon yöntemlerinde ise, imalat işlemi bir baskı altında yapıldığından hava boşluklarına çok az miktarlarda rastlanmaktadır. Özellikle soyma kumaşı ile imal edilen ürünlerde ikincil işlemler için yüzey temizliği gerekmemektedir. Reçine oranı da elyafın emebileceği boyutlarda olduğundan fazla reçine yine vakum sayesinde dışarı atılarak daha düzgün bir yüzey (Şekil 5.6-5.7) ve el yatırmasında elde edilen ürünlere göre daha kararlı bir boyut yapısı gözlenir (Şekil 5.5-5.8).



Şekil 5.5: İnfüzyon yöntemiyle elde edilmiş ürünlerin kesit görünüşü



Şekil 5.6: İnfüzyon yöntemiyle elde edilmiş ürünün yüzey resmi



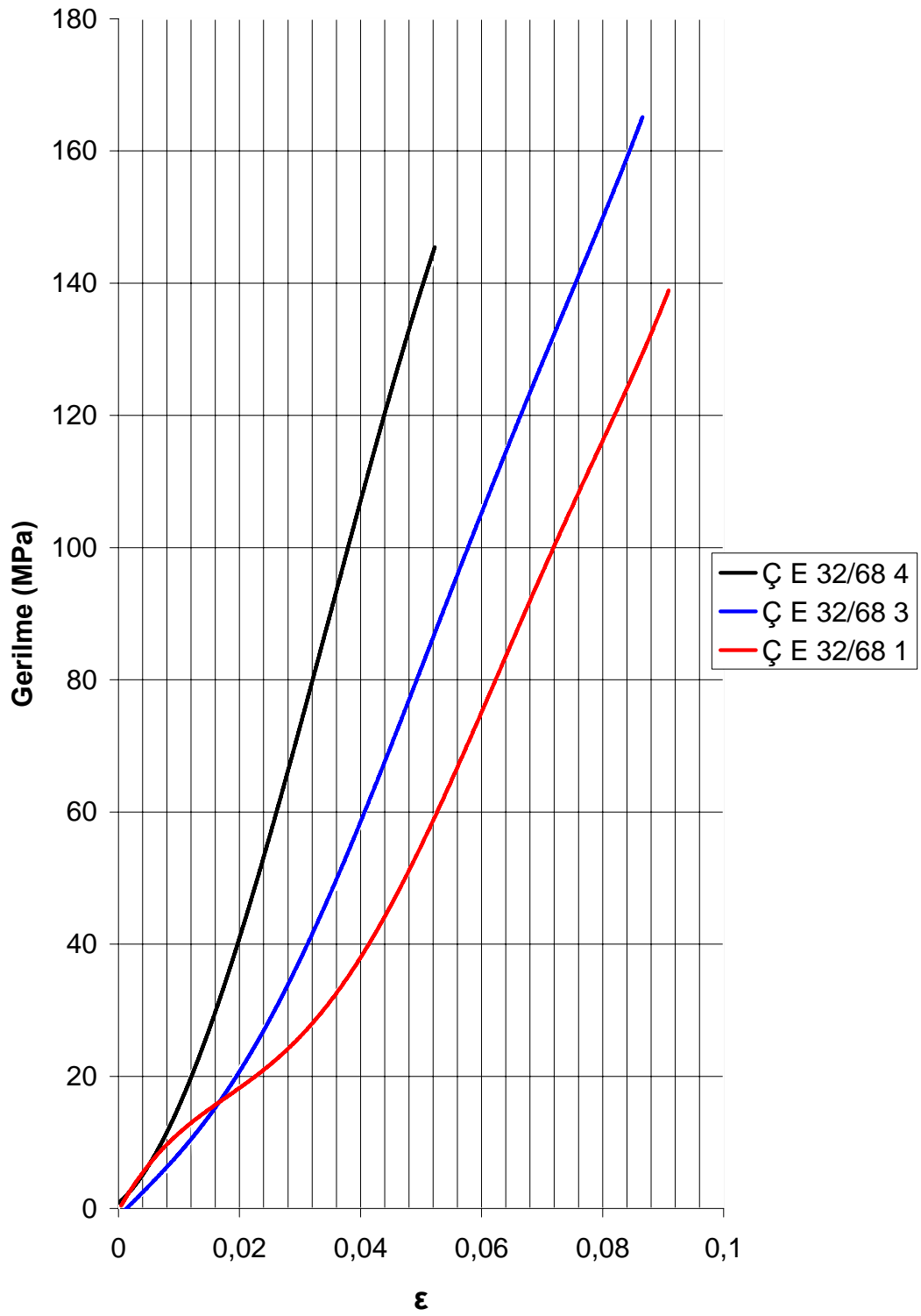
Şekil 5.7: Vakum yöntemiyle elde edilmiş parça yüzeyi



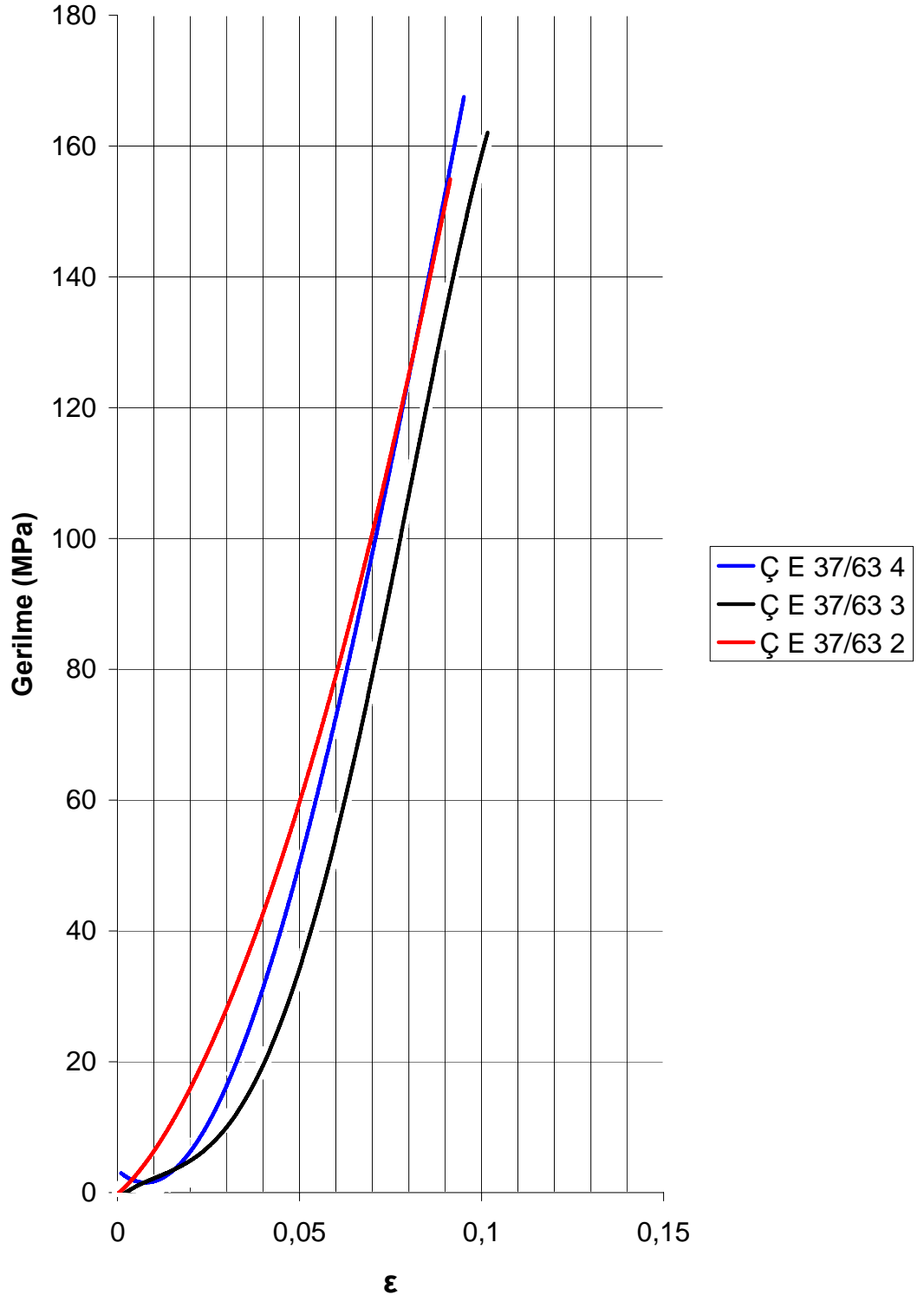
Şekil 5.8: Vakum yöntemiyle elde edilmiş parçaların kesitleri

5.2 Mekanik İnceleme

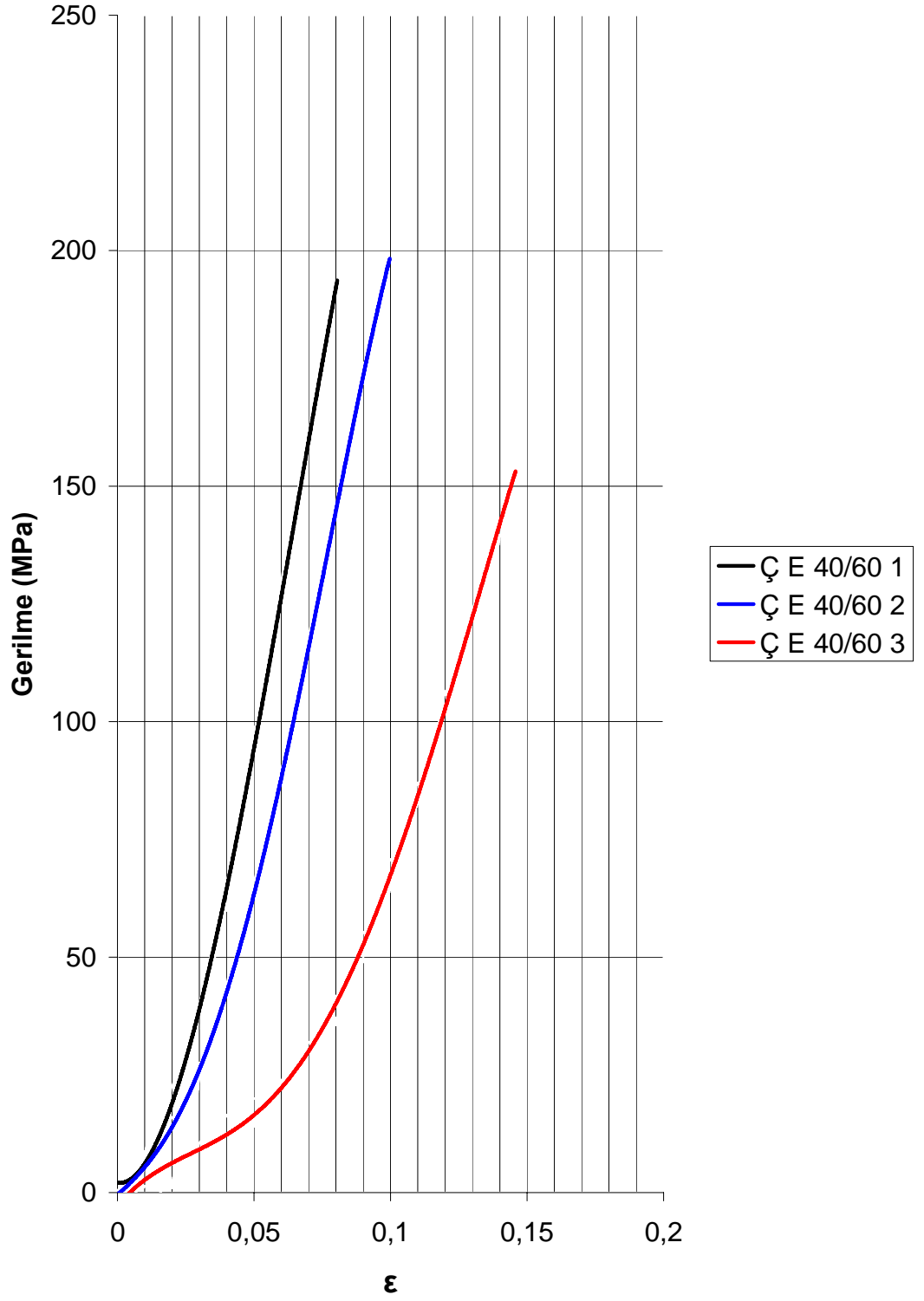
Kompozit yapıda mukavemet değerleri yüksek olan malzemeler takviyelerdir, dolayısıyla bu deneyde de görüldüğü üzere takviye elemanlarının kompozit malzeme içindeki oranı arttıkça çekme dayanımında arttığı gözlenmektedir. Yalnız burada sonuçları başka açıdan da değerlendirecek olursak üç metodla elde edilmiş numunelerin deney sonuçlarına göre farklılıklar gözlenmektedir bunun en önemli sebebi ise matris ile takviye elemanı arasındaki bağlardır. Bu iki malzeme arasındaki bağ yapışma yüzeyi ile gerçekleşir, malzemeler birbirine ne kadar iyi bağlanırsa ve yapışma yüzeylerinde kesiklik gözlenmez ise elde edilen ürünlerin mukavemet değerleri de o kadar iyi çıkar. Sonuçları yöntem bazına indirgediğimizde en iyi sonucu infüzyon yöntemi ile elde ederiz. Bu sonucun en büyük sebebi ise elyaf ile reçine arasındaki interlaminar bağların kuvvetli olmasıdır. Diğer yöntemlerden biri olan el yatırmasında ise durum biraz kritiktir sebebi ise matris içinde gözlenmesi muhtemel hava kabarcıklarıdır. Matris içindeki boşluklara dolayısıyla matriste süreksizliğe neden olur ve ürün yüklendiği zaman kırılmaları bu noktalardan verir. İnfüzyon ve vakum yöntemlerinin en büyük avantajı bu noktada havanın dışarı atılması ve ürün üzerinde bir baskı oluşturulmasıdır. Şekil 5.9'dan Şekil 5.23'e kadar deneyleri yapılmış parçaların sonuçları ve Şekil 5.24'de ise yöntemlerin karşılaştırmalı grafiği mevcuttur. Tablo 5.1'de de ortalama değerler verilmektedir. [5-8]



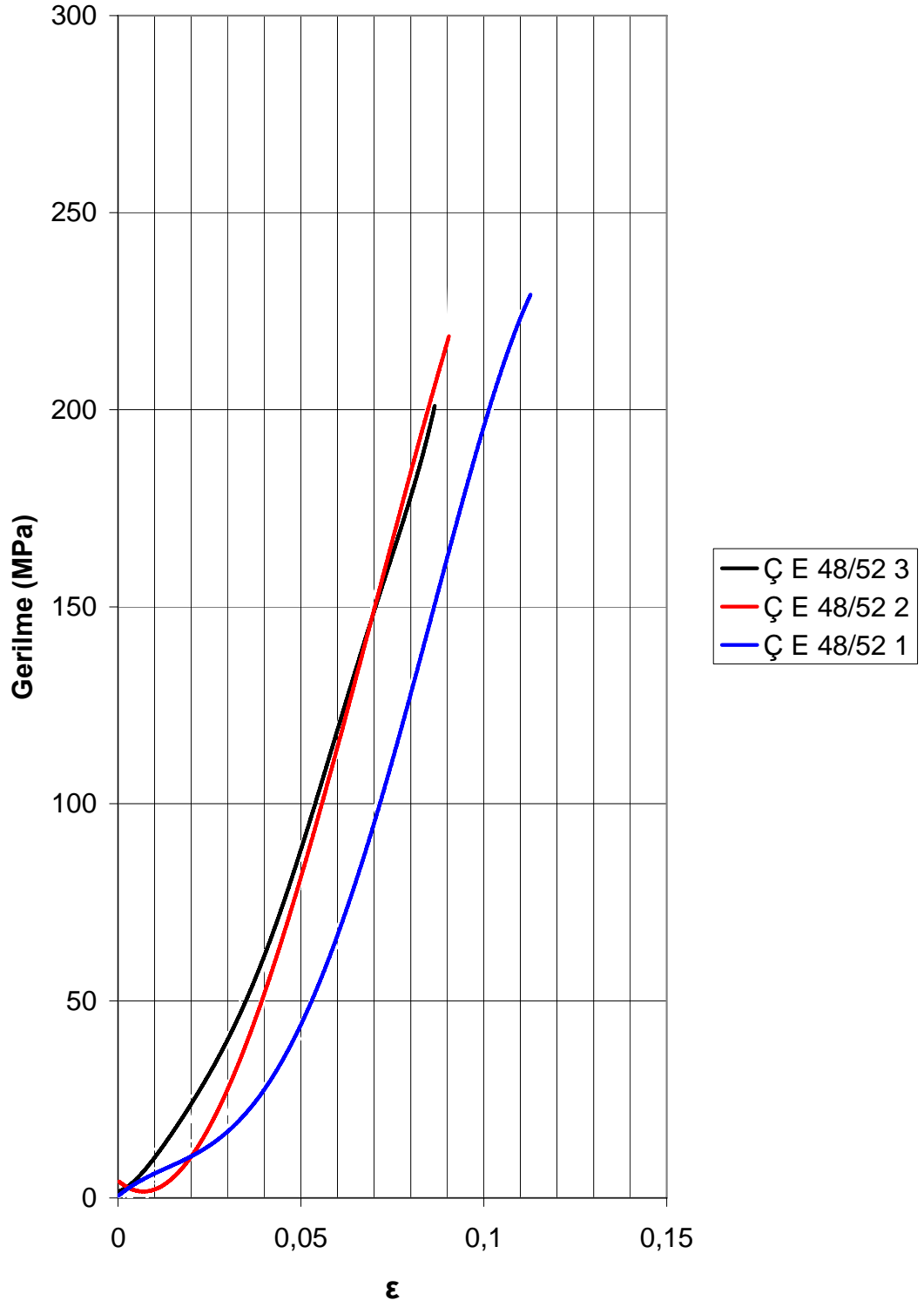
Şekil 5.9: El yatırması ile elde edilen 32/68 oranlı numunenin çekme deney sonuçları



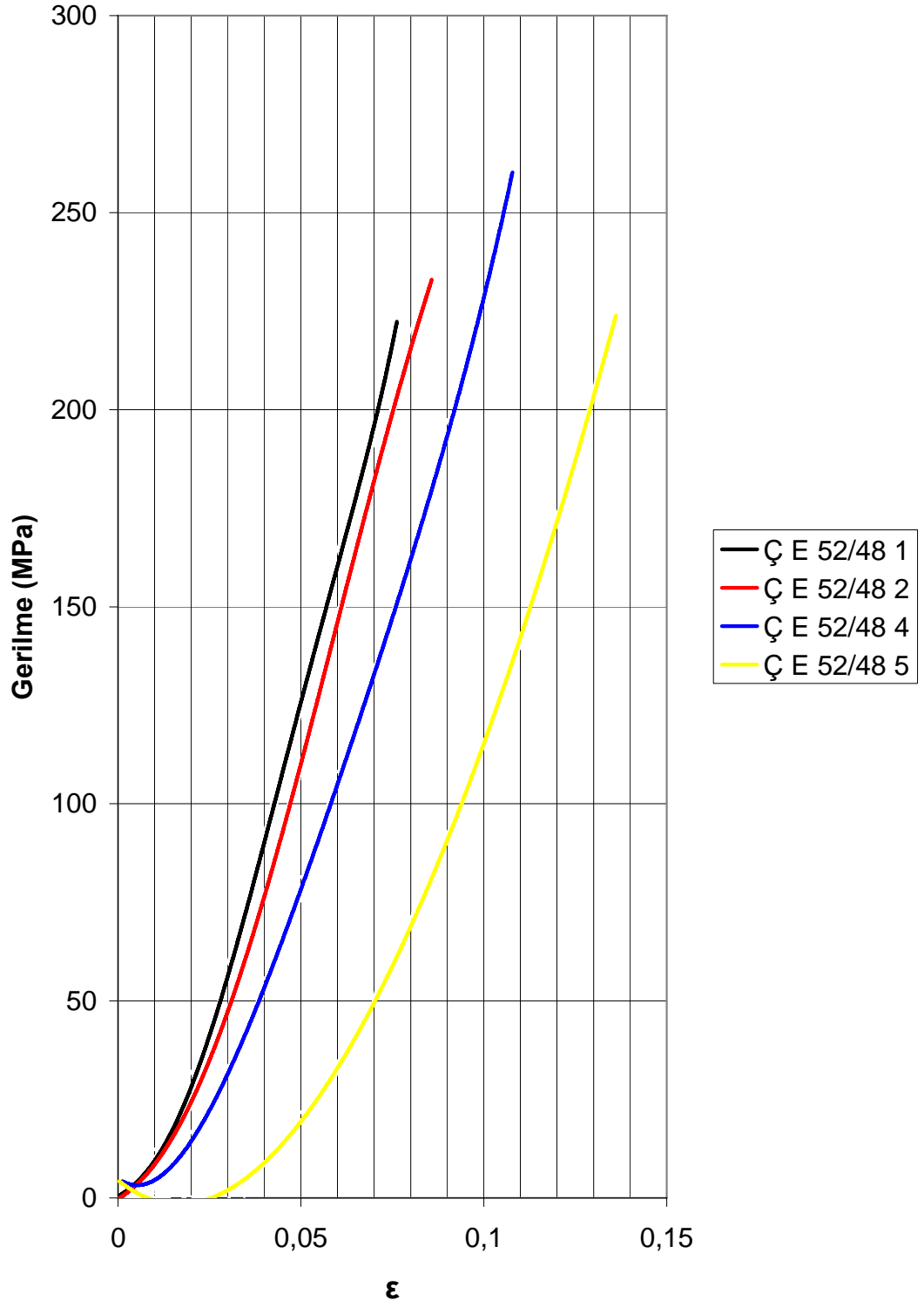
Şekil 5.10: El yatırması ile elde edilen 37/63 oranlı numunenin çekme deney sonuçları



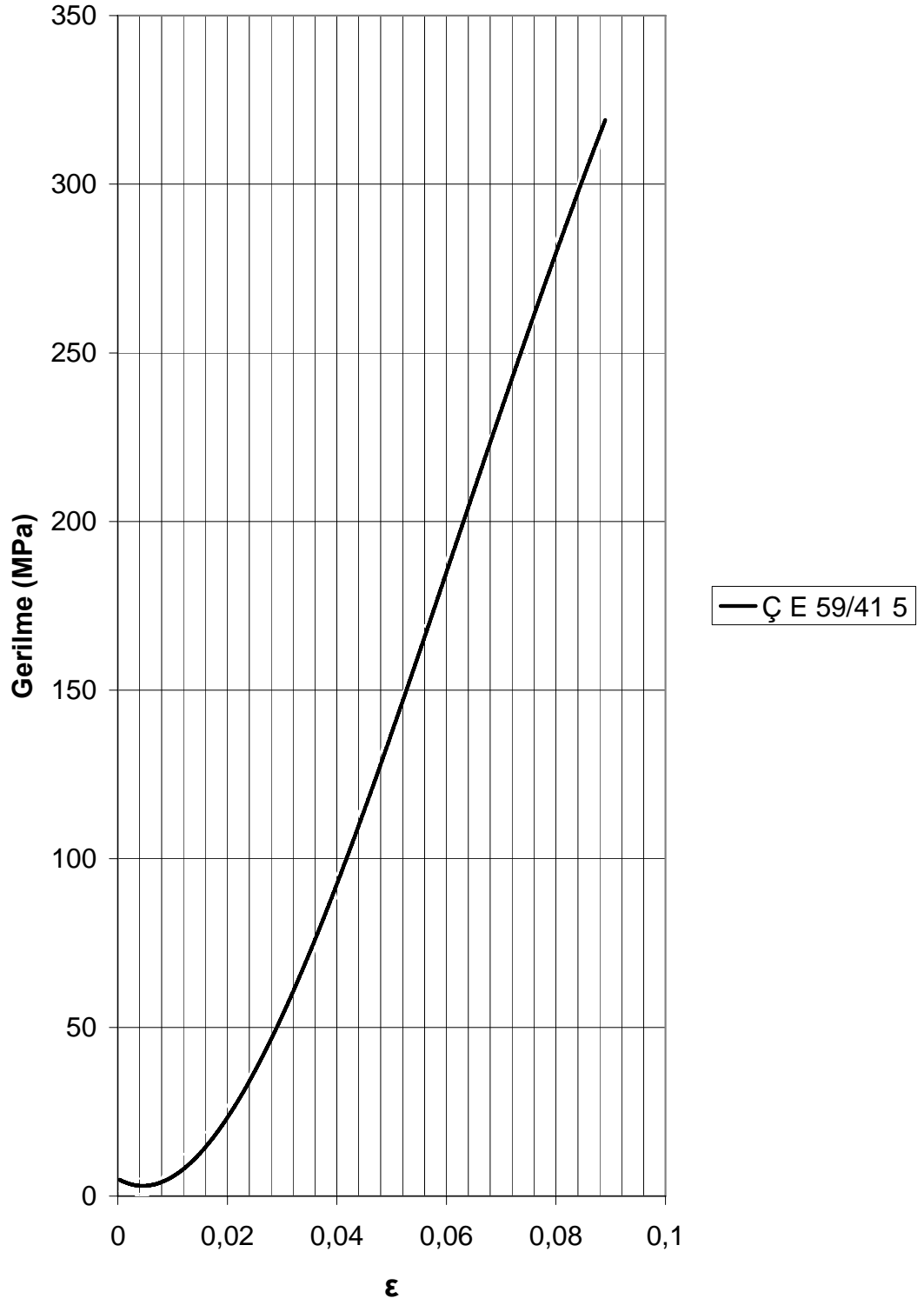
Şekil 5.11: El yatırması ile elde edilen 40/60 oranlı numunenin çekme deney sonuçları



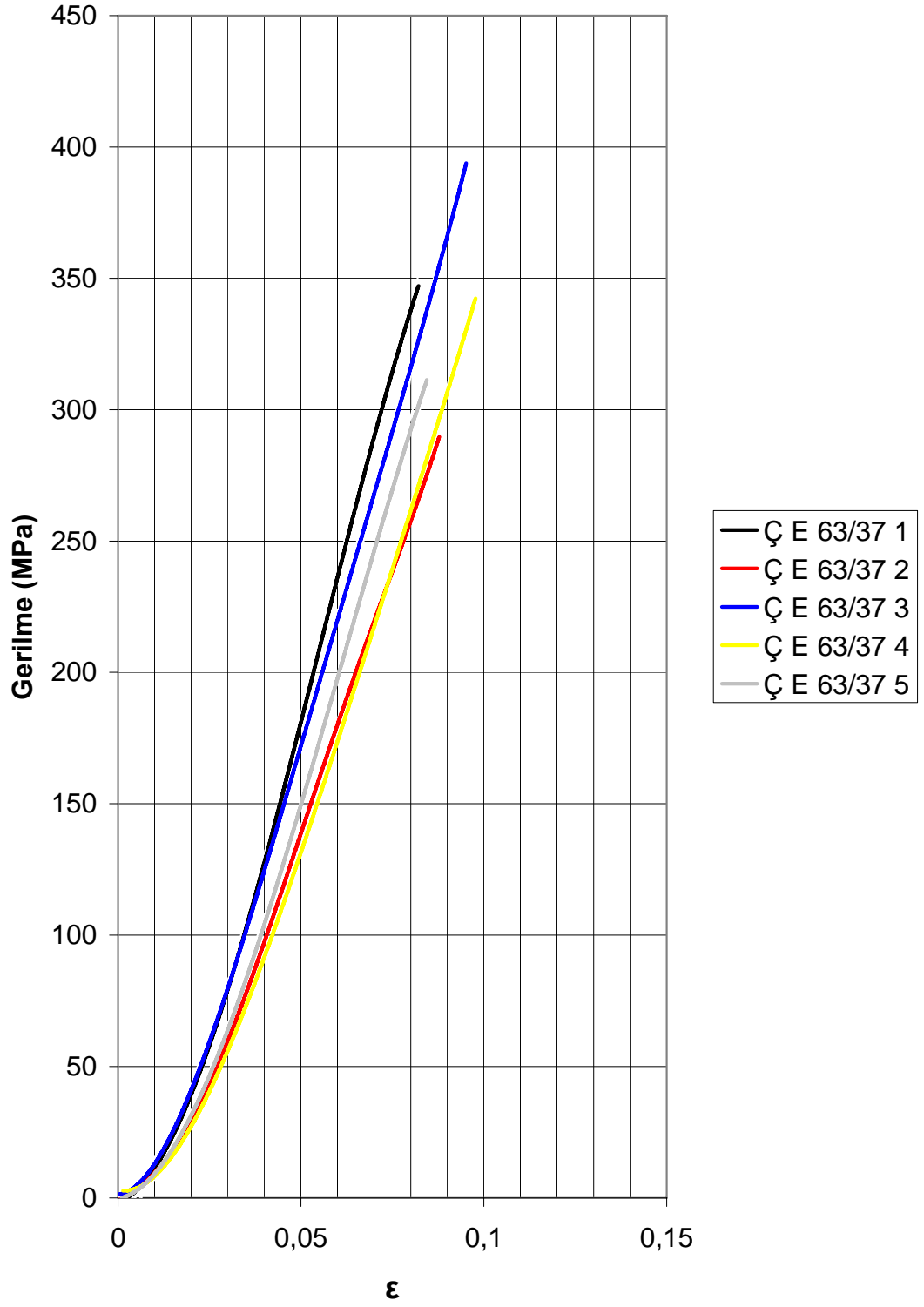
Şekil 5.12: El yatırması ile elde edilen 48/52 oranlı numunenin çekme deney sonuçları



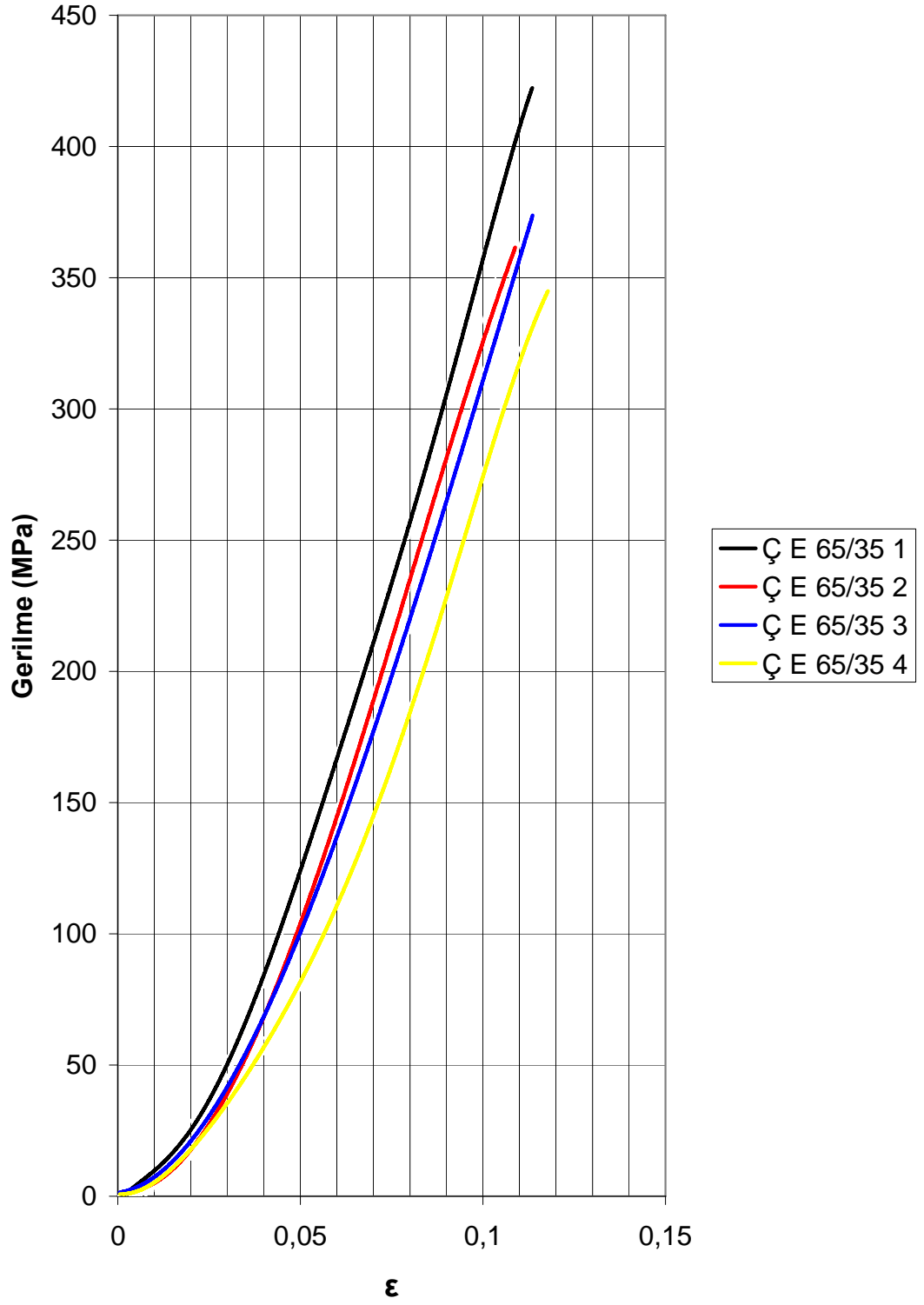
Şekil 5.13: El yatırması ile elde edilen 52/48 oranlı numunenin çekme deney sonuçları



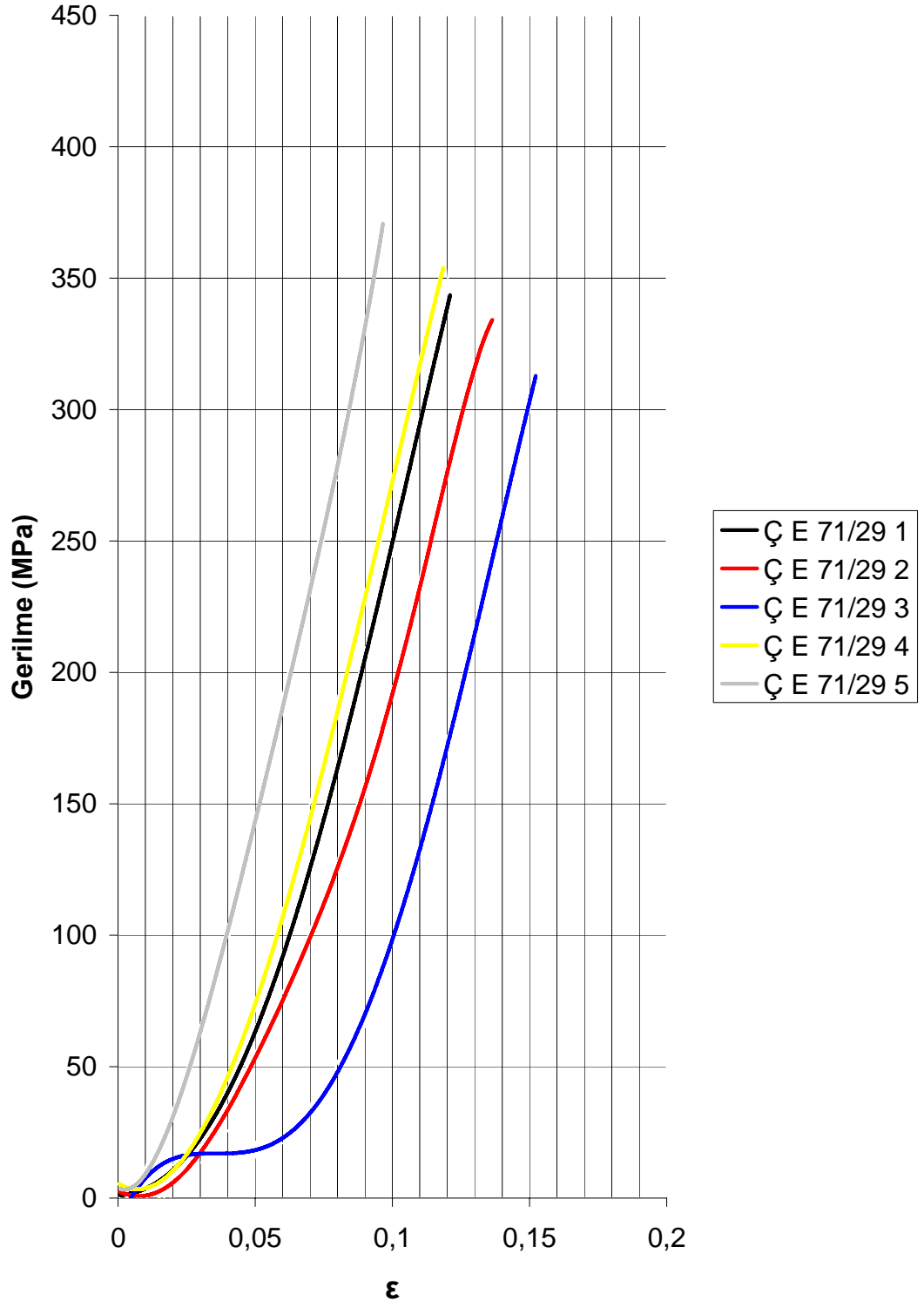
Şekil 5.14: El yatırması ile elde edilen 59/41 oranlı numunenin çekme deney sonuçları



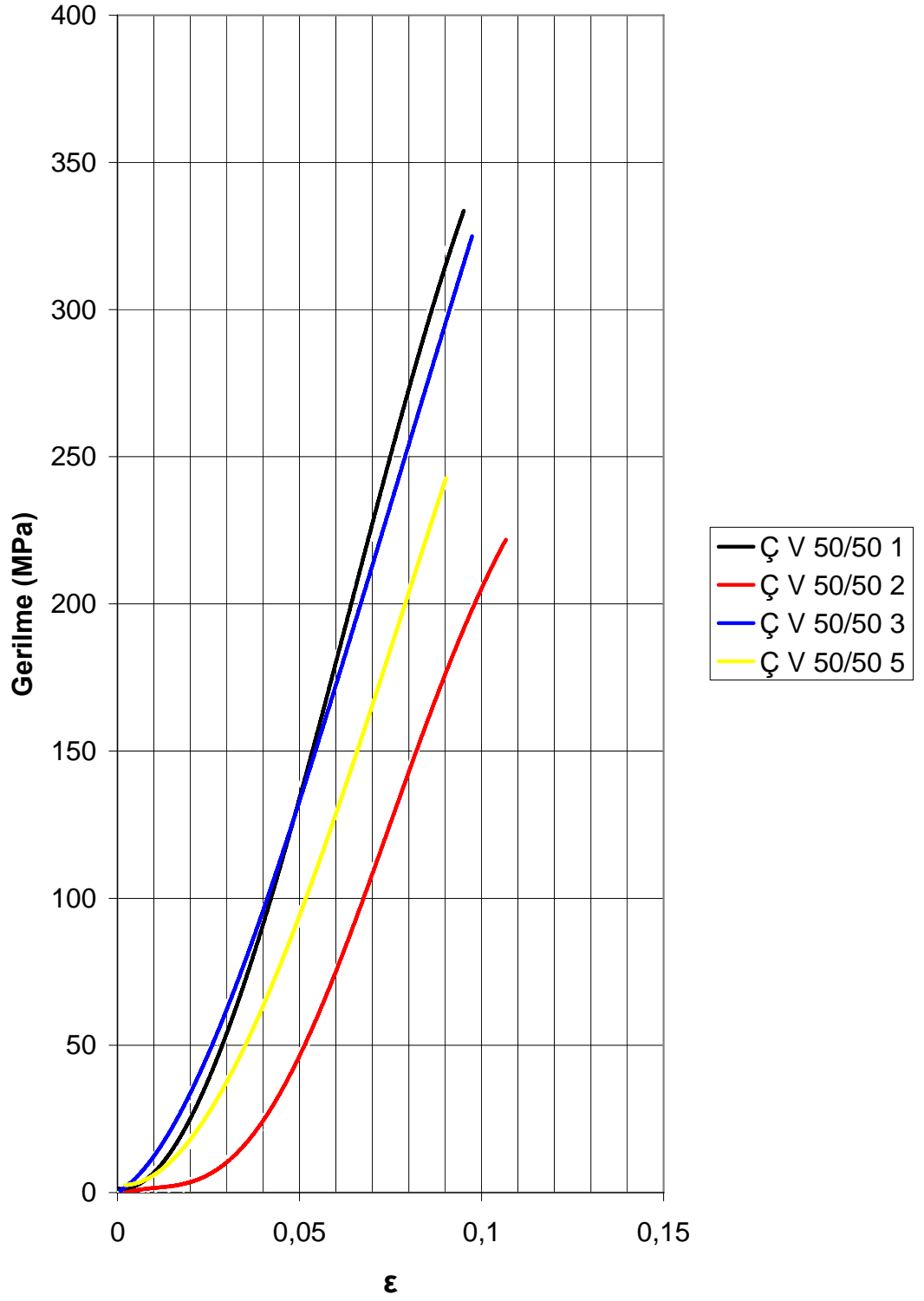
Şekil 5.15: El yatırması ile elde edilen 63/37 oranlı numunenin çekme deney sonuçları



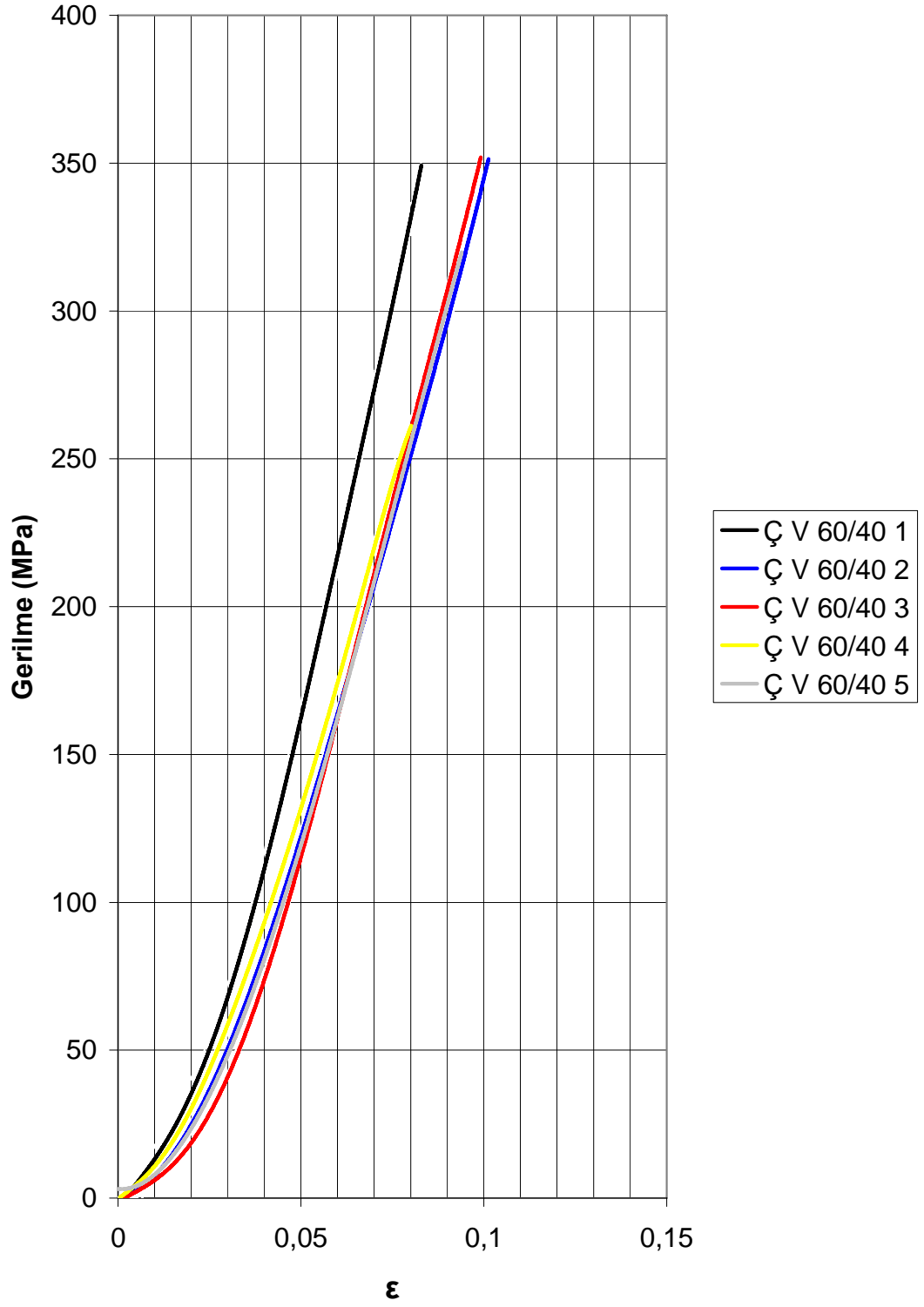
Şekil 5.16: El yatırması ile elde edilen 65/35 oranlı numunenin çekme deney sonuçları



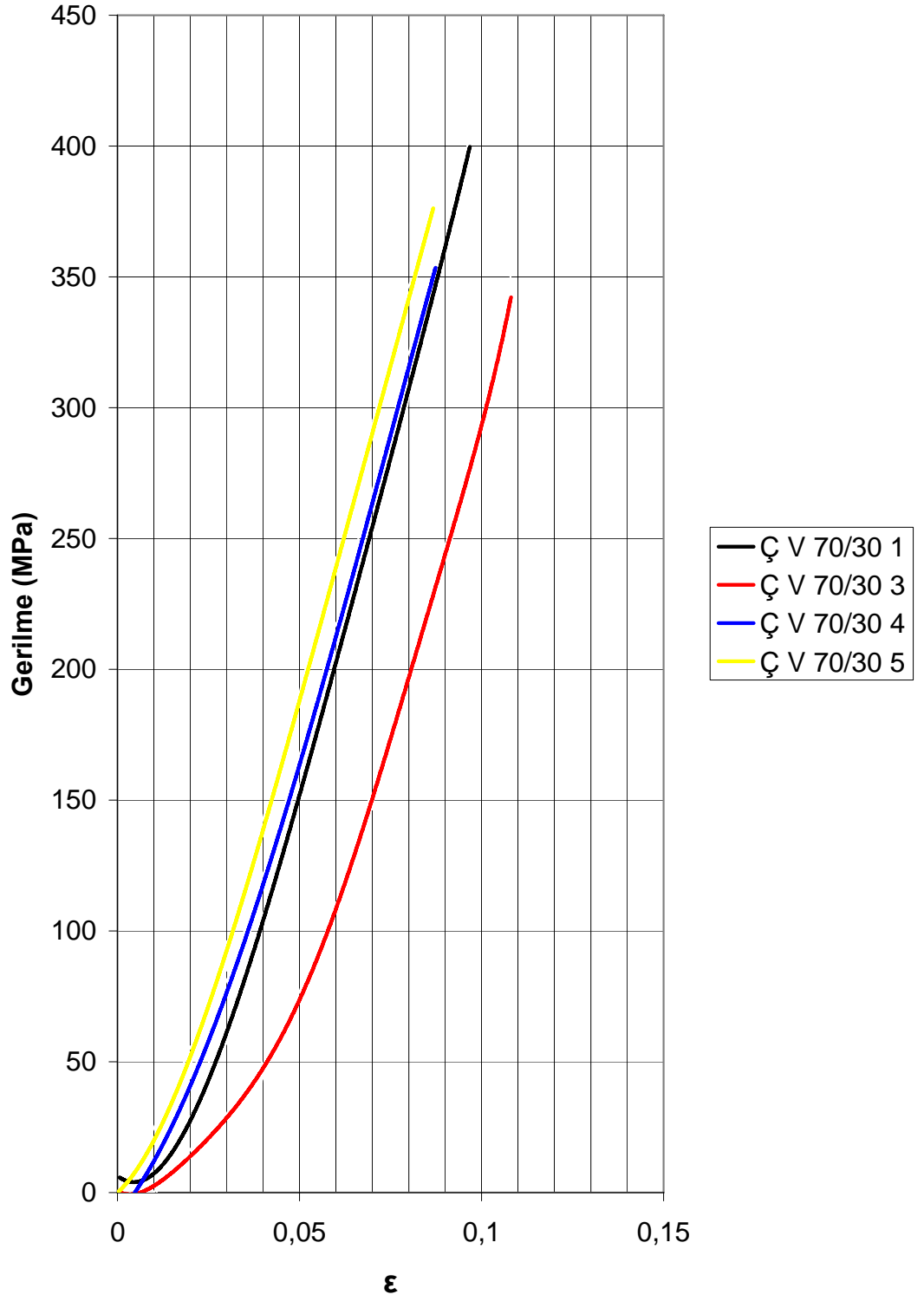
Şekil 5.17: El yatırması ile elde edilen 71/29 oranlı numunenin çekme deney sonuçları



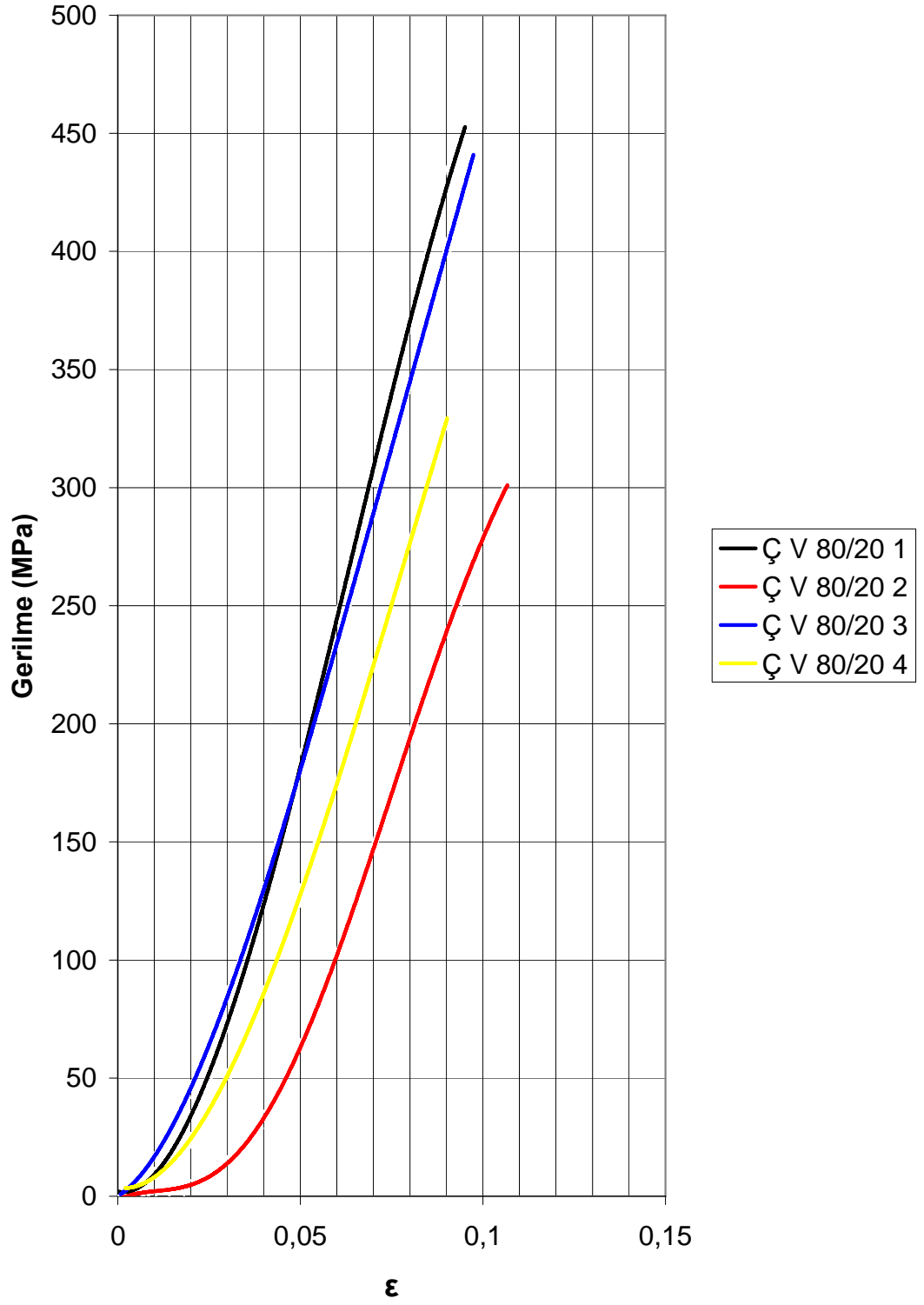
Şekil 5.18: Vakum ile elde edilen 50/50 oranlı numunenin çekme deney sonuçları



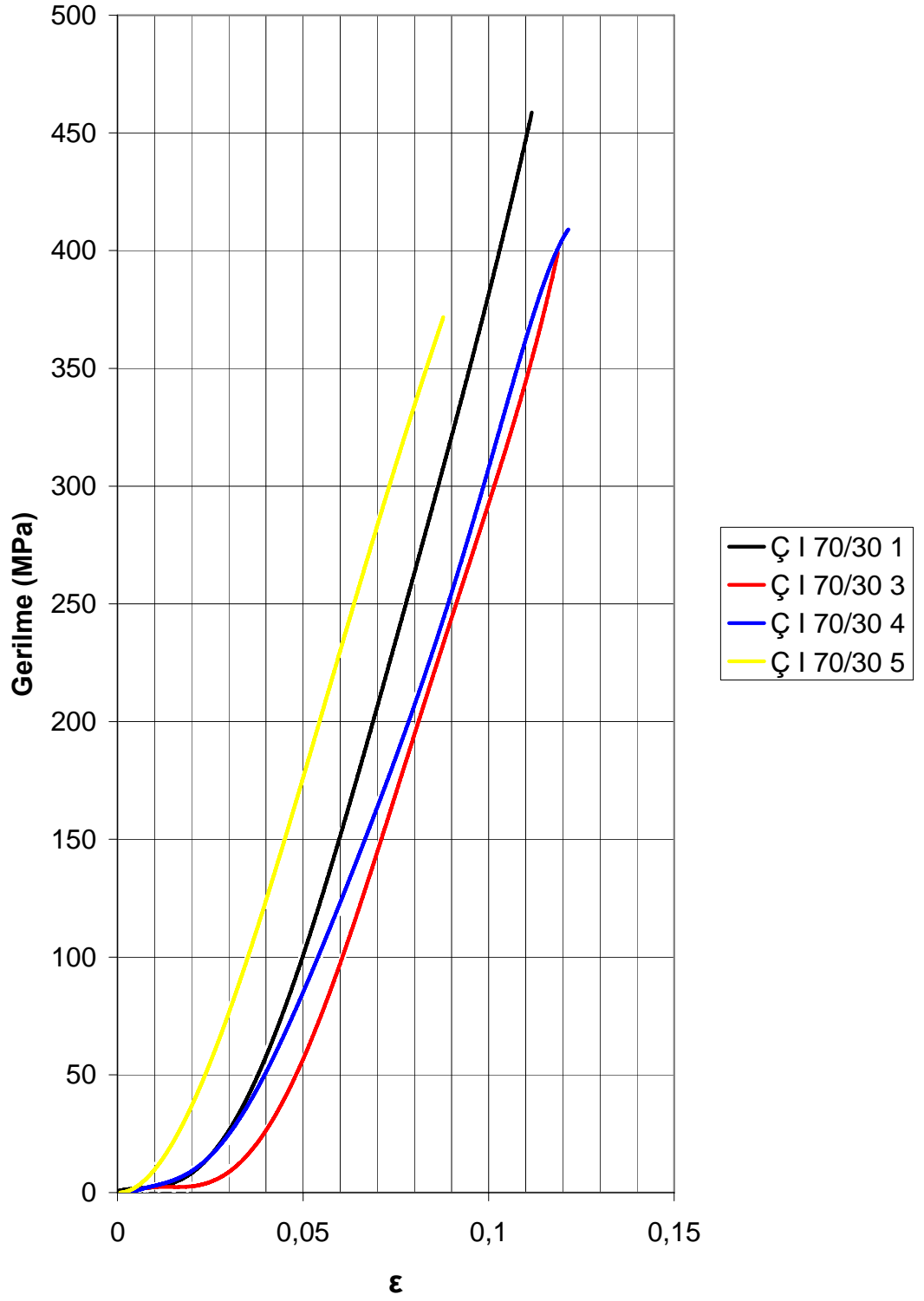
Şekil 5.19: Vakum ile elde edilen 60/40 oranlı numunenin çekme deney sonuçları



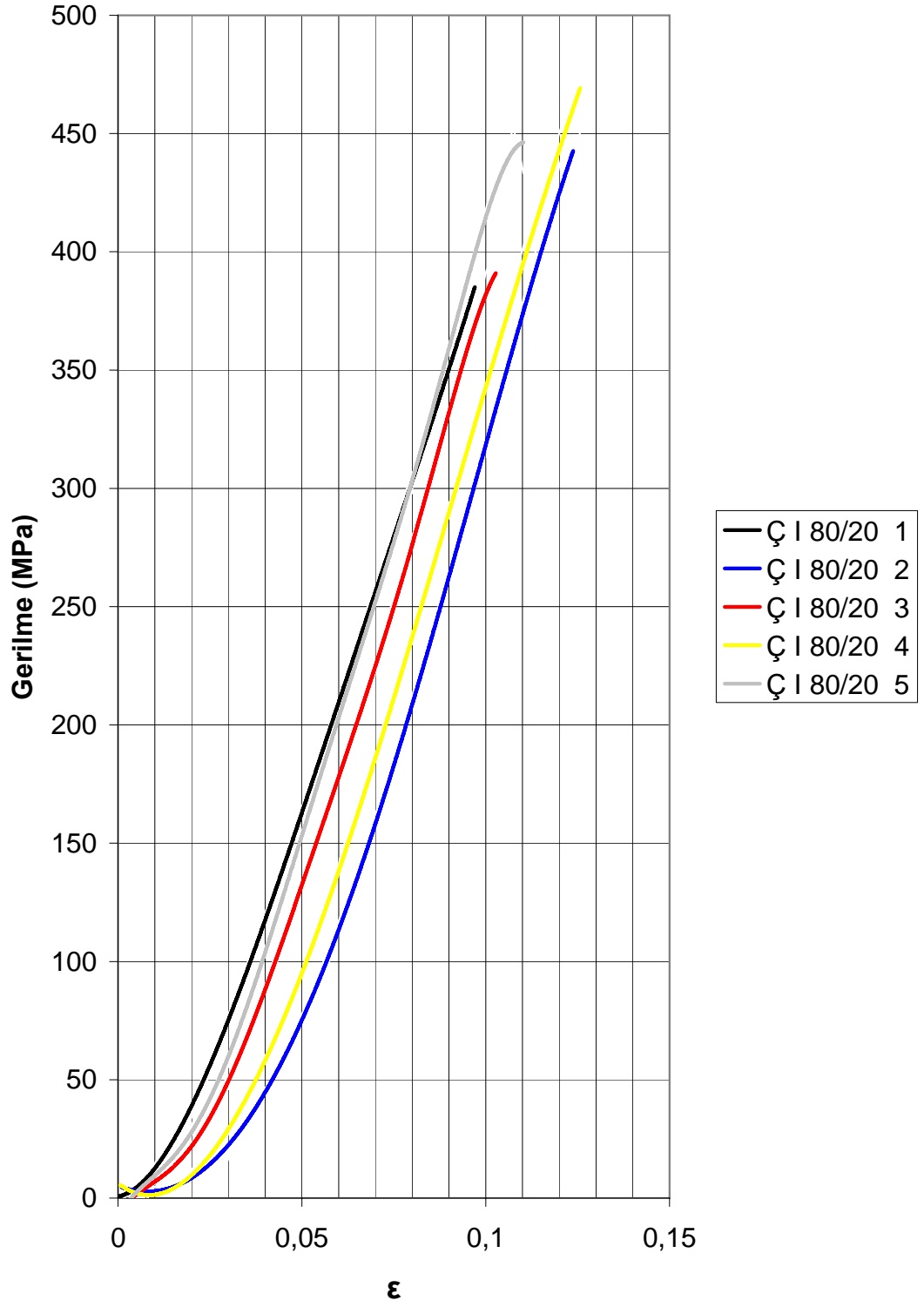
Şekil 5.20: Vakum ile elde edilen 70/30 oranlı numunenin çekme deney sonuçları



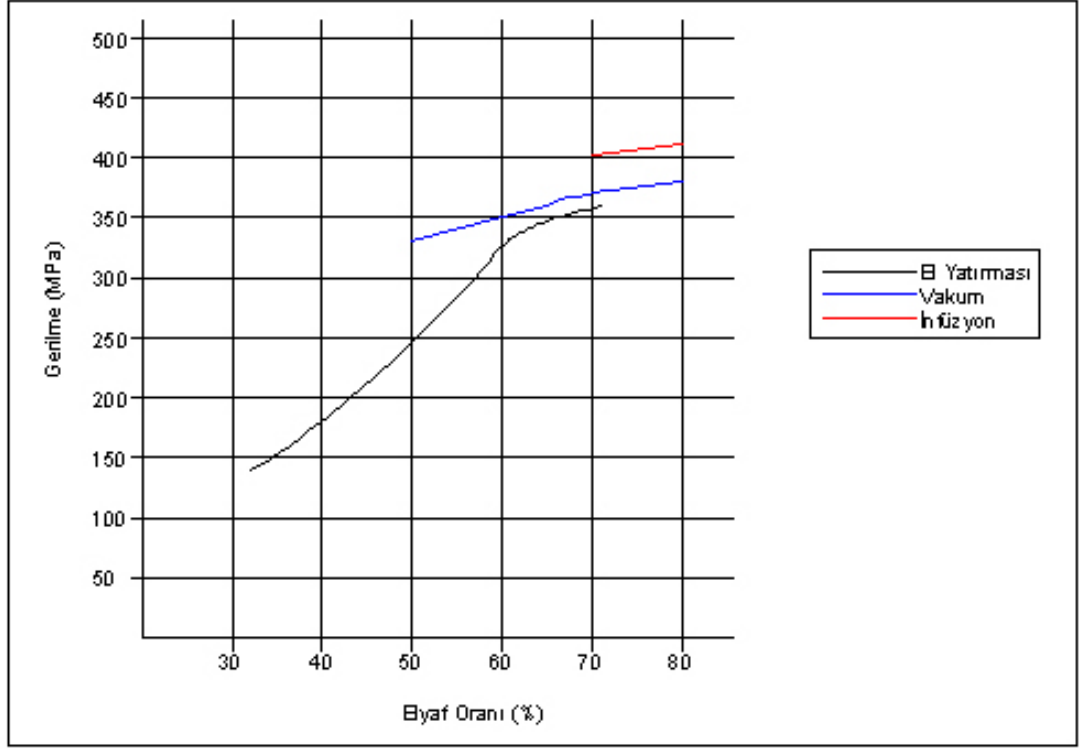
Şekil 5.21: Vakum ile elde edilen 80/20 oranlı numunenin çekme deney sonuçları



Şekil 5.22: İnfüzyon ile elde edilen 70/30 oranlı numunenin çekme deney sonuçları

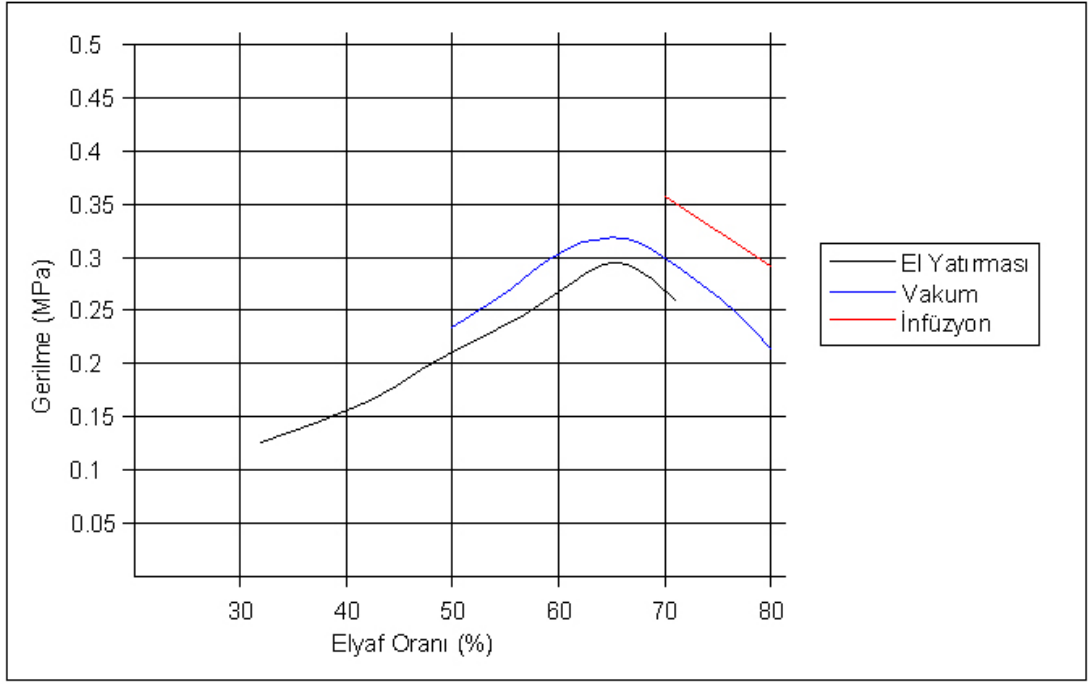


Şekil 5.23: İnfüzyon ile elde edilen 80/20 oranlı numunenin çekme deney sonuçları



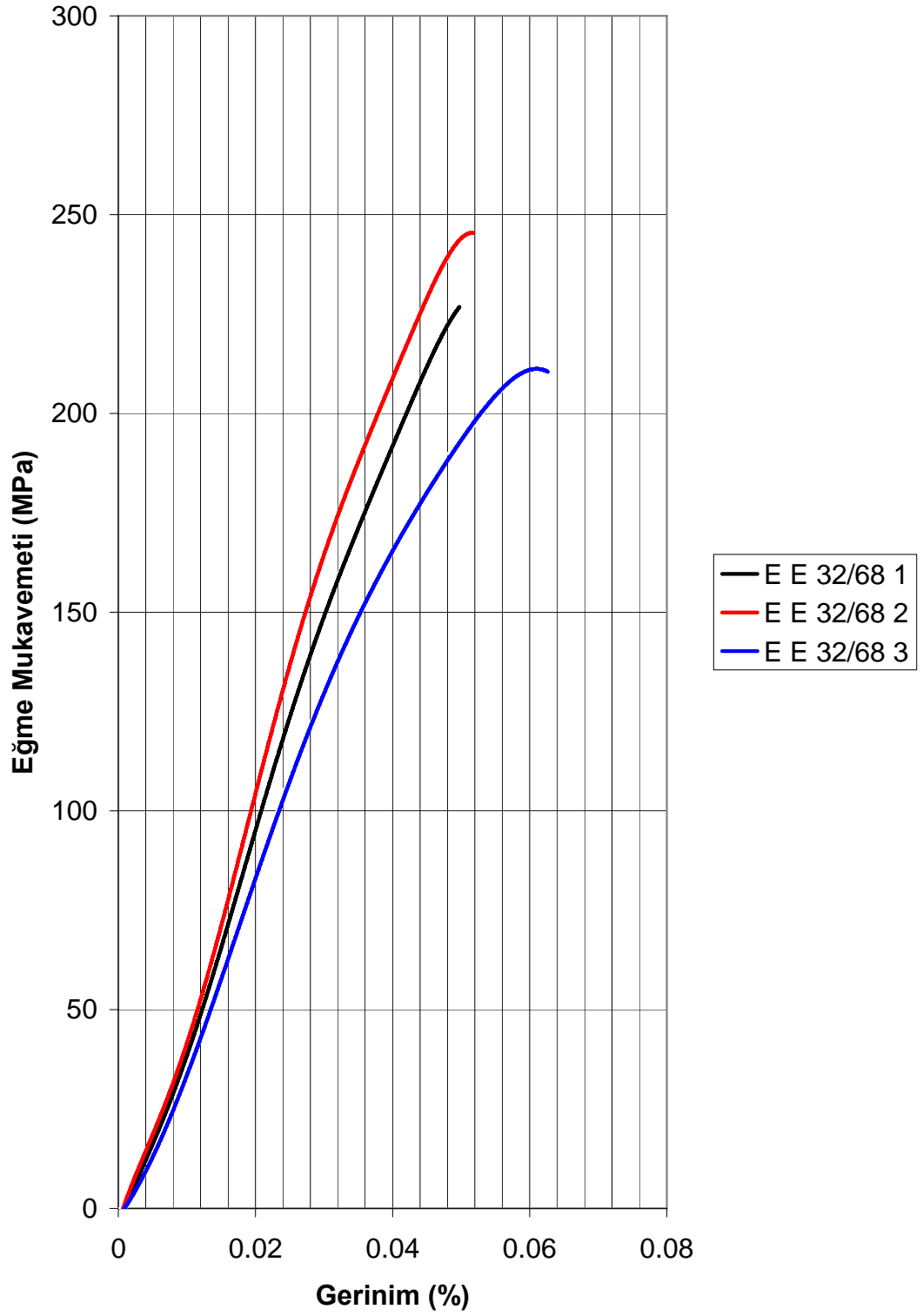
Şekil 5.24: Çekme deney sonuçları

Darbe deneyinde parçanın üzerine gelen darbe esnasında çekiç'in vurduğu bölgenin ters tarafında daha fazla gerilmeler olduğu gözlenmiştir. Bu noktada karşımıza elyaf takviyeleriyle reçine matris arasındaki yapışma yüzeyi üzerinde meydana gelen kayma gerilmeleri ön plana çıkmaktadır. Genelde ortaya çıkan görüntü, tek taraflı kırılmalar olması, darbeyi alan tarafların sağlam kalmasıdır. Bir diğer karşılaşılan durum ise özellikle reçine oranının az olduğu parçalarda delaminasyon meydana gelmesidir. Sonuçlardan da anlaşılacağı gibi parçaların belli noktalardan sonra mukavemetleri düşmektedir. Aynı zamanda elyaf oranı arttıkça el yatırması ve vakum yöntemlerinin sonuçları birbirine yaklaşmaktadır. Şekil 5.25'de yöntemlerin karşılaştırmalı darbe deney sonuçları bulunmaktadır ve tablo 5.1'de ortalama değerler verilmektedir.

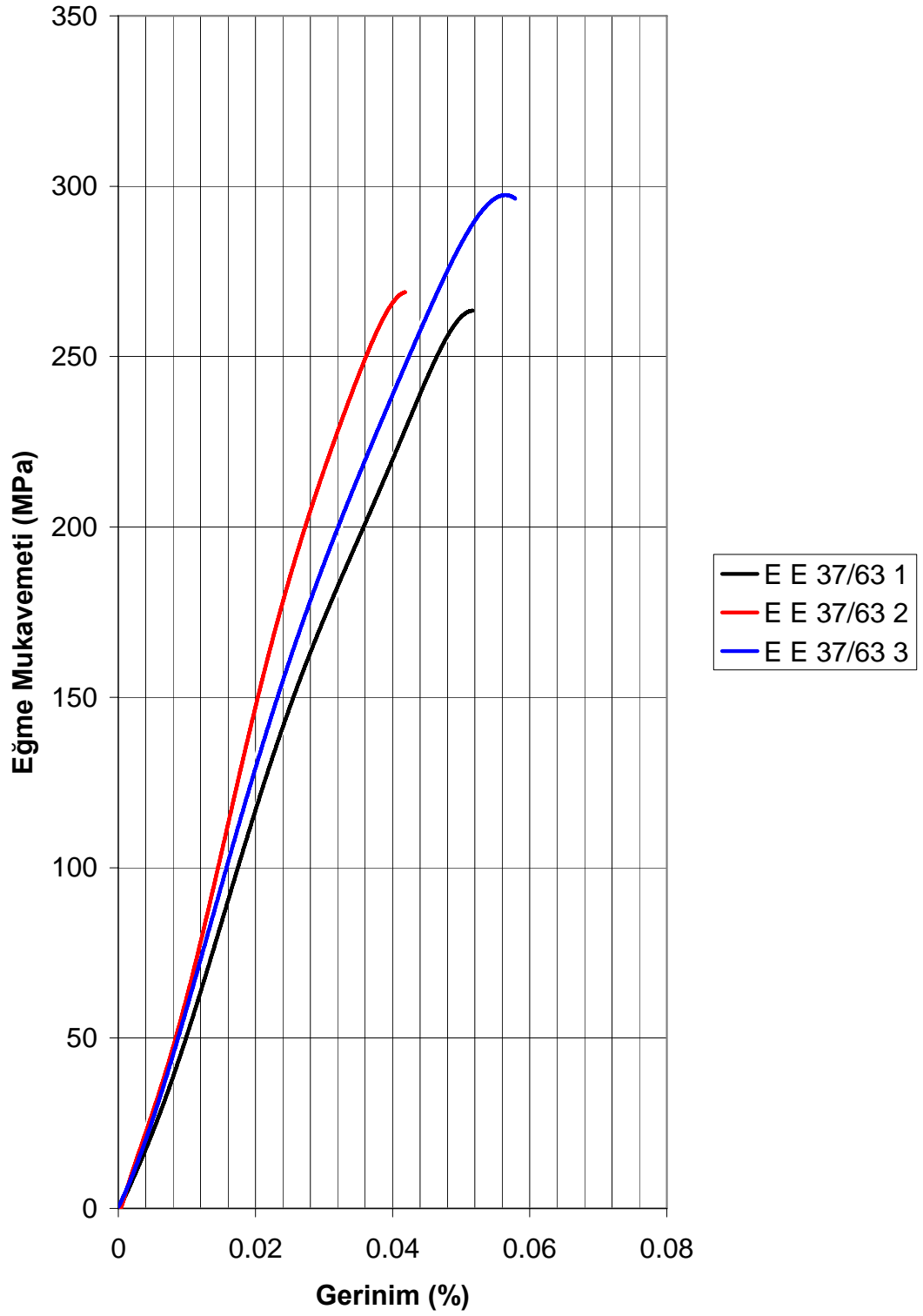


Şekil 5.25: Darbe deney sonuçları

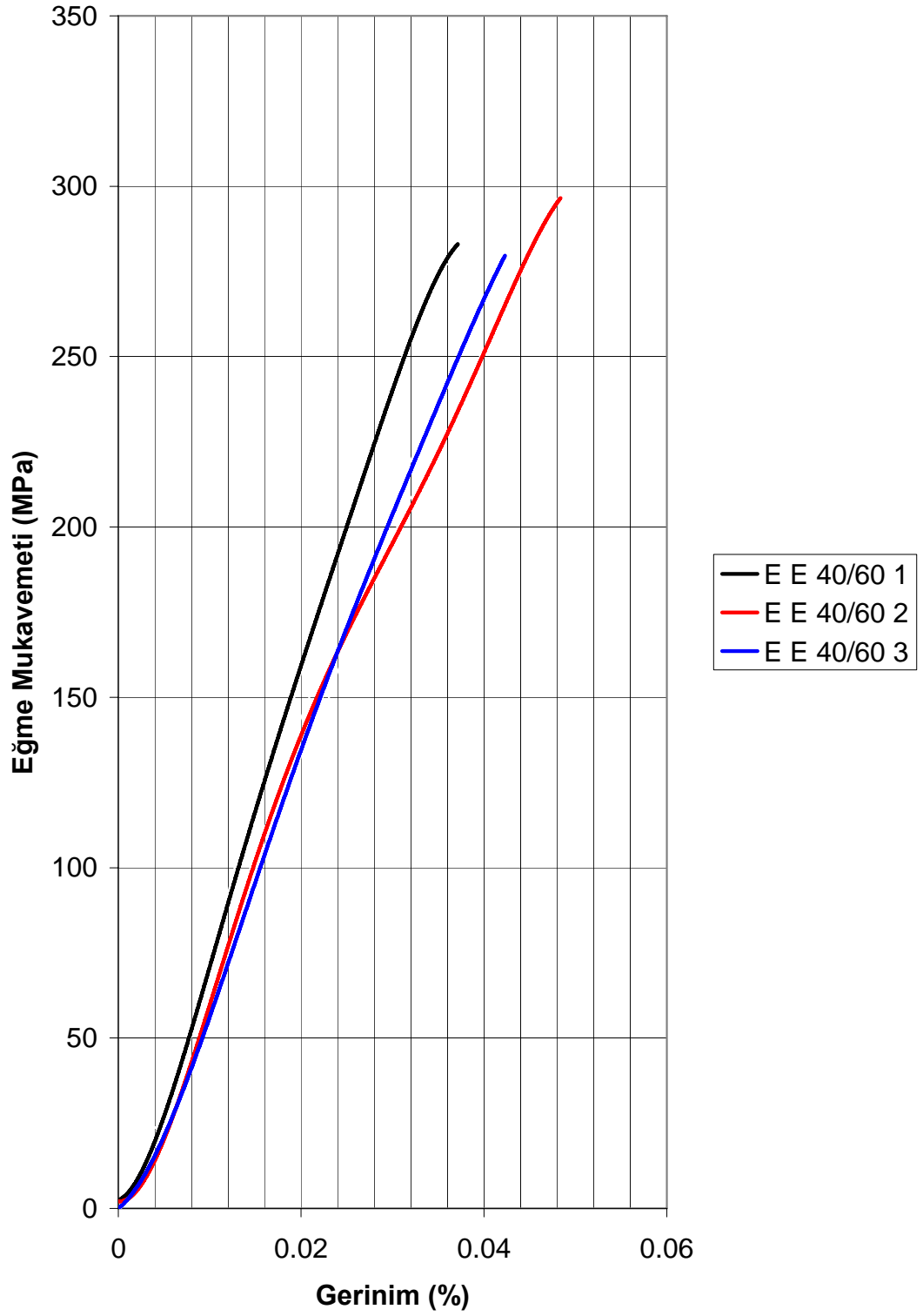
Eğme deneyinde vakum ve el yatırması yöntemi ile elde edilen numunelerin sonuçları birbirine yakındır, ancak infüzyon yöntemi ile elde edilen numunelerin sonuçları diğer deneylerde de olduğu gibi üstün çıkmaktadır. Şekil 5.26'dan Şekil 5.40'a kadar deneyleri yapılmış parçaların sonuçları ve Şekil 5.41'de ise yöntemlerin karşılaştırmalı grafiği mevcuttur. Tablo 5.1'de de ortalama değerler verilmektedir.



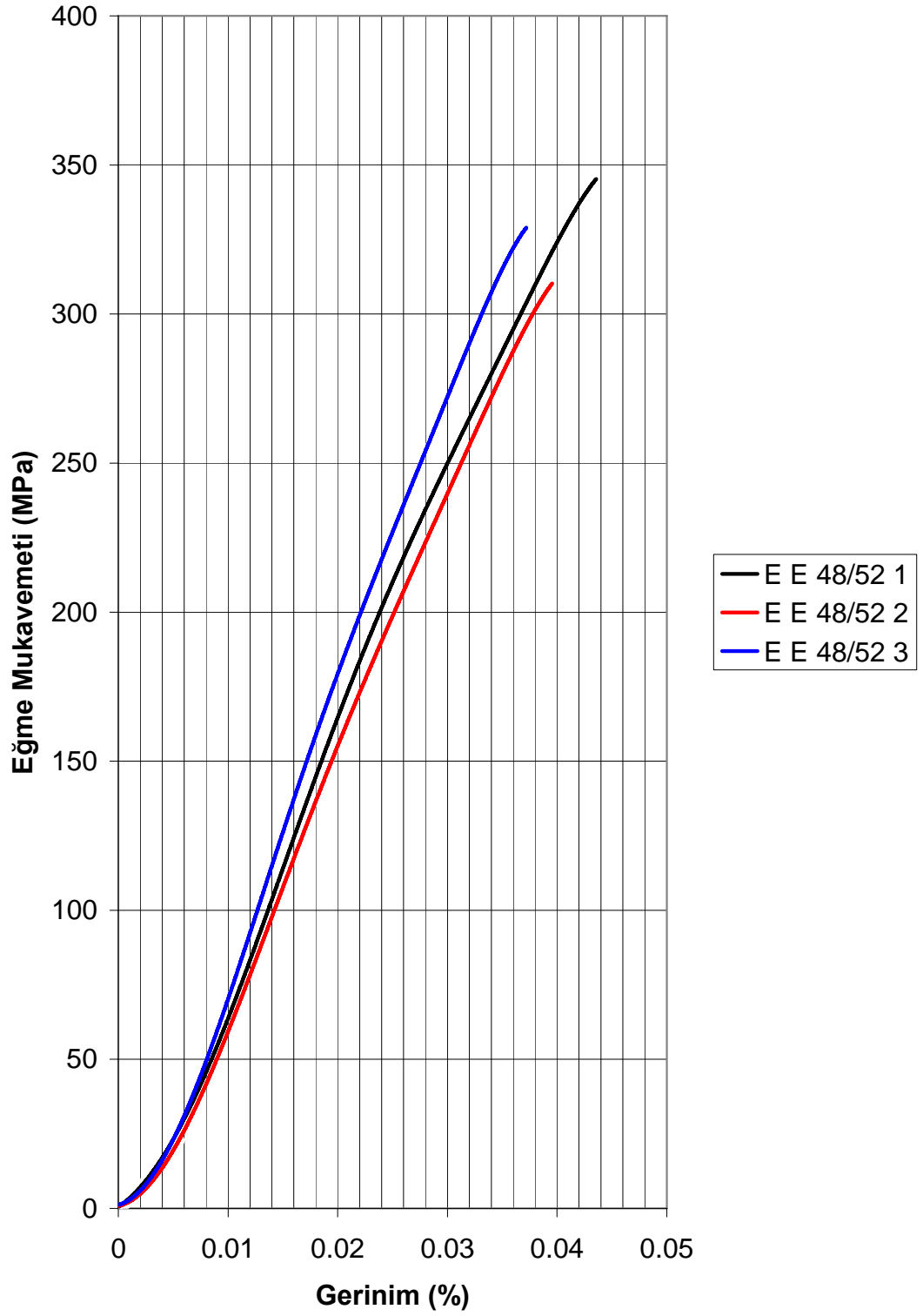
Şekil 5.26: El yatırması ile elde edilen 32/68 oranlı numunenin eğme deney sonuçları



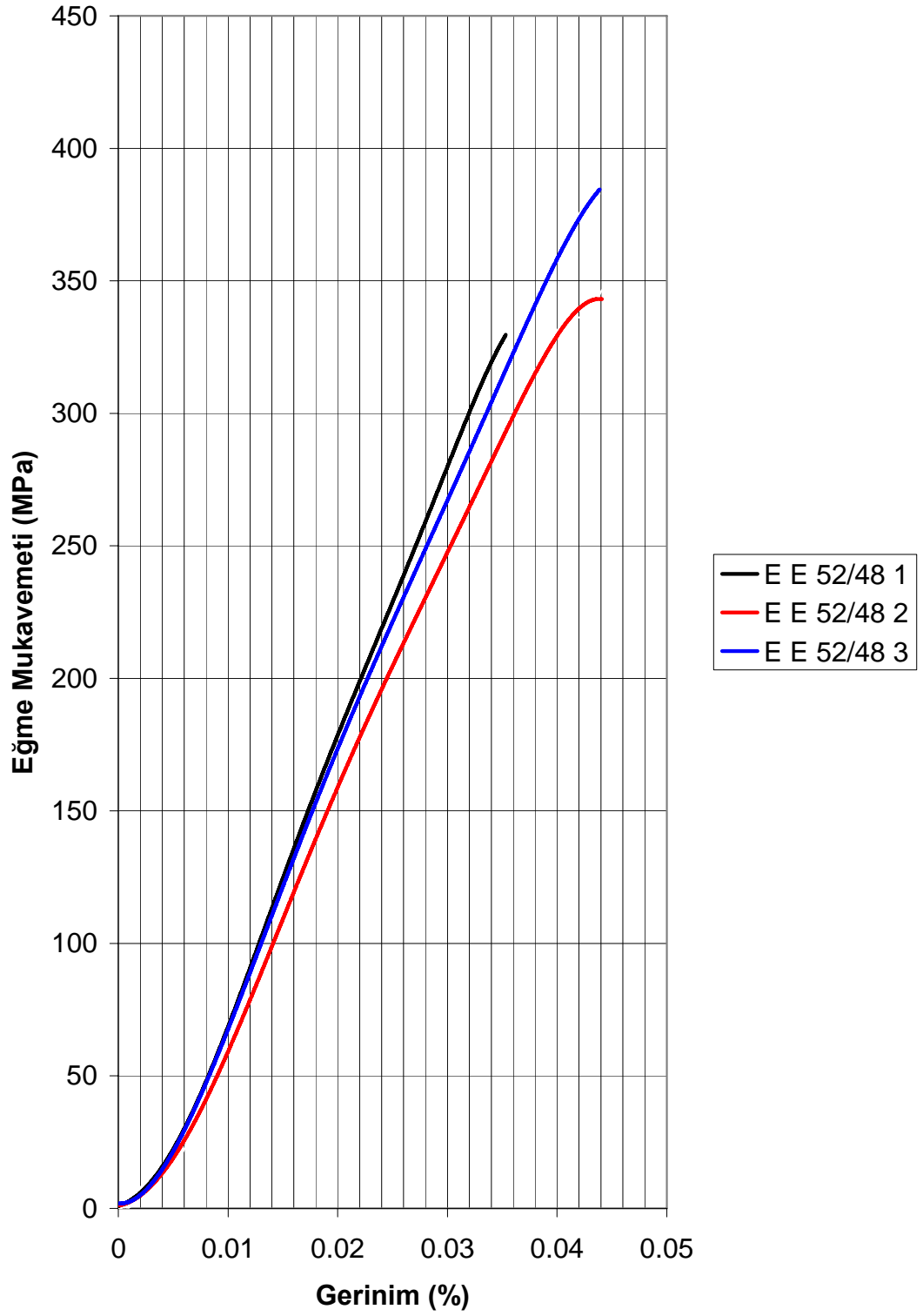
Şekil 5.27: El yatırması ile elde edilen 37/63 oranlı numunenin eğme deney sonuçları



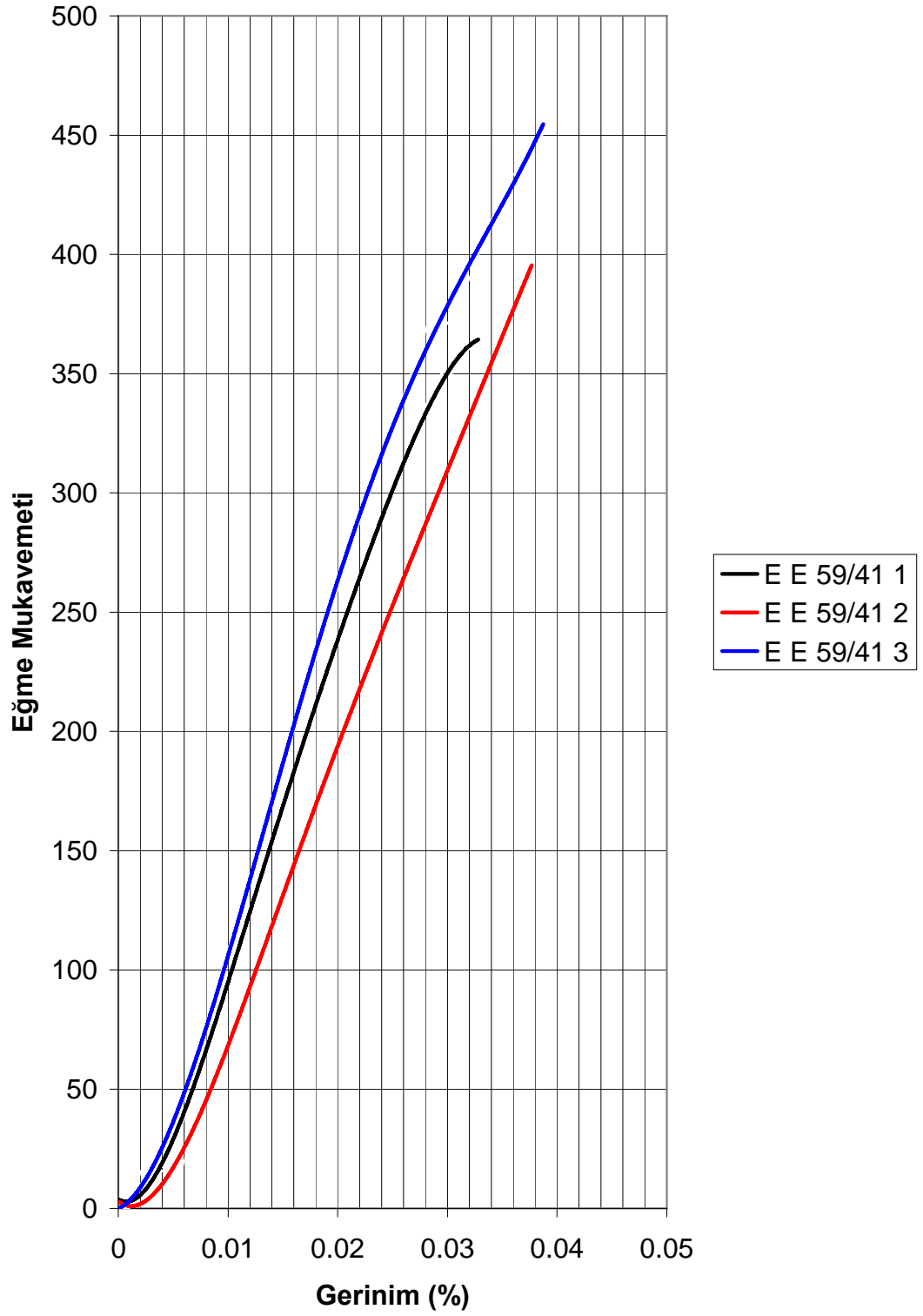
Şekil 5.28: El yatırması ile elde edilen 40/60 oranlı numunenin eğme deney sonuçları



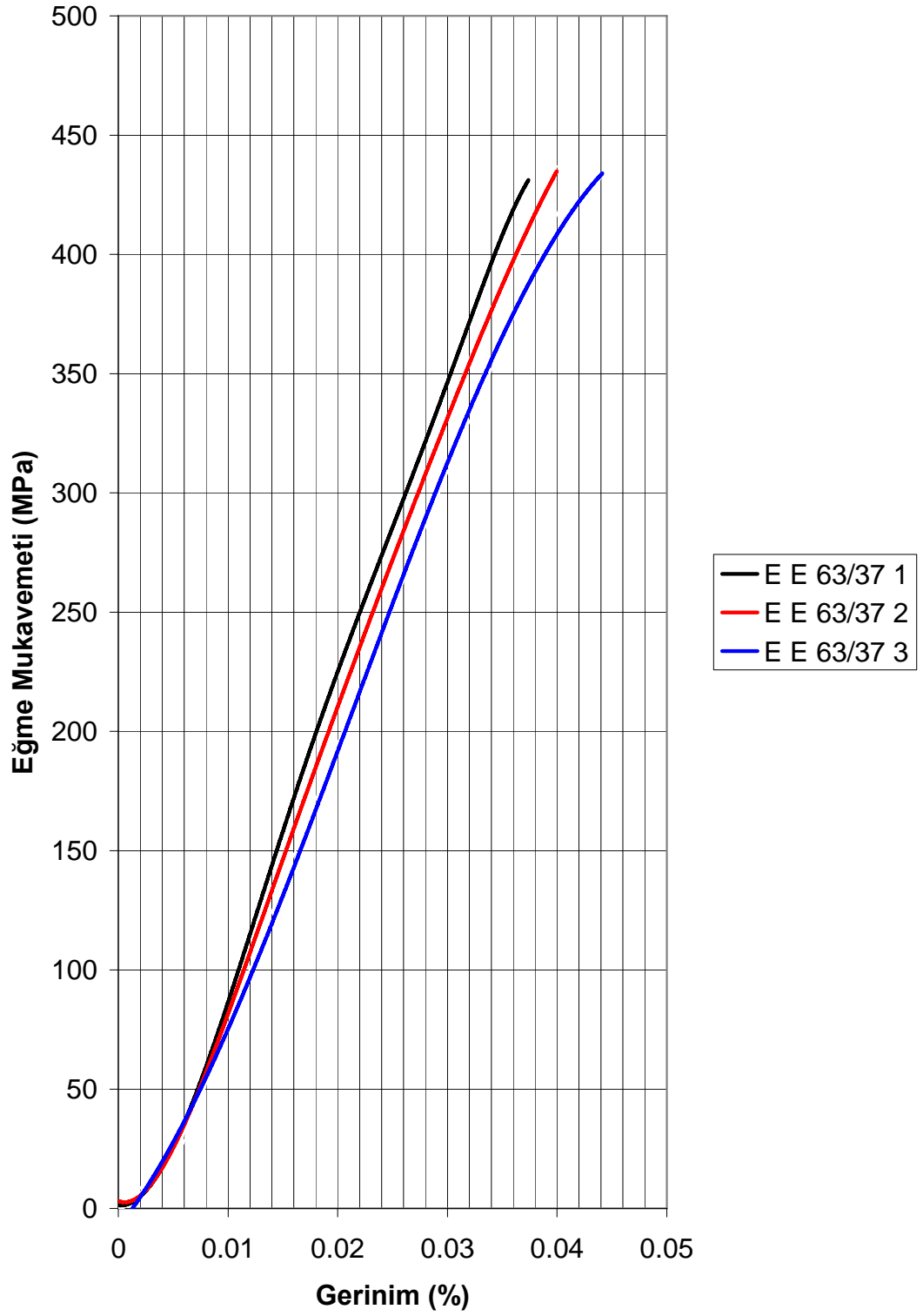
Şekil 5.29: El yatırması ile elde edilen 48/52 oranlı numunenin eğme deney sonuçları



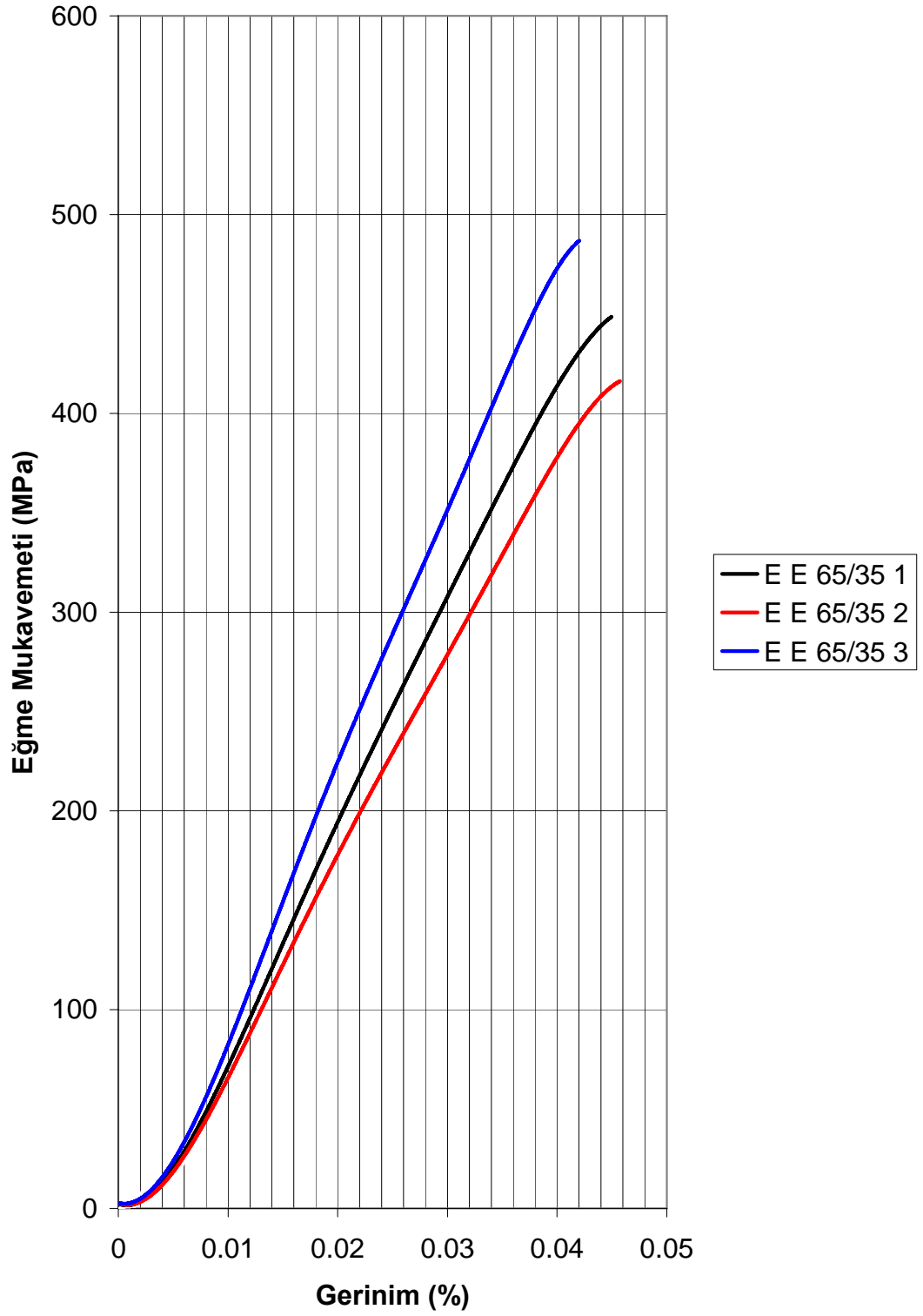
Şekil 5.30: El yatırması ile elde edilen 52/48 oranlı numunenin eğme deney sonuçları



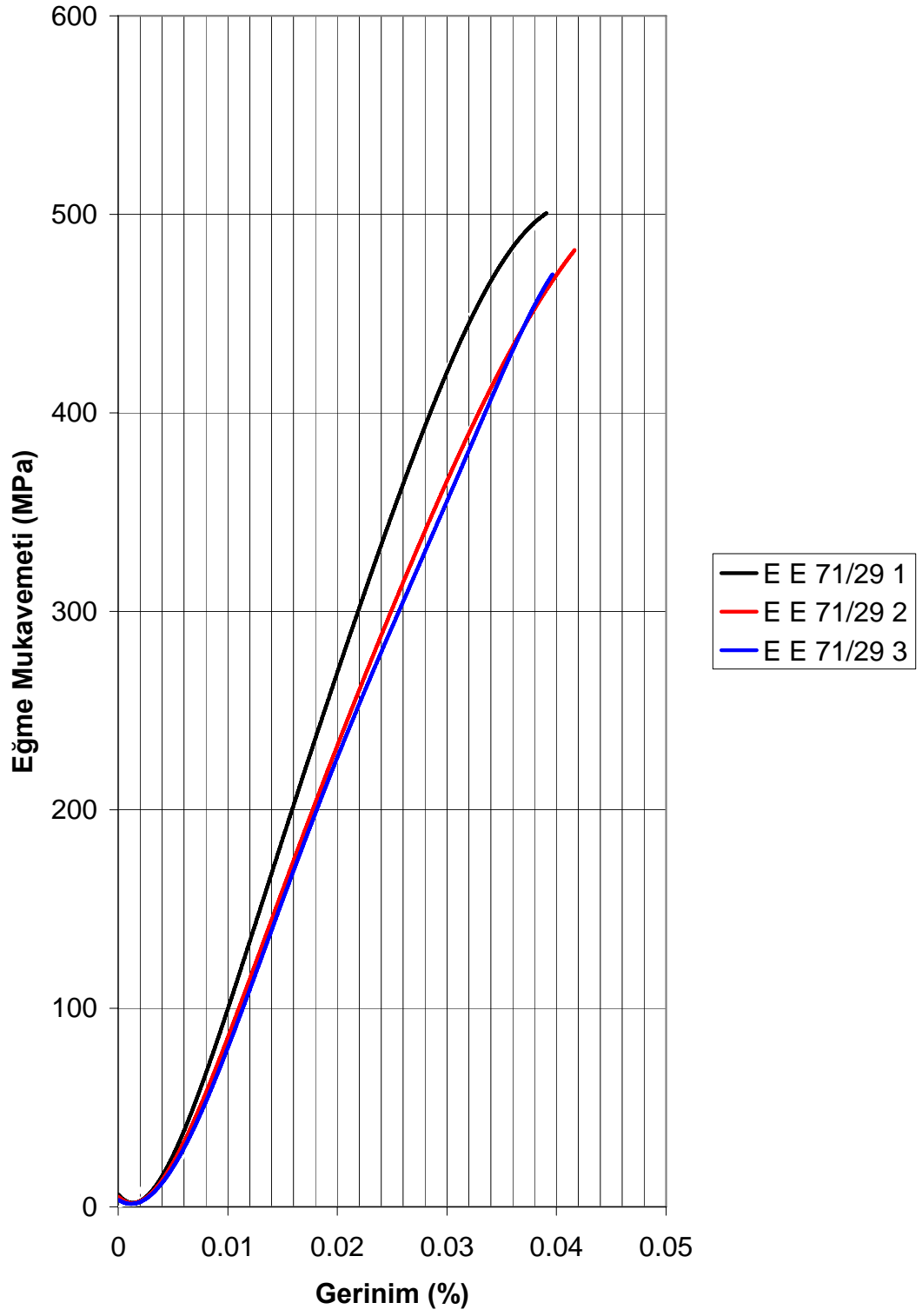
Şekil 5.31: El yatırması ile elde edilen 59/41 oranlı numunenin eğme deney sonuçları



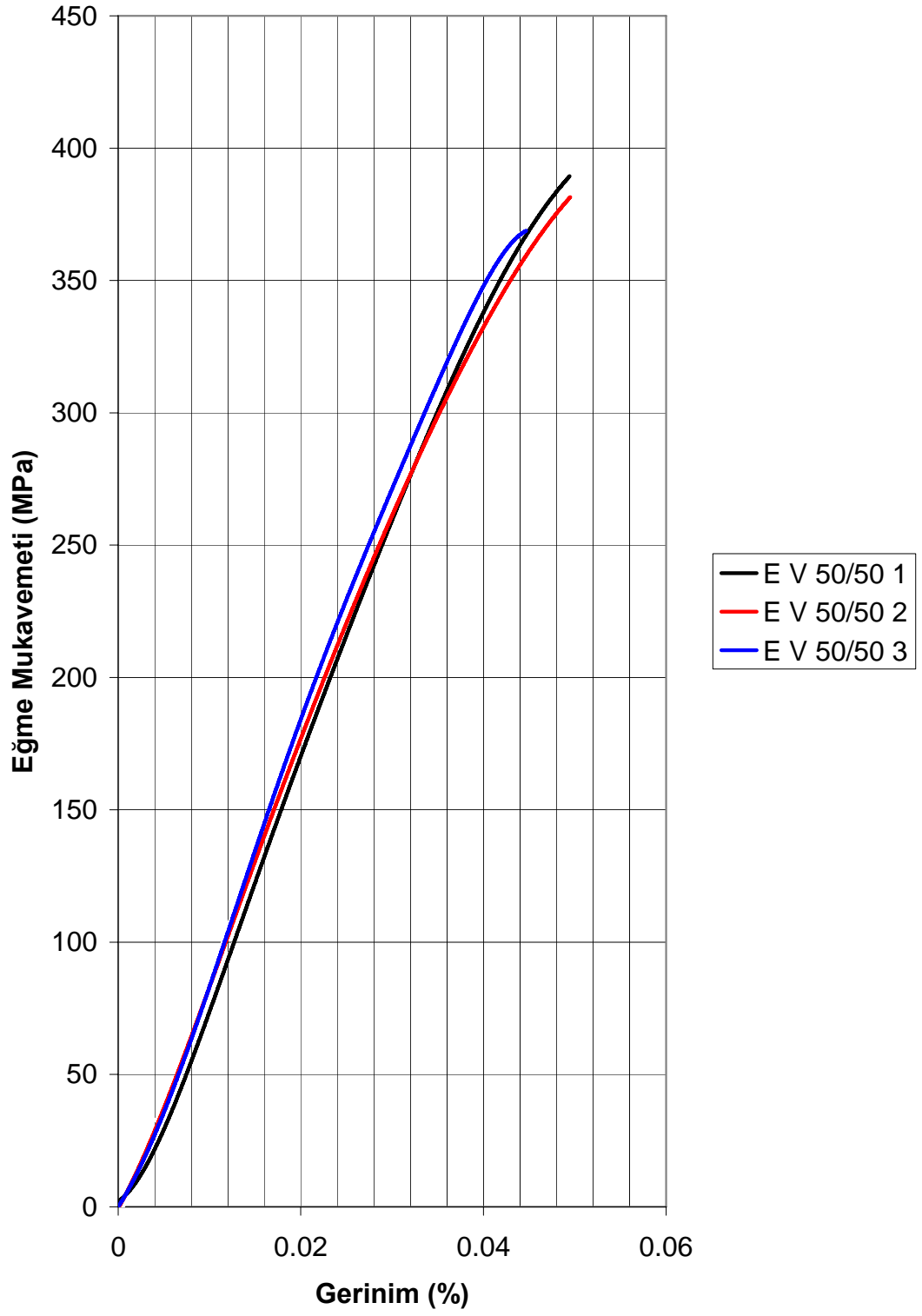
Şekil 5.32: El yatırması ile elde edilen 63/37 oranlı numunenin eğme deney sonuçları



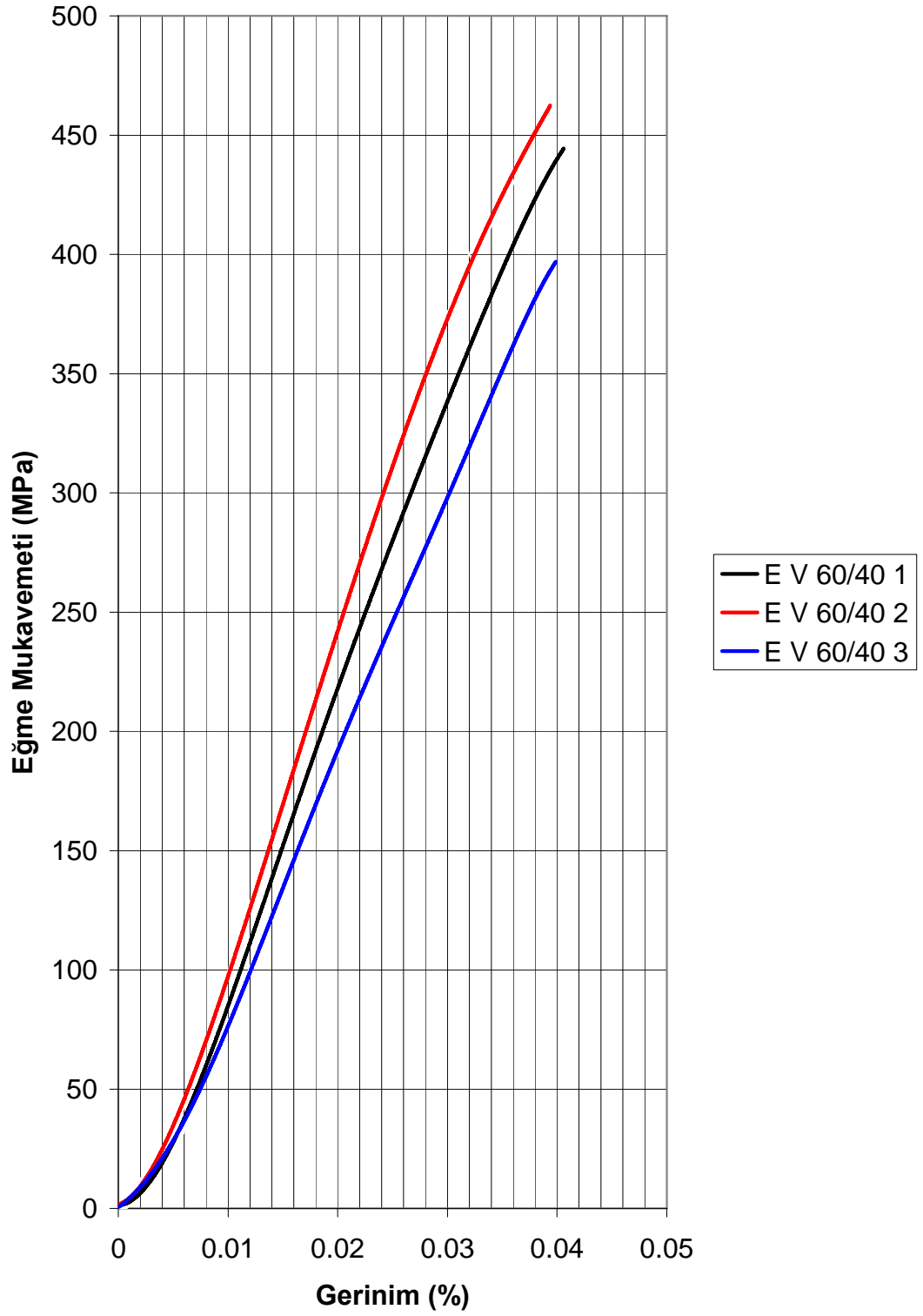
Şekil 5.33: El yatırması ile elde edilen 65/35 oranlı numunenin eğme deney sonuçları



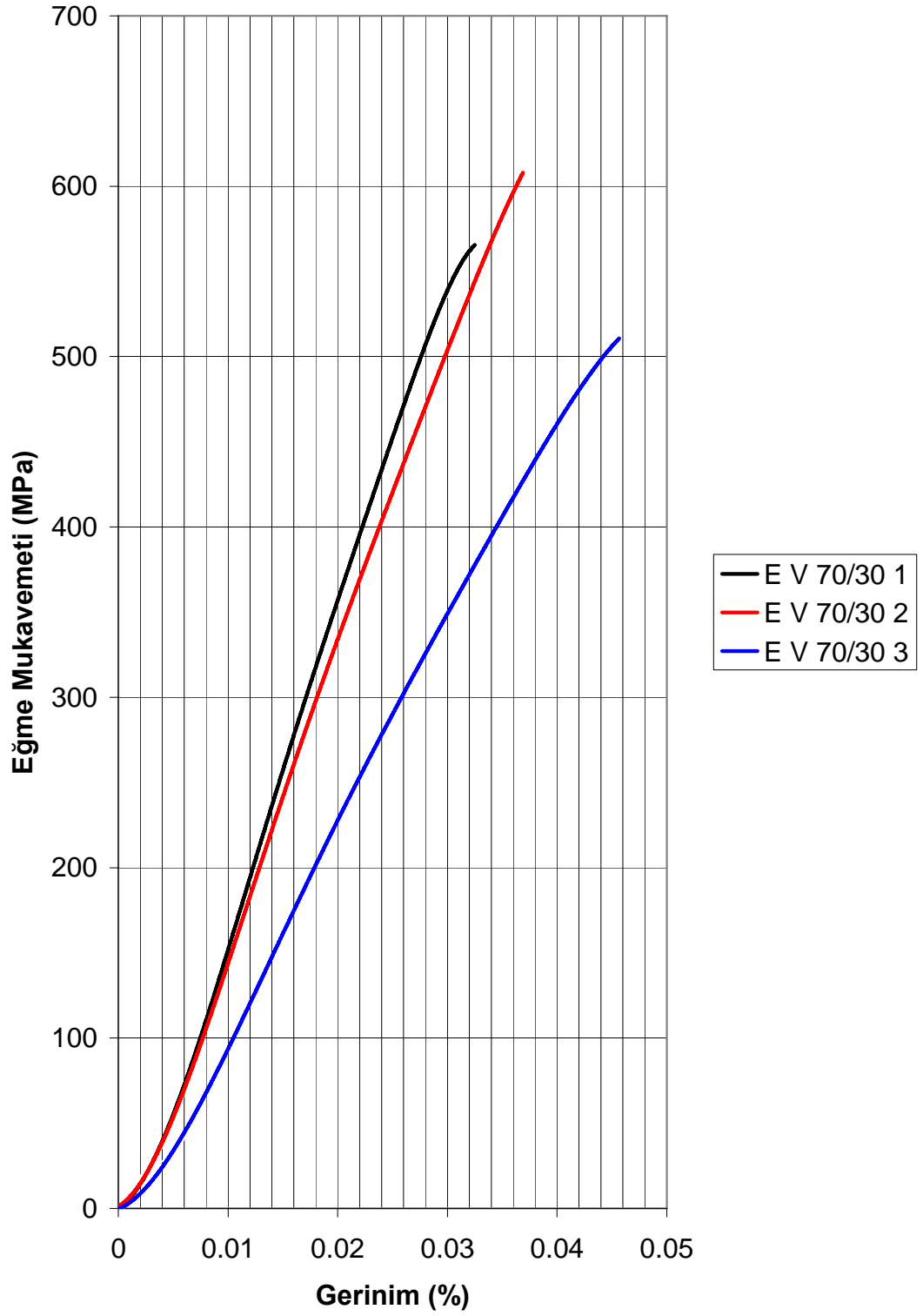
Şekil 5.34: El yatırması ile elde edilen 71/29 oranlı numunenin eğme deney sonuçları



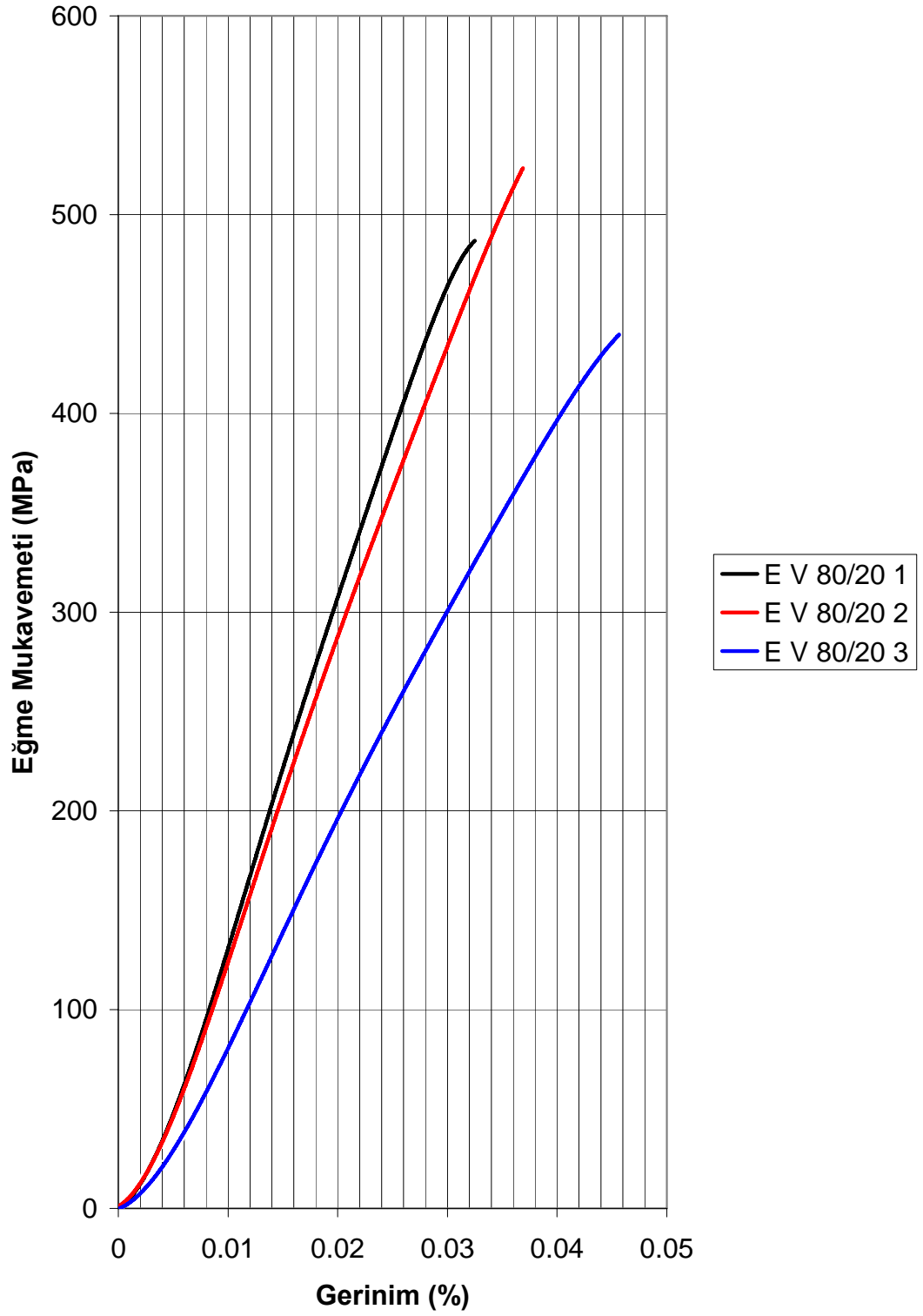
Şekil 5.35: Vakum ile elde edilen 50/50 oranlı numunenin eğme deney sonuçları



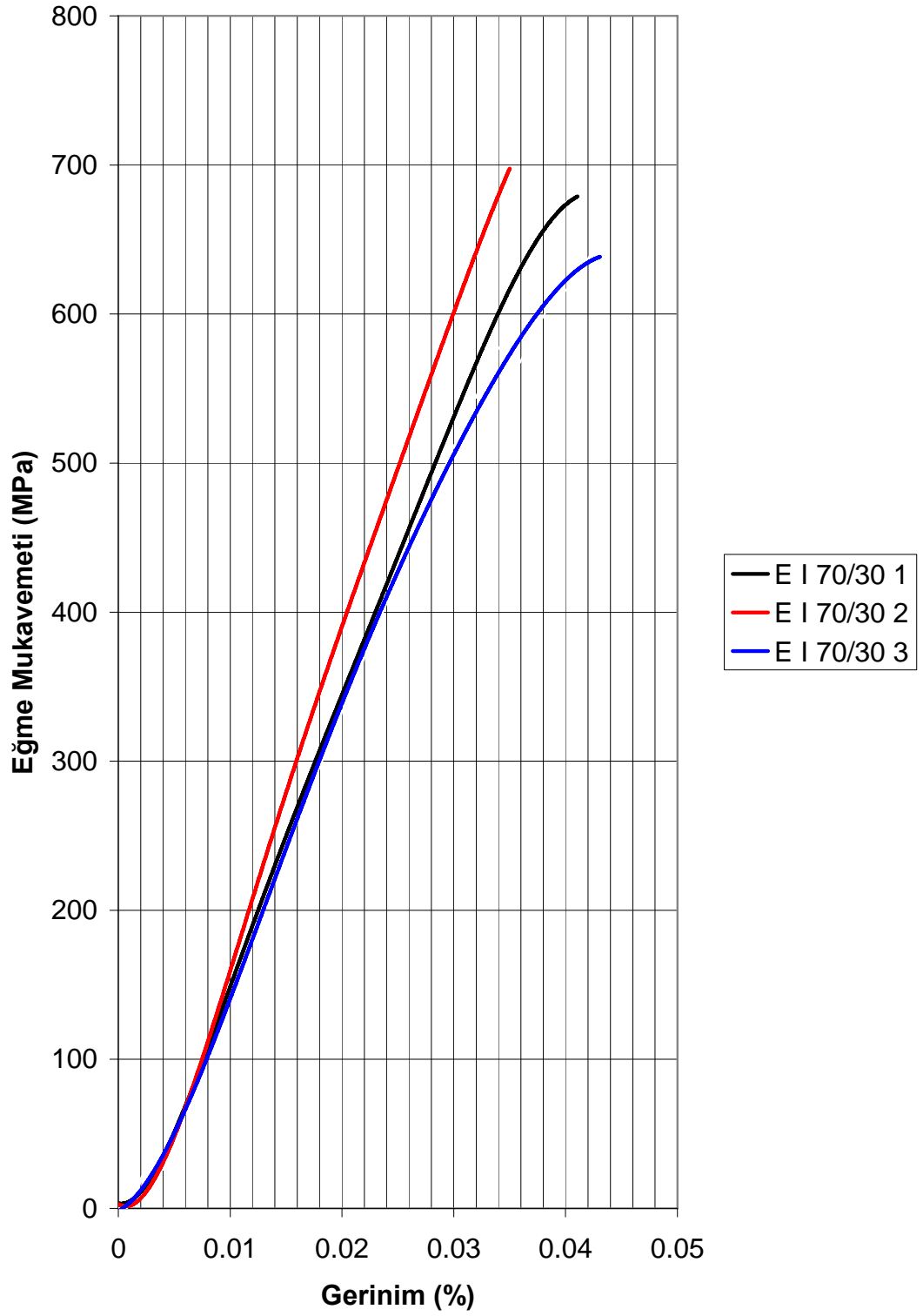
Şekil 5.36: Vakum ile elde edilen 60/40 oranlı numunenin eğme deney sonuçları



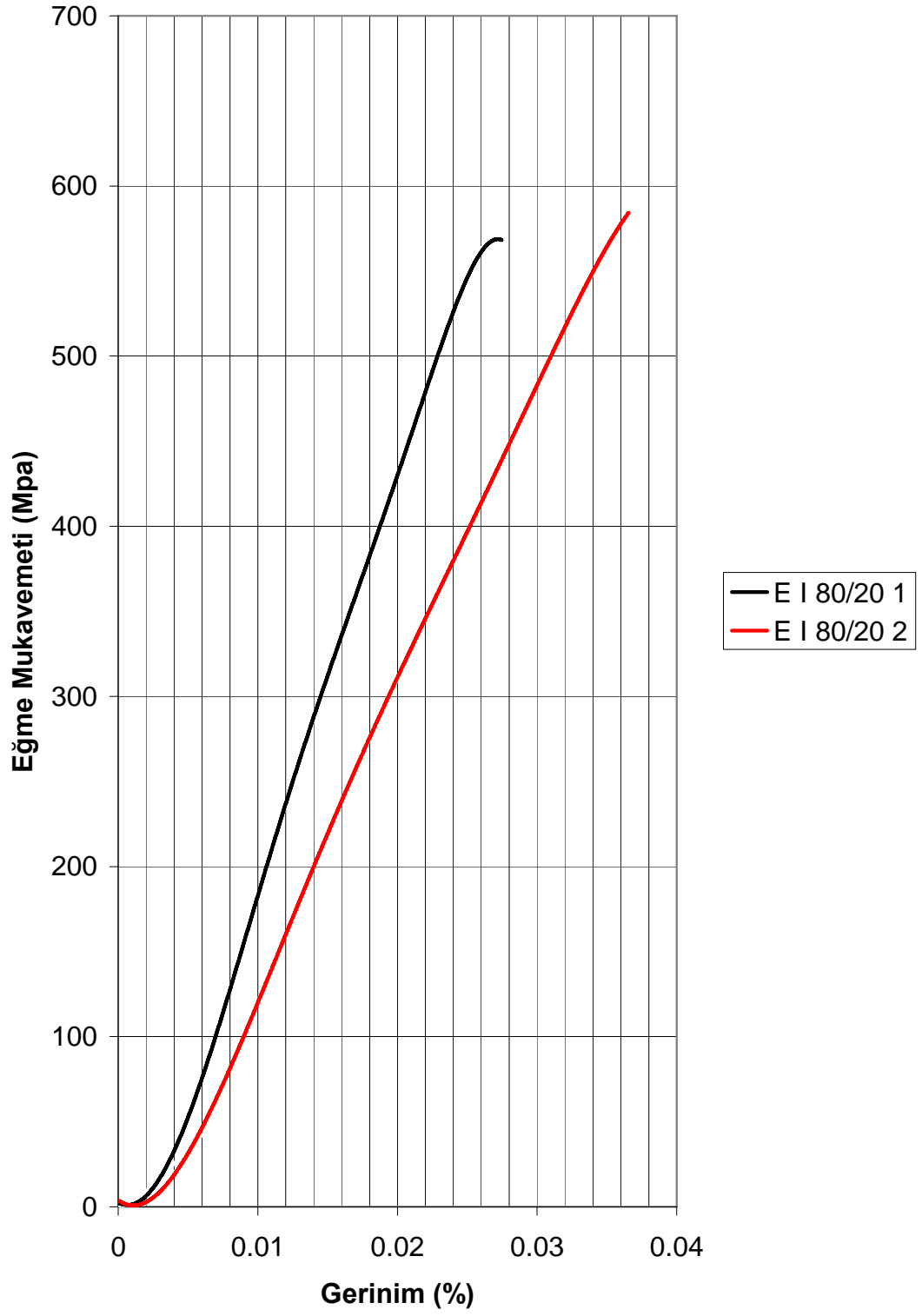
Şekil 5.37: Vakum ile elde edilen 70/30 oranlı numunenin eğme deney sonuçları



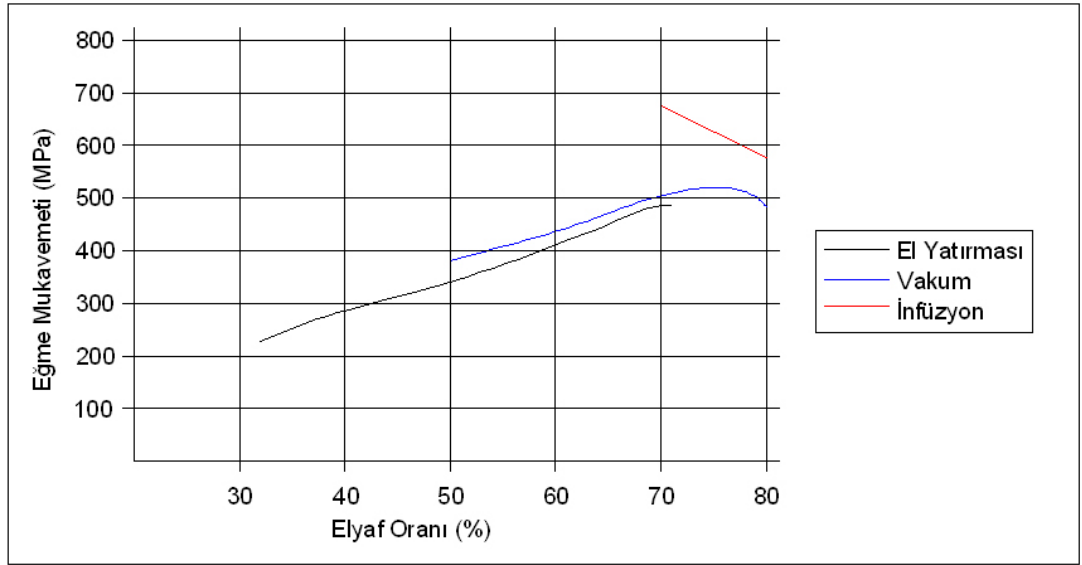
Şekil 5.38: Vakum ile elde edilen 80/20 oranlı numunenin eğme deney sonuçları



Şekil 5.39: İnfüzyon ile elde edilen 70/30 oranlı numunenin eğme deney sonuçları



Şekil 5.40: İnfüzyon ile elde edilen 80/20 oranlı numunenin eğme deney sonuçları



Şekil 5.41: Eğme deney sonuçları

Tablo 5.1: Deneilerin ortalama değerleri

Plaka No	Çekme MPa	Darbe MPa.m	Eğme MPa
E 32/68	139	0,126	228
E 37/63	163	0,144	267
E 40/60	181	0,154	286
E 48/52	231	0,199	328
E 52/48	262	0,222	353
E 59/41	318	0,260	403
E 63/37	341	0,288	434
E 65/35	347	0,295	450
E 71/29	360	0,260	487

Tablo 5.1: Deneylerin ortalama değerleri (Devam)

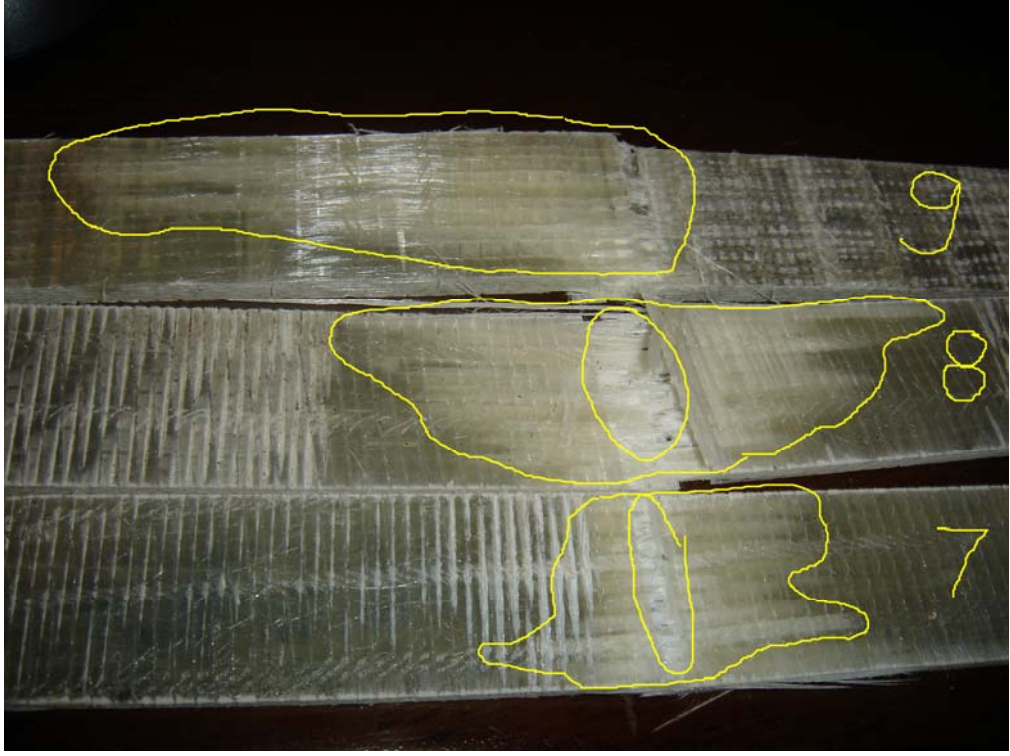
Plaka No	Çekme Mpa	Darbe MPa.m	Eğme MPa
V 50/50	330	0,234	380
V 60/40	350	0,304	436
V 70/30	371	0,300	504
V 80/20	380	0,214	483
I 70/30	403	0,358	674
I 80/20	410	0,292	576

5.3 Kırılma Yüzeylerinin İncelenmesi

Öncelikle el yatırması yönteminden çıkan çekme deneyi parçalarını incelemeye başlarsak, elyafın en fazla olduğu 9., 8. ve 7. parçalarda tam anlamıyla kopmalar gerçekleşmemiştir ancak parçalardaki reçine matrisi birbirinden ayrılmıştır. Buna rağmen parçalar elyaf takviyeler sayesinde birbirine bağlıdır. Parçaların iç yapılarını gözlemlediğimizde ise elyaf takviyelerin yüzeylerinin bir kısmının reçine matrisinden kurtulduğunu görebiliriz, hatta bazı ürünlerde matris kabuk şeklinde kalmıştır ve altta yeteri kadar ıslanmamış takviye takımını görebilmekteyiz (Şekil 5.42) [5-8]



Şekil 5.42: 8. nolu parçada matris kabuk gibi kalkmış ve altında ıslanmamış elyaflar gözükmektedir.



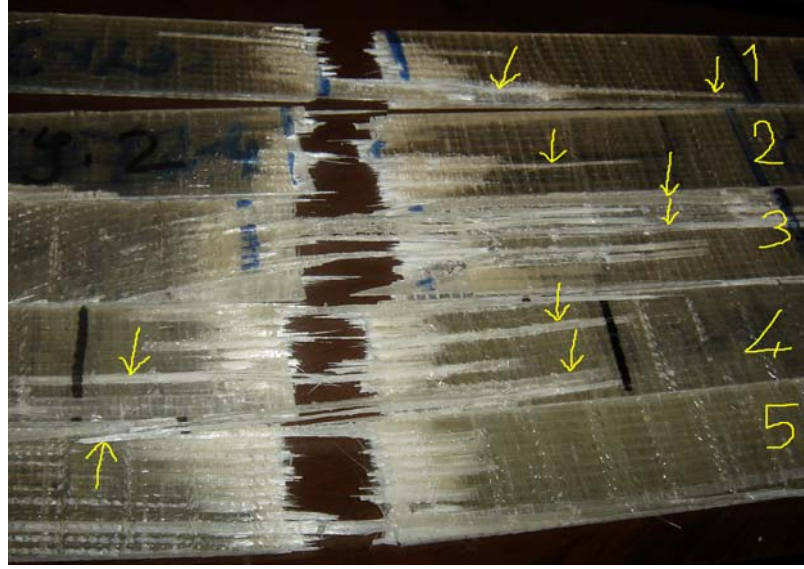
Şekil 5.43: İşaretli alanlarda elyaf liflerinin interlaminar bağlarından kurtulduğunu ve hala iç kısımlarda yeterince ıslanmamış kısımlar olduğunu görmekteyiz.

6. Parçalarda ise tam bir geçiş aralığı gözlenmektedir. Burada da hem bir önceki örneklere benzer durumlar görmekteyiz hem de bazı parçaların tamamen koptuklarını gözlemleyebiliyoruz, bu demektir ki bazı bölgelerde reçine matrisi takviye elyaflarını hala tutmaktadır ve onları tek noktadan kırılmaya zorlamıştır, bunun yanında iç yapılar incelendiğinde az da olsa yine kuru elyaflarla karşılaşmaktayız (Şekil 5.44) [5-8]



Şekil 5.44: 6 nolu parçaların kırılma şekilleri

5.'den başlayıp 1'e doğru giden parçalarda ise elyaf oranları azaldığı için tam kopmalar görülmektedir. Dikkati çeken bir başka nokta ise bu parçalarda da diğerleri gibi olmasa da bazı liflerin interlaminer bağlarından kurtulduğunu gözlemlemekteyiz Şekil (5.45) [5-8]



Şekil 5.45: 1'den 5'e kadar olan parçalarda gözlemlenen kopma resmi ve matrisle yaptığı bağdan kurtulan lifler.

Vakumla üretilmiş parçalarda ise 5. ve 6. parçalarda kırılma düz bir çizgi şeklinde gerçekleşmiştir. 4. Parçada ise diğer parçalarda da sık karşılaştığımız bir durum söz konusudur, reçine ile liflerin tam olarak birbirlerini tuttuğunu söyleyemeyiz çünkü lifler laminasyon yüzeyinde reçine matrisinin kalkmasına sebebiyet vermiştir (Şekil 5.46). [5-8]



Şekil 5.46: Vakumla üretilmiş 4,5 ve 6. parçaların çekme testi sonrası

İnfüzyonda ise bu kopmalar sonucu oluşan interlaminar gerilmelerin yapının ortalarında olduğunu görmekteyiz, ancak reçinenin artık %20 lere indiği ürünlerde ise tekrar zorlanmalar yüzeye çıkmıştır ve uzun lif saçakları kopmaya başlamıştır (Şekil 5.47) [5-8]



Şekil 5.47: İnfüzyonla üretilmiş 8 ve 9 no'lu parçaların çekme deneyi sonrası görünüşü

Darbe deneyinde test edilen el yatırması parçalara gelince; hemen hemen hepsinde karşılaştığımız görüntüde 1 tane dahi olsa parçanın kopmadan ikiye katlandığı görülür (Şekil 5.48). Darbeyi aldığı çizginin arka tarafında gerilmeler daha fazla olduğundan buradaki katlarda kopmalar başlamış, fakat darbeyi aldığı taraftaki gerilme daha az olduğundan buralarda bir kopma görülmemiştir. Bir diğer göze batan unsur ise reçine oranlarının az olduğu 8 ve 9 nolu plakalarda delaminasyonlar gözlenmektedir. Diğer plakalarda delaminasyonlara az rastlanmış fakat 8 ve 9 no lu plakaların hemen hemen hepsi bu problemden kırılmıştır. Bu iki durum haricinde de parçalarda normal kopmalar gözlemlenmiştir bu durumda daha çok reçinenin bol olduğu parçalarda hakimdir (Şekil 5.49). [5-8]



Şekil 5.48: El yatırması yöntemiyle üretilmiş parçaların darbe deneyi sonrası



Şekil 5.49: El yatırması yöntemiyle üretilmiş 8 ve 9 no'lu parçaların darbe deneyi sonrası



Şekil 5.50: El yatırması yöntemiyle yapılan parçaların darbe deneyi sonrası kopmuş durumları

Vakum parçalarına uygulanan darbe testinde ortaya çıkan görüntüde ise en çok rastlanan durum parçaların katlanmış olmasıdır. Özellikle 4 ve 5 nolu parçaların hemen hemen hepsi katlanmış vaziyette kırılmıştır. Bununla birlikte reçinenin az oranda olduğu 6. parçada sık sık delaminasyonlar görülmüştür (Şekil 5.50). [5-8]



Şekil 5.51: Vakum yöntemiyle üretilmiş parçaların darbe deneyi sonrası görünüşleri



Şekil 5.52: Vakum yöntemiyle üretilmiş parçaların darbe deneyi sonrası delaminasyona uğramış örnekleri

İnfüzyonla üretilen parçalara darbe testi uygulandığında, ortaya çıkan görünümde pek bir farklılık görülmemektedir. Diğerlerinde de olduğu gibi, iki plakadan reçine

oranı fazla olanının ürünleri katlanarak kırılmıştır, fakat reçine oranının az olduğu parçaların çoğunda durum yine delaminasyondur (Şekil 5.53 ve 5.54). [5-8]



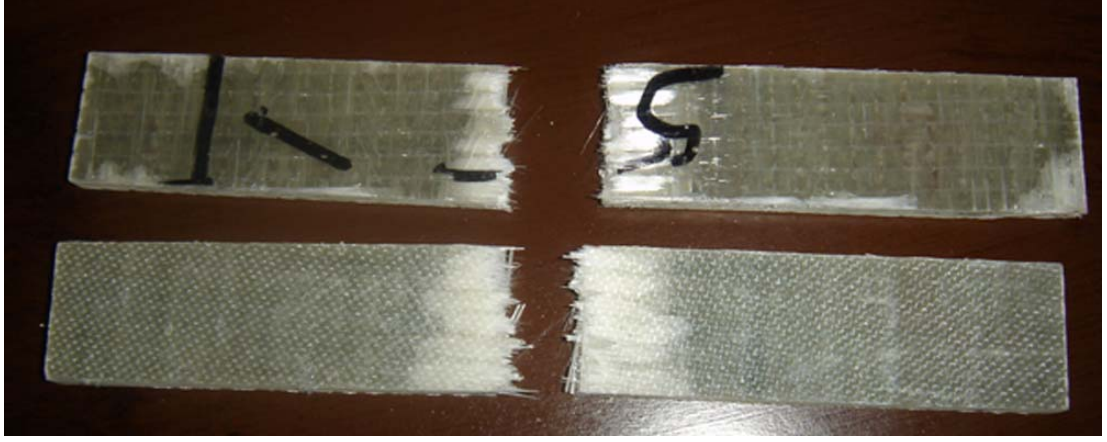
Şekil 5.53: İnfüzyon yöntemiyle üretilmiş parçaların darbe deneyi sonrası görünüşleri



Şekil 5.54: İnfüzyon yöntemiyle elde edilmiş parçaların darbe deneyi sonrası delamine olmuş görünüşleri

Eğme deneyinde elde edilen numunelerde de darbe deneyindeki benzer özellikler görülmektedir. Numunenin eğilmeye başladığı tarafın tersinde kopmalar meydana gelmiş eğilmenin uygulandığı yüzey ise numunenin bir arada kalmasını sağlamıştır.

İnfüzyon ve el yatırması ile elde edilmiş ürünlerde kopmalar direk eğilmenin uygulandığı noktalarda meydana gelmiştir (Şekil 5.55) [5-8]



Şekil 5.55: Eğme deneyi uygulanmış infüzyon (altta) ve vakum numuneleri

Şekil 5.55'deki numunelerde özellikle infüzyon ile imal edilmiş üründe elyafların kopmasının yanında bağlı oldukları bir alt kattan da ayrıldıkları kopma noktası etrafındaki beyazlıklardan anlaşılmaktadır. El yatırmasındaki numunelerde ise farklı özelliklerle karşılaşmaktayız, elyaf oranının düşük olduğu kısımlarda eğilmenin uygulandığı taraftan en az bir katın hasar görmediğini görüyoruz. Bu noktada sağlam kalan taraf ile kopan taraf arasında delaminasyon meydana gelmiştir. Kompozit malzemedeki elyaf oranı arttıkça vakum ve infüzyon numunelerinin özellikleri ile karşı karşıya kalınmaktadır (Şekil 5.56). [5-8]



Şekil 5.56: Eğme deneyi uygulanmış el yatırması numuneleri

Gelişmekte olan cam elyaf takviyeli plastik teknolojisinde ana yöntemler olarak kabul edilen el yatırması, vakum ve infüzyon yöntemlerinin deneysel karşılaştırılmaları sonucunda dünyada da son zamanlarda kullanımı artan infüzyon

yönteminin deney sonuçlarına göre en iyi değerler verdiği ortaya çıkmıştır. Bir elyaf takviye ve reçine matrisi kombinasyonunda yüklerin matris tarafından dağıtıldığı ve takviye tarafından karşılandığı düşünülürse, deneylerde de görüldüğü üzere elyaf takviyelerinin oranı arttıkça kompozit malzemeninde mukavemet özelliklerinin aynı oranda arttığı gözlemlenmiştir. Fakat burada gözden kaçan nokta şudur, gerektiği kadar reçine kullanıldığında kompozitin istenilen performanslarda çalışacağı göz önüne alınmalıdır. Sözü geçen yöntemlerden sırası ile bu bağlantıyı en iyi sağlayanlar infüzyon, vakum ve el yatırması yöntemleridir. [5-8]

İnfüzyon yönteminde, reçine elyaf içine iyi bir şekilde nüfus ettiğinden, vakum basıncı altında elde edilen ürünlerin çekme ve darbe deney sonuçları, diğer yöntemlere göre daha iyi özellikler göstermiştir. Yalnız burada dikkat edilmesi gereken husus, sistematik bir yöntem olan infüzyonda hatayı en aza indirecek önlemlerin alınması gerekir. Yapılan örneklerde laminasyonun alabileceği max. reçine miktarının %70 olduğu görülmüştür, fakat esas sorun bu değil bunun altında kaldığı zamanlarda ortaya çıkabilecek problemlerdir. İnfüzyonun en büyük handikaplarından birisi yöntem başladıktan sonra prosese %100 hakim olunamamaktadır. Üretilen parçalardan ve deney sonuçlarından anlaşılacağı gibi, ufak reçine kayıplarında delaminasyon ve mukavemet değerlerinde azalmayla beraber yüzey kalitesinde de gözle görülür bir düşüşle karşılaşmaktadır. Yöntem gerektiği gibi uygulandığında alınan sonuç tatmin edicidir. [5-8]

Vakum yönteminde ise kontrol argümanları infüzyona göre daha azdır. Vakum yöntemi için el yatırması ile infüzyonun ara yöntemi diyebiliriz. Burada da hem işçinin yeteneği hem de sistemin düzgün işleyişi etkindir. Testlerden görülen ideal elyaf karışım oranı %50 ile %60 arasındadır. Hem yüzey kalitesi hem de mukavemet değerleri göz önüne alınarak bu düşünce belirtilmiştir. Mukavemet değerlerinden de anlaşılacağı gibi bu yöntem, el yatırmasından infüzyona geçişte ara bir yöntem olmuştur. Ancak infüzyon yöntemi daha da yaygınlaşmaya başladığında yerini tamamen infüzyona bırakacaktır. Her iki yöntem de seri imalat mantığı ile çalışan firmalar için uygundur. [5-8]

El yatırma yöntemi için de tüm laminasyon yöntemlerinin atası diyebiliriz. Diğer iki yönteme göre bazı dezavantajları olmasına rağmen basit yapısı sebebiyle günümüzde en çok tercih edilen yöntemdir. Özellikle kalıp ve prototip üretimlerde tercih sebebidir. İmalatın kalitesi başlı başına uygulayana bağlıdır. Dikkatli ve sabırlı bir şekilde imalat yapıldığında tatminkar sonuçlar alınabilir. [5-8]

6. SONUÇLAR VE VERİLER

1. İnfüzyon yönteminde ideal vakum şartlarında yapılan işlemde elde edilen elyaf oranı %70'dir.
2. Vakum ortamında yapılan ürünler baskı altında kaldıklarından kalınlıkları aynı oranlardaki el yatırması ürünlerine göre azdır.
3. Vakum ortamında elde edilen ürünlerde daha kaliteli ve düzgün yüzeyler gözlenmiştir
4. El yatırmasında ürün kalitesinin oluşmasındaki en büyük faktör çalışandır.
5. İnfüzyon ve vakum yöntemlerinde vakum ve enerji sistemlerinin yedeklemesi gereklidir.
6. İnfüzyon yönteminde üretilen parçaların daha fazla uzama yüzdeleri olduğu görüldü.
7. El yatırması yönteminde düşük reçine oranlarında içteki elyaf katlarının kuru kaldığı tespit edildi.
8. Vakum yöntemi infüzyon ile el yatırması arasında geçiş kabul edilebilecek bir yöntemdir.
9. Düşük reçine oranları her üretimde yüksek mukavemet anlamına gelmez.
10. Vakum yönteminde reçine oranlarında elde edilen en fazla reçine oranı %50 dir.
11. Reçine oranları azaldıkça parçalarda delaminasyon artmaktadır.
12. El yatırması yönteminde elde edilen ürünlerde hava boşlukları bulundu
13. Çekme deneyinde elyaf oranı arttıkça mukavemet değeride artacak
14. Darbe deneyinde reçine oranı azalırken interlaminer bağlardaki zayıflıktan belli değerlerden sonra mukavemet düşüşü gözlendi.
15. Darbe ve çekme deneyinde elyaf oranı arttıkça vakum yöntemi ile el yatırmasının değerleri eşitleniyor.
16. Eğme deneyine göre el yatırması ve vakum numuneleri birbirine yakın değerler vermiştir.
17. Eğme deneyine göre en iyi değerleri infüzyon yöntemi sağlamıştır.

18. Darbe ve Eęme deneylerinin sonuçları doęrultusunda numunelerde belli deęerlerden sonra dūşūş gözlenmiřtir, bu da reęinenin bu tip kuvvetler karřısında önemini belirtmektedir.

KAYNAKLAR

1. Greene, E., 1998, “*Marine Composites*”, Annapolis ABD, <http://www.marinecomposites.com>, (Ziyaret tarihi: 03 Şubat 2006)
2. West Systems, “Vacuum Bagging Techniques”, *Gougeon Brothers*, 1-31, 1993
3. Yurddaş, Ç., Afşar, E.,” CTP Teknolojisi”, 4. basım, *Cam Elyaf*, 8-44, 2000
4. Fibreglast, Vacuum Infusion-The Equipment and Process of Resin Infusion Brochure, <http://www.fibreglast.com/> , (Ziyaret Tarihi: 10 Mart 2006)
5. Schofield, R., “The importance of thickness in Single-Skin Laminates”, *Professional Boatbuilder Magazine*, 51, 85-94, (1998)
6. Pfund, B., “Fiber-to-Resin Ratios”, *Professional Boatbuilder Magazine*, 59, 30-42, (1999)
7. Gdoutos, E., E, Pilakoutas, K., Rodopoulos, C., A., “Failure Analysis of Industrial Composite Materials”, *Mc Graw-Hill Companies*, 51-146, (2000)
8. Callister, W., D., Jr., “Materials Science and Engineering An Introduction”, *John Wiley & Sons INC.*, 520-532, (1999)
9. Warring, R., H., “The Glassfibre Handbook”, Sixth Edition, *Argus Books Ltd.*, 65-72, (1997)
10. SP Systems, “SP Systems Guide to Composites”, *SP Systems*, 9-16,(1998)
11. “İnfüzyon Uygulaması”, *Poliya Polyester ve Yard. Mad. San.*,1-5,(2005)

ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında İzmit'te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İzmit'te tamamladı. 1992 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı Bölümü'nden 1997 yılında Gemi İnşaatı ve Makinaları Mühendisi olarak mezun oldu. 2005 yılından beri NUMARINE Denizcilik A.Ş.'de Gemi Mühendisi olarak görev yapmakta olup, evlidir.