

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPIŞTIRMALI VE PERÇİNLİ KOMPOZİT
BAĞLANTILARDA HASAR DAVRANIŞI

Gencer TURGAY

Mart, 2010
İZMİR

YAPIŞTIRMALI VE PERÇİNLİ KOMPOZİT BAĞLANTILARDA HASAR DAVRANIŞI

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Bölümü, Konstrüksiyon-İmalat Ana Bilim Dalı

Gencer TURGAY

Mart, 2010

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

GENCER TURGAY, tarafından **YRD. DOÇ. DR. MELİH BELEVİ** yönetiminde hazırlanan “**YAPIŞTIRMALI VE PERÇİNLİ KOMPOZİT BAĞLANTILARDA HASAR DAVRANIŞI**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Melih BELEVİ

Danışman

Jüri Üyesi

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu projenin baŐlangıcından bitimine kadar, her aŐamada özverili yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Melih BELEVI' ye sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Projede kullanılan kompozit malzemelerin üretimine ve kesimine yardımcı olan İzoreel Kompozit Malzemeler Ltd. Őti.' ne, ölçülerinde kesilen parçaların delinmesi, perçinlenmesi ve yapıştırılmasında gerekli olan kalıpların, tasarımı ve imalatında emeği geçen tüm Edvan Vantilatör San. ve Ltd Őti çalışanlarına, deney aparatlarının kullanılmasına izin veren ve bu konuda yardımcı olan bütün Mekanik Ana Bilim Dalı öğretim üyelerine teşekkür ederim.

Son olarak da benim bu günlere gelmemde büyük emeği olan, beni sürekli destekleyen ve yanımda olan, maddi manevi desteği esirgemeyen aileme teŐekkürü bir borç bilirim.

Gencer TURGAY

YAPIŞTIRMALI VE PERÇİNLİ KOMPOZİT BAĞLANTILARDA HASAR DAVRANIŞI

ÖZ

Bu çalışmada, kompozit malzemeden (kırpık cam elyaf keçe-polyester) retilmiŐ olan çeşitli geometride levhaların; yapıŐtirmalı, perçinli ve hem yapıŐtirmalı hem perçinli birleŐtirmelerindeki hasar yükü deneysel olarak karşılaştırılmıştır.

Numuneler 2,5 mm kalınlığındadır. D, perçin apı; E, delik veya yapıştırma ekseninin uç kenardan mesafesi; W ise numunenin genişliğidir. D, 5 mm olup, E/D oranı, 1, 2, 3, 4; W/D oranı, 2, 3, 4 olarak alınmıştır. Oluşturulan 12 farklı geometrideki numune yapıŐtirmalı, perçinli ve hem yapıŐtirmalı hem perçinli olarak birleştirilip çekme makinesinde (Instron-1114) ekilerek hasar tipleri ve yükleri tespit edilmiştir.

ÇalıŐmanın ilk bölümünde konu hakkında genel bilgi verilmiŐ olup, literatürdeki benzer çalıŐmalara deĐinilmiŐtir. İkinci blmde, kompozit malzemelerin genel özellikleri üzerinde durulmuŐ, kompozit malzemelerin sınıflandırılması ve kullanım alanları anlatılmıştır. nc blmde kompozit malzemelerde takviye elemanları ve reçine malzemeleri hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü blmde yapıŐtirmalı ve perçinli birleştirmeler incelenmiştir. BeŐinci blmde deneysel alıŐmalar anlatılmıştır. Altıncı blmde deney sonuçları sunulmuştur. Son blmde ise sonuçlar deĐerlendirilmiŐtir.

Anahtar sözcükler: kompozit malzeme, hasar analizi, perçin, yapıştırma

FAILURE BEHAVIOR OF ADHESIVELY BONDED AND RIVETED COMPOSITE JOINTS

ABSTRACT

In this study, the failure behavior of adhesively bonded composite joints, riveted composite joints and adhesively bonded with riveted composite joints were investigated and compared experimentally. Composite materials that used in this study were made of glass (shopped strand mat)-polyester.

The thickness of specimens are 2.5 mm. D is the diameter of the rivet and it is constant (5 mm). E is the distance between free edge of specimen and hole/bond axis. W is the width of the specimen. The width to diameter (W/D) ratios, and the distance between the free edge of specimen and hole/bond axis to diameter (E/D) ratios were changed 2 to 4 and 1 to 4, respectively. Specimens in 12 different geometries were bonded by adhesives, rivets and adhesives with rivets were loaded by the Instron – 1114 Tensile Testing Machine and failure types and loads were determined.

In the first chapter of this study, general informations were given about this subject and similar studies in the literature were mentioned. In the second chapter, general properties of composite materials were given, and classification, usage areas of composite materials were explained. In the third chapter reinforcement materials and resins were examined. Composite materials that were bonded adhesively and riveted were detailed in the fourth chapter. In the fifth chapter experimental studies were explained. In the sixth chapter experimental results were presented. In the last chapter results were concluded.

Keywords : composite materials, failure analysis, rivet, adhesive

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
BÖLÜM İKİ – KOMPOZİT MALZEMELER	8
2.1 Tanım	8
2.2 Kompozit Malzemelerin Avantajları Ve Dezavantajları	8
2.3 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	9
2.4 Kompozit Malzemelerin Yapı Bileşenleri	10
2.5 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	11
2.5.1 Polimer Kompozitler	15
2.5.2 Metal Kompozitler	16
2.5.3 Seramik Kompozitler	16
BÖLÜM ÜÇ – TAKVİYE ELEMANLARI VE MATRİS MALZEMELERİ	17
3.1 Takviye Elemanları	17
3.1.1 Cam Elyafı	18
3.1.2 Bor Elyafı	19
3.1.3 Silisyum Karbür Elyafı	20
3.1.4 Alumina Elyafı	20
3.1.5 Grafit Elyafı	20
3.1.6 Aramid Elyafı	21

3.2 Matris Malzemeleri	22
3.2.1 Epoksi Reçineler	23
3.2.2 Polyester Reçineler	24
3.2.3 Üretan Reçineler	24
3.2.4 Fenolik Reçineler	24
BÖLÜM DÖRT – KOMPOZİT MALZEMELERDE YAPIŞTIRMALI VE PERÇİNLİ BİRLEŞTİRMELER	25
4.1 Yapıştırılmalı Birleştirmeler	25
4.1.1 Yapıştırılmalı Birleştirmelerin Avantajları	25
4.1.2 Yapıştırma Şekilleri	25
4.1.3 Yapıştırıcı Çeşitleri	27
4.1.4 Hasar Tipleri	28
4.2 Perçinli Birleştirmeler	29
4.1.1 Perçinli Birleştirmelerin Avantajları	29
4.1.2 Perçinleme Şekilleri	30
4.1.3 Perçin Çeşitleri	31
4.1.4 Hasar Tipleri	32
BÖLÜM BEŞ – DENEYSEL ÇALIŞMA	35
5.1 Problem Geometrisi	35
5.2 Deney Malzemesinin İmalatı	36
5.3 Numunelerin Kesilmesi Ve Delinmesi	38
5.4 Numunelerin Yapıştırılması	40
5.5 Numunelerin Perçinlenmesi	42
5.6 Eksenel Kaçıklığın Giderilmesi	44
5.7 Deney Planı	45
5.8 Numunelerin Test Cihazına Bağlanması	47
5.9 Çekme Testlerinin Yapılışı	47

BÖLÜM ALTI – DENEY SONUÇLARI	49
6.1 Yapıştırılmal 1 (Y1) Numunelerin Sonuçları	49
6.2 Perçinli (P) Numunelerin Sonuçları	58
6.3 Perçinli-Yapıştırılmal 1 (PY1) Numunelerin Sonuçları	67
6.4 Yapıştırılmal 2 (Y2) Numunelerin Sonuçları	76
6.5 Perçinli-Yapıştırılmal 2 (PY2) Numunelerin Sonuçları	85
6.6 Yapıştırılmal (Y1), Perçinli (P), Perçinli-Yapıştırılmal 1 (YP1), Yapıştırılmal (Y2), Perçinli-Yapıştırılmal 2 (PY2) Karşılaştırılması	94
BÖLÜM YEDİ – SONUÇ	110
KAYNAKÇA	114
EKLER	118

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin ilerlemesi ile üstün nitelikli yeni malzemelere ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır. Bu da beraberinde sanayinin temel girdisi olan malzeme ve malzeme biliminde gelişmelerin hızlanmasını sağlamıştır. Yeryüzünde bulunan mevcut ana malzemelerin özelliklerinin sınırlı olması sebebi ile yeni malzeme araştırmaları önem kazanmıştır. Bu araştırmaların yapılması için çekici güç, malzemelerde yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastisite modülü/yoğunluk oranı elde edilmesi olmuştur.

Çoğu malzemenin aynı anda birçok zorluğa karşı dirençli olması gerekliliği kompozit malzemelerin işlevini arttırmıştır. Hem yüksek mukavemetli hem de hafif olan kompozit malzemelerin aynı zamanda gün geçtikçe daha ekonomik de olması tercih sebebi olmaktadır. Yeni yüzyılda enerji probleminin büyümesi nedeni ile enerji tasarrufu önem kazanmıştır. Enerji tasarrufunu arttırabilecek en kolay çözüm, sistemi oluşturan malzemelerin mukavemetinden ve işlevini yerine getirmesinden ödün vermeden, ağırlığını azaltıp, atalet, sürtünme kuvveti ve buna benzer yerlere harcanan enerjiyi minimize etmektir.

Malzemeyi oluşturan bileşenlerin, uygulamaya göre seçilip en ideal şekilde bir araya getirilebilmesi kompozit malzemelerin en önemli özelliğidir. Kompozit malzemeler örneklerini doğadan almış olup, çok uzun bir kullanım tarihine sahiptirler. Günümüzde en çok kullanılan kompozitler, cam fiber-polyester, tungsten, molibden takviyeli alüminyum, karbon ve çelik fiber takviyeli plastiklerdir. Bunlar genellikle plastik-plastik, plastik-dolgu maddesi, plastik-cam elyaf, plastik-metal fiber, metal matrisli kompozitler, seramikler olarak sınıflandırılırlar.

Son zamanlarda yüksek mukavemet/ağırlık, rijitlik/ağırlık oranlarına sahip olan fiber takviyeli reçine kompozitleri, uçak ve uzay taşıtları gibi ağırlığa hassas uygulamalarda önemli kullanım alanları bulmuşlardır. Düne kadar saçtan ve tahtadan yapılan tekneler, yatlar yerlerini artık polyester-cam elyaftan yapılan benzerlerine

bırakmaktadır. Bakım onarım açısından daha avantajlı olan kompozit malzemeden yapılan tekneler aynı zamanda daha hafif, uzun ömürlü ve süratli olmaları bakımından tercih edilmektedirler.

Kompozit malzemelerin kullanımının yaygınlaşmasının diğer bir nedeni ise, bu malzemeler ile ilgili araştırmaların eskiye oranla çok daha fazla yapılmasıdır. Çünkü halen kompozit malzemelerin, değişik çalışma ortamlardaki ve değişik yükleme koşullarındaki davranışları tam olarak bilinmemektedir. Literatürde tarama yapıldığında bulunan kompozit malzemelerin birleştirmelerinde kullanılan yöntemler üzerine yapılan bazı çalışmaların kısa özetleri aşağıda verilmiştir.

Kanada’ da yapılan bir araştırmada, cam fiber takviyeli vinilester numuneler birbirlerine epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılıp çekme testleri uygulanmıştır. Yapıştırıcının kalınlığı, katılığı ve nem durumundaki durumları değişkenler olarak incelenmiştir. Yapıştırıcı kalınlığı ve nemlilik oranı arttıkça numuneler daha düşük hasar yüklerinde kopmuştur (Taib, Boukhili, Achiou, Gordon, 2005).

İngiltere’ de yapılan bir araştırmada, karbon fiber takviyeli epoksi numuneler birbirlerine perçinlenmiş ve çekme testleri uygulanmıştır. Güvenilir test sonuçları almak için dinamik çekme test metodu tasarlanmış olup, çekme kuvvetinin ve çekme hızının değişiminin, sonuçlar üzerinde ihmal edilebilecek etkisi olduğu gözlenmiştir. Test edilen çoğu numunede ortalama toplam enerji yutumu yükleme oranının artması ile artmıştır. Ayrıca yükleme oranının değişmesi ile farklı hasar türlerinin oluştuğu saptanmıştır (Li, Mines, Birch, 2000).

Portekiz’ de yapılan bir araştırmada, kompozit malzemelerin yapıştırılarak birleştirilmesi üzerine geniş bir inceleme yapılmıştır. Yapıştırma yüzeyi hazırlığı, yapıştırma konstrüksiyonu, yapıştırıcı özellikleri ve çevresel faktörlerin birleştirme üzerindeki etkileri kısaca özetlenmiştir. Hasar analizi için gerekli olan analitik ve nümerik metotlar tartışılmıştır. Nümerik yaklaşım hem lineer hem de lineer olmayan modelleri kapsamaktadır. Hasar analizi araştırması için birçok yöntem anlatılmıştır (Banes,Silva,2008).

Kompozit yapıştırma bağlantıları üzerine gerçekleştirilen deneysel bir çalışmada, epoksi yapıştırıcı ile birleştirilen iki kompozit malzemenin statik kopma yükü ve yorulma dayanımları araştırılmış ve kopma yükünün yapıştırıcı kalınlığı kadar bindirme uzunluğuna da bağlı olduğu sonucuna varılmıştır (Mazumdar, Mallick, 1998).

Kanada’ da yapılan bir araştırmada, cam fiber takviyeli vinilester numuneler birbirlerine epoksi yapıştırıcı ile iki farklı şekilde yapıştırılıp hem deneysel hem de nümerik olarak analiz yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapıştırıcının lineer olmayan, yapıştırılan numunelerin lineer davranış gösterdiği kabul edilmiştir. Ayrıca birleştirme bölgesinden lineer olmayan deformasyonlar da hesaba katılmıştır. Nümerik sonuçlar ile deneysel sonuçların 2000 N’ a kadar uyduğu gözlemlenmiştir. 2000 N’ un üzerindeki kuvvetlerde geometrik deformasyonlarda nümerik ve deneysel sonuçlar arasında ciddi farklılıklar tespit edilmiştir (Taib, Boukhili, Achiou, 2005).

Kore Cumhuriyeti’ nde yapılan bir araştırmada, farklı sıcaklıklarda ısıl işleme maruz bırakılmış, pop perçin ile birleştirilmiş karbon/epoksi bileşimindeki kompozit malzemeden mamul numunelerin, deliklerinin yatak dayanımı incelenmiştir. Malzemenin maksimum dayanım sıcaklığının altında kalacak şekilde 6 farklı sıcaklıkta ısıl işlem uygulanarak yapılan deneyler sonucunda 177 °C’ de normal şartlara göre dayanım %90’a düşmüştür. 232 °C’ de 4 saat ısıl işleme maruz kalmış numunelerdeki dayanım normal şartlara göre %77’ ye düşmüştür. Yatak hasarı ve perçinin yuvasından sökülmesi hasarı tüm numunelerde görülmüştür (Song, Kweon, Kim, Lee, Choi, 2008).

Diğer bir çalışmada titanyum ve karbon fiber takviyeli plastikler kullanarak yapıştırıcı/cıvata ile birleştirilmiş bindirme bağlantılarının durumu teorik olarak incelenmiştir. Yapıştırılmış bağlantılar için basma durumunda önemli bir mukavemet avantajı sağlanmazken, yapıştırıcı ve cıvata ile birleştirilmiş bağlantılarda hasar ilerlemesinde avantaj elde edilmiştir. Oda sıcaklığı ve çevre nem şartları altında

uygulanan yükün %98' inin yapıştırıcı tarafından transfer edildiği anlaşılmıştır (Hart, Smith, 1982).

Tamirat için yapıştırıcı, cıvata ve yapıştırıcı ile cıvata bağlantısının her ikisinin bir arada kullanıldığı durumları inceleyen bir başka çalışmada, ilk olarak tabakalardaki yük dağılımını görmek için karbon fiber takviyeli kompozit bir malzeme basit şerit olarak birleştirilmiştir. Çalışma neticesinde karışık bağlantılarda tüm yükün yapıştırıcı tarafından transfer edildiği bulunmuştur (Chan, Vedhagiri, 2001).

Bir başka çalışmada, kompozit malzemelerde karma bağlantının (yapıştırıcı/ cıvata) statik ve yorulma mukavemeti araştırılmıştır. Çalışılan malzeme sistemi için karma bağlantının, yapıştırıcı bağlantılara göre daha yüksek statik mukavemete ve daha düşük yorulma ömrüne sahip olduğu gözlemlenmiştir (Fu, Mallick, 2001).

Bağlantı mukavemeti üzerine yapıştırıcı alanı etkisini araştırmak için yapılan deneysel bir çalışmada, yapıştırma alanının artmasıyla bağlantının kesme mukavemetinin önemli oranda azaldığı belirlenmiş. Bu durum ise küçük alanlarda meydana gelen deformasyon direncinin büyük alanlarda meydana gelen deformasyon dirençlerinden fazla olmasına bağlanmıştır (Pfeiffer, Shakal, 1998).

Kompozitler için dalgalı bindirme olarak birleştirilmiş bir bağlantının gerilme analizinin incelendiği bir çalışmada, yapıştırıcı bağlantıların yeni bir tasarımının deneysel ve nümerik olarak analizi yapılmıştır. Elde edilen bilgilerin tutarlılığı hem fazla sayıda numune kullanımı hem de basit bindirme ve dalgalı bindirme bağlantıları arasında istatistiksel bir çalışma ile doğrulanmıştır. Deneysel testlere ilave olarak bağlantı içerisindeki gerilme alanlarını tespit edebilmek amacı ile sonlu elemanlar analizi kullanılmıştır. Sonuçlar yüklemeye yaklaşık olarak %41' lik bir artış olduğunu göstermiştir. Bu sonuçların dalgalı bindirme bağlantıları içinde meydana gelen basma gerilme alanlarından kaynaklandığı ileri sürülmüştür (Avila, Buenno, 2004).

Viskoelastik ve basınç hassasiyetli bir yapıştırıcının yaşlanması incelenildiği bir çalışmada, elde edilen yapıştırma bağlantıları 20 °C oda sıcaklığında ve %100 bağıl nem ortamında toplam 90 gün bekletilmiştir. Çalışma sonucunda yapıştırıcı bağlantılarının dayanımında %100 nem ortamında zamanla önemli derecede azalma gözlenirken, oda sıcaklığı ortamında ise önemli bir değişim olmamıştır (Temiz, Aydın, Alar, Özel, 2005).

Serbest bindirme uçlarının açılarının değişimi, farklı özelliğe sahip yapıştırıcı türlerinin ve farklı bindirme mesafelerinin kompozit bağlantının gerilme dağılımına etkilerinin deneysel olarak araştırıldığı başka bir çalışmada, ucu açılı olan numunelerin, açısız olan numunelere göre daha yüksek mukavemete sahip olduğu tespit edilmiştir (Solmaz, Turgut, 2009).

Amerika’ da yapılan bir araştırmada, tek pim bağlantılı kompozit malzemenin yatak dayanımı incelenmiştir. Deneyler için Yamada-Sun hasar kriteri, analizler için ise Chang-Scott-Springer karakteristik eğrisi kullanılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda, analiz ve deney sonuçlarının uyum içerisinde olduğu görülmüştür. (Whitworth, Othieno, Barton, 2003).

Amerika’ da yapılan bir araştırmada, civata ile birleştirme yapılan kompozit malzemelerde, civata deliği açıklığının, civata bağlantılarının rijitliği, ve mukavemeti üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışılmış olan konfigürasyon, tek bindirme ve tek civatalıdır. Numuneler grafit/epoksi yarı izotropik ve 0 hatalı tabakalar olarak üretilmiştir. Test edilen tüm konfigürasyonlarda civata deliği açıklığı artışının, bağlantı rijitliğinin azalması ve son gerinim değerlerinin artmasına bağlı olduğu saptanmıştır (McCarthy, Lawlor, Stanley, 2002).

Başka bir araştırmada, cam elyaf takviyeli polimer malzemelerin talaşlı imalat sırasında anizotropik yapısı yüzünden oluşan sorunlar üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada delme işlemi esnasından delik yüzeyinde oluşan yüksek gerilme kuvvetleri sebebi ile delik çıkış kenarlarında oluşan yüzey hasarları incelenmiştir. İnceleme esnasında kesme hızı, ilerleme ve takım uç geometrisi gibi değişik kesme

parametreleri altında malzeme delinerek delik çıkış yüzey hasar faktörü ölçümleri yapılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar yorumlanarak daha az yüzey hasarı için tercih edilmesi gereken optimum kesme parametreleri için önerilerde bulunulmuştur (Ekici, Işık, 2009).

Avustralya’da yapılan bir araştırmada, değişik katman sayıları kullanılarak pim deliğinin çevresindeki dayanım artırılmış ve katman sayısına göre hasarın durumu incelenmiştir. Bu çalışmada katman olarak hazır karbondan yapılmış pregrep malzemeler kullanılmıştır (Li, Kelly, Crosky, 2002).

Diğer bir araştırmada, geometrik parametrelerin, tek pim bağlantılı ve çok yönlü cam fiber ile güçlendirilmiş epoksiden elde edilmiş numunenin hasar dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada [0/90/0], [90/0/90] katman yönlü ve tek pim bağlantılı kompozit malzemeler kullanılmıştır. Yapılan deneysel ve nümerik çalışmaların sonucuna göre tek delikli bağlantının çekme dayanımı katman yönlerine bağlıdır. Kayma dayanımı ise hem katman yönlerine hem de E mesafesine bağlıdır (Okutan, 2002).

Başka bir araştırmada, karbon/epoksi bileşimindeki kompozit malzemelerde levha yuvalarının statik ve dinamik yük altındaki mukavemeti incelenmiştir. Bu çalışmada [0/45/-45/90] ve [90/45/-45/0] ardışık yığılı epoksi laminatları üzerindeki statik ve dinamik mukavemet davranışlarının durumunu görmek için pim bağlantı deneyleri yapılmıştır. Test sırasında en iyi geometriyi elde etmek için E/D ve W/D oranı değiştirilmiştir. Sonuç olarak [90/45/-45/0] sırası, [0/45/-45/90] sırasında göre %12’ ye kadar daha mukavemetli olduğu görülmüştür (Akkuş, 2005).

Yukarıda görüldüğü gibi en sık karşılaşılan kompozit malzeme birleştirme yöntemleri olarak, perçinli, yapıştırılmalı, pimli ve civatalı olarak sıralanabilir. Bu konular üzerine yapılan araştırmalarda genellikle delik hasarları ve bağlantı kopma mukavemetleri numune parametrelerinin istatistiksel olarak değiştirilmesi ile deneysel veya nümerik olarak analiz edilmiş ve sonuçları birbiri ile karşılaştırılmıştır.

Aynı zamanda kompozit malzemelerin bileşenleri de değiştirilerek geniş kapsamlı sonuçlara ulaşılmıştır.

Bu araştırmada da kırpıntı keçe cam elyaf/polyester reçine bileşenlerinden oluşan kompozit malzeme numunelerin yapıştırılmalı, perçinli ve hem yapıştırılmalı hem perçinli olarak birleştirilip çekme makinesinde (Instron-1114) çekilerek hasar tipleri ve yükleri tespit edilmiştir. Numuneler 2,5 mm kalınlığındadır. D, perçin çapı; E, delik veya yapıştırma eksenin uç kenardan mesafesi; W ise numunenin genişliğidir. D, 5 mm olup, E/D oranı, 1, 2, 3, 4; W/D oranı, 2, 3, 4 olarak alınmıştır.

BÖLÜM İKİ

KOMPOZİT MALZEMELER

2.1 Tanım

Kompozit malzemeler, iki ya da daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı gruptaki malzemenin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla, makro-düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemeler olarak adlandırılırlar. Bir kompozit malzeme bünyesinde, çekirdek olarak adlandırılan takviye elemanı ve bunun etrafını çevreleyen matris malzemesinin bulunduğu bilinmektedir. Takviye elemanı olarak değişik morfolojiye sahip kısa ve uzun elyaflar, whiskerler (kılcal kristaller), kırılmış veya parçacıklı seramikler kullanılmaktadır. Bunların temel fonksiyonu gelen yükü taşımak ve matrisin rijitlik ve dayanımını artırmaktır. Matrisin fonksiyonu ise elyaflara yük ve gerilim transferi sağlayabilmek için elyaf-matrisi bir arada tutmak ve çoğu takviye elemanları çok gevrek ve kırılğan olduğundan onların yüzeylerini dış ve çevresel etkilere karşı korumaktır (Şahin, 2000).

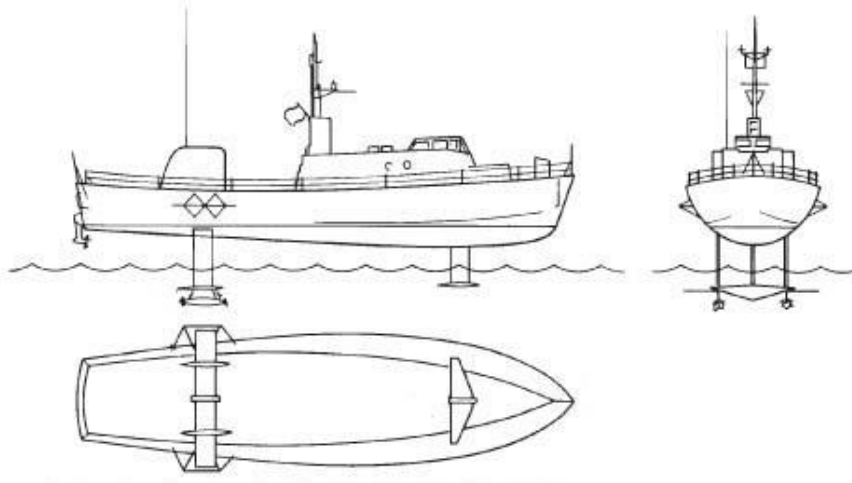
2.2 Kompozit Malzemelerin Avantajları Ve Dezavantajları

Kompozit malzemelerde genellikle kendi başlarına elde edilemeyen, bileşenlerinin en iyi özelliklerinin bir malzemede toplanması önemli avantaj meydana getirir. Kompozit malzeme üretilmesi ile aşağıdaki bazı özellikler sağlanabilmektedir. Bunlar genel olarak şöyle sıralanabilir; yüksek dayanım, yüksek rijitlik, yüksek yorulma dayanımı, mükemmel aşınma direnci, yüksek sıcaklık kapasitesi, iyi korozyon direnci, iyi termal ve ısı iletkenliği, düşük ağırlık, çekicilik ve estetik görünüm gibi. Bu avantajlarının yanında bazı dezavantajları da mevcut olup, bunlar da; üretiminin güçlüğü, pahalı olması, işlenmesinin güç olması, işlenme sonucunda istenilen yüzey kalitesinin elde edilemeyiş, diğer malzemeler gibi geri dönüşümünün olmayış, kırılma uzamasının az oluşu şeklinde sıralanabilir (Şahin, 2000).

2.3 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemeler, havacılık sanayinde, planör gövdesi, uçak modelleri, uçak gövde ve iç dekorasyonu, helikopter iç ve dış parçaları ve uzay araçlarında başarı ile kullanılmaktadırlar.

Denizcilik sektöründe eskiye oranla neredeyse tamamen kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Hafiflik, dayanıklılık ve korozyona karşı yüksek direnç en önemli kullanım sebepleridir.



Şekil 2.1 Denizcilik sektöründe kompozit malzeme kullanımına örnek uygulama

Otomotiv sanayiinde kompozitlerden oluşan başlıca ürünler; kaporta parçaları, iç donanım, bazı motor parçaları, tamponlar ve lastiklerdir. Bu sektörde kullanım avantajları seri üretim, yüksek dayanım, ucuz ve kolay onarım şeklinde sıralanabilir.

Elektrik ve elektronik sanayiinde amaca uygun özellikleri ve başta elektriksel izolasyon olmak üzere taşıdığı üstün nitelikler nedeniyle her türlü elektrik ve elektronik malzemenin yapımında, üretim malzemesi olarak kullanılırlar.

Taşımacılık sektöründe, frigorifik kamyon kasaları, nakliye tankerleri, kamyon kasaları gibi üretimler yapılmaktadır. Üreticiye kolay kalıplama imkanı, malzemenin

tasarruf ve düşük maliyet gibi avantajlar kullanıcıya da yüksek ısı izolasyonu ve kolay temizlenebilirlik gibi kolaylıklar sağlar.

İş makinelerinin koruma kapakları ve çalışma kabinleri yapımlarında da kompozit malzemeler başarı ile kullanılmaktadır. Bu şekilde üretimde kullanılan parça sayısı azaltılabilmekte, yekpare parçaların üretimi mümkün olmaktadır.

Masa, sandalye, televizyon kabinleri, dikiş makinesi parçaları, saç kurutma makinesi gibi çok kullanılan ev aletlerinde ve dekoratif ev eşyalarında kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu şekilde, komple ve karmaşık parça üretimi, montaj kolaylığı, elektriksel etkilerden korunum ve hafiflik gibi avantajlar sağlanmaktadır.

Tarım sektöründe; sera, ilaçlama deposu, tahıl depolama siloları, drenaj suyu boruları ve sulama kanalları yapımında kullanılmaktadır. Seri üretim imkanları, kolay montaj, düşük yatırım imkanı, düşük kalıp maliyeti, kapasitenin tam kullanılabilmesi gibi avantajlar sağlar.

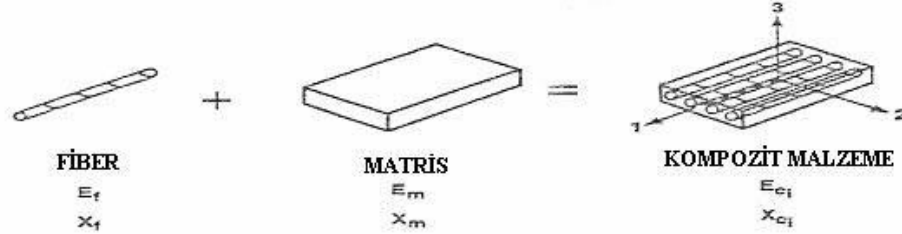
Mobilya sanayi kompozitlerden geniş bir şekilde yararlanır. Masa, sandalye, sehpa, koltuk, kütüphane, mutfak dolapları, çiçek saksıları ve dekoratif eşyalar kompozitten yapılmaktadır. Yüksek mekanik dayanım ve alışılmışın dışında farklı görünüm ve tasarım gibi yararlar sağlar.

İnşaat sektöründe de kompozitler önemli kullanım alanına sahiptir. Cephe kaplamaları, tatil evleri, büfeler, otobüs durakları, soğuk hava depoları, inşaat kalıpları, ondüle levhalar birer kompozit malzeme uygulamalarıdır. Ayrıca toplu konut yapımında ve çevre güzelleştirme çalışmalarında da kullanılmaktadırlar.

2.4 Kompozit Malzemelerin Yapı Bileşenleri

Kompozit malzemeler, metalik, organik veya inorganik esaslı yapı bileşenlerinin kombinasyonlarından oluşur. Mümkün kombinasyonlarda herhangi bir sınırlama olmamakla beraber, yapı bileşenlerinin sahip olacakları geometrik şekiller sınırlıdır.

Şekil 2.2' de görülebildiği gibi matris, fiber, partiküller, pullar, tabakalar başlıca yapı bileşenleridir (Demirkesen, 1991).



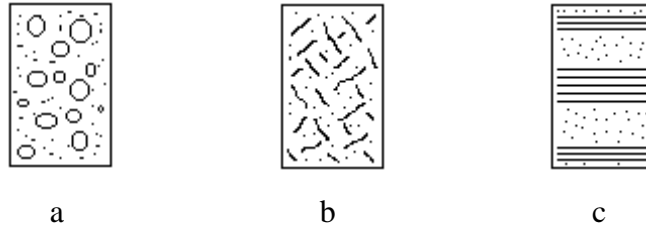
Şekil 2.2 Fiber ve matris birleşiminden kompozit malzemenin şematik gösterimi

Hacim bileşeni olan matrisin esas fonksiyonları fiber, partikül, pul gibi yapı bileşenlerinin kendi bünyesinde dağılmasını sağlayarak, bu bileşenler arasında bağlayıcı bir faz etkisi göstermek, süreksiz fiber kompozitlerde olduğu gibi malzemeye gelen gerilmeleri pekiştirici faza iletmek ve kompozit malzemenin uygun tekniklerle şekillendirilmesini sağlamaktır (Demirkesen, 1991).

2.5 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Yeni gelişen bir malzemeyi modern kompozit olarak adlandırmak için aşağıdaki kriterleri taşınmalıdır; insan yapısı olmalı, fiziksel ve mekaniksel özelliği ayrı olan en az iki veya daha fazla malzemenin birleştirilmesi ve farklı ara yüzeye sahip olmaları, herhangi bir ferdi bileşenle elde edilemeyen mekanik özelliklerin eldesi, optimum özellikler elde etmek için bir malzemenin diğer malzeme içine kontrollü şekilde dağıtılmasıyla iki ayrı malzeme karıştırılarak kompozit (karma) bir malzeme oluşturulmalı, özellikler mükemmel olup kompoziti oluşturan elemanların en iyi özelliklerin bir arada toplanması gereklidir (Şahin, 2000).

Yukarıda bahsedilen hususları kapsayan üç çeşit kompozit malzeme gurubu bulunmaktadır. Bunlar takviye elemanlarına göre şöyle sıralanabilir; parçacık takviyeli kompozit malzemeler, lif takviyeli kompozit malzemeler, tabakalı kompozit malzemeler (Şekil 2.3). Bu üç tip takviye elemanlı kompozit yine plastik, metal veya seramik matris içinde olabilir (Şahin, 2000).

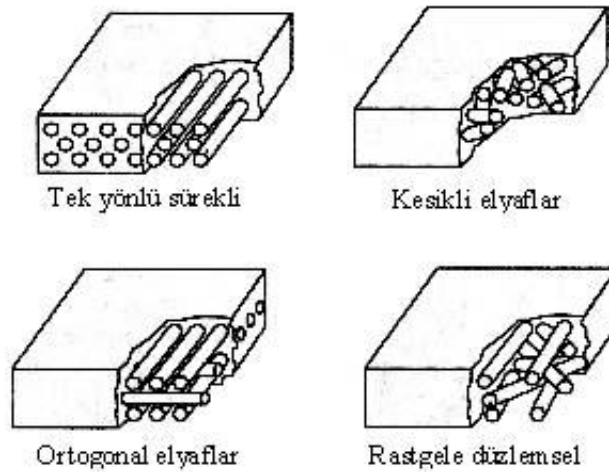


Şekil 2.3 a) Parçacık takviyeli b) Lif takviyeli c) Tabakalı

Lifli ve tabakalı kompozitlerin sağladığı özelliklerdeki artış, taneli kompozitlere göre daha yüksektir. Taneli kompozitler için en önemli örnek betondur. Sert tanelilerin sünek bir malzemeyle birleştirilip aglomera haline getirilen kompozitlere diğer bir örnek de asfalt betonudur. Asfalt viskoz ve düşük mukavemetlidir. Taş ise sert ve gevrek, kütle halinde fazla şekil değiştirmeden çatlayarak kolayca kırılabilirler. Farklı boyutlardaki kırmataş ile asfaltın birleşerek hem sünek hem de yeter mukavemetli olan yol kaplaması malzemesini oluştururlar. Tungsten karbür (WC) taneciklerinin CO metali ile yüksek sıcaklıkta basınç altında sinterlenmesi sonucu elde edilen kompozit çok sert olup yüksek hızlı kesme takımı üretimine elverişlidir. Uygulamada bunlara sermet denir (Ünal, 2004).

Uygulamada en önemli kompozitler lifli olanlardır. Liflerin çapları yaklaşık 0,1 mm civarında olup tek başına kullanılmazlar. Kalınlıkları arttığında kusur oluşma olasılığı nedeniyle mukavemetleri çok azalır. Bu lifler uygun bir malzemeyle istenen boyutta taşıyıcı kütlelere dönüştürürler. Bu bağlayıcı malzeme polyester ve epoksidir. Uygulamada donatı malzemesi olarak kullanılan liflerin çoğu kuvvetli kovalent bağa sahiptir. Aynı amaçla kullanılan metal liflerin mukavemeti de soğuk çekme ile artırılmaktadır. Lifler yönlenmiş veya rasgele dağılmış olabilir. Yönlenmiş lifler doğrultusunda mukavemet doğal olarak yanal doğrultudan çok daha büyük olur. Pekiştirici liflerin miktarı arttıkça kompozitin mukavemeti de yükselir. Yönlenmiş liflerde bu oran hacmen %80, rasgele yönlenmişlerde ise %40-50 arasında kalır. Cam lifli polyesterlerin mukavemeti ve elastisite modülü düşüktür. Ancak diğerlerine göre daha ucuz ve kolay uygulandığından deniz tekneleri, oto, spor malzemeleri ve yapı elemanları üretiminde çok yaygın olarak kullanılır (Ünal, 2004).

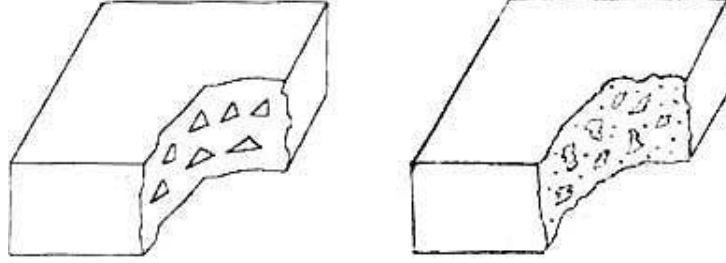
Lifli kompozit tipi ince elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Elyafların matris içindeki yerleşimi kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur. Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyaflara dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir, iki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyeleriyle her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflarla ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür. Elyafların mukavemeti kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Ayrıca, elyafların uzunluk/çap oranı arttıkça matris tarafından elyaflara iletilen yük miktarı artmaktadır. Elyaf yapının hatasız olması da mukavemet açısından çok önemlidir. Kompozit yapının mukavemetinde önemli olan diğer bir unsur ise elyaf matris arasındaki bağın yapısıdır. Matris yapıda boşluklar söz konusu ise elyaflarla temas azalacaktır. Nem absorpsiyonu da elyaf ile matris arasındaki bağı bozan olumsuz bir özelliktir (Ünal, 2004).



Şekil 2.4 Elyafların matris içindeki yerleşim çeşitleri

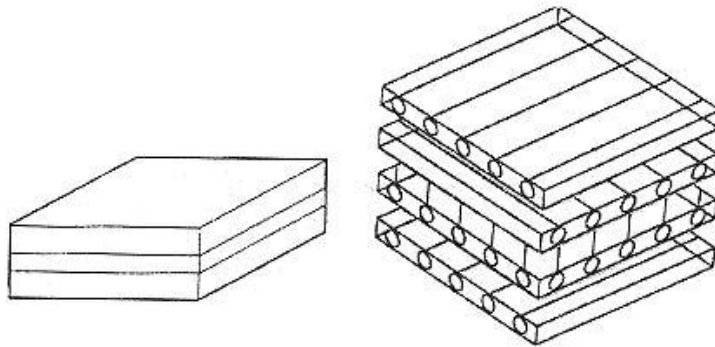
Parçacıklı kompozit malzemeler, bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilirler (Şekil 2.5). İzotrop yapılarıdır. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tip plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısı ve elektriksel iletkenlik sağlar. Metal matris içinde seramik parçacıklar içeren yapıların, sertlikleri ve yüksek

sıcaklık dayanımları yüksektir. Uçak motor parçalarının üretiminde tercih edilmektedirler (Ünal 2004).



Şekil 2.5 Parçacık takviyeli kompozit malzeme yapısına örnekler

Tabakalı kompozit yapı, en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan tiptir. Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılardır. Metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Sürekli elyaf takviyeli tabakalı kompozitler uçak yapılarında, kanat ve kuyruk grubunda yüzey kaplama malzemesi olarak çok yaygın bir kullanıma sahiptirler. Ayrıca, uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanı olan sandviç yapılar da tabakalı kompozit malzeme örneğidirler. Sandviç yapılar, yük taşıyarak sadece izolasyon özelliğine sahip olan düşük yoğunluklu bir çekirdek malzemenin alt ve üst yüzeylerine mukavemetli levhaların yapıştırılması ile elde edilirler (Ünal, 2004).



Şekil 2.6 Tabakalı kompozit yapısı. İzotropik (sol), ortotropik (sağ)

Aynı kompozit yapıda iki yada daha fazla elyaf çeşidinin bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere hibrid kompozitler denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örneğin, kevlar ucuz ve tok bir elyaftır ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyaftır. Bu iki elyafın kompozit yapısında hibrid kompozitin tokluğu grafit kompozitten iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyaflı kompozitten daha yüksek olmaktadır (Ünal, 2004).

Kompozit malzemeler polimer kompozitler, metal kompozitler ve seramik kompozitler olmak üzere matris malzemesine göre üç ana gruba ayrılırlar.

2.5.1 Polimer Kompozitler

Liflerle pekiştirilmiş polimer kompozitler, endüstride çok geniş kullanma alanına sahiptir. Pekiştirici olarak cam, karbon, kevlar ve boron lifleri kullanılır. Pekiştirici liflerin özellikleri Tablo 2.1’ de verilmiştir.

Tablo 2.1 Pekiştirici liflerin özellikleri

Malzeme	Özgül ağırlık gr / cm ³	Çekme mukavemeti N / mm ²	Elastisite modülü N / mm ²
Cam lifi	2,54	2410	70000
Karbon lifi	1,75	3100	220000
Kevlar lifi	1,46	3600	124000

Polimer kompozitlerde kullanılan en önemli bağlayıcı malzeme polyester ve epoksidir. Pekiştirici liflerin miktarı arttıkça kompozitin mukavemeti yükselir. Polimer kompozitlerin en önemli özellikleri yüksek özgül mukavemet (mukavemet/özgül ağırlık) ve özgül elastisite modülüdür. Dolayısıyla bu özelliklerden dolayı diğer malzemelere üstün durumdadırlar. Örneğin yüksek mukavemetli çeliklerde özgül mukavemetin 110 Nm/gr olmasına karşın cam lifi – polyesterlerde 620 Nm/gr, karbon lifi epoksida 700 Nm/gr ve kevlar epoksida 886 Nm/gr’ dır. Diğer taraftan karbon liflerinin özgül elastisite modülü alüminyumunkinin 5 katı kadardır. Bu

üstünlüklerinden dolayı polimer kompozitler uçak ve uzay endüstrisinde alüminyum alaşımlarına tercih edilir (Ünal, 2004).

Tablo 2.2 Lifli kompozitlerin özellikleri

Malzeme	Özgül ağırlık gr/cm ³	Çekme mukavemet N/mm ²	Elastik mukavemet N/mm ²
Cam lifi-polyester	1,5 – 2,1	200 – 340	55000 – 130000
Karbon lifi-epoksi	1,5 – 1,8	1860	145000
Kevlar-epoksi	2,36	2240	76000
Boron lifi-epoksi	1,4	1240	176000

2.5.2 Metal Kompozitler (Metal Matrisli Bileşik Malzemeler MMC)

Bir metalik fazın bazı takviye malzemeleri ile eritme, vakum emdirme, sıcak presleme ve difüzyon kaynağı gibi ileri teknikler uygulanarak metal matrisli kompozit malzemeler elde edilir. Metal matrisli kompozit malzemeler daha çok uzay ve havacılık alanlarında, mesela uzay teleskobu, platform taşıyıcı parçalar, uzay haberleşme cihazlarının reflektör ve destek parçaları vs. yerlerde kullanılır (Ünal, 2004).

2.5.3 Seramik Kompozitler (Seramik Matrisli Bileşik Malzemeler CMC)

Bu amaçla, yapısal ve fonksiyonel nitelikli yüksek teknoloji seramikleri kullanılmaktadır. Başlıcaları Al₂O₃, SiC, Si₃N₄, B₄C, CbN, TiC, TiB, TiN, AiN' dir. Bu bileşikler değişik yapılarda olup amaca göre bir yada bir kaçını beraber kullanılarak seramik matrisli kompozit malzemeler elde edilir. Sandviç zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçalar imali ile uzay araçları bu ürünlerin başlıca kullanım yerleridir (Ünal, 2004).

BÖLÜM ÜÇ

TAKVİYE ELEMANLARI VE MATRİS MALZEMELERİ

Kompozit malzemeler veya diğer bir deyişle karma malzemeler, bağımsız farklı yapıtaşlarından oluşmaktadır. Bu yapıtaşları iki kategoriye ayrılır: Matris (polyester, vinilester, epoksi veya benzeri reçine) ve takviye malzemesi. Matris malzeme, takviye malzemesini çevreleyerek ve destekleyerek, göreceli olarak takviye malzemesini oluşturan elementlerin konumlarını korumalarını sağlar. Takviye malzemesi ise özel mekanik ve fiziksel özelliklerini matris yapıya aktararak, yapının özelliklerinin gelişimini sağlar. Yapıtaşı malzemelerin, tek başına sergileyemedikleri fakat bir araya getirildiklerinde oluşturdukları bu sinerji ve performans artışı, kompozitin temel prensibidir. Bu prensip, kompozit ürün tasarımcılarının çok çeşitli matris ve takviye malzemeleri kombine ederek, optimum özelliklere ulaşmalarını sağlar.

3.1 Takviye Elemanları

Matris malzeme içinde yer alan elyaf takviyeler kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastisite modülüne ve sertliğe sahip olan elyaflar kimyasal korozyona da dirençlidir. Günümüzde kompozit yapılarda kullanılan en önemli takviye malzemeleri sürekli elyaflardır. Bu elyaflar özellikle modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli bir yer tutarlar. Cam elyaflar teknolojide kullanılan en eski elyaf tipleridir. Son yıllarda geliştirilmiş olan bor, karbon, silisyum karbür ve aramid elyaflar ise gelişmiş kompozit yapılarda kullanılan elyaf tipleridir. Elyafların ince çaplı olarak üretilmeleri ile, büyük kütleli yapılara oranla yapısal hata olasılıkları en aza indirilmiştir. Bu nedenle üstün mekanik özellikler gösterirler. Ayrıca, elyafların yüksek performanslı mühendislik malzemeleri olmalarının nedenleri aşağıda verilen özelliklere de bağlıdır. Üstün mikro yapısal özellikler, tane boyutlarının küçük oluşu ve küçük çapta üretilmeleri. Boy/çap oranı arttıkça matris malzeme tarafından elyaflara iletilen yük miktarının artması. Elastisite modülünün çok yüksek olması (Ünal,2004).

3.1.1 Cam Elyaf lar

Cam elyaf lar, sıradan bir şişe camından yüksek saflıktaki kuartz camına kadar pek çok tipte imal edilirler. Cam amorf bir malzemedir ve polimerik yapıdadır. Üç boyutlu molekül er yapıda, bir silisyum atomu dört oksijen atomu ile çevrilmiştir. Silisyum metalik olmayan hafif bir malzemedir, doğada genellikle oksijenle birlikte silis (SiO_2) şeklinde bulunur. Cam eldesi için silis kumu, katkı malzemeleri ile birlikte kuru halde iken 1260 °C civarına ısıtılır ve soğumaya bırakıldığında sert bir yapı elde edilir.

Cam elyaf ların bazı özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir. Çekme mukavemeti yüksektir, birim ağırlık başına mukavemeti çeliğinkinden yüksektir. Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar. Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler. Nem absorbe etme özellikleri yoktur, ancak cam elyaf lı kompozitlerde matris ile cam elyaf arasında nemin etkisi ile bir çözülme olabilir. Özel elyaf kaplama işlemleri ile bu etki ortadan kaldırılabilir. Elektriği iletmezler. Bu özellik sayesinde elektriksel yalıtımın önem kazandığı durumlarda cam elyaf lı kompozitlerin kullanılmasına imkan tanırırlar.

Cam elyaf imalinde silis kumuna çeşitli katkı malzemeleri eklendiğinde yapı bu malzemelerin etkisi ile farklı özellikler kazanır. Dört farklı tipte cam elyaf mevcuttur. Tablo 3.1' de farklı cam tiplerinin özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. A camı yüksek oranda alkali içeren bir camdır. Bu nedenle elektriksel yalıtkanlık özelliği kötüdür. Kimyasal direnci yüksek, en yaygın cam tipidir. C camı, korozyon camı olarak da bilinir. Kimyasal çözeltilere direnci çok yüksektir. E camı, elektrik camı, düşük alkali oranı nedeniyle elektriksel yalıtkanlığı diğer cam tiplerine göre çok iyidir. Mukavemeti oldukça yüksektir. Suya karşı direnci de oldukça iyidir. Nemli ortamlar için geliştirilen kompozitlerde genellikle E camı kullanılır. S camı, mukavemet camı olarak da bilinir. Yüksek mukavemetli bir camdır. Çekme mukavemeti E camına oranla %33 daha yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda oldukça iyi bir yorulma direncine sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle havacılıkta ve uzay endüstrisinde tercih edilir. Cam elyaf lar genellikle plastik veya epoksi

reçinelerle kullanılırlar (Ünal, 2004).

Tablo 3.1 Cam elyafların mekanik özellikleri ve bileşimleri

Özellikler	Cam Tipi			
	A	C	E	S
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2,50	2,49	2,54	2,48
Elastik modül (GPa)	-	69,0	72,4	85,5
Çekme mukavemeti(MPa)	3033,0	3033,0	3448,0	4585,0
Isıl genişleme katsayısı (m/m/°Cx10 ⁶)	8,6	7,2	5,0	5,6
Yumuşama sıcaklığı (°C)	727,0	749,0	841,0	970,0
Katkı Malzemeleri (%)				
SiO ₂	72,0	64,4	52,4	64,4
Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	0,6	4,1	14,4	25,0
CaO	10,0	13,4	17,2	-
MgO	2,5	3,3	4,6	10,3
Na ₂ O, K ₂ O	14,2	9,6	0,8	0,3
B ₂ O ₃	-	4,7	10,6	-
BaO	-	0,9	-	-

3.1.2 Bor Elyaflar

Bor elyaflar aslında kendi içlerinde kompozit yapıdadırlar. Çekirdek olarak adlandırılan ince bir flamanın üzerine bor kaplanarak imal edilirler. Çekirdek genellikle Tungstendir. Karbon çekirdek de kullanılabilir ancak bu yeni bir uygulamadır. Bor-Tungsten elyaflar, sıcak tungsten flamanın hidrojen ve bortriklorür (BCl₃) gazından geçirilmesi ile üretilirler. Böylece Tungsten flamanın dışında bor plaka oluşur. Bor elyaflar değişik çaplarda üretilebilirler (0,05mm ile 0.2mm). Tungsten çekirdek ise daima 0,01 mm çapında üretilir. Bor elyaflar yüksek çekme mukavemetine ve elastik modüle sahiptirler. Çekme mukavemetleri 2758 MPa ila 3447 MPa 'dır. Elastite modülü ise 400 GPa 'dır. Bu değer S camının elastisite modülünden beş kat fazladır. Üstün mekanik özelliklere sahip olan bor elyaflar, uçak yapılarında kullanılmak üzere geliştirilmişlerdir. Ancak, maliyetlerinin çok yüksek olması nedeniyle, son yıllarda yerlerini karbon elyaflara bırakmışlardır. Bor elyafların Silisyum Karbür (SiC) veya Bor Karbür (B₄C) kaplanmasıyla yüksek

sıcaklıklara dayanımı artar. Özellikle bor karbür kaplanması ile çekme mukavemeti önemli ölçüde artırılabilir. Bor elyafların erime sıcaklıkları 2040 °C civarındadır.

3.1.3 Silisyum Karbür Elyaf lar

Bor gibi, Silisyum karbürün tungsten çekirdek üzerine kaplanması ile elde edilirler. 0,1 mm ila 0,14 mm çaplarında üretilirler. Yüksek sıcaklıklardaki özellikleri bor elyaflardan daha iyidir. Silisyum karbür elyaf 1370 °C' de mukavemetinin sadece %30'nu kaybeder. Bor elyaf için bu sıcaklık 640 °C' dir. Bu elyaflar genellikle Titanyum matrisle kullanılırlar. Jet motor parçalarında Titanyum, Alüminyum ve Vanadyum alaşımlı matris ile kullanılırlar. Ancak Silisyum karbür elyaflar Bor elyaflara göre daha yüksek yoğunluğa sahiptirler. Silisyum karbürün karbon çekirdek üzerine kaplanması ile üretilen elyafların yoğunluğu düşüktür.

3.1.4 Alumina Elyaf lar

Alumina, Alüminyum oksittir (Al_2O_3). Elyaf formundaki alumina, 0,02 mm çapındaki alumina flamanın Silisyum dioksit (SiO_2) kaplanması ile elde edilir. Alumina elyafların çekme mukavemetleri yeterince yüksek değildir, ancak basma mukavemetleri yüksektir. Örneğin, alumina epoksi kompozitlerin basma mukavemetleri 2275 ila 2413 MPa'dır. Ayrıca, yüksek sıcaklık dayanımları nedeniyle uçak motorlarında kullanılmaktadırlar.

3.1.5 Grafit (Karbon) Elyaf lar

Karbon, yoğunluğu 2.268 gr/cm^3 olan kristal yapıda bir malzemedir. Karbon elyaflar cam elyaflardan daha sonra gelişen ve çok yaygın olarak kullanılan bir elyaf grubudur. Hem karbon hem de grafit elyaflar aynı esaslı malzemedden üretilirler. Bu malzemeler hammadde olarak bilinirler. Karbon elyafların üretiminde üç adet hammadde mevcuttur. Bunlardan ilki rayondur (suni ipek). Bu hammadde inert bir atmosferde 1000 - 3000 °C civarına ısıtılır ve aynı zamanda çekme kuvveti uygulanır. Bu işlem mukavemet ve tokluk sağlar. Ancak yüksek maliyet nedeniyle

rayon elyaflar uygun değildirler. Elyaf imalatında genellikle rayonun yerine poliakrilonitril (PAN) kullanılır. PAN bazlı elyaflar 2413 ila 3102 MPa değerinde çekme mukavemetine sahiptirler ve maliyetleri düşüktür. Petrolün rafinesi ile elde edilen zift bazlı elyaflar ise 2069 MPa değerinde çekme mukavemetine sahiptirler. Mekanik özellikleri PAN bazlı elyaflar kadar iyi değildir ancak maliyetleri düşüktür.

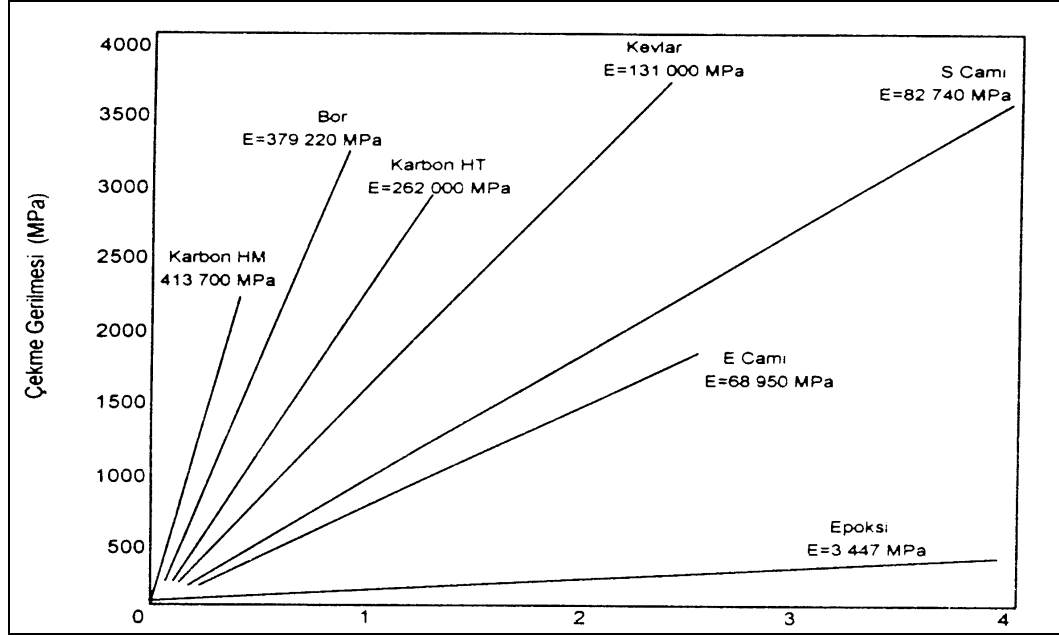
Karbon elyafların en önemli özellikleri düşük yoğunluğun yanı sıra yüksek mukavemet ve tokluk değerleridir. Karbon elyaflar, nemden etkilenmezler ve sürünme mukavemetleri çok yüksektir. Aşınma ve yorulma mukavemetleri oldukça iyidir. Bu nedenle askeri ve sivil uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Karbon elyaflar çeşitli plastik matrislerle ve en yaygın olarak epoksi reçinelerle kullanılırlar. Ayrıca karbon elyaflar alüminyum, magnezyum gibi metal matrislerle de kullanılırlar .

3.1.6 Aramid Elyaflar

Aramid "aromatik polyamid" in kısaltılmış adıdır. Polyamidler uzun zincirli polimerlerdir, aramidin moleküler yapısında altı karbon atomu birbirine hidrojen atomu ile bağlanmışlardır. İki farklı tip aramid elyaf mevcuttur. Bunlar Du Pont firması tarafından geliştirilen Kevlar 29 ve Kevlar 49'dur. Aramidin mekanik özellikleri grafit elyaflarda olduğu gibi elyaf eksenine doğrultusunda çok iyi iken elyaflara dik doğrultuda çok zayıftır. Aramid elyaflar düşük ağırlık, yüksek çekme mukavemeti ve düşük maliyet özelliklerine sahiptir. Darbe direnci yüksektir, gevrekliği grafitin gevrekliğinin yansı kadardır. Bu nedenle kolay şekil verilebilir. Doğal kimyasallara dirençlidir ancak asit ve alkalilerden etkilenir. Her iki kevlar da 2344 MPa değerinde çekme mukavemetine sahiptir ve kopma uzaması %1,8' dir. Kevlar 49' un elastik modülü kevlar 29' unkinden iki kat fazladır. Kevlar elyafların yoğunluğu cam ve grafit elyafların yoğunluklarından daha düşüktür. Kevlar49/Epoksi kompozitlerinin darbe mukavemeti grafit epoksi kompozitlere oranla yedi kat, bor/epoksi kompozitlere oranla dört kat daha iyidir. Uçak yapılarında, düşük basma mukavemetleri nedeniyle, karbon elyaflarla birlikte hibrid kompozit olarak, kumanda yüzeylerinde kullanılmaktadırlar. Aramid elyaflar

elektriksel iletkenliğe sahip değildirler. Basma mukavemetlerinin iyi olmasının yanı sıra kevlar epoksi kompozitlerinin nem absorbe etme özellikleri kötüdür.

Şekil 3.1' de yukarıda belirtmiş olduğumuz başlıca elyaf türlerinin çekme gerilmelerinin birbirleri ile karşılaştırmaları grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 3.1 Elyaf çeşitlerinin çekme gerilmelerinin birbirleri ile karşılaştırılması

3.2 Matris Malzemeleri

Yüksek performanslı kompozit malzeme üretimi için matris malzemesi elyaflar arasına emdirilmeli, elyafları ıslatabilmeli, kimyasal veya belli şartlarda yapışma için bağ oluşturmalı, mümkün olan düşük basınç ve sıcaklıkta hızlı şekilde katılma yapabilmelidir. Bağdan ayrı olarak da üretim esnasında veya bundan sonraki işlemler sırasında matris ve elyaf arasında diğer kimyasal etkileşimler olmamalı ve matris zamanla kararlı kalmalıdır. Üretim sırasında matrisin kimyası nedeniyle elyaflar da her hangi bir fiziksel hasara maruz kalmamalıdır. Kompozitin sıcaklığa, kimyasal etkileşime ve neme karşı direnci öncelikle matris tarafından belirlenir, ardından takviye elemanı da sıcaklığa karşı kararlı olmalıdır. Elyaf takviyeli kompozitlerde ise matrisin yerine getirmesi gereken başlıca fonksiyonları şöyle sıralanabilir;

düzenlenmiş elyafı bir arada tutarak kuvvetleri elyafa iletmek; bu özellikle çekme ve kaymayla birlikte basma yüklemeleri için hayati önem taşır. Elyafı çevresel etkilerden ve darbelerden korumak; cam-elyaf takviyeli kompozitlerde kullanılan çoğu matrisler suya ve korozyona karşı çok hassastırlar. Bazı matris malzemeler üretim sırasında elyafı ile reaksiyona girerler. Bu yüzden matris seçimi kadar elyaf seçimi de önemlidir. Çatlakları durdurma. Kullanılan elyafı genellikle yüksek dayanım ve elastik modüle sahip fakat çok gevrekler. Elyafı ayrı ayrı birim içindeymiş gibi davranırken matris malzemesi kırılma oluncaya kadar bağımsız olarak yük taşıyıcı gibi davranırlar. Bu yüzden herhangi bir çatlak ani kırılmaya sebep olmaz. Örnek olarak bir elyaf kırılırsa bitişik elyafa geçmeden önce matrise transfer olur. Bu nedenle matrisin ve matris elyaf arasında ara yüzey bağının kompozitin tokluğu üzerine önemli etkisi bulunmaktadır. Bu gereksinimlerin çoğunu karşılayan en kolay malzemeler ya hafif metaller ve alaşımları ya da termosetlerdir (Şahin, 2000).

Reçineler olarak da adlandırılan en çok kullanılan başlıca termoset çeşitleri kısaca aşağıda özetlenmiştir. Tablo 3.2' de bu reçinelerin mekanik ve fiziksel özellikleri listelenmiştir.

3.2.1 Epoksi Reçineler

Epoksi reçineleri bifenol A ile epiklorhidridin reaksiyon ürünü olup sertleştirici (katalist) ile karıştırıldığında adi sıcaklıkta veya fırınlama ile (70 – 90 derece) belli bir sürede sertleşir ve bir plastik görünümü alır. Önemli avantajları olarak; sıvı, viskoz sıvı veya katı hallerde bulunabilmeleri, elektrik, ısı, kimyasal dirençleri ile mekanik özelliklerinin yüksek olması, hava şartlarından etkilenmemeleridir. Depolanma süreleri oda sıcaklığında 24 aydır. Epoksilerin dezavantajları; polyester ile karşılaştırıldığında pahalıdır, polyestere oranla düşük viskoziteye sahiptirler.

3.2.2 Polyester Reçineler

Dibazik asitlerle gliserin, glikol gibi polialkollerin reaksiyonundan elde edilirler. Katı, sıvı termostat, termoplast gibi türlerde bulunur. Sıvı polyesterler, katalist ve hızlandırıcı kullanılarak kür edilirler. Avanjaları; sert, kimyasal maddelere ve hava şartlarına direnci çok yüksektir, katı polisterler (LPET gibi) darbe dayanımlıdır. Dezavantajları; kür sırasındaki yüksek egzotermik reaksiyon zayıf elyaf/matris bağ kuvvetlerine sebep olması, sistemin gevrekleşmeye eğilimli olması ve zayıf kimyasal direnç göstermesi olarak sıralanabilir.

3.2.3 Üretan Reçineler

Bir izosiyanatla bir polialkolün oda sıcaklığında katılma polimerizasyonu ile elde edilen üretanlar daha çok köpük lastik (esnek ve rijit) yapımında kullanılırlar. Kimyasal direnci iyidir. Yalıtım özellikleri yüksektir.

3.2.4 Fenolik Reçineler

Fenol formaldehit kondenzasyon ürünü olup, bu ham maddelerin bazen türevlerinde kullanılmaktadır. Katı ve sıvı türleri vardır. Yurdumuzda sıvı reçine üretimi vardır.

Tablo 3.2 Bazı reçinelerin mekanik ve fiziksel özellikleri

Malzeme Cinsi	Epoksi	Polyester	Fenolik
Yoğunluk (g/cm ³)	1,11	1,04-1,46	1,24-1,32
Elastik Modül (Mpa)	7000	3400	4800
Çekme Dayanımı (Mpa)	70	41-90	34-62
Kopma Uzaması (%)	3-6	42	1,5-2,0
Isıl İletkenlik	0,19	0,19	0,15
Isıl Genleşme Katsayısı (1/C)	45-65	55-100	68

BÖLÜM DÖRT

KOMPOZİT MALZEMELERDE YAPIŞTIRMALI VE PERÇİNLİ BİRLEŞTİRMELER

4.1 Yapıştırma Birleştirmeler

Yapıştırma ile birleştirme, iki yüzeye yapıştırıcının sürülmesi ve bir araya getirilmesi sonucu arada oluşan adezyon bağları yani moleküllerin birbirini çekme kuvveti ile iki yüzeyin birbirine bağlanması işlemidir.

4.1.1 Yapıştırma Birleştirmelerin Avantajları

Yapısal yapıştırıcılar mühendislik malzemeleridir ve yapıştırıcı ile birleştirme işlemleri üretim mühendisliğinin bir parçası olarak kabul edilmektedir. Modern endüstriyel tasarımcılar ve mühendisler, iki parçayı birleştirmek istediklerinde kullanacakları çivileme, civatalama, perçinleme, lehimleme, kaynaklama ya da yapıştırma gibi yöntemlerin avantaj ve dezavantajlarını göz önünde bulundurmaya zorundadırlar. Mekanik olarak birleştirilen bağlantılar ile karşılaştırıldıklarında yapıştırıcı birleştirmeli bağlantılar daha az gerilme yığılması, daha uniform yük dağılımı, daha fazla tasarım esnekliği ve imalat kolaylığı, hafiflik, sızdırmazlık, korozyon direnci, ısı ve ses yalıtımı, sönümlenme ve daha mükemmel yorulma özelliklerine sahiptirler (Kinloch, 1987).

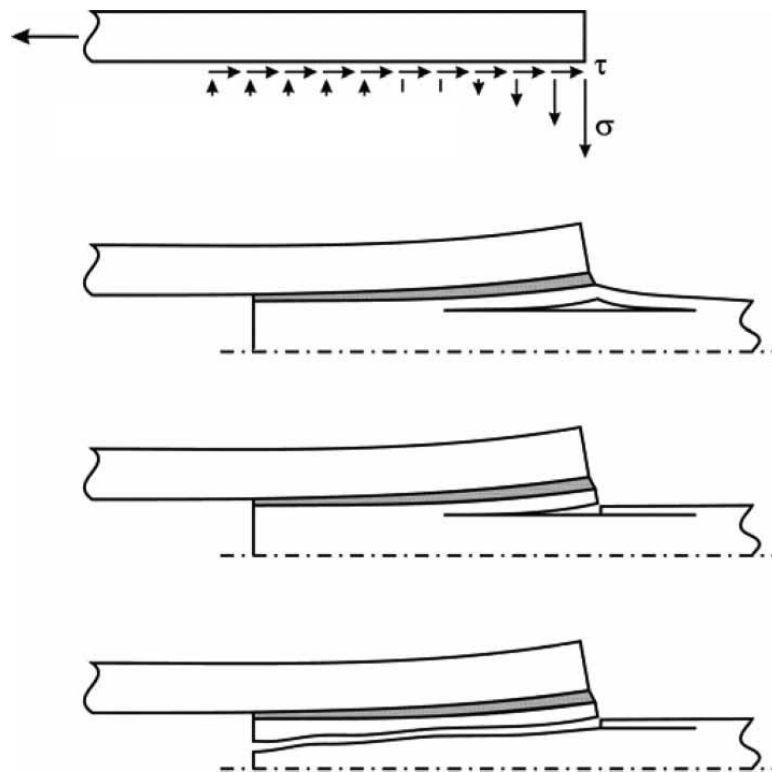
4.1.2 Yapıştırma Şekilleri

Şekil 4.1’ de yapıştırıcılar ile birleştirilen kompozit malzemelerin en çok kullanılan yapıştırma çeşitleri belirtilmiştir. Bunlar; basit bindirmeli (bu çalışmada kullanılan yapıştırma şekli), çift sıra bindirmeli, birbiri içine geçmeli ve basamak bindirmeli olarak adlandırılmıştır. Ayrıca bunların dışında nadir olarak T şeklinde birleştirme, L şeklinde birleştirme, köşe birleştirme, uç uca birleştirme, uç uca trapez birleştirme şeklinde uygulamalar da görülebilmektedir (Banea, Silva, 2008).



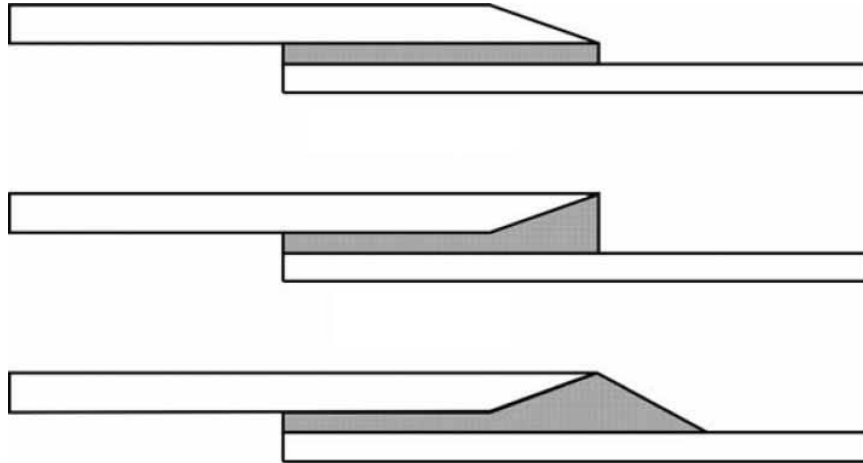
Şekil 4.1 Yapıştırma şekilleri. A. Basit bindirme B. Çift sıralı bindirme C. Birbiri içine geçmeli bindirme D. Basamak şeklinde bindirme

Basit bindirme şeklinde adlandırılan tek sıra bindirmeli yapıştırma, basitliliğinden ve verimliliğinden dolayı en çok kullanılan yapıştırma şeklidir. Bu tarz yapıştırmalarda hasar durumu incelendiğinde Şekil 4.2'deki durum görülmüş olup bunu telafi etmek için ise Şekil 4.3'deki uygulamalar yapılmaktadır.



Şekil 4.2 Basit bindirmelerde karşılaşılan kopma hasarı

Birleştirme köşelerinde biriken gerilmeleri aza indirmek ve kopmayı engellemek için birleştirilen kenarlarda içe doğru ya da dışa doğru pah kırılır veya yapıştırıcıya pah verilir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Birleştirme kenarlarına pah kırılması

4.1.3 Yapıştırıcı Çeşitleri

Yapıştırıcılar birkaç farklı şekilde sınıflandırılabilir. Bunlar; tek bileşenli sıvı yapıştırıcılar, iki bileşenli sıvı yapıştırıcılar ve film yapıştırıcılar olmak üzere fiziksel hallerine göre sınıflandırmayı; metal-metal yapıştırıcılar, kağıt yapıştırıcılar ve ahşap yapıştırıcılar olarak esas malzemeye göre sınıflandırmayı göstermektedir. Epoksi yapıştırıcılar, siyanoakrilit yapıştırıcılar ve polikloropen yapıştırıcılar da kimyasal formlarına göre sınıflandırmaya birkaç örnektir. Yapıştırma şartlarına göre sınıflandırmaya ise çözücü ile katılan yapıştırıcılar, soğuk katılan yapıştırıcılar ve erimiş durumda uygulanan ve soğuyup sertleştiğinde yapışma sağlayan yapıştırıcılar örnek gösterilebilir (Kinloch, 1987).

Tablo 4.1' de genel olarak yapıştırıcıların tipleri, avantajları dezavantajları, çalışma sıcaklıkları ve kür gereksinimleri belirtilmiştir.

Tablo 4.1 Yapıştırıcı çeşitleri.

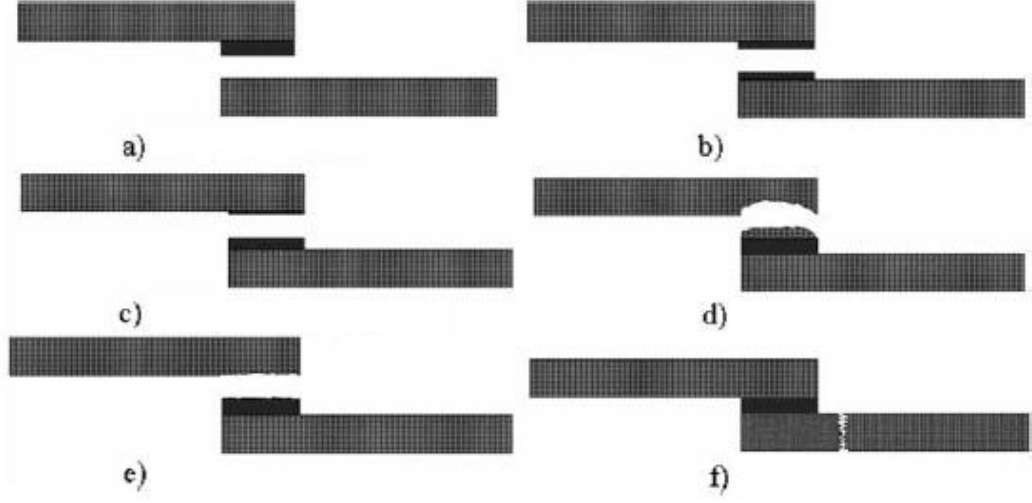
Yapıştırıcı Çeşidi	Yorumlar	Çalışma Sıcaklığı (°C)	Kür İhtiyacı
Epoksi	yüksek mukavemet, yüksek sıcaklık dayanımı, düşük kürlenme sıcaklığı, kolay kullanım, düşük maliyet	-40 / +100	bir kısmı oda sıcaklığında, bir kısmı yüksek sıcaklıkta
Siyanokrilit	plastikler ve lastikler için hızlı yapıştırma kapasitesi, neme ve sıcaklığa karşı zayıf	-30 / +80	hızlı, oda sıcaklığı
Anaerobik	sızdırmazlık ve sıkıştırma için kullanılır, silindirik parçaların yapıştırılmasında uygulanır	-55 / +150	oda sıcaklığında oksijensiz ortamda
Akrilik	hızlı kürlenme ve iyi hazırlanmamış yüzeylerin yapıştırılmasında kullanılır	-40 / +120	oda sıcaklığı
Poliürotan	düşük sıcaklıklarda esneklik, yorulmaya ve darbeye karşı dayanım	-200 / +80	oda sıcaklığı
Silikon	düşük gerilimlerde sızdırmazlık için en iyi çözüm, esneklik ve yüksek sıcaklıklara dayanım	-60 / +300	oda sıcaklığı
Fenolik	kısa sürede iyi yapışma, ısıya az dayanım	-40 / +175	sıcaklık ve basınçla
Polyimid	yüksek ısıya mukavemetli, işlenmesi zor	-40 / +250	sıcaklık ve basınçla
Bismaleimid	rijit yapı, düşük kabuklaşma	-50 / +200	sıcaklık ve basınçla

Bu çalışmada kullanılan ilk yapıştırıcı (Y1) siyanokrilit grubuna giren Loctite401 markalı üründür. Hızlı yapıştırma, oda sıcaklığında kürlenme, şeffaf olması ve çok ince olması sebebi ile tercih edilmiştir. İkinci yapıştırıcı (Y2) epoksi grubuna giren Loctite3430 markalı üründür. Yüksek kesme mukavemeti, suya direnci ve esnekliği nedeni ile tercih edilmiştir.

4.1.4 Hasar Tipleri

Şekil 4.4'de belli başlı görülen hasar tipleri verilmiştir. Bunlar; a) yapıştırıcının malzemeden ayrılması hasarı, b) yapıştırıcının kendi içinde ayrılması hasarı, c) yapıştırıcının kendi içinde ince bir şekilde ayrılması, d) yapıştırıcının malzemeyi koparması hasarı, e) yapıştırıcının malzemeyi ince bir şekilde koparması hasarı,

f) malzemenin başka bir yerden kopması hasarı şeklinde sıralanabilir (Banea, Silva, 2008).



Şekil 4.4 Yapıştırırmalı birleştirmelerde görülen hasar tipleri

Bir çok araştırmacı deneysel olarak hasar tiplerinin oluşumunu incelemiştir ve sebeplerinin çok değişken olduğu saptanmıştır. Yüzey hazırlamadaki hatalar, pah kırma, yapıştırıcı kalınlığı, çevre koşulları ve buna benzer bir çok değişken bu hasarların oluşmasına etken olarak sıralanabilir.

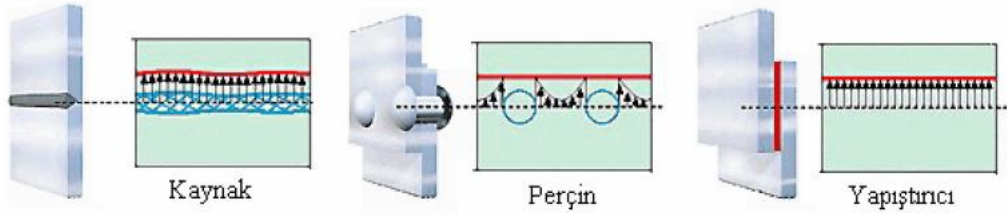
4.2 Perçinli Birleştirmeler

Makine parçaları olan saçlar, levhalar, kayış, balata gibi elemanların sökülemez biçimde birleştirilmesinde kullanılan bir başı hazır diğer başı da montajla biçimlendirilen silindirik parçalara perçin denir.

4.2.1 Perçinli Birleştirmelerin Avantajları

Özellikle ince ve metal olmayan parçaların birleştirilmesi söz konusu ise perçinleme vazgeçilmez bir yöntemdir. Kaynaklı veya diğer birleştirme yöntemleri bu konuda yetersiz kalmaktadır. Maliyetinin oldukça ucuz olması en büyük avantajlarından. Pratik şekilde kullanımı ve farklı malzemeleri birbirine birleştirme yeteneği tercih edilme sebebidir.

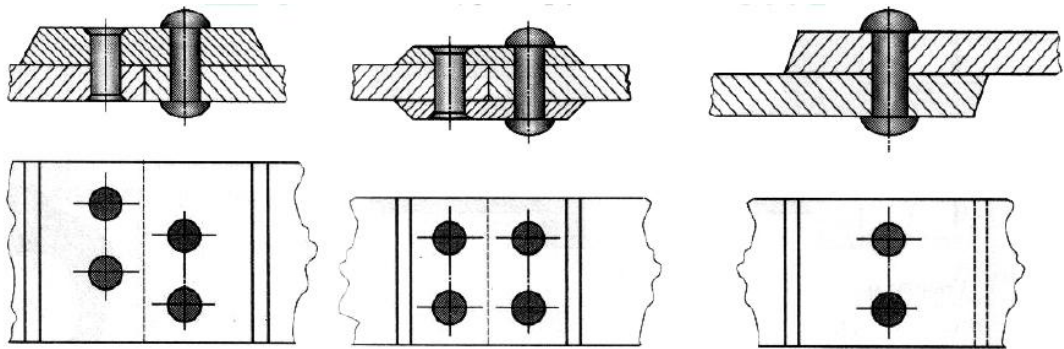
Demontaj edilememesi en büyük dezavantajdır. Sistem bir kere perçin ile birleştirildiğinde, sökülmesi için perçinin kesilmesi ya da delinmesi gerekmektedir. Ayrıca bazen sızdırmazlığın da çok iyi sağlanamaması bir diğer kötü yönüdür. Gerilim dağılımları incelendiğinde ise deliklerden kaynaklan uniform olmayan yük dağılımı malzemeyi zayıflatmaktadır. Şekil 4.5 kaynaklı, perçinli ve yapıştırırmalı birleştirmelerdeki gerilim dağılımları görülmektedir (Loctite Handbook).



Şekil 4.5 Kaynaklı, perçinli ve yapıştırıcı birleştirmelerde görülen gerilim dağılımları.

4.2.2 Perçinleme Şekilleri

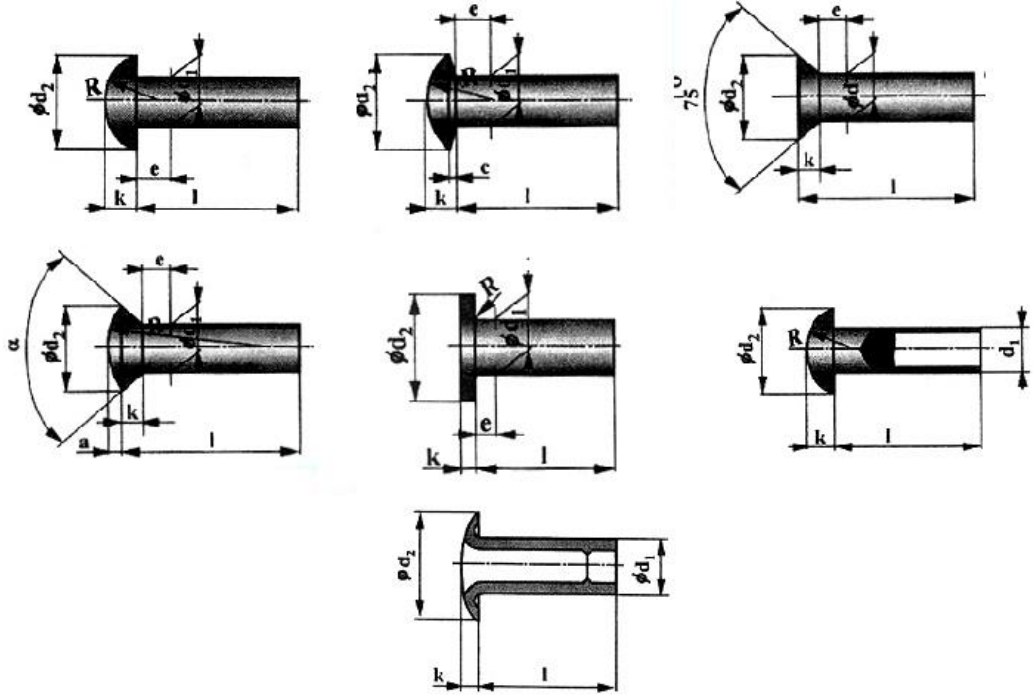
Perçinlenen parçaların konumuna göre bindirmeli ve yamalı perçinleme, perçinin kesim sayısına göre bir-iki-üç kesimli perçinleme, perçin sırasına göre bir sıralı, iki sıralı perçinleme, perçinleme amacına göre sağlam, sızdırmaz, sağlam-sızdırmaz perçinleme olarak sınıflandırılabilir (Şekil 4.6). Ayrıca her zaman özel amaca yönelik özel perçinler tasarlanabilmektedir (Ay, Demircioğlu).



Şekil 4.6 Perçinleme çeşitleri. Tek yamalı perçinleme; tek kesimli, çift sıralı, zikzaklı (solda), iki yamalı perçinleme; iki kesimli, iki sıralı (ortada), bindirmeli perçinleme; tek kesimli, tek sıralı (sağda)

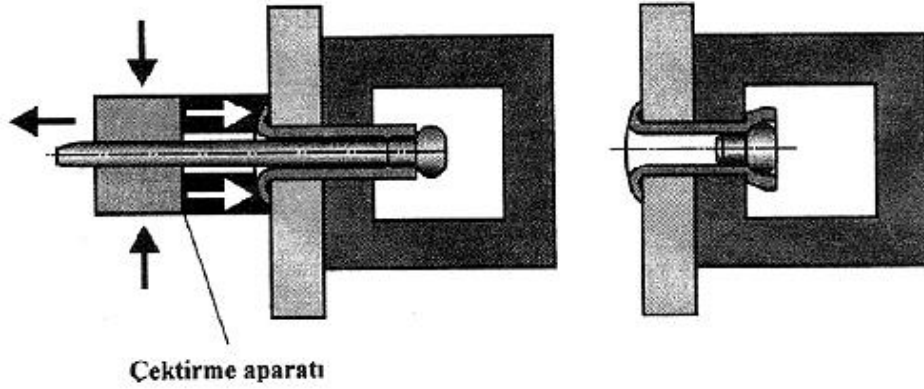
4.2.3 Perçin Çeşitleri

Perçinler, başlarına göre yuvarlak, mercimek, havşa, havşa-mercimek, düz, patlamalı ve kör (pop) perçin şeklinde adlandırılır. Şekil 4.7' de perçin çeşitleri belirtilmiştir.



Şekil 4.7 Perçin çeşitleri. Sırası ile yuvarlak, mercimek, havşa, havşa-mercimek, düz, patlamalı ve kör (pop)

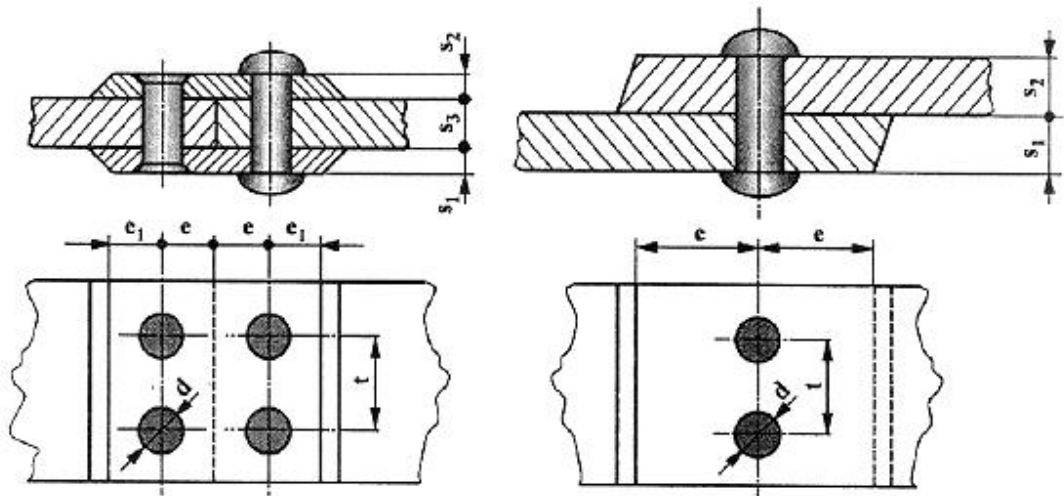
Bu çalışmada $\text{Ø}4,8$ mm çapında, 10 mm boyunda, paslanmaz kör (pop) perçin kullanılmıştır. Perçinleme işlemleri pnömatik perçin tabacası ile yapılmıştır. Çektirmeli perçinleme denilen bu yöntem Şekil 4.8'de prensip olarak gösterilmiştir. Tek taraflı çalışma imkanı bulunan durumlarda kullanılan bu yöntemde perçin gövdesi ve perçin çivisi adı verilen iki parça bulunur. Perçin çivisi gövde içerisinde takılı durumdayken çektirme aparatının çekmesi sonucu çentikli kısımdan çivi kopar ve perçinleme yapılmış olur. Çivinin baş kısmı gövde içerisinde kalmış olur ve perçinin ikinci başı oluşur.



Şekil 4.8 Kör perçinin yapılma prensibi

4.2.4 Hasar Tipleri

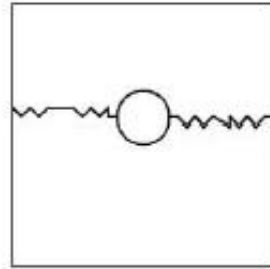
Perçinleme hataları çoğu kez yanlış hesaplamalar ya da kuralların dikkate alınmamasından ortaya çıkar. Perçin bağlantılarında uygulanan kuvvet etkisi ile levhalarda yırtılma, perçinlerde kesilme meydana gelir. Perçin boyunun kısa tutulması perçin başının oluşmamasına neden olur. Perçinin uzun tutulması ise perçin başının gereğinden fazla yayılmasına sebep olur. Perçin delik çaplarının büyük olması perçin gövdesinin eğik hale gelmesine sebep olur. Perçin çektiirmesi yeteri kadar yapılmazsa parçalar birbirine tam temas etmez. İnce levhaların perçinlenmesinde, levha yırtılmasının önlenmesi amacı ile perçin çapı ve bağlantı geometrisi ile ilgili boyutlar aşağıdaki formüller ile bulunur.



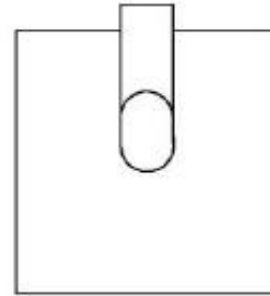
Şekil 4.9 Perçin çapı ve perçin merkezi hesaplamada kullanılan semboller

s	= sac kalınlığı	= $s_1 + s_2 + s_3 \dots s_k$
d	= perçin çapı	= $1,8 \times s_1$ (ince levha kalınlığı seçilir)
l	= perçin boyu	= $s + 1,5 \times d$
e	= perçinin levha kenarına uzaklığı	= $1,5 \times d$
e_1	= perçinin yama kenarına uzaklığı	= $1,3 \times d$
t	= perçinler arası uzaklık	= $3 \times d$

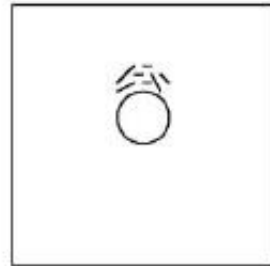
Şekil 4.9'da formüllerde kullanılan sembolleri geometrik olarak parçaların üzerindeki yerleşimi gösterilmiştir.



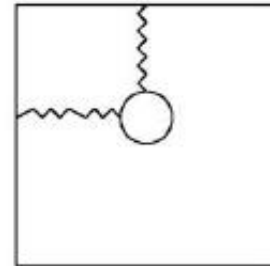
Kopma (çeki)



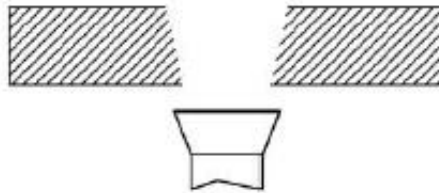
Yırtılma (kayma)



Yuva (ezilme)



Klevaj (ayrılma)



Perçin Çıkması (kırılma)

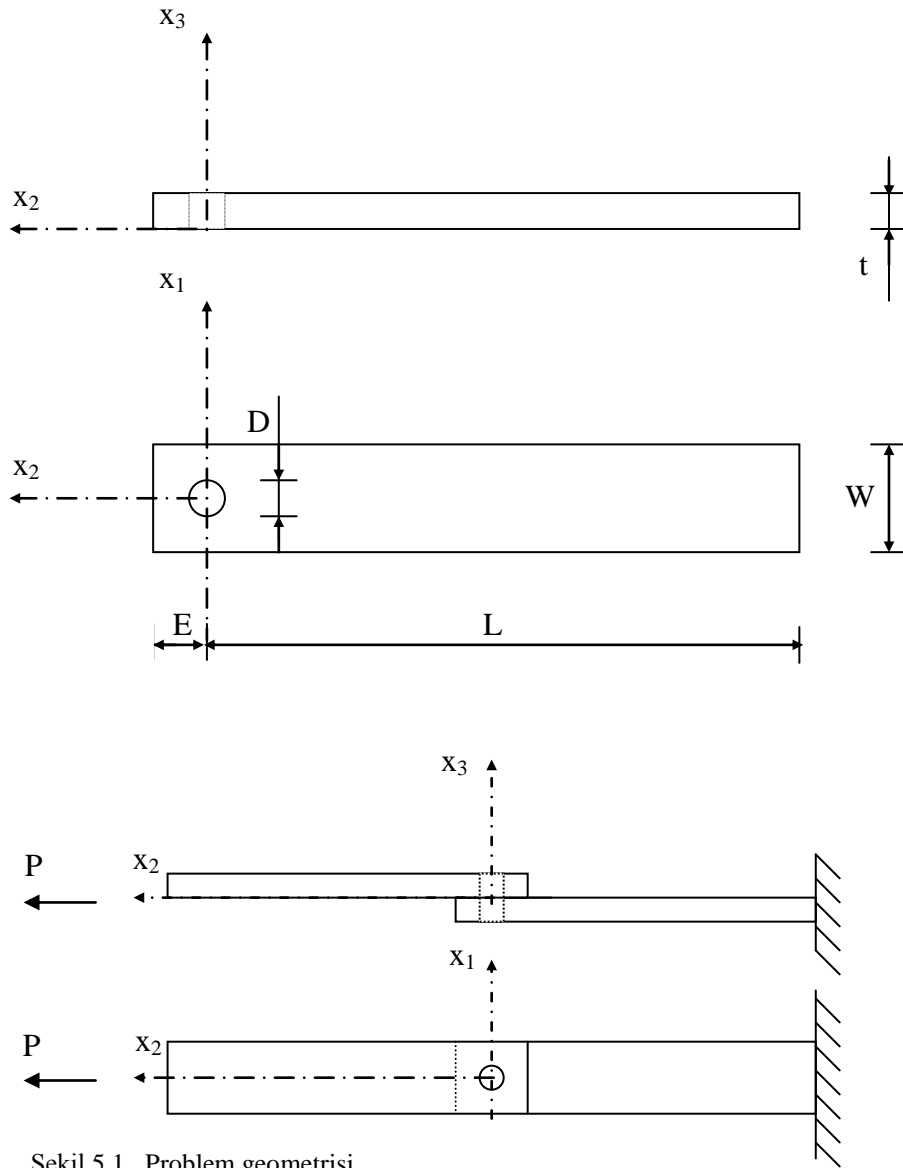
Şekil 4.10 Hasar çeşitleri

Mekanik olarak perçin ile birbirine bağlanmış olan levhalarda oluşan hasarlar beş gruba ayrılabilir. Bunlar Şekil 4.10'da da gösterildiği gibi sırası ile kopma, yırtılma, ezilme, ayrılma ve perçinin yuvadan çıkması şeklinde adlandırılmıştır (Li, Mines, Birch, 2000). Bu hasarların oluşması yukarıda sayılan sebeplere bağlıdır. Bu çalışmada da farklı geometriler kullanılarak hasar sınıfları gruplandırılmıştır.

BÖLÜM BEŞ DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1 Problem Geometrisi

Şekil 5.1’ de belirtilen parametre değişkenlerine göre hazırlanan parçaların $2E$ bindirme mesafesi kadar birbiri üzerine yapıştırılması, perçinlenmesi ve hem yapıştırılıp hem perçinlenmesi ile numuneler oluşmaktadır.



Şekil 5.1 Problem geometrisi

Tablo 5.1’ de parametre değişkenleri verilmiştir. Numuneler $t = 2,5$ mm kalınlığındadır. D, perçin çapı; E, delik veya yapıştırma ekseninin uç kenardan mesafesi; W ise numunenin genişliğidir. D, 5 mm olup, E/D oranı, 1, 2, 3, 4; W/D oranı, 2, 3, 4 olarak alınmıştır. L = 115 mm olarak sabit tutulmuştur. Bu duruma göre; 10, 15, 20 mm genişliğinde, 120, 125, 130, 135 mm boyunda 12 farklı geometride parça oluşmaktadır.

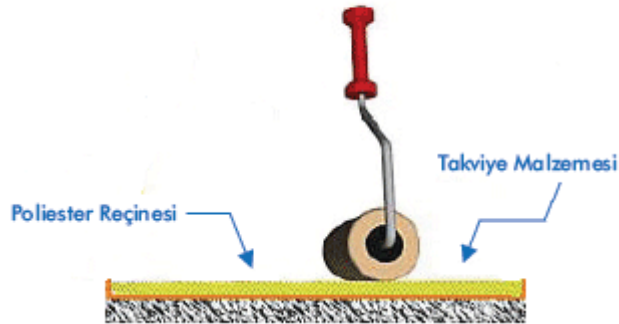
Tablo 5.1 Kullanılan parametreler

D	E/D	E	L	L+E
5	1	5	115	120
	2	10		125
	3	15		130
	4	20		135

D	W/D	W	t
5	2	10	2,5
	3	15	
	4	20	

5.2 Deney Malzemesinin İmalatı

Bu projede kullanılan numunelerin malzemesi polyester-cam elyaf bileşiminden oluşmaktadır. İmalatta el ile yatırma metodu uygulanmış olup (Şekil 5.2), sabit sıcaklık ve basınç altında presleme yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 5.2 El yatırması ile kompozit imalatı

Cam elyaf olarak, 450 gr/m^2 yoğunlukta kırpık keçe kullanılmıştır (Şekil 5.3). Prese uygun şekilde tavaya serilen cam elyaf keçeye, fırça ile polyester reçine emdirilerek yapı oluşturulmuştur. Bu işlem istenilen kalınlık yakalanana kadar tekrar edilmiştir.



Şekil 5.3 Kullanılan cam elyaf keçe ve polyester reçine

Malzeme prese verilmeden önce üst ve alt katmanların pres makinesine yapışmaması için ısıya dayanıklı, reçineye bağlanmayan bir muşamba ile paketlenmiştir. Paketlemenin ardından tabakalar prese yerleştirilmiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Cam elyaf keçe ve polyester reçine katmanların preslenmesi işlemi

İmal edilecek malzemenin kalınlığına göre malzemenin preste kalma sıcaklığı ve bekleme süresi değişmektedir. Bu projede kullanılan parçalar 2,5 mm kalınlığında olduğundan 80 °C’ de 1 saat kadar preslemek yeterli olmuştur. 2.5 mm kalınlık için 5 kat cam elyaf keçe kullanılmıştır. Uygulanan basınç cam elyaf keçe-polyester bileşimi için 160 bar’dır.

Presleme işlemi bittikten sonra malzeme oda sıcaklığında elle tutulacak sıcaklığa gelene kadar bekletilmiştir ve soğuyan malzeme muşambasından çıkarılmıştır.

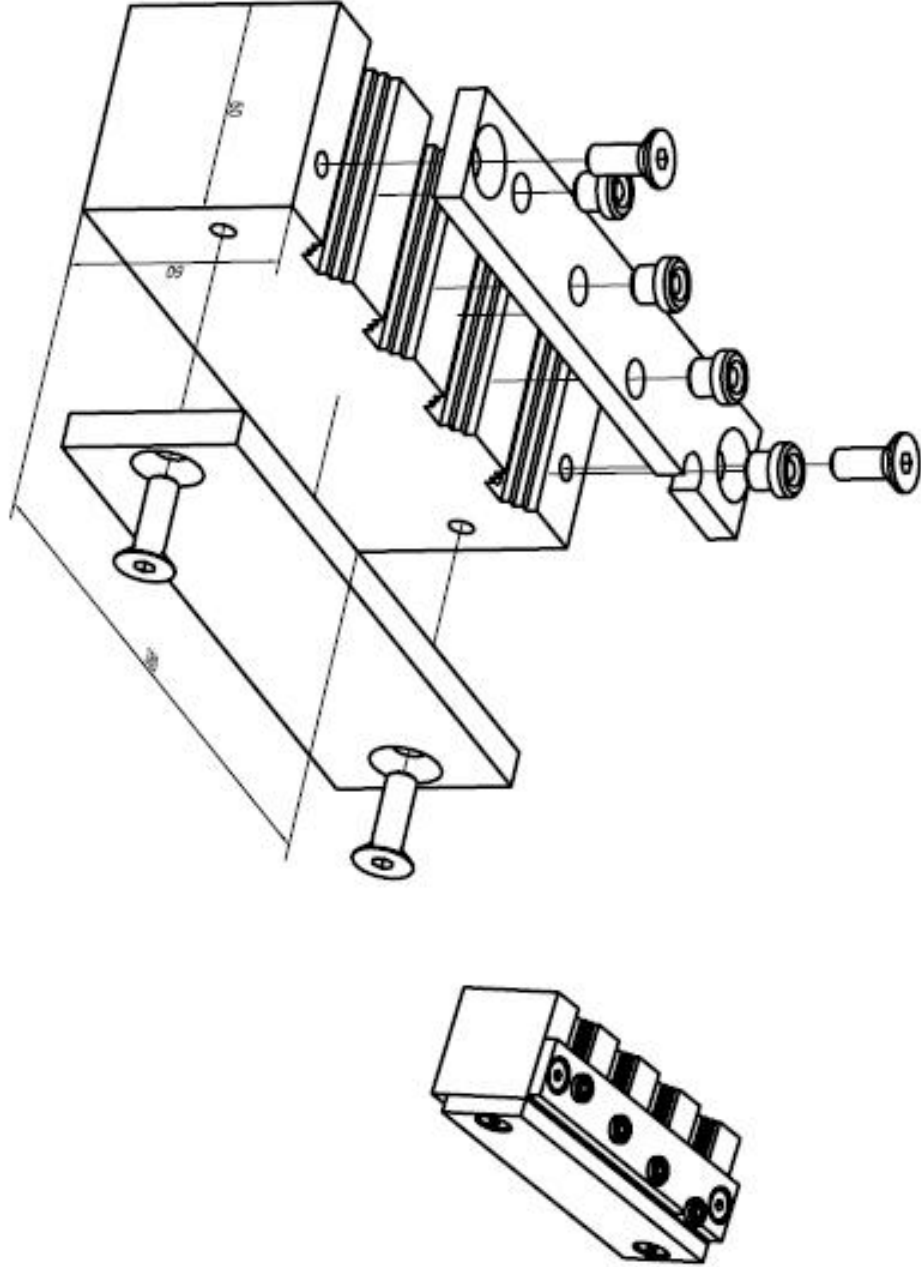
5.3 Numunelerin Kesilmesi Ve Delinmesi

Yeteri kadar bekletilen malzeme deney numunelerini oluşturacak geometride, Tablo 5.1’ deki parametre değişkenlerine uygun olarak, daire testereye dayama yöntemi ile kesilmiştir (Şekil 5.5). Malzemeler uygun boyutlarda kesildikten sonra özel olarak bu çalışma için hazırlanan delik delme kalıbında dikey matkap ile delinmiştir.



Şekil 5.5 Levhaların ebatlarında kesilirken bir görüntü

Numunelerin delinmesin kullanılan kalıp Şekil 5.6' da gösterilmiştir. Bu kalıp sayesinde tüm numunelerde açılan deliklerin merkezleri ve eksenlerin kenarlardan olan mesafeleri aynı olarak yapılabilmiştir.



Şekil 5.6 Delik delme kalıbı.

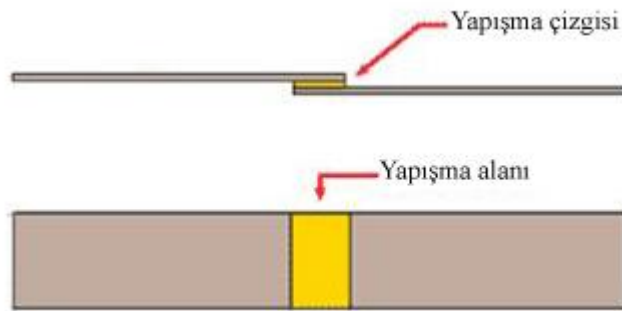
5.4 Numunelerin Yapıştırılması

Numunelerin yapıştırılmasında 2 farklı tip yapıştırıcı kullanılmıştır.

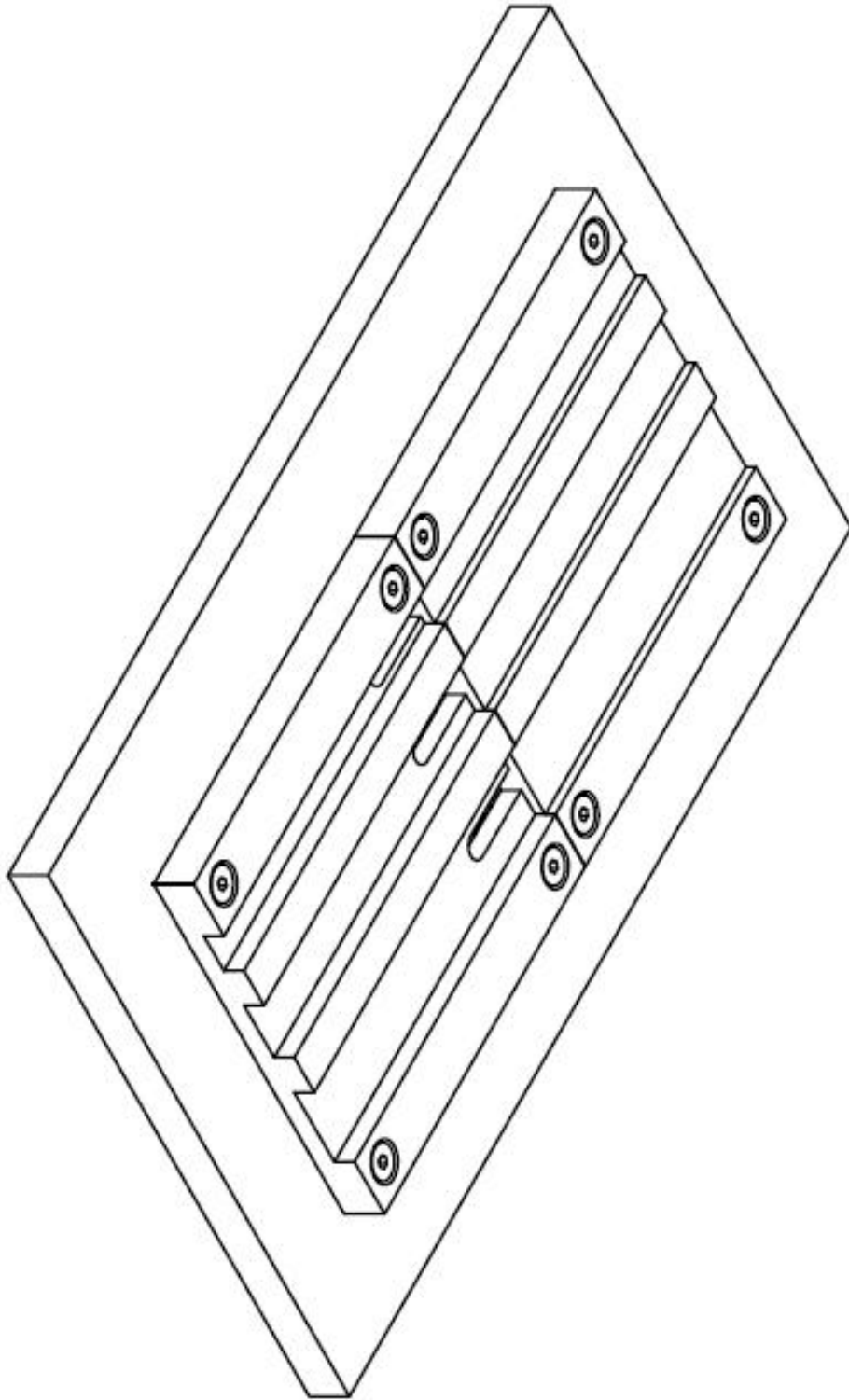
Y1 kodu ile Loctite401 hızlı yapıştırıcı uygulanmıştır. Polyester yüzeylerin üzerindeki wax ve parafin taş ile kaldırılıp numuneler kalıbın (Şekil 5.7) içine yerleştirilmiştir. Kalıbın içindeki numunelerin yapışma yüzeylerine Loctite401 sürülüp öpüştürülüp mengine 2 dakika bekletilmiştir. Menede uygulanan sıkma momenti yaklaşık 10~15 Nm'dir. Daha sonra numuneler herhangi bir baskı kuvvetine maruz bırakılmadan 22 °C' de oda şartlarında 72 saat bekletilmiştir.

Y2 kodu ile Loctite3430 güçlendirilmiş epoksi yapıştırıcı uygulanmıştır. Polyester yüzeylerin üzerindeki wax ve parafin taş ile kaldırılıp, Loctite7063 solvent ile yapışma yüzeyleri temizlenmiştir. Numuneler kalıbın içine yerleştirilip (Şekil 5.7), kalıbın içindeki numunelerin yapışma yüzeylerine çift komponentli Loctite3430 sürülüp öpüştürülüp, parmaklar ile hafif baskı uygulanmıştır. Daha sonra numunelere baskı mandalları takılıp 22 °C' de oda şartlarında 72 saat bekletilmiştir.

Şekil 5.8' de yapıştırıcı sürülüp malzemeler yapıştırıldıktan sonra oluşan numune görüntüsü şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.8 Yapışma çizgisi ve yapışma alanı



Şekil 5.7 Yapıştırma ve perçinleme kalıbı

5.5 Numunelerin Perçinlenmesi

Numunelerin perçinlenmesinde Ø4,8 mm çapında, 10 mm boyunda, paslanmaz pop perçin kullanılmıştır.

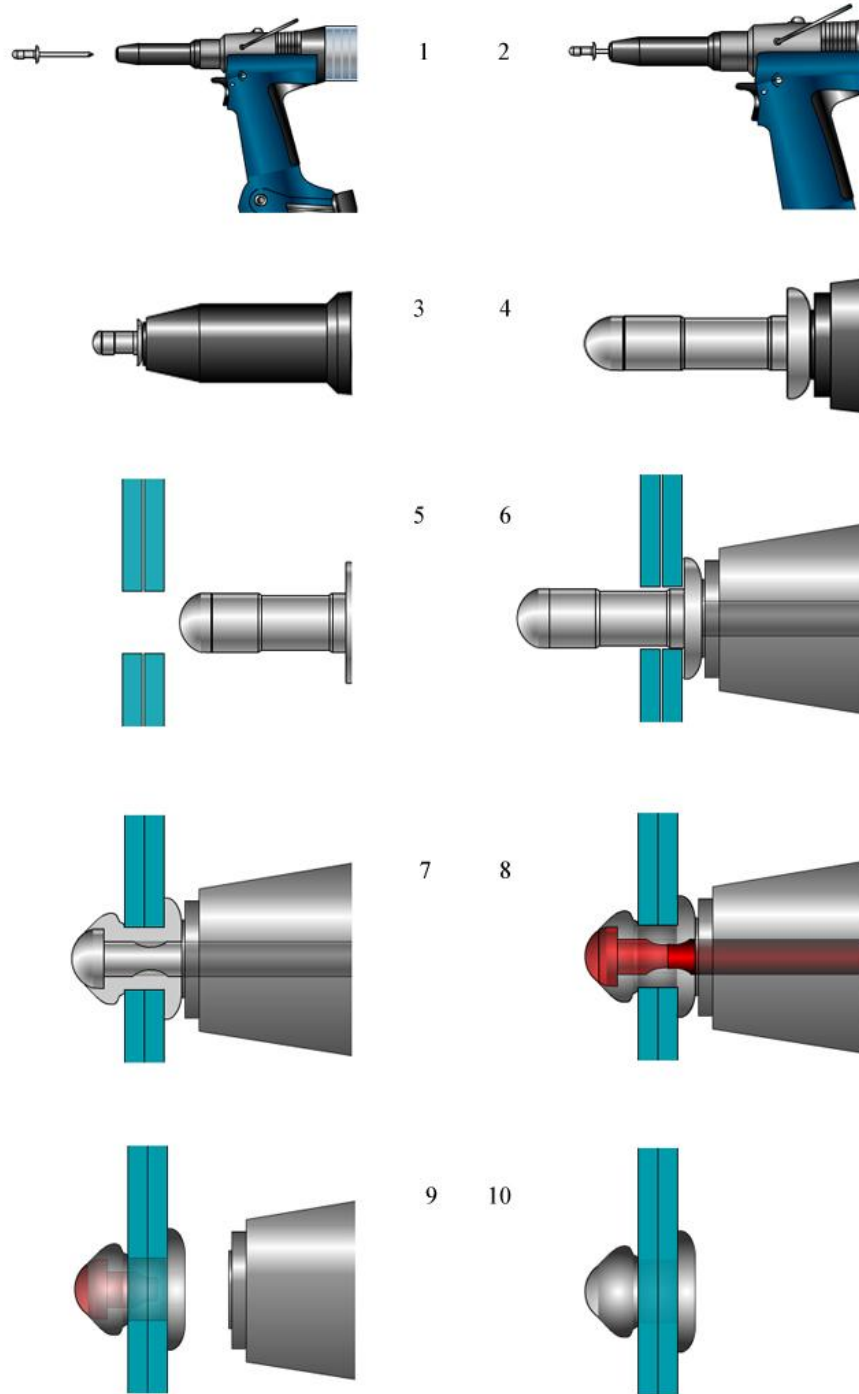
İki parça deliklerinden üst üste getirilip, perçin gövdesi çivisi ile birlikte deliklerden geçirilmiş ve parçalar merkezlenmiştir. Parçalar bu halde iken önceden hazırlanan kalıbın (Şekil 5.7) içerisine yerleştirilerek havalı perçin tabancası ile perçinlenmiştir.

Kalıbın içinde numunelerin perçinlenirken aksel olarak kaçmaması sağlanmıştır. Kalıp kullanılmadan geliş güzel el yordamı ile peçinlenme denemelerinde aksel olarak kaçıklıklar gözlenmiştir. Aksel kaçıklıklar çekme kuvvetinin yanı sıra moment yaratacağı ve test sonuçlarını olumsuz yönde etkileyeceği için kalıp içinde birleştirme yapılmıştır.

Kalıbın tasarımı yapılırken, her üç genişlik için çift kademeli slot açılmış olup, perçin gövdesinin çıkabileceği kadar delikler bırakılmıştır. Üst üste bindirilen numuneler slot boyunca karşı kademeye bindirilip, deliklerinden kolayca perçinlenmiştir.

Ayrıca hem perçinli hem yapıştırıcı birleştirmelerde yapıştırma yüzeyleri aynı şekilde taşlanarak hazırlanıp, yapıştırıcı sürüldükten sonra, perçin deliklere geçirilmiş ve havalı perçin tabancası ile kalıbın içerisinde perçinlenmiştir. Perçinin baskı kuvvetinin etkisi ile her iki tip yapıştırıcı da 22 °C' de oda şartlarında 72 saat bekletilmiştir.

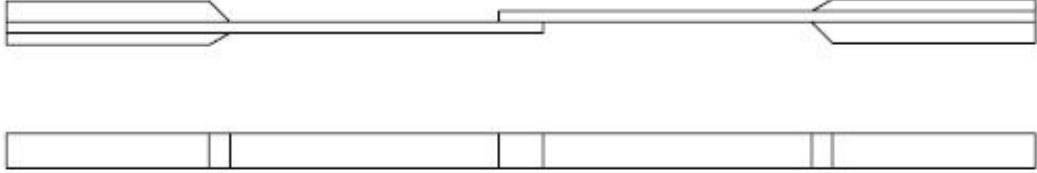
Şekil 5.9' da pop perçinleme işleminin prensibi şematik olarak gösterilmiştir. Perçinin tabancaya takılmasından, perçinin malzemeye takılmasına kadar olan aşamalar belirtilmiştir.



Şekil 5.9 Pop perçinlenme prensibi

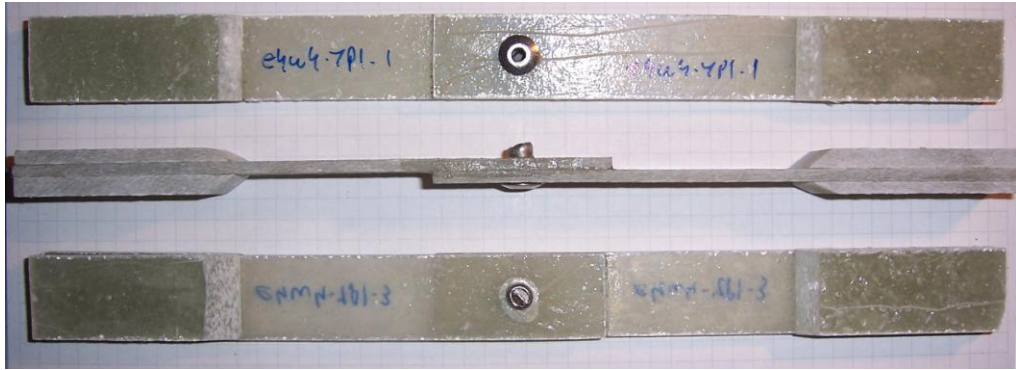
5.6 Kuvvet Etki Düzleminin Parça Yapıştırma Düzlemine Getirilmesi

Yapıştırma ve perçinleme işlemi tamamlanan numunelerin çekme makinesine bağlanabilmesi için ilave çene bağlantı parçaları yapıştırılmıştır (Şekil 5.10)



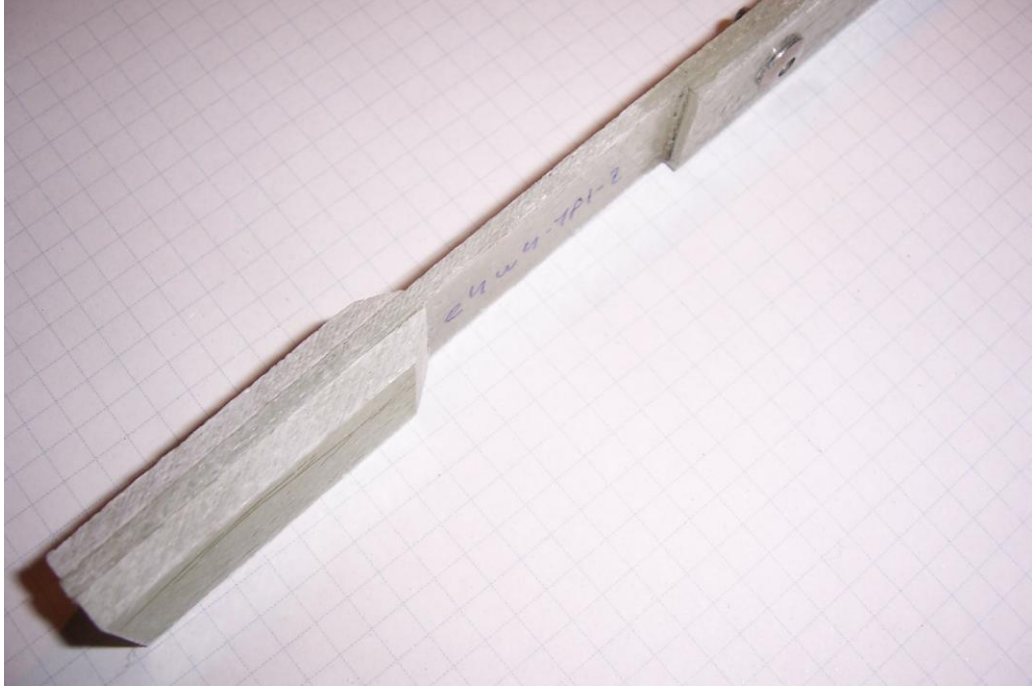
Şekil 5.10 İlave parçaların numunelere yapıştırılması

Burada hem çekme makinesinin bağlantı çenelerinin numuneye zarar vermemesi hem de çekme düzleminin numunelerin birleşme düzlemine denk gelmesi ve moment oluşmaması için numuneyi oluşturan her bir parçanın hem altına hem üstüne yine cam keçe polyester bileşiminde 50 mm'lik parçalar Loctite401 ile yapıştırılmıştır (Şekil 5.11).



Şekil 5.11 Çene bağlantı parçalarının yapıştırılması

İlave edilen bu parçaların çekme testi sırasında hasara sebep olmaması için her birinin ucuna pah kırılmıştır. Bu şekilde test edilecek bölge dışında hasar olması engellenmiştir (Şekil 5.12).



Şekil 5.12 Çene bağlantı parçalarının pah kırılması

5.7 Deney Planı

D, perçin çapı; E, delik veya yapıştırma eksenin bindirme kenarından mesafesi; W ise numunenin genişliğidir. D, 5 mm olup, E/D oranı, 1, 2, 3, 4; W/D oranı, 2, 3, 4 olarak alınmıştır. L = 115 mm olarak sabit tutulmuştur. Bu duruma göre; 10, 15, 20 mm genişliğinde, 120, 125, 130, 135 mm boyunda 12 farklı geometride parça oluşmaktadır.

Oluşan 12 farklı geometrideki numuneler sadece perçinli (P), sadece yapıştırmalı (Yapıştırıcı-1 Y1=Loctite401, Yapıştırıcı-2 Y2=Loctite3430), ve hem yapıştırmalı hem perçinli (PY1 ve PY2) olmak üzere toplam 5 farklı şekilde birleştirilmiştir. 12X5 = 60 adet deney yapılmaktadır. Her bir deney istatistiksel olarak 3 defa tekrar edilmiştir ve toplam 180 numune çekilmiştir.

Her bir numuneye verilen isim ve kodlama Tablo 5.2, 5.3 ve 5.4'de belirtilmiştir.

Numunelere verilen ismin ilk 4 karakteri geometrik ölçülerinden gelen harf ve oranlardan oluşmaktadır. Tablo 5.2' de belirtilmiştir.

Tablo 5.2 Numunelerin geometrik adlandırılması

E/D	W/D	E	W	E+L	Numune Adı
1	2	5	10	120	E1W2
	3		15		E1W3
	4		20		E1W4
2	2	10	10	125	E2W2
	3		15		E2W3
	4		20		E2W4
3	2	15	10	130	E3W2
	3		15		E3W3
	4		20		E3W4
4	2	20	10	135	E4W2
	3		15		E4W3
	4		20		E4W4

Numunelere verilen ismin ikinci kısmı birleştirme tipini belirtmektedir. Bu tipler ve isimleri Tablo 5.3' de belirtilmiştir.

Tablo 5.3 Numunelerin birleştirme tipine göre adlandırılması

Perçinli	Yapıştırıcı-1	Perçinli ve Yapıştırıcı-1	Yapıştırıcı-2	Perçinli ve Yapıştırıcı-2
P	Y1	PY1	Y2	PY2

Numunelere verilen ismin son kısmı ise istatistiksel olarak 3 defa tekrar edilen her bir deneydeki numunenin sıra numarasını vermektedir. Tablo 5.4'de gösterilmiştir.

Tablo 5.4 Numunelerin sıra numarasına göre adlandırılması

Sıra No		
1	2	3

5.8 Numunelerin Test Cihazına Bağlanması

Tüm çekme deneyleri Şekil 5.13’de görülen Instron-1114 çekme cihazında yapılmıştır.

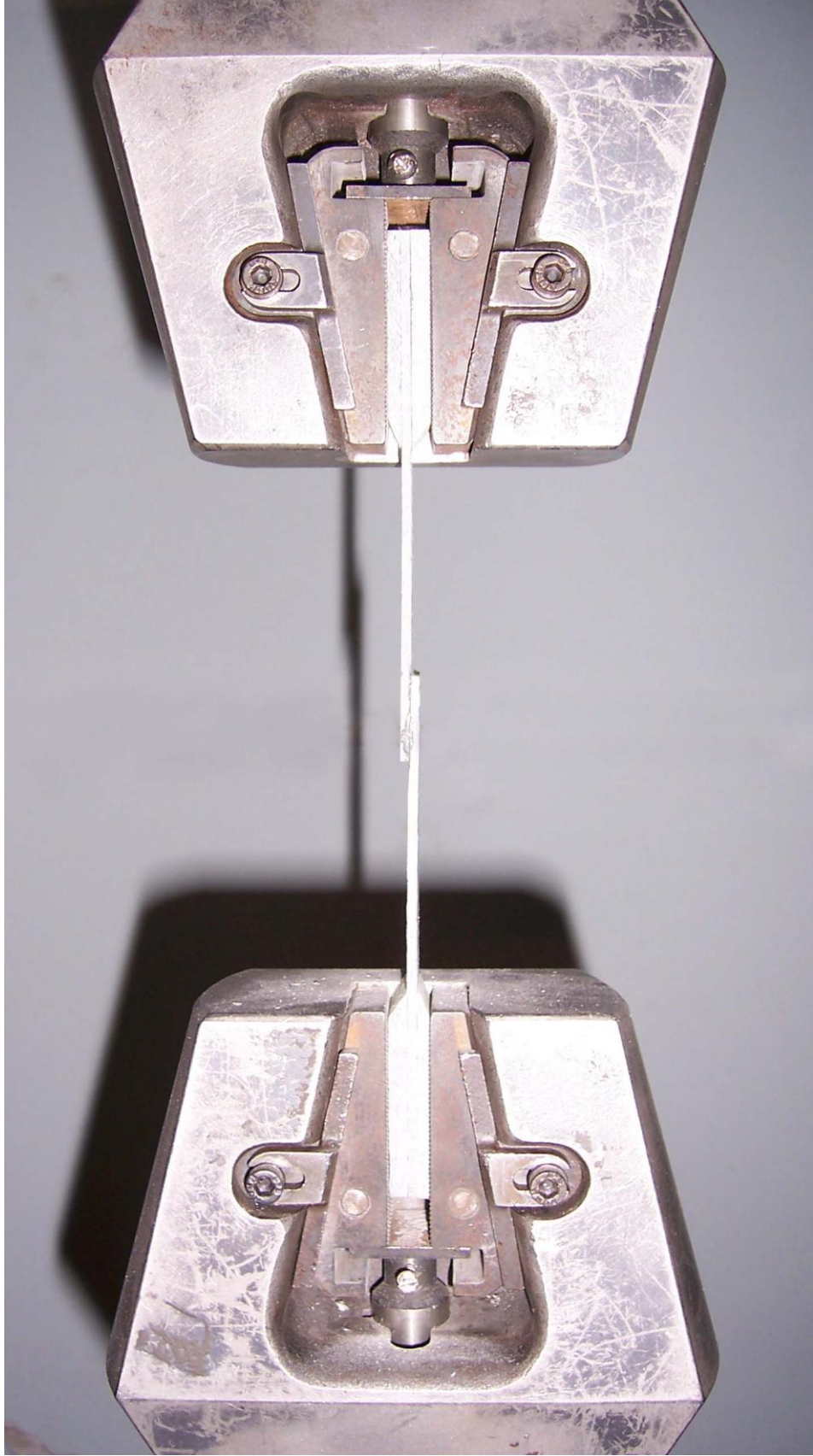
Çekme testleri sırasında konik sıkma çeneler kullanılmıştır. Önceden hazırlanan ve numunelerin uç kısımlarına yapıştırılan kalınlıklar sayesinde çekme eksenini ayarlanmış olup, ayrıca çekme kuvvetinin etkisi ile giderek artan yüzey basıncı yapan konik çenenin numunelere istenemeyen yerlerden hasar vermesi engellenmiştir (Şekil 5.14).



Şekil 5.13 Instron-1114 Çekme Cihazı

5.9 Çekme Testlerin Yapılışı

Numuneler test cihazına bağlandıktan sonra 1 mm/dakika hız ile bağlantı yerlerinden kopana kadar çekilmiştir. Kopma süresi boyunca tüm veriler bilgisayar aracılığıyla kaydedilmiştir. Alınan veriler çekme kuvveti ve uzama olarak diyagramlar şeklinde sonuçlarda sunulmuştur.



Şekil 5.14 Numunenin test cihazına bağlanması

BÖLÜM ALTI

DENEY SONUÇLARI

6.1 Yapıştırılmalı (Y1) Numunelerin Sonuçları

Loctite401 hızlı yapıştırıcı (Y1) ile yapıştırılmış numunelerin çekme kuvveti altındaki hasar yükü ve uzama diyagramları ile gördükleri hasarların fotoğrafları Şekil 6.1 ile 6.14 arasında ilerleyen sayfalarda belirtilmiştir.

Tüm diyagramlar incelendiğinde numunelere uygulanan çekme kuvveti arttıkça numuneler lineer olarak uzama göstermiştir. Belli bir yüke (Tablo 6.1) gelindiğinde yapıştırıcı aniden kopup uygulanan yükün boşaldığı görülmüştür.

Siyanoakrilik yapıştırıcı grubuna giren Loctite401 yapıştırıcı, beklendiği gibi kopma sırasında oldukça kırılabilir bir yapı göstermiştir. Çok hızlı kuruyan ve oda koşullarında küreşen yapıştırıcı, çekme kuvveti altında yüksek mukavemet gösterse de eğme ve bükme kuvvetlerine karşı çok düşük mukavemetli olduğu görülmüştür. Sünek bir yapıya sahip olmayan bu tarz birleştirmelerin çok eksenli darbelere karşı kullanıma uygun değildir.

12 farklı geometride yapıştırılan birleştirmelerde birleştirme alanı arttıkça hasar yükü de artmıştır. Kayma gerilmesi olarak hasar yükleri yapıştırma alanlarına bölüldüğünde 6~14 N/mm² değerleri elde edilmiştir. Bu değerler de Loctite firmasının bu ürün için verdiği katalog değerleri ile örtüşmektedir.

Hasar tipi olarak inceleme yapıldığında, Şekil 4.4.e' de görülen, yapıştırıcının malzeme yüzeyinden ince tabaka şeklinde malzeme ile birlikte koptuğu hasar tipi gözlemlenmiştir.

Loctite401 hızlı yapıştırıcı (Y1) ile yapıştırılmış numunelerin hasar yükleri Tablo 6.1'de belirtilmiştir. Hasar yüklerine ulaşıldığında deformasyon 1 ile 2.5 mm arasında değişmiştir. En yüksek hasar yükü en büyük yapıştırma alanına sahip olan E/D=4 W/D=4 numunesinde 5385,69 N olarak görülmüştür.

Tablo 6.1 Y1 birleştirmelerinin hasar yükleri

Y1		Hasar Yüğü (N)			
		E/D			
		1	2	3	4
W/D	2	1206,63	1520,55	2383,83	2530,98
	3	1628,46	2354,4	3080,34	4797,09
	4	2805,66	2893,95	5277,78	5385,69

Loctite401 hızlı yapıştırıcı (Y1) ile yapıştırılmış numunelerin yapıştırma alanları Tablo 6.2'de belirtilmiştir.

Tablo 6.2 Y1 birleştirmelerinin yapışma alanları

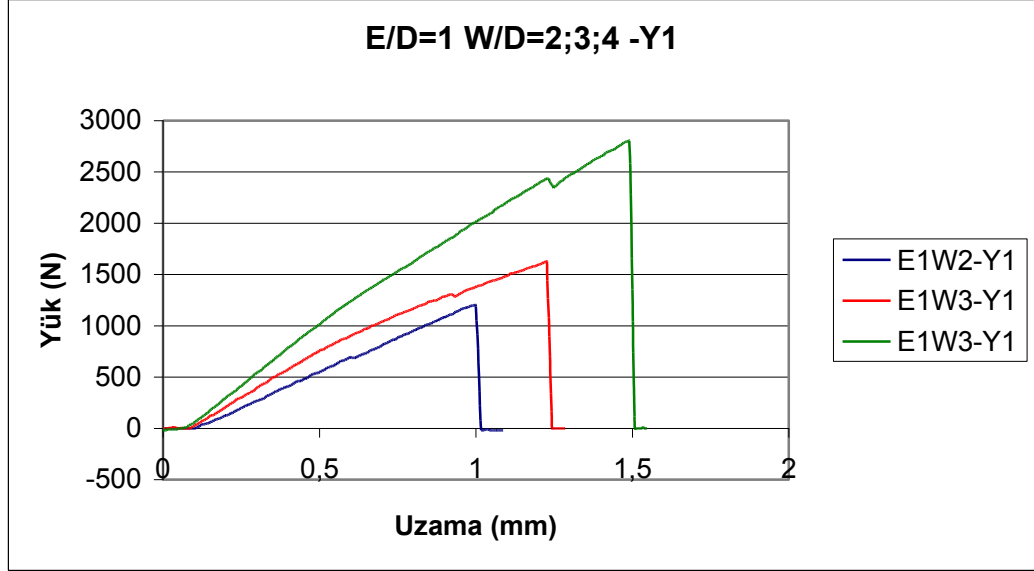
Y1		Yapıştırma Alanı (mm ²)			
		E/D			
		1	2	3	4
W/D	2	100	200	300	400
	3	150	300	450	600
	4	200	400	600	800

Loctite401 hızlı yapıştırıcı (Y1) ile yapıştırılmış numunelerin hasara uğradığı kayma gerilmeleri Tablo 6.3'de belirtilmiştir. Kayma gerilmeleri her numunenin koptuğu hasar yükünü yapıştırma alanına bölerek elde edilmiştir.

Tablo 6.3 Y1 birleştirmelerinin hasara uğradığı kayma gerilmeleri

Y1		Kayma Gerilmesi (N/mm ²)			
		E/D			
		1	2	3	4
W/D	2	12,07	7,60	7,95	6,33
	3	10,86	7,85	6,85	8,00
	4	14,03	7,23	8,80	6,73

Şekil 6.1 ile Şekil 6.8 arasında sabit E/D oranlarında, W/D oranı değişiminin sonuçları verilmiştir. W/D oranı arttıkça hasar yükü ve deformasyon artmıştır. Tüm numunelerde kayma hasarı görülmüştür. Yapıştırıcının malzeme yüzeyinden ince tabaka şeklinde malzeme ile birlikte koptuğu hasar tipi oluşmuştur.

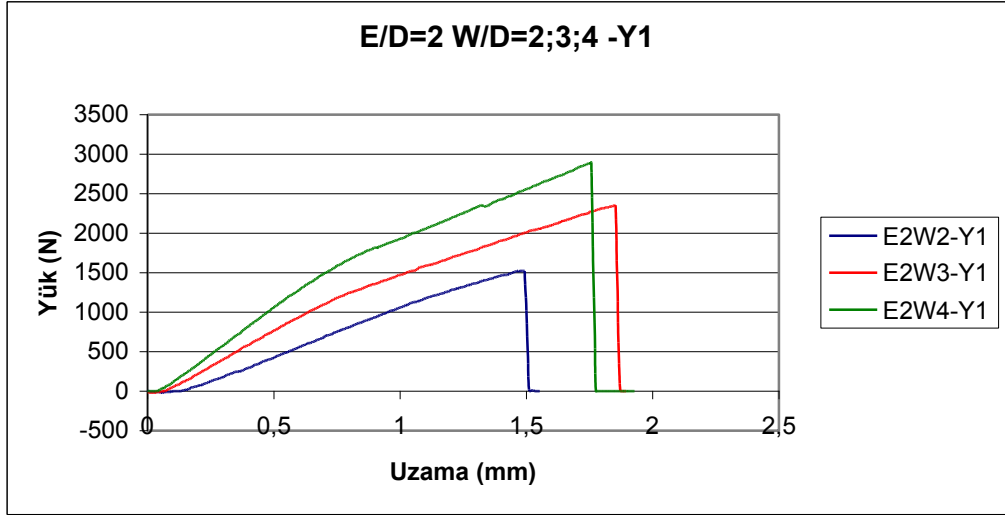


Şekil 6.1 E1W2-Y1, E1W3-Y1, E1W4-Y1 yük-uzama diyagramı

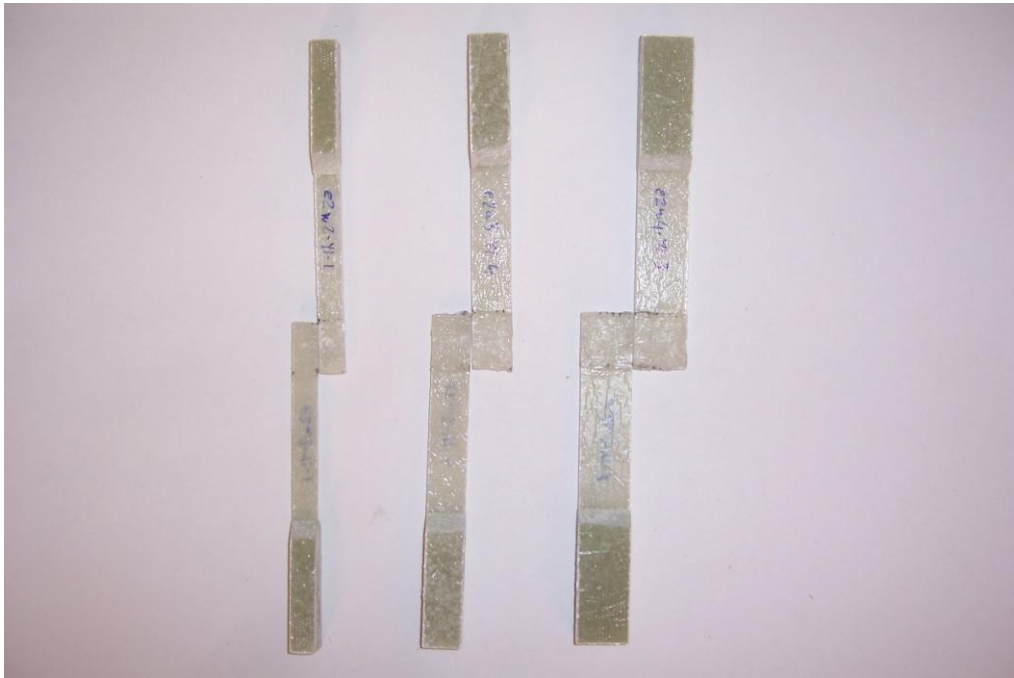


Şekil 6.2 E1W2-Y1, E1W3-Y1, E1W4-Y1 hasar tipleri

Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’de görüldüğü gibi tüm numunelerde kayma hasarı görülmüştür. Yapıştırıcının malzeme yüzeyinden ince tabaka şeklinde malzeme ile birlikte koptuğu hasar tipi oluşmuştur.

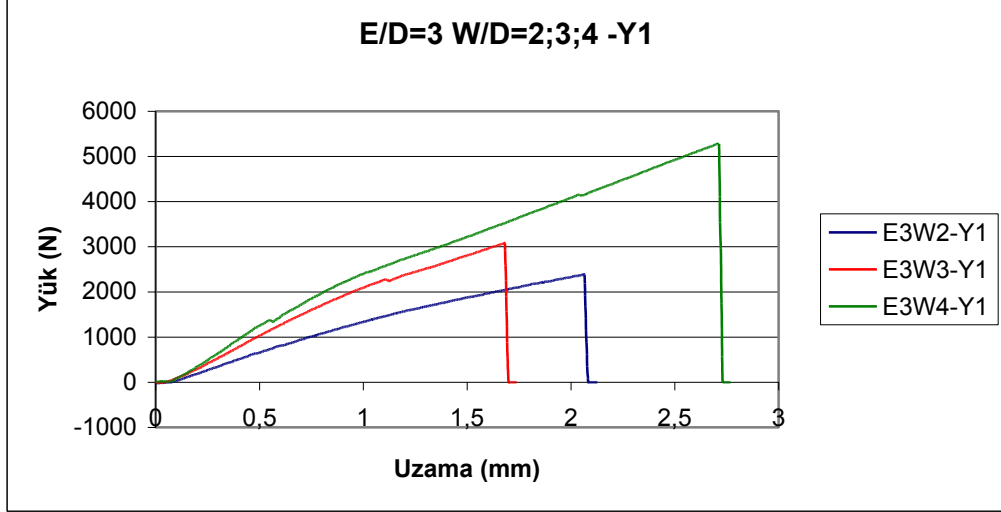


Şekil 6.3 E2W2-Y1, E2W3-Y1, E2W4-Y1 yük-uzama diyagramı



Şekil 6.4 E2W2-Y1, E2W3-Y1, E2W4-Y1 hasar tipleri

Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'de görüldüğü gibi tüm numunelerde kayma hasarı görülmüştür. Yapıştırıcının malzeme yüzeyinden ince tabaka şeklinde malzeme ile birlikte koptuğu hasar tipi oluşmuştur.

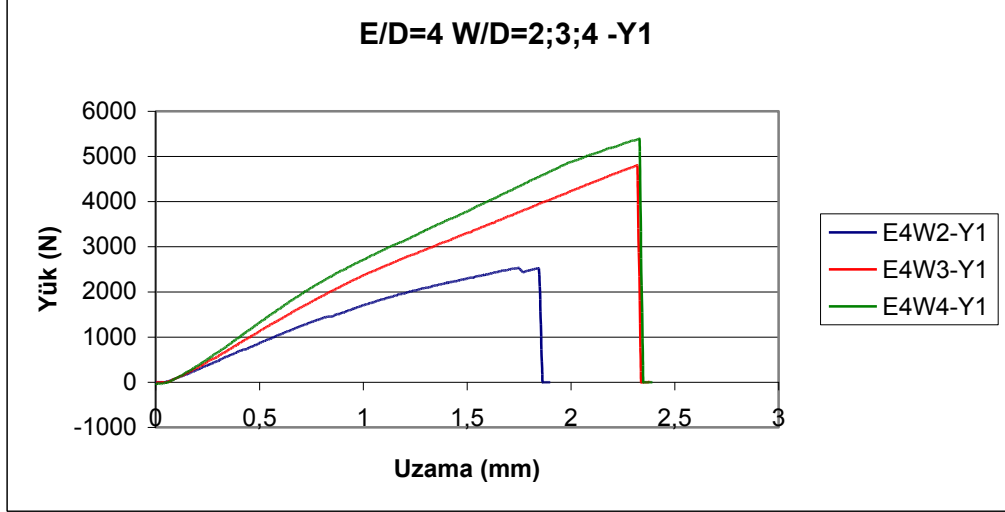


Şekil 6.5 E3W2-Y1, E3W3-Y1, E3W4-Y1 yük-uzama diyagramı



Şekil 6.6 E3W2-Y1, E3W3-Y1, E3W4-Y1 hasar tipleri

Şekil 6.7 ve Şekil 6.8’de görüldüğü gibi tüm numunelerde kayma hasarı görülmüştür. Yapıştırıcının malzeme yüzeyinden ince tabaka şeklinde malzeme ile birlikte koptuğu hasar tipi oluşmuştur.

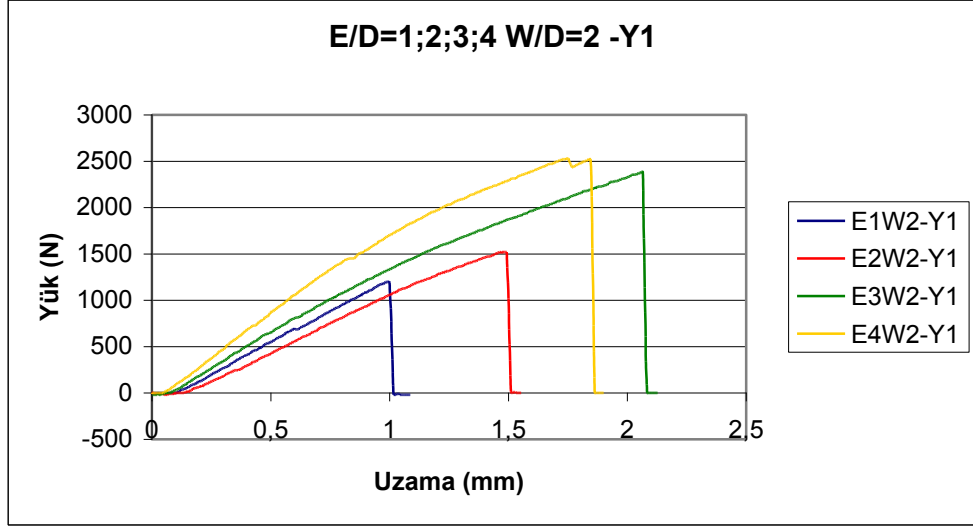


Şekil 6.7 E4W2-Y1, E4W3-Y1, E4W4-Y1 yük-uzama diyagramı



Şekil 6.8 E4W2-Y1, E4W3-Y1, E4W4-Y1 hasar tipleri

Şekil 6.9 ile Şekil 6.14 arasında sabit W/D oranlarında, E/D oranı değişiminin sonuçları verilmiştir. E/D oranı arttıkça hasar yükü ve deformasyon artmıştır.

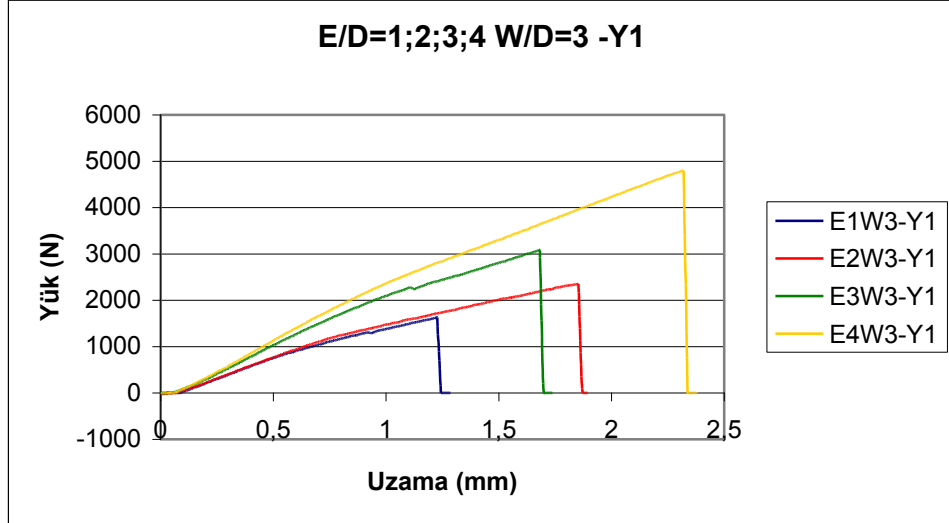


Şekil 6.9 E1W2-Y1, E2W2-Y1, E3W2-Y1, E4W2-Y1 yük-uzama diyagramı

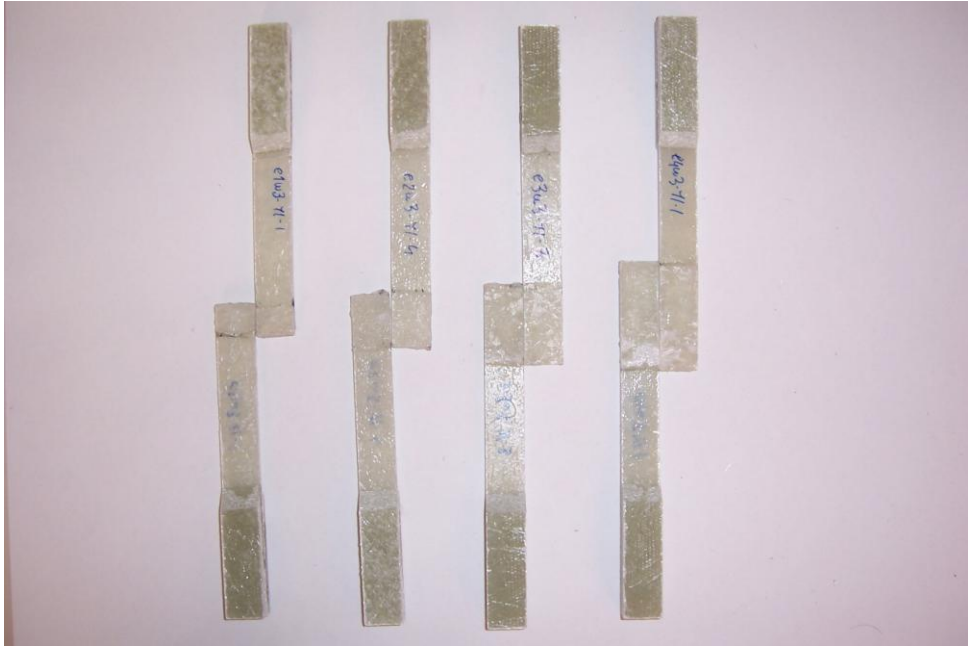


Şekil 6.10 E1W2-Y1, E2W2-Y1, E3W2-Y1, E4W2-Y1 hasar tipleri

Şekil 6.11 ve Şekil 6.12’de görüldüğü gibi tüm numunelerde kayma hasarı görülmüştür. Yapıştırıcının malzeme yüzeyinden ince tabaka şeklinde malzeme ile birlikte koptuğu hasar tipi oluşmuştur.

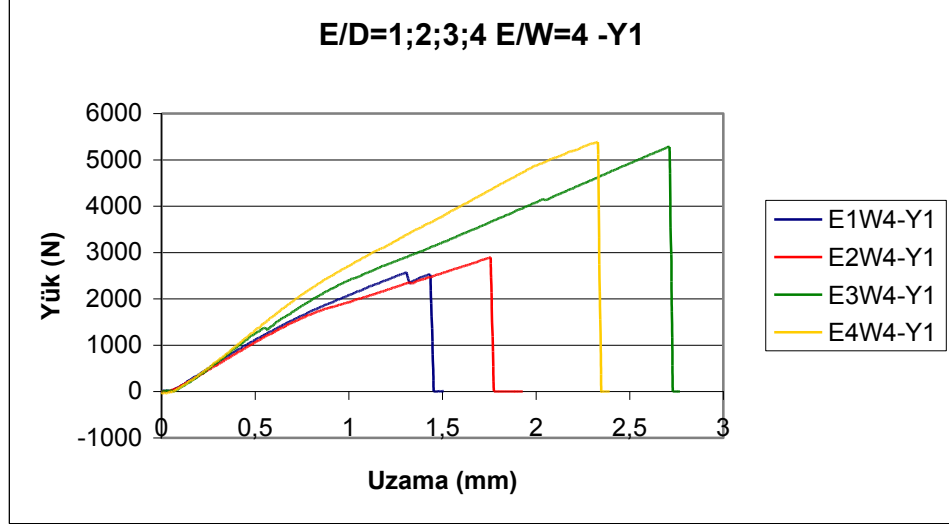


Şekil 6.11 E1W3-Y1, E2W3-Y1, E3W3-Y1, E4W3-Y1 yük-uzama diyagramı

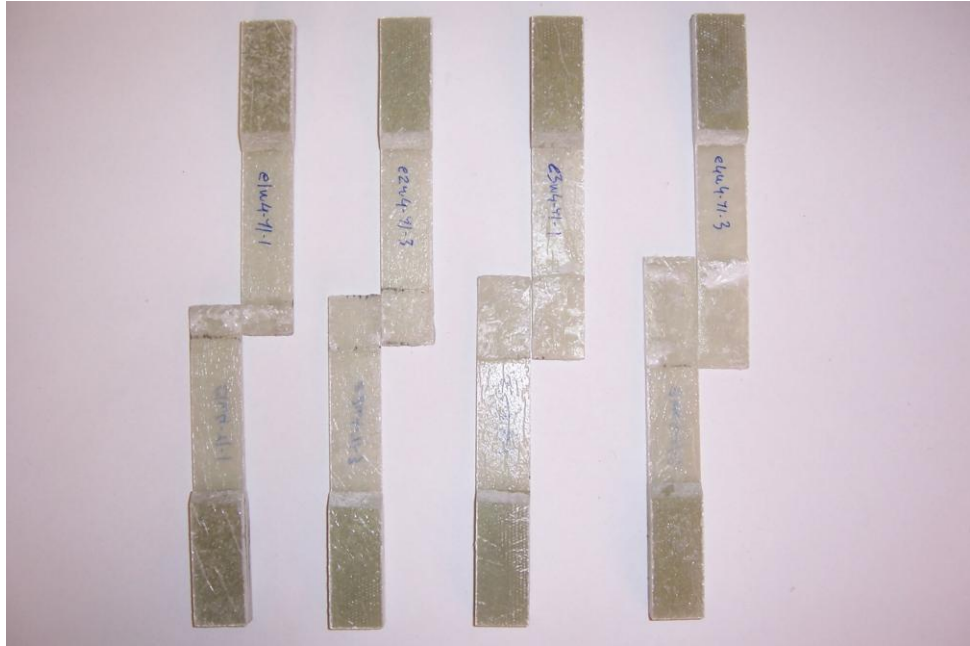


Şekil 6.12 E1W3-Y1, E2W3-Y1, E3W3-Y1, E4W3-Y1 hasar tipleri

Şekil 6.13 ve Şekil 6.14'de görüldüğü gibi tüm numunelerde kayma hasarı görülmüştür. Yapıştırıcının malzeme yüzeyinden ince tabaka şeklinde malzeme ile birlikte koptuğu hasar tipi oluşmuştur.



Şekil 6.13 E1W4-Y1, E2W4-Y1, E3W4-Y1, E4W4-Y1 yük-uzama diyagramı



Şekil 6.14 E1W4-Y1, E2W4-Y1, E3W4-Y1, E4W4-Y1 hasar tipleri

6.2 Perçinli (P) Numunelerin Sonuçları

Sadece Ø4,8 mm çapında 10 mm boyunda paslanmaz perçinler ile perçin tabancasıyla perçinlenerek birleştirilen numunelerin çekme kuvveti altındaki hasar yükü ve uzama diyagramları ile gördükleri hasarların fotoğrafları Şekil 6.15 ile 6.2 arasında ilerleyen sayfalarda belirtilmiştir.

Tüm diyagramlar incelendiğinde sonuçların farklılaştığı görülmektedir. Bunun sebebi de perçinleme için açılan D deliğinin numune üzerinde bindirme kenarına ve yan kenarlara olan mesafesinin parametrik olarak değişmesi ve numunenin mukavemetini farklı yönlerde değiştirmesidir.

Çekme yükü arttıkça uzama genellikle dışbükey bir parabol şeklinde olmaktadır. Bindirme mesafesi ve numune genişliği arttıkça hasar yükü artmış ve numuneler perçin yerlerinde daha yüksek çeki yüklerinde kopmuştur.

Hasar tipi olarak inceleme yapıldığında, Şekil 4.10' da belirtilen, kopma (çeki), yırtılma (kayma), ezilme (yuva), parçalanma (çeki ve kayma) ve perçin çıkması (perçin çıkması ve kırılma) hasar tiplerinin tümü görülmüştür.

Sadece perçin (P) ile birleştirilmiş numunelerin hasar yükleri Tablo 6.4'de belirtilmiştir. Hasar yüklerine ulaşıldığında deformasyon 1,5 ile 6 mm arasında değişmiştir. En yüksek hasar yükü en büyük yapıştırma alanına sahip olan E/D=4 W/D=4 numunesinde 3629,7 N olarak görülmüştür.

Tablo 6.4 P birleştirmelerinin hasar yükleri

P		Hasar Yüğü (N)			
		E/D			
		1	2	3	4
W/D	2	1363,59	1599,03	1608,84	1432,26
	3	1569,6	2530,98	2893,95	2530,98
	4	2158,2	3355,02	3227,49	3629,7

Perçin (P) ile birleştirilmiş numunelerin çekiye maruz kalan kritik kesit alanları Tablo 6.5'de belirtilmiştir.

Tablo 6.5 P birleştirmelerinin kritik kesit alanları

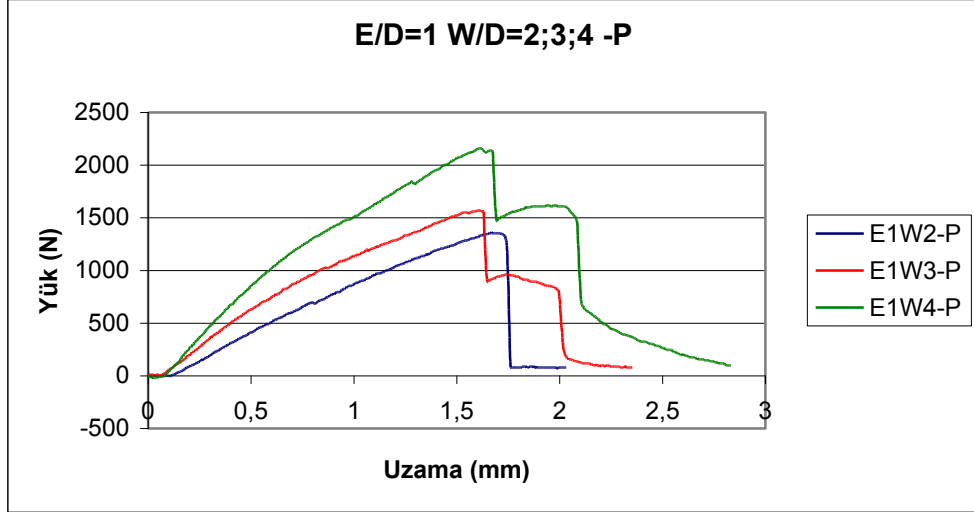
P		Kritik Kesti Alanı (mm ²)			
		E/D			
		1	2	3	4
W/D	2	12,5	12,5	12,5	12,5
	3	25	25	25	25
	4	37,5	37,5	37,5	37,5

Perçin (P) ile birleştirilmiş numunelerin hasara uğradığı çeki gerilmeleri Tablo 6.6'de belirtilmiştir. Çeki gerilmeleri her numunenin koptuğu hasar yükünü kritik alanına bölerek elde edilmiştir.

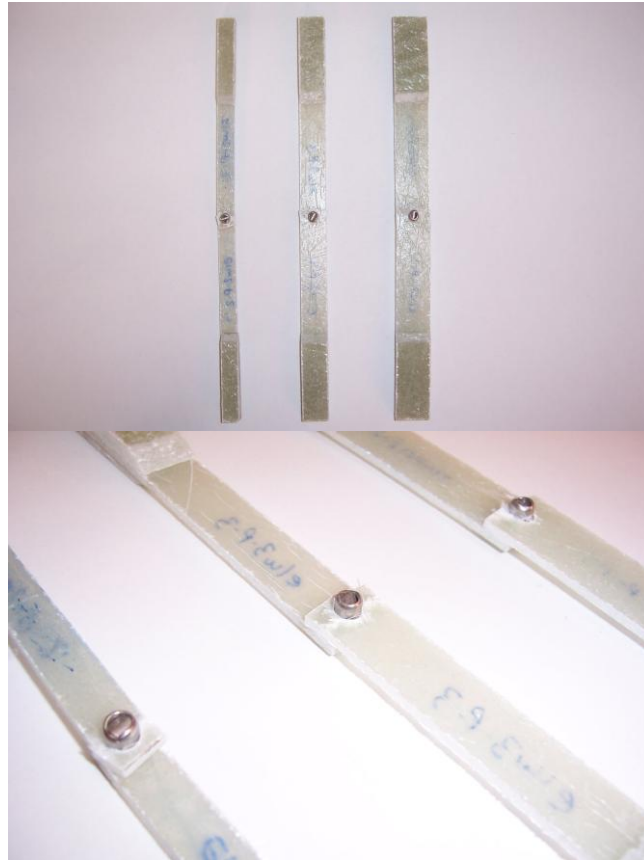
Tablo 6.6 P birleştirmelerinin hasara uğradığı çekme gerilmeleri

P		Çekme Gerilmesi (N/mm ²)			
		E/D			
		1	2	3	4
W/D	2	109,09	127,92	128,71	114,58
	3	62,78	101,24	115,76	101,24
	4	57,55	89,47	86,07	96,79

Şekil 6.15 ile Şekil 6.22 arasında sabit E/D oranlarında, W/D oranı değişiminin sonuçları verilmiştir. W/D oranı arttıkça hasar yükü ve deformasyon artmıştır. Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'da görüldüğü gibi E1W2-P' de kopma (çeki) hasarı, E1W3-P ve E1W4-P' de yırtılma (kayma) hasarı gözlenmiştir.

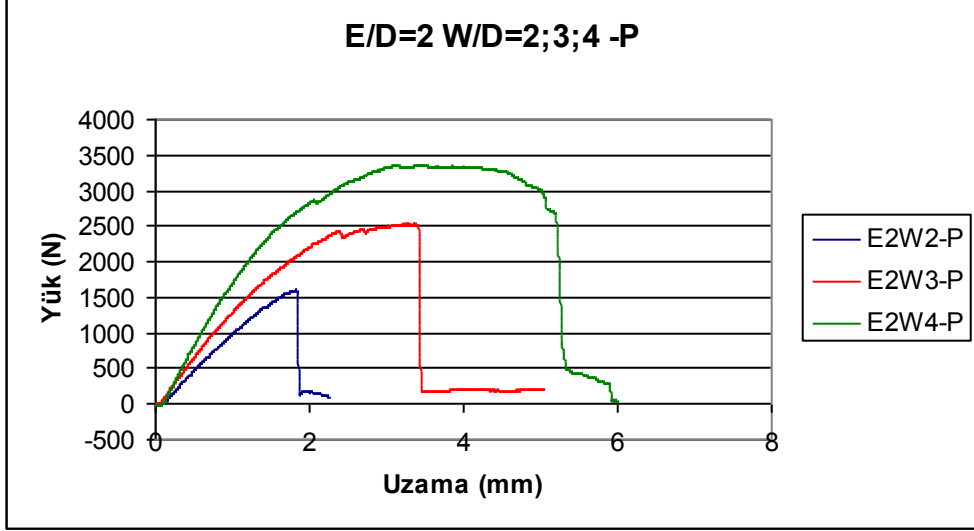


Şekil 6.15 E1W2-P, E1W3-P, E1W4-P yük-uzama diyagramı

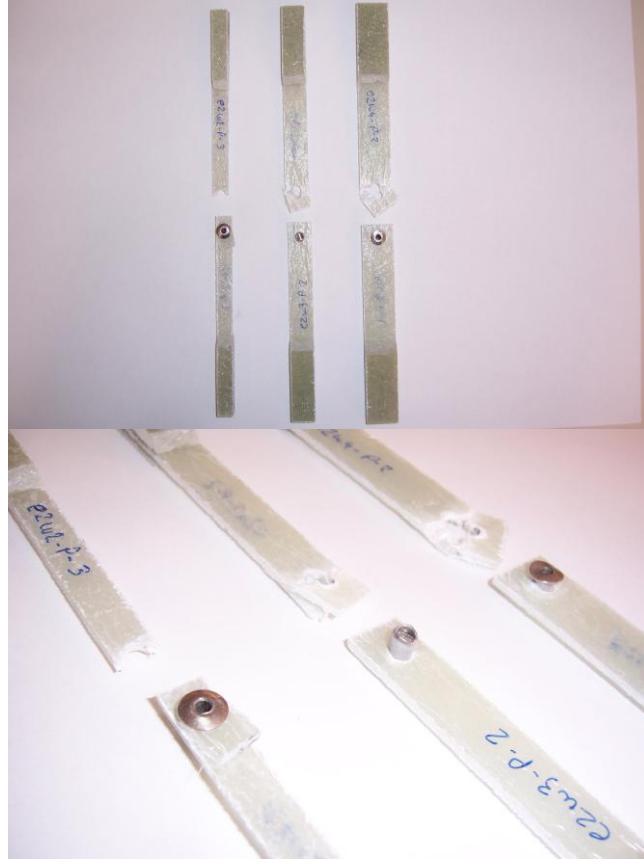


Şekil 6.16 E1W2-P, E1W3-P, E1W4-P hasar tipleri

Şekil 6.17 ve Şekil 6.18'de görüldüğü gibi E2W2-P' de kopma (çeki) hasarı, E2W3-P ve E2W4-P' de ezilme (yuva) ile birlikte kopma (çeki) hasarı gözlenmiştir.

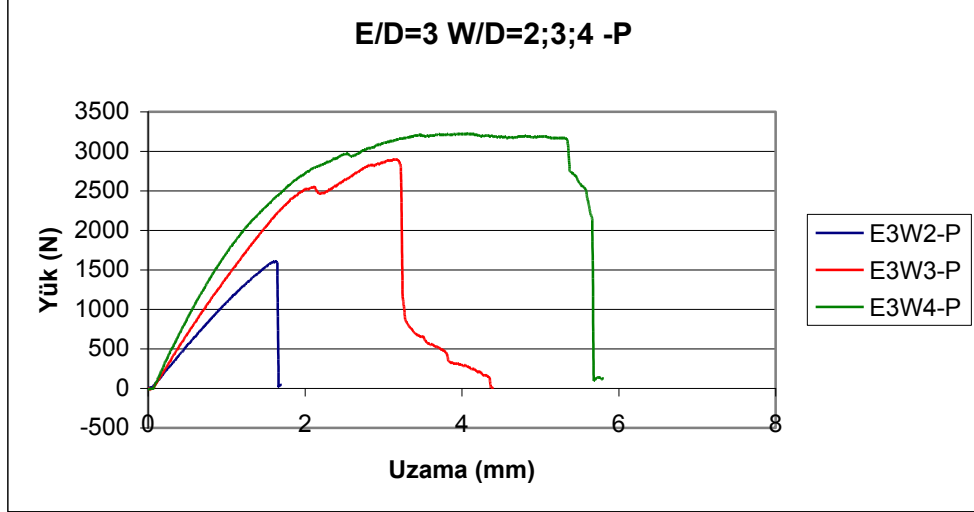


Şekil 6.17 E2W2-P, E2W3-P, E2W4-P yük-uzama diyagramı

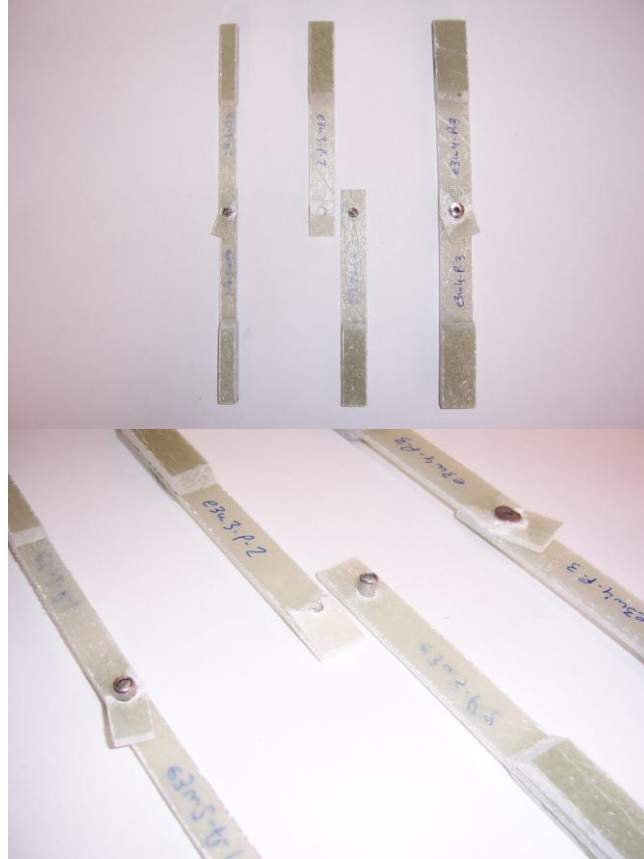


Şekil 6.18 E2W2-P, E2W3-P, E2W4-P hasar tipleri

Şekil 6.19 ve Şekil 6.20’de görüldüğü gibi E3W2-P’ de kopma (çeki) hasarı, E3W3-P’ de ezilme (yuva) ile birlikte kopma (çeki) hasarı, E3W4-P’ de ezilme (yuva) ile birlikte kopma (çeki) ve perçin çıkması (kırılma) gözlenmiştir.

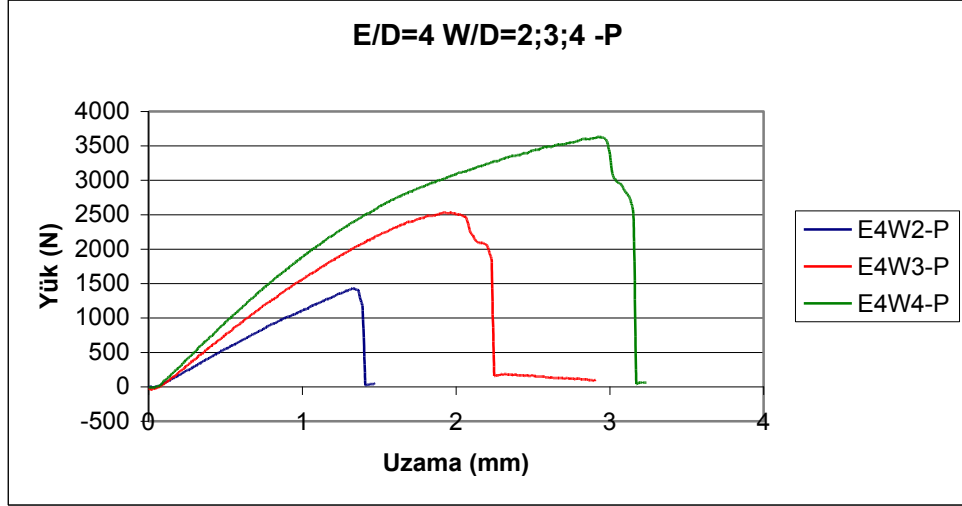


Şekil 6.19 E3W2-P, E3W3-P, E3W4-P yük-uzama diyagramı

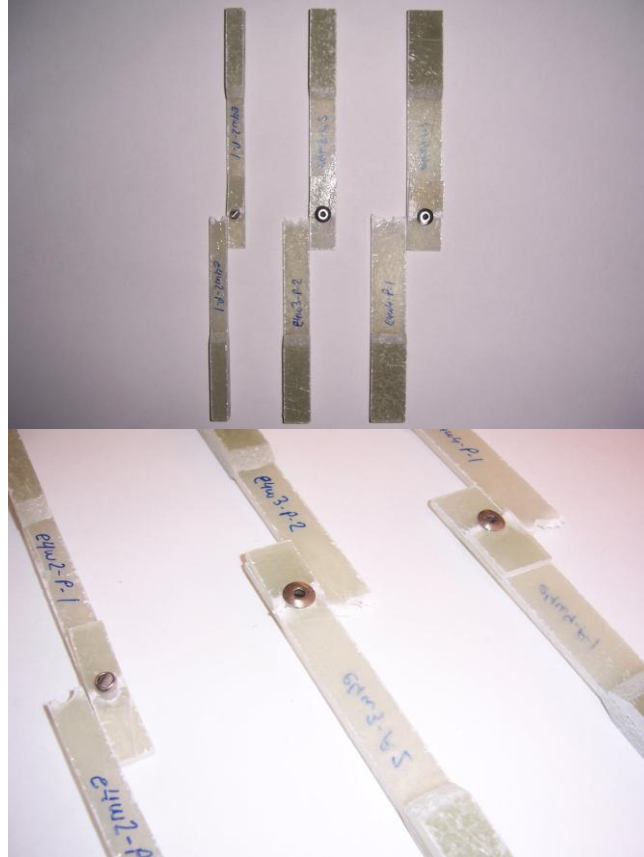


Şekil 6.20 E3W2-P, E3W3-P, E3W4-P hasar tipleri

Şekil 6.21 ve Şekil 6.22’de görüldüğü gibi E4W2-P’ de kopma (çeki) hasarı, E4W3-P’ de ezilme (yuva) ile birlikte kopma (çeki) hasarı, E4W4-P’ de ezilme (yuva) ile birlikte kopma (çeki) ve perçin çıkması (kırılma) gözlenmiştir.

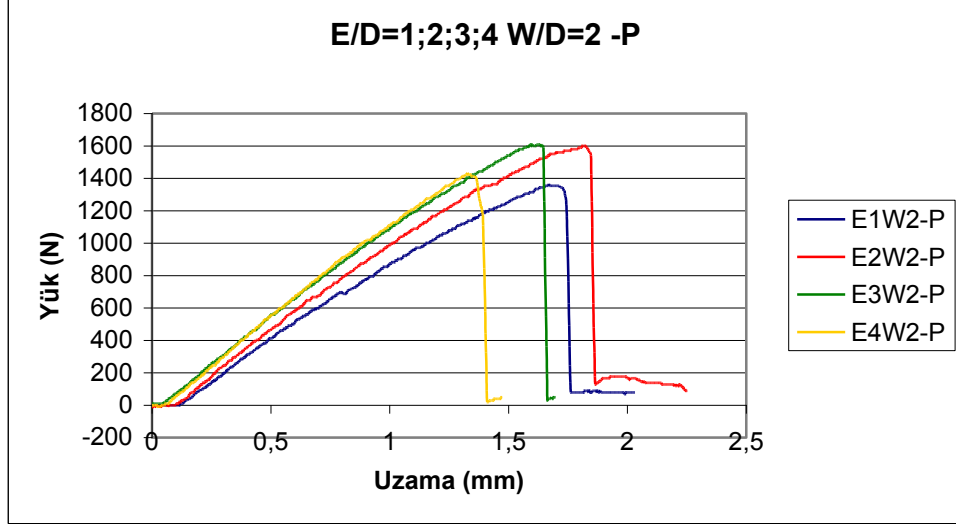


Şekil 6.21 E4W2-P, E4W3-P, E4W4-P yük-uzama diyagramı



Şekil 6.22 E4W2-P, E4W3-P, E4W4-P hasar tipleri

Şekil 6.23 ile Şekil 6.28 arasında sabit W/D oranlarında, E/D oranı değişiminin sonuçları verilmiştir. W/D=2 iken tüm E/D oranlarında kopma (çeki) hasarı görülmüştür ve birbirine yakın hasar yüklerinde kopmalar gerçekleşmiştir.

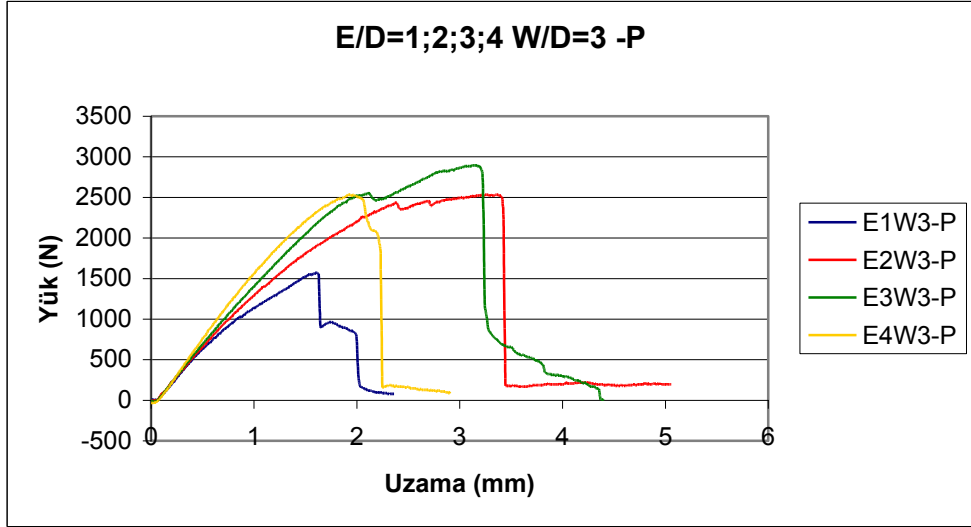


Şekil 6.23 E1W2-P, E2W2-P, E3W2-P, E4W2-P yük-uzama diyagramı

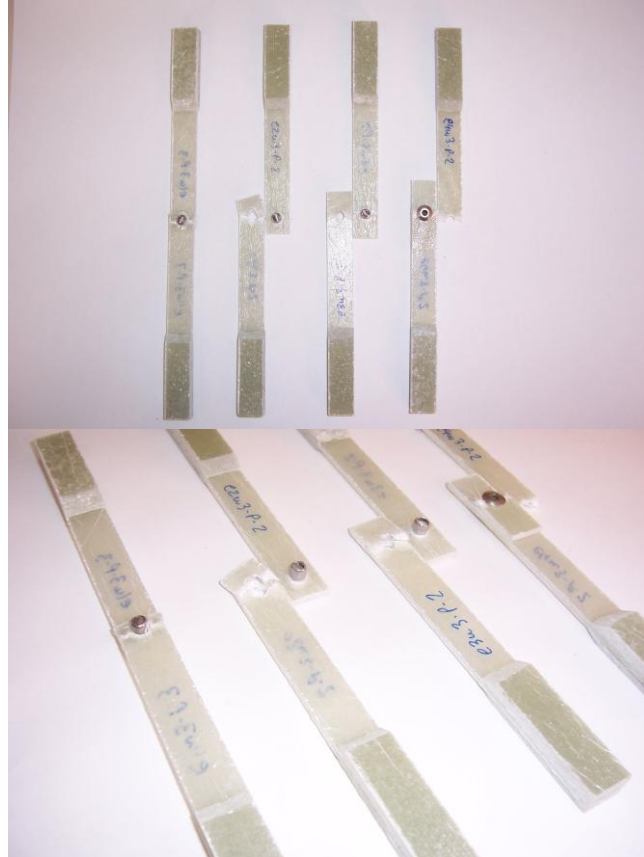


Şekil 6.24 E1W2-P, E2W2-P, E3W2-P, E4W2-P hasar tipleri

Şekil 6.25 ve Şekil 6.26' da görüldüğü gibi $W/D=3$ iken, $E/D=1$ olduğunda klevaj (ayrılma), $E/D=2,3$ ve 4 iken tüm yuva (ezilme) ve kopma (çeki) hasarı birlikte görülmüştür.

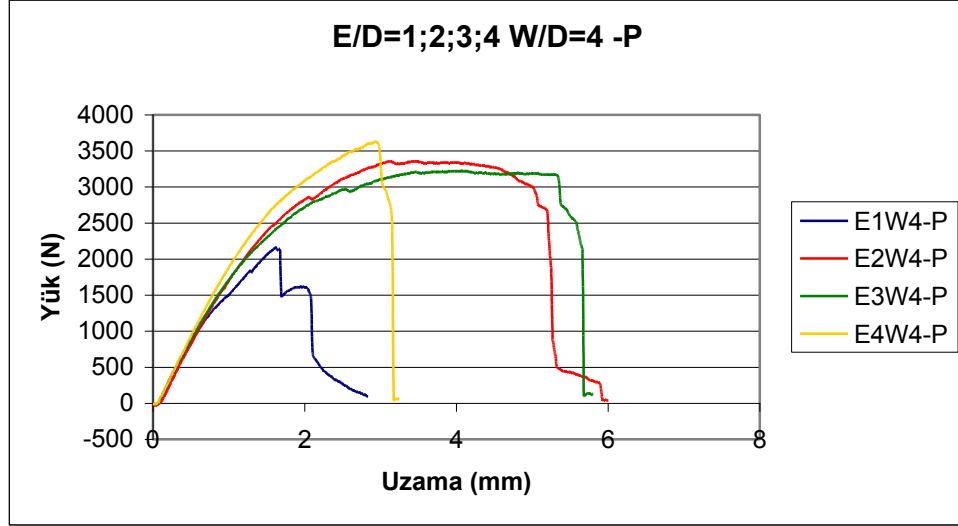


Şekil 6.25 E1W3-P, E2W3-P, E3W3-P, E4W3-P yük-uzama diyagramı

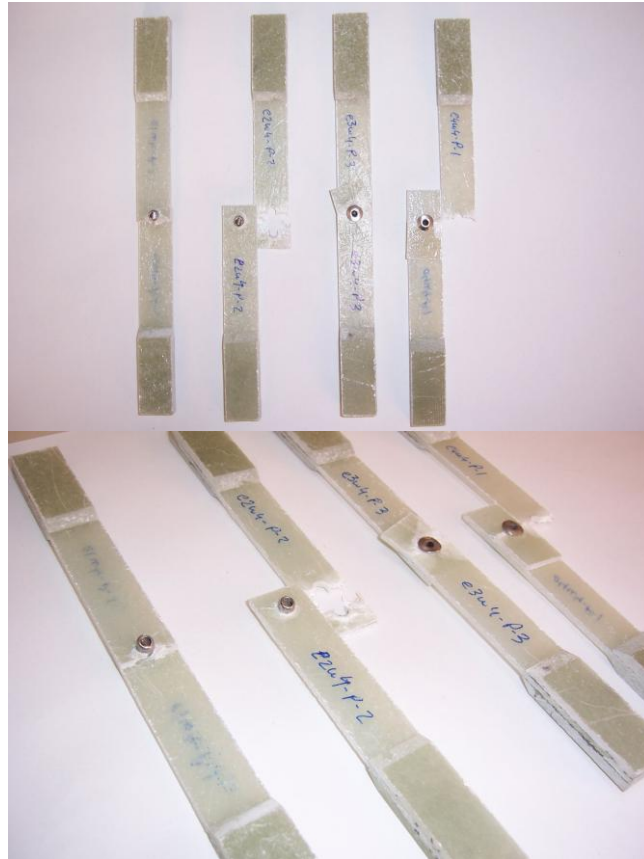


Şekil 6.26 E1W3-P, E2W3-P, E3W3-P, E4W3-P hasar tipleri

Şekil 6.27 ve Şekil 6.28’ de görüldüğü gibi $W/D=4$ iken, $E/D=1$ olduğunda yırtılma (kayma), $E/D=2$ iken yuva (ezilme) ve kopma (çeki), $E/D=3$ ve 4 iken yuva (ezilme), kopma (çeki) ve perçin çıkması (kırılma) hasarları birlikte görülmüştür.



Şekil 6.27 E1W4-P, E2W4-P, E3W4-P, E4W4-P yük-uzama diyagramı



Şekil 6.28 E1W4-P, E2W4-P, E3W4-P, E4W4-P hasar tipleri

6.3 Perçinli-Yapıştırırmalı (PY1) Numunelerin Sonuçları

Loctite401 hızlı yapıştırıcı (Y1) ve perçin ile birleştirmiş numunelerin çekme kuvveti altındaki hasar yükü ve uzama diyagramları ile gördükleri hasarların fotoğrafları Şekil 6.29 ile 6.42 arasında ilerleyen sayfalarda belirtilmiştir.

Tüm diyagramlar incelendiğinde numunelere uygulanan çekme kuvveti arttıkça numunelerin öncelikle yapıştırıcı karakteristiği gösterdiği yani lineer olarak uzadığı ve belli bir yüke (Tablo 6.7) gelindiğinde keskin bir şekilde yapıştırıcının kopup uygulanan yükün perçine bindiği görülmüştür. Yapıştırıcı koptuktan sonra uzama perçinli numunelerin karakteristiğinde yani çekme yükü arttıkça genellikle dışbükey bir parabol şeklinde olmaktadır.

Yine diyagramlar incelendiğinde sonuçların farklılaştığı görülmektedir. Bunun sebebi de perçinleme için açılan D deliğinin numune üzerinde bindirme kenarına ve yan kenarlara olan mesafesinin parametrik olarak değişmesi ve numunenin mukavemetini farklı yönlerde değiştirmesidir.

Ayrıca sadece perçin ve sadece yapıştırıcı 1 ile karşılaştırma yapıldığında hem perçin hem yapıştırıcı 1 ile yapılan birleştirmelerin en yüksek çeki yüklerinde koptuğu görülmüştür. Kayma gerilmesi olarak hasar yükleri yapıştırma alanlarına bölüldüğünde 7~19 N/mm² değerleri elde edilmiştir.

Hasar tipi olarak inceleme yapıldığında, Şekil 4.10' da belirtilen, kopma (çeki), yırtılma (kayma), ezilme (yuva), parçalanma (çeki ve kayma) ve perçin çıkması (perçin çıkması ve kırılma) hasar tiplerinin tümü, Şekil 4.4.e' de görülen, yapıştırıcının malzeme yüzeyinden ince tabaka şeklinde malzeme ile birlikte koptuğu hasar tipi ile birleşik olarak görülmüştür.

Hem perçin hem de Loctite401 ile birleştirilmiş olan (PY1) numunelerin hasar yükleri Tablo 6.7’de belirtilmiştir. Hasar yüklerine ulaşıldığında deformasyon 1,5 ile 6 mm arasında değişmiştir. En büyük yapıştırma alanına sahip olan E/D=4 W/D=4 numunesinde hasar yükü, 6513,84 N olarak görülmüştür.

Tablo 6.7 PY1 birleştirmelerinin hasar yükleri

PY1		Hasar Yükü (N)			
		E/D			
		1	2	3	4
W/D	2	1559,79	1824,66	2550,6	3001,86
	3	2266,11	2403,45	3109,77	4787,28
	4	2786,04	3139,2	4100,58	6513,84

Perçin ve Loctite401 hızlı yapıştırıcı ile yapıştırılmış (PY1) numunelerin yapıştırma alanları Tablo 6.8’de belirtilmiştir.

Tablo 6.8 PY1 birleştirmelerinin yapıştırma alanları

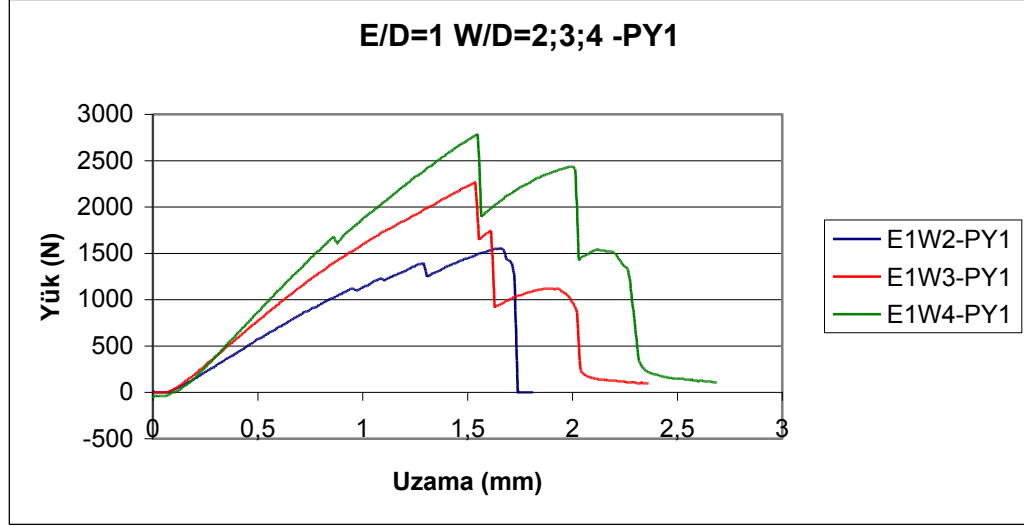
PY1		Yapıştırma Alanı (mm ²)			
		E/D			
		1	2	3	4
W/D	2	80,37	180,37	280,37	380,37
	3	130,37	280,37	430,37	580,37
	4	180,37	380,37	580,37	780,37

Perçin ve Loctite401 hızlı yapıştırıcı ile yapıştırılmış (PY1) numunelerin hasara uğradığı kayma gerilmeleri Tablo 6.9’da belirtilmiştir. Kayma gerilmeleri her numunenin koptuğu hasar yükünü yapıştırma alanına bölerek elde edilmiştir.

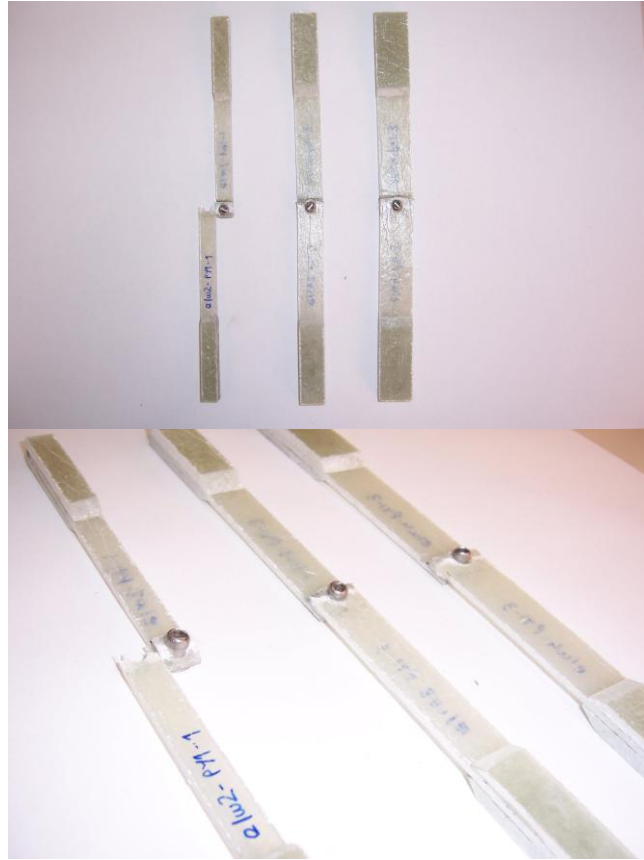
Tablo 6.9 PY1 birleştirmelerinin hasara uğradığı kayma gerilmeleri

PY1		Kayma Gerilmesi (N/mm ²)			
		E/D			
		1	2	3	4
W/D	2	19,41	10,12	9,10	7,89
	3	17,38	8,57	7,23	8,25
	4	15,45	8,25	7,07	8,35

Şekil 6.29 ile Şekil 6.36 arasında sabit E/D oranlarında, W/D oranı değişiminin sonuçları verilmiştir. W/D oranı arttıkça hasar yükü ve deformasyon artmıştır. Şekil 6.29 ve Şekil 6.30'da görüldüğü gibi E1W2-PY1' de kopma (çeki) hasarı, E1W3-PY1 ve E1W4-PY1' de yırtılma (kayma) hasarı gözlenmiştir.

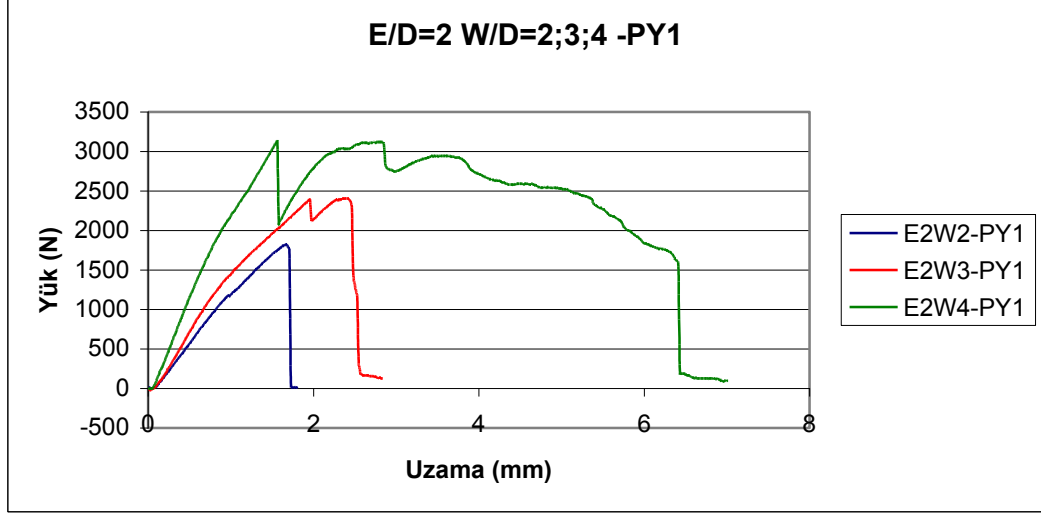


Şekil 6.29 E1W2-PY1, E1W3-PY1, E1W4-PY1 yük-uzama diyagramı

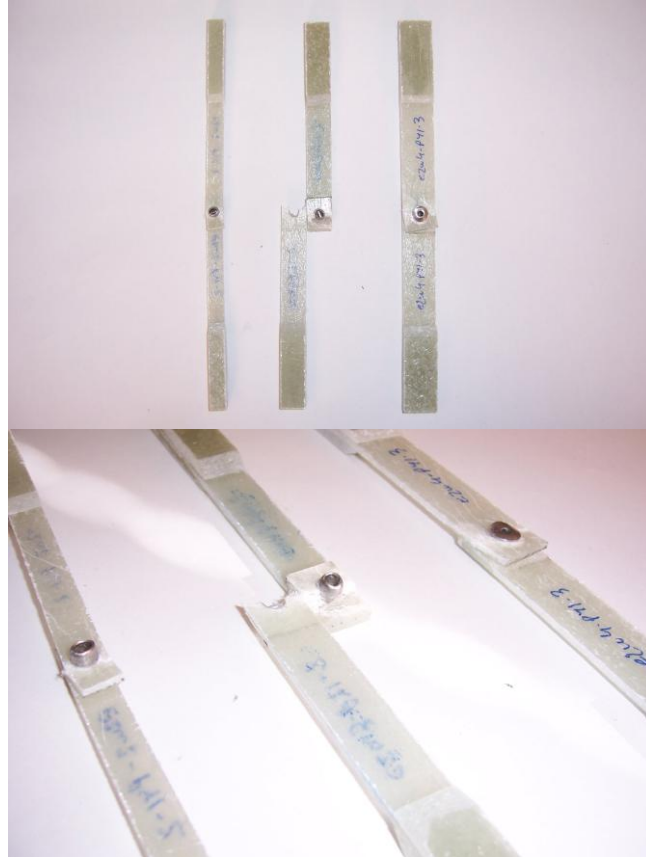


Şekil 6.30 E1W2-PY1, E1W3-PY1, E1W4-PY1 hasar tipleri

Şekil 6.31 ve Şekil 6.32’de görüldüğü gibi E2W2-PY1’ de kopma (çeki) hasarı, E2W3-PY1 ve E2W4-PY1’ de ezilme (yuva) ile birlikte kopma (çeki) hasarı gözlenmiştir.

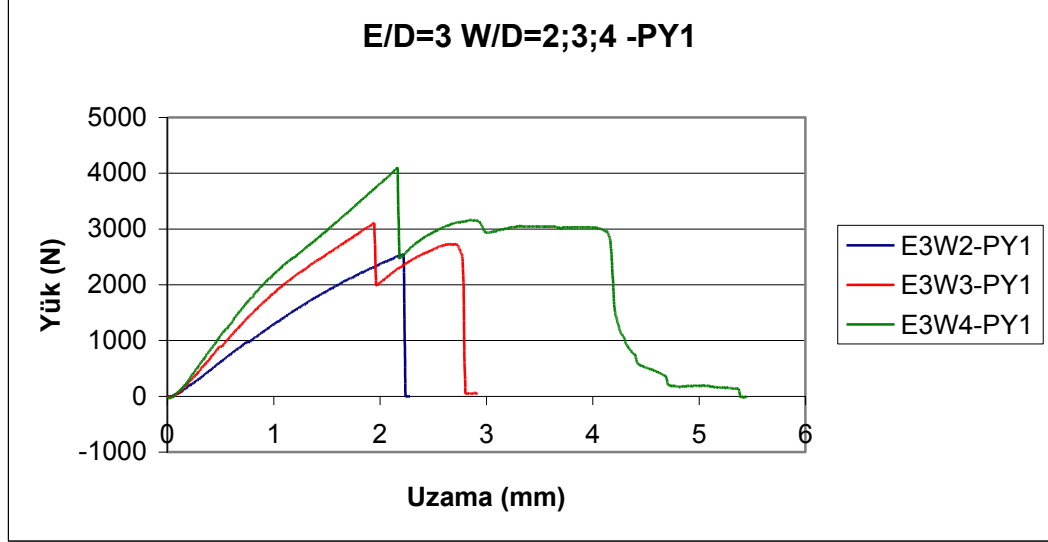


Şekil 6.31 E2W2-PY1, E2W3-PY1, E2W4-PY1 yük-uzama diyagramı



Şekil 6.32 E2W2-PY1, E2W3-PY1, E2W4-PY1 hasar tipleri

Şekil 6.33 ve Şekil 6.34'de görüldüğü gibi E3W2-PY1' de kopma (çeki) hasarı, E3W3-PY1' de ezilme (yuva) ile birlikte kopma (çeki) hasarı, E3W4-PY1' de ezilme (yuva) ile birlikte perçin çıkması (kırılma) gözlenmiştir.

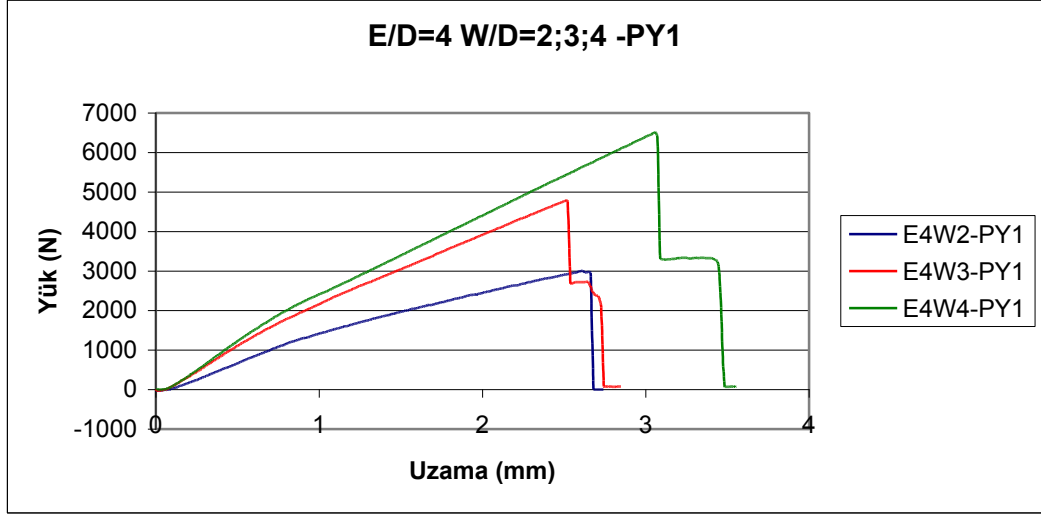


Şekil 6.33 E3W2-PY1, E3W3-PY1, E3W4-PY1 yük-uzama diyagramı

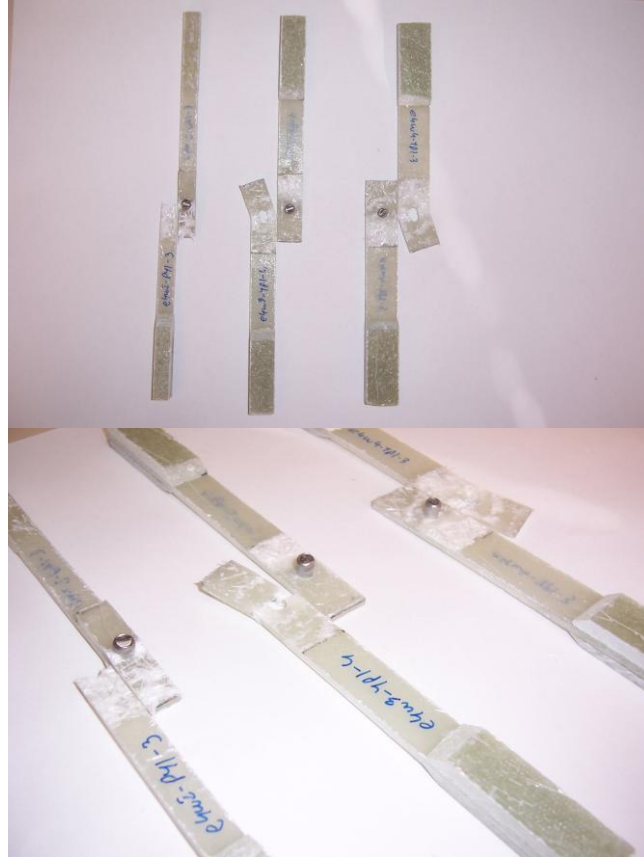


Şekil 6.34 E3W2-PY1, E3W3-PY1, E3W4-PY1 hasar tipleri

Şekil 6.35 ve Şekil 6.36'da görüldüğü gibi E4W2-PY1' de kopma (çeki) hasarı, E4W3-PY1' de ezilme (yuva) ile birlikte kopma (çeki) hasarı, E4W4-PY1' de ezilme (yuva) ile birlikte kopma (çeki) ve perçin çıkması (kırılma) gözlenmiştir.

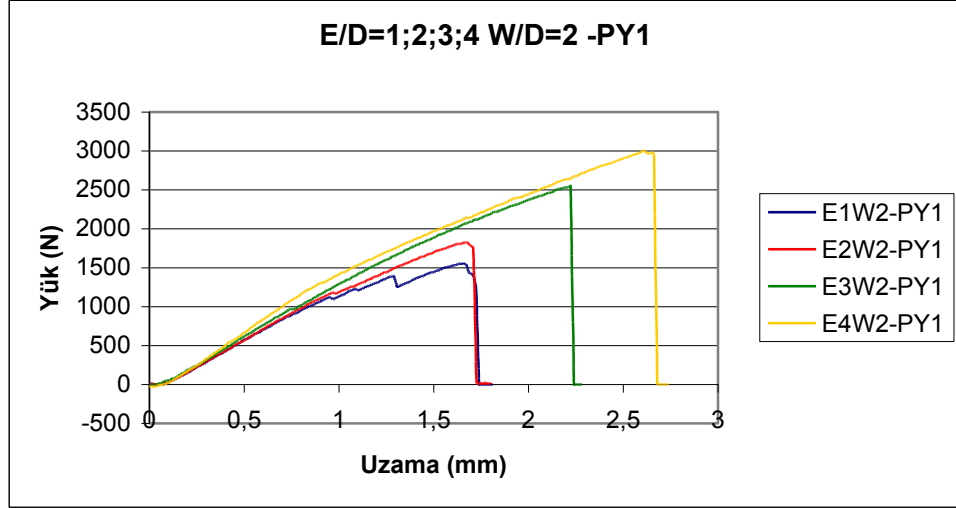


Şekil 6.35 E4W2-PY1, E4W3-PY1, E4W4-PY1 yük-uzama diyagramı



Şekil 6.36 E4W2-PY1, E4W3-PY1, E4W4-PY1 hasar tipleri

Şekil 6.37 ile Şekil 6.42 arasında sabit W/D oranlarında, E/D oranı değişiminin sonuçları verilmiştir. W/D=2 iken tüm E/D oranlarında kopma (çeki) hasarı görülmüştür ve yapıştırma alanının artışına paralel olarak hasar yükü de artmıştır.

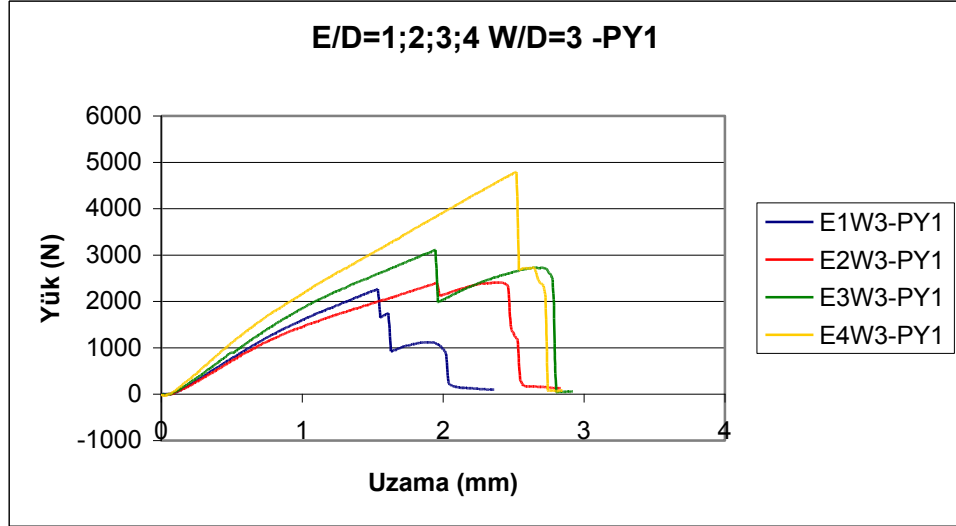


Şekil 6.37 E1W2-PY1, E2W2-PY1, E3W2-PY1, E4W2-PY1 yük-uzama diyagramı

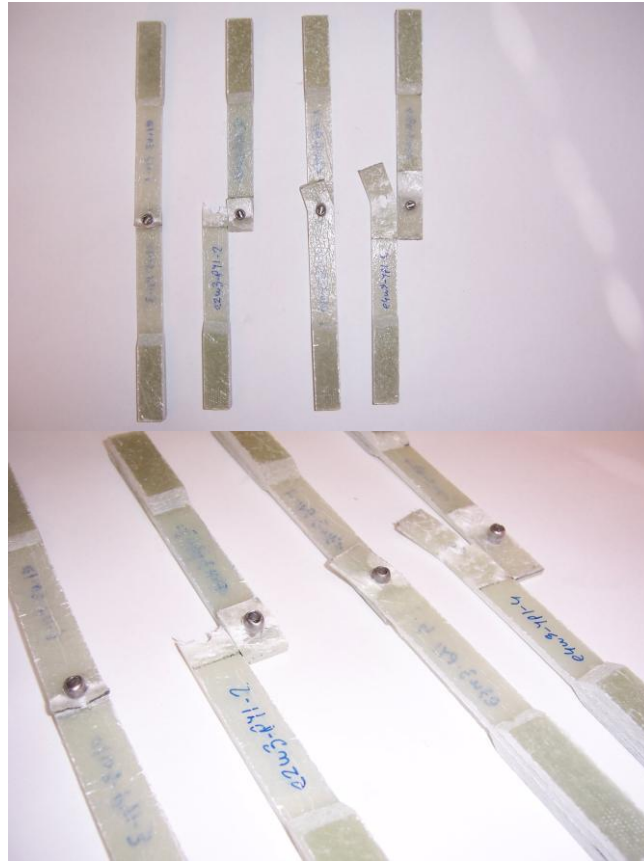


Şekil 6.38 E1W2-PY1, E2W2-PY1, E3W2-PY1, E4W2-PY1 hasar tipleri

Şekil 6.39 ve Şekil 6.40' da görüldüğü gibi $W/D=3$ iken, $E/D=1$ olduğunda yırtılma (kayma), $E/D=2, 3$ ve 4 iken tüm yuva (ezilme) ve kopma (çeki) hasarı birlikte görülmüştür.

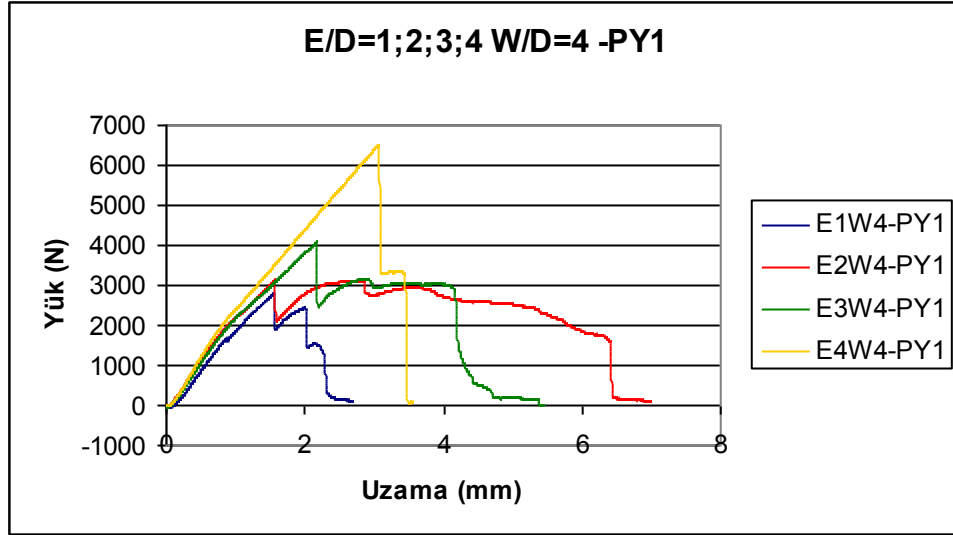


Şekil 6.39 E1W3-PY1, E2W3-PY1, E3W3-PY1, E4W3-PY1 yük-uzama diyagramı

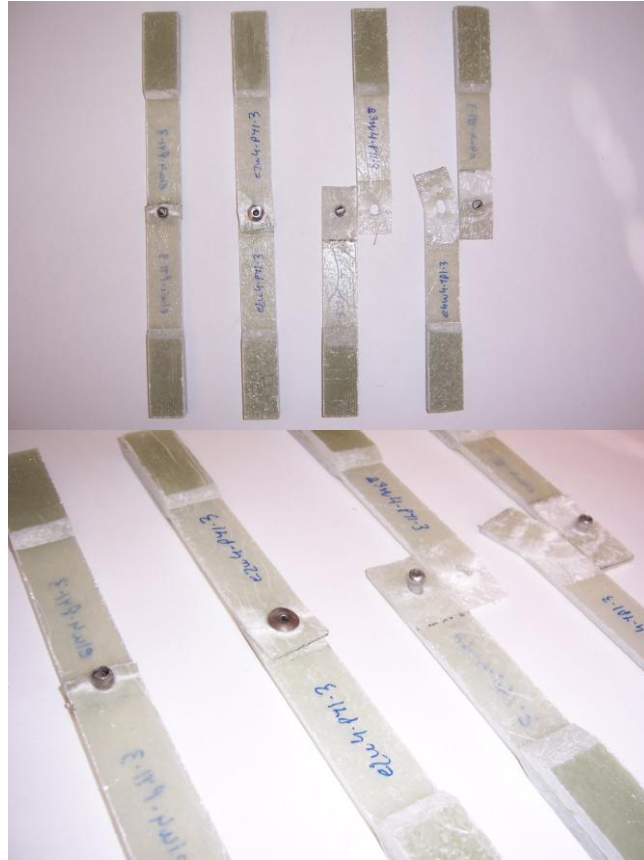


Şekil 6.40 E1W3-PY1, E2W3-PY1, E3W3-PY1, E4W3-PY1 hasar tipleri

Şekil 6.41 ve Şekil 6.42' de görüldüğü gibi $W/D=4$ iken, $E/D=1$ olduğunda yırtılma (kayma), $E/D=2$ iken yuva (ezilme), kopma (çeki), $E/D=3$ (çeki hariç) ve 4 iken yuva (ezilme), kopma (çeki), perçin çıkması (kırılma) hasarları görülmüştür.



Şekil 6.41 E1W4-PY1, E2W4-PY1, E3W4-PY1, E4W4-PY1 yük-uzama diyagramı



Şekil 6.42 E1W4-PY1, E2W4-PY1, E3W4-PY1, E4W4-PY1 hasar tipleri

6.4 Yapıştırıcı 2 (Y2) Numunelerin Sonuçları

Loctite3430 epoksi yapıştırıcı (Y2) ile yapıştırılmış numunelerin çekme kuvveti altındaki hasar yükü ve uzama diyagramları ile gördükleri hasarların fotoğrafları Şekil 6.43 ile 6.56 arasında ilerleyen sayfalarda belirtilmiştir.

Tüm diyagramlar incelendiğinde numunelere uygulanan çekme kuvveti arttıkça numuneler Y1'e benzer olarak lineer olarak uzama göstermiştir. Belli bir yüke gelindiğinde (Tablo 6.10) yapıştırıcının Y1' e oranla daha esnek şekilde kopup uygulanan yükün boşaldığı görülmüştür.

Epoksi yapıştırıcı grubuna giren Loctite3430 yapıştırıcı, beklendiği gibi daha kopma sırasında esnek bir yapı göstermiştir. Y1'e göre daha yavaş kuruyan ve oda koşullarında kürleşen yapıştırıcı çekme kuvveti altında Y1' e oranla daha düşük mukavemet gösterse de eğme ve bükme kuvvetlerine karşı daha yüksek mukavemetli olduğu görülmüştür. Sünek bir yapıya sahip olan bu tarz bileştirmelerin çok eksenli darbelere karşı kullanımı daha uygundur.

12 farklı geometride yapıştırılan birleştirmelerde birleştirme alanı arttıkça hasar yükü de artmıştır. Kayma gerilmesi olarak hasar yükleri yapıştırma alanlarına bölüldüğünde 2~12 N/mm² değerleri elde edilmiştir. Bu değerler de Loctite firmasının bu ürün için verdiği katalog değerleri ile örtüşmektedir.

Hasar tipi olarak inceleme yapıldığında, Şekil 4.4.e' de görülen, yapıştırıcının malzeme yüzeyinden ince tabaka şeklinde malzeme ile birlikte koptuğu hasar tipi gözlenmiştir.

Loctite3430 epoksi yapıştırıcı (Y2) ile yapıştırılmış numunelerin hasar yükleri Tablo 6.10'da belirtilmiştir. Hasar yüklerine ulaşıldığında deformasyon 1 ile 2 mm arasında değişmiştir. En yüksek hasar yükü E/D=3 W/D=4 numunesinde 2795,85 N olarak görülmüştür.

Tablo 6.10 Y2 birleştirmelerinin hasar yükleri

Y2		Hasar Yükü (N)			
		E/D			
		1	2	3	4
W/D	2	765,18	873,09	1079,1	1206,63
	3	1677,51	1451,88	2118,96	1422,45
	4	2099,34	1863,9	2795,85	1805,04

Loctite3430 hızlı yapıştırıcı (Y2) ile yapıştırılmış numunelerin yapıştırma alanları Tablo 6.11'de belirtilmiştir.

Tablo 6.11 Y2 birleştirmelerinin yapışma alanları

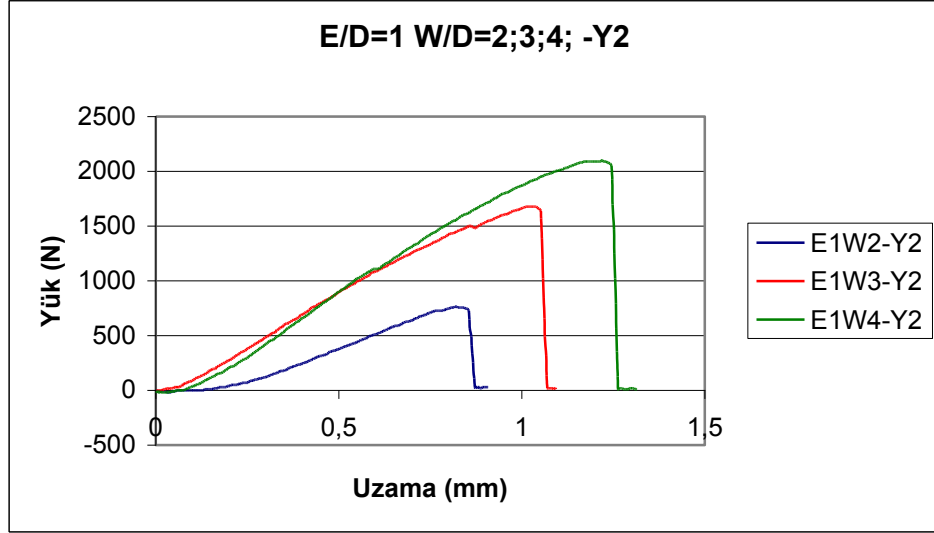
Y2		Yapıştırma Alanı (mm ²)			
		E/D			
		1	2	3	4
W/D	2	100	200	300	400
	3	150	300	450	600
	4	200	400	600	800

Loctite3430 hızlı yapıştırıcı (Y2) ile yapıştırılmış numunelerin hasara uğradığı kayma gerilmeleri Tablo 6.12'de belirtilmiştir. Kayma gerilmeleri her numunenin koptuğu hasar yükünü yapıştırma alanına bölerek elde edilmiştir.

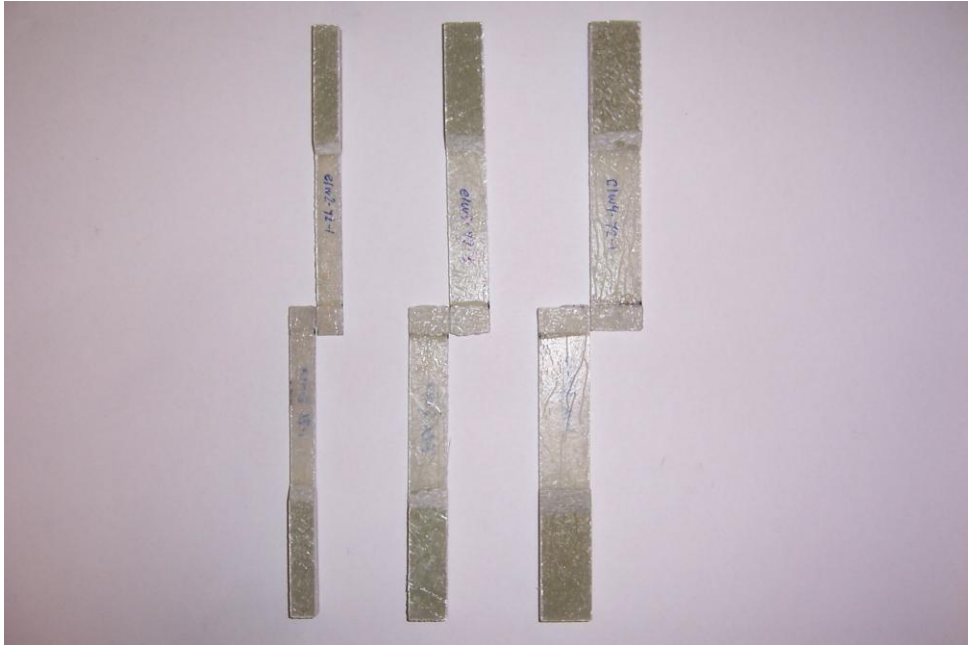
Tablo 6.12 Y2 birleştirmelerinin hasara uğradığı kayma gerilmeleri

Y2		Kayma Gerilmesi (N/mm ²)			
		E/D			
		1	2	3	4
W/D	2	7,65	4,37	3,60	3,02
	3	11,18	4,84	4,71	2,37
	4	10,50	4,66	4,66	2,26

Şekil 6.43 ile Şekil 6.50 arasında sabit E/D oranlarında, W/D oranı değişiminin sonuçları verilmiştir. W/D oranı arttıkça hasar yükü ve deformasyon artmıştır. Tüm numunelerde kayma hasarı görülmüştür. Yapıştırıcının malzeme yüzeyinden ince tabaka şeklinde malzeme ile birlikte koptuğu hasar tipi oluşmuştur.

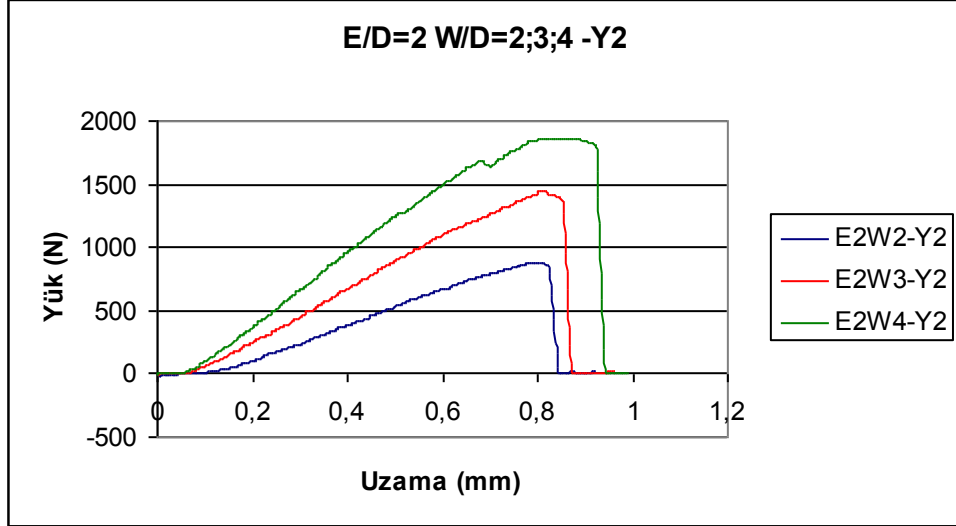


Şekil 6.43 E1W2-Y2, E1W3-Y2, E1W4-Y2 yük-uzama diyagramı



Şekil 6.44 E1W2-Y2, E1W3-Y2, E1W4-Y2 hasar tipleri

Şekil 6.45 ve Şekil 6.46'da görüldüğü gibi tüm numunelerde kayma hasarı görülmüştür. Yapıştırıcının malzeme yüzeyinden ince tabaka şeklinde malzeme ile birlikte koptuğu hasar tipi oluşmuştur.

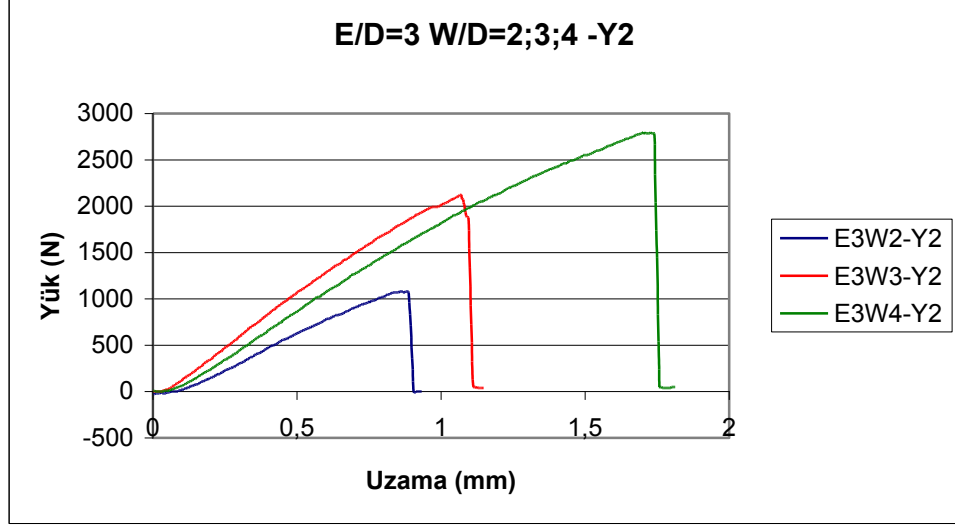


Şekil 6.45 E2W2-Y2, E2W3-Y2, E2W4-Y2 yük-uzama diyagramı



Şekil 6.46 E2W2-Y2, E2W3-Y2, E2W4-Y2 hasar tipleri

Şekil 6.47 ve Şekil 6.48’de görüldüğü gibi tüm numunelerde kayma hasarı görülmüştür. Yapıştırıcının malzeme yüzeyinden ince tabaka şeklinde malzeme ile birlikte koptuğu hasar tipi oluşmuştur.

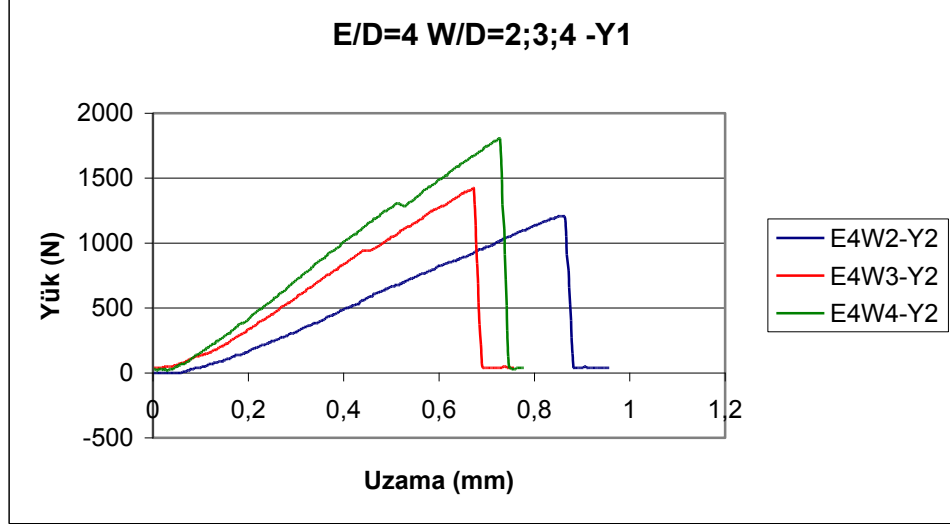


Şekil 6.47 E3W2-Y2, E3W3-Y2, E3W4-Y2 yük-uzama diyagramı



Şekil 6.48 E3W2-Y2, E3W3-Y2, E3W4-Y2 hasar tipleri

Şekil 6.49 ve Şekil 6.50'de görüldüğü gibi tüm numunelerde kayma hasarı görülmüştür. Yapıştırıcının malzeme yüzeyinden ince tabaka şeklinde malzeme ile birlikte koptuğu hasar tipi oluşmuştur.

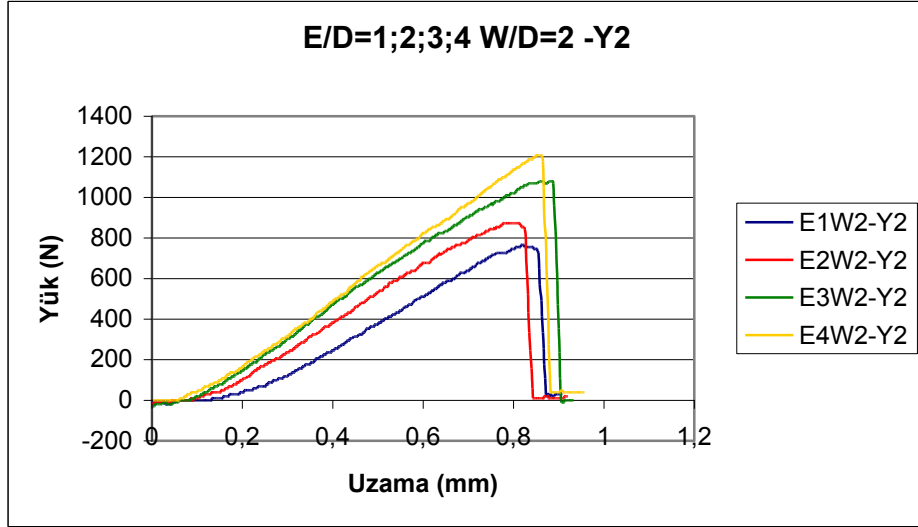


Şekil 6.49 E4W2-Y2, E4W3-Y2, E4W4-Y2 yük-uzama diyagramı

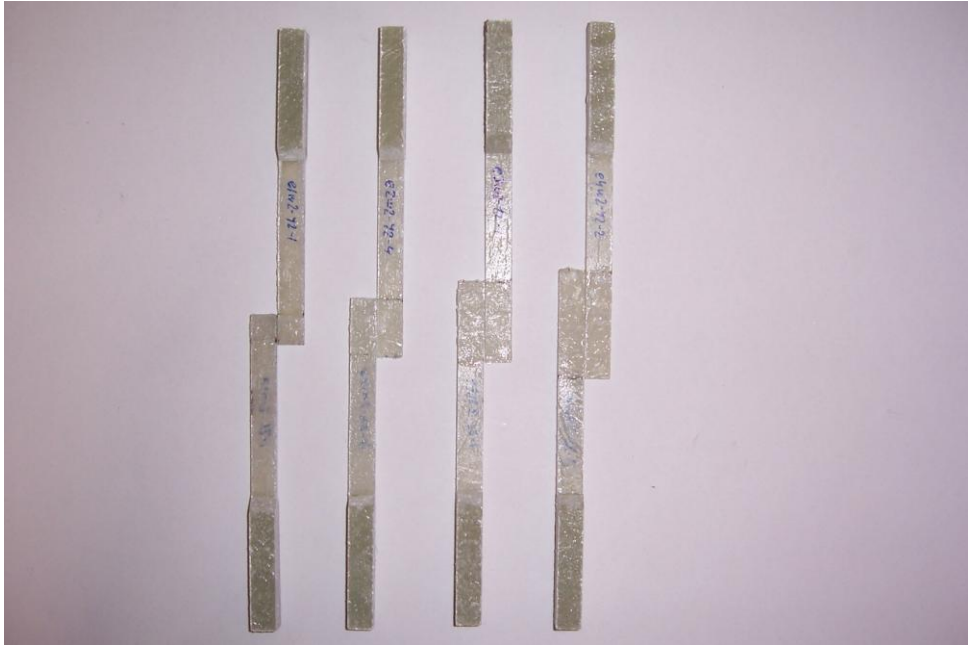


Şekil 6.50 E4W2-Y2, E4W3-Y2, E4W4-Y2 hasar tipleri

Şekil 6.51 ile Şekil 6.56 arasında sabit W/D oranlarında, E/D oranı değişiminin sonuçları verilmiştir. E/D oranı arttıkça hasar yükü ve deformasyon değişiminin yapıştırma alanı değişimi ile orantılı olmadığı görülmüştür.

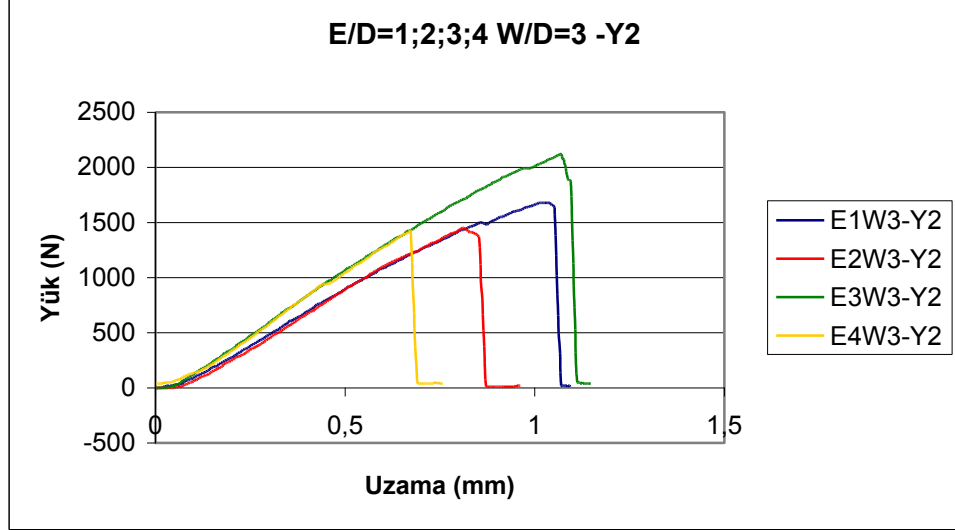


Şekil 6.51 E1W2-Y2, E2W2-Y2, E3W2-Y2, E4W2-Y2 yük-uzama diyagramı



Şekil 6.52 E1W2-Y2, E2W2-Y2, E3W2-Y2, E4W2-Y2 hasar tipleri

Şekil 6.53 ve Şekil 6.54'de görüldüğü gibi tüm numunelerde kayma hasarı görülmüştür. Yapıştırıcının malzeme yüzeyinden ince tabaka şeklinde malzeme ile birlikte koptuğu hasar tipi oluşmuştur.

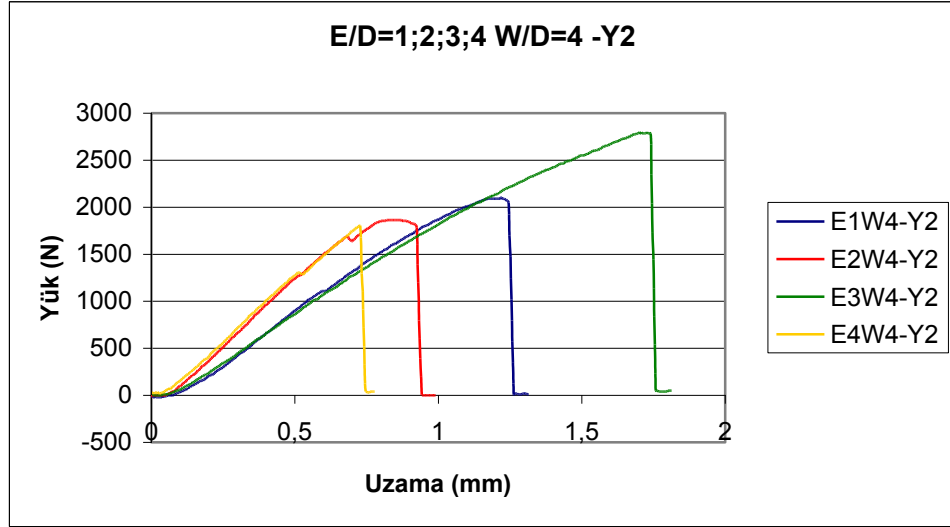


Şekil 6.53 E1W3-Y2, E2W3-Y2, E3W3-Y2, E4W3-Y2 yük-uzama diyagramı



Şekil 6.54 E1W3-Y2, E2W3-Y2, E3W3-Y2, E4W3-Y2 hasar tipleri

Şekil 6.55 ve Şekil 6.56'da görüldüğü gibi tüm numunelerde kayma hasarı görülmüştür. Yapıştırıcının malzeme yüzeyinden ince tabaka şeklinde malzeme ile birlikte koptuğu hasar tipi oluşmuştur.



Şekil 6.55 E1W4-Y2, E2W4-Y2, E3W4-Y2, E4W4-Y2 yük-uzama diyagramı



Şekil 6.56 E1W4-Y2, E2W4-Y2, E3W4-Y2, E4W4-Y2 hasar tipleri

6.5 Perçinli-Yapıştırırmalı (PY2) Numunelerin Sonuçları

Loctite3430 epoksi yapıştırıcı (Y2) ve perçin ile birleştirmiş numunelerin çekme kuvveti altındaki hasar yükü ve uzama diyagramları ile gördükleri hasarların fotoğrafları Şekil 6.57 ile 6.70 arasında ilerleyen sayfalarda belirtilmiştir.

Tüm diyagramlar incelendiğinde numunelere uygulanan çekme kuvveti arttıkça numunelerin öncelikle yapıştırıcı karakteristiği gösterdiği yani lineer olarak uzadığı ve belli bir yüke (Tablo 6.13) gelindiğinde yapıştırıcının aniden kopup uygulanan yükün perçine bindiği görülmüştür. Yapıştırıcı koptuktan sonra uzama perçinli numunelerin karakteristiğinde yani çekme yükü arttıkça genellikle dışbükey bir parabol şeklinde olmaktadır.

Yine diyagramlar incelendiğinde sonuçların farklılaştığı görülmektedir. Bunun sebebi de perçinleme için açılan D deliğinin numune üzerinde bindirme kenarına ve yan kenarlara olan mesafesinin parametrik olarak değişmesi ve numunenin mukavemetini farklı yönlerde değiştirmesidir.

Ayrıca sadece perçin ve sadece yapıştırıcı 2 ile karşılaştırma yapıldığında hem perçin hem yapıştırıcı 2 ile yapılan birleştirmelerin en yüksek çeki yüklerinde koptuğu görülmüştür. PY1 ile PY2 karşılaştırıldığında ise PY1 birleştirmelerinin kopma yükleri PY2 birleştirmelerinden daha yüksektir. Kayma gerilmesi olarak hasar yükleri yapıştırma alanlarına bölüldüğünde 4~19 N/mm² değerleri elde edilmiştir.

Hasar tipi olarak inceleme yapıldığında, Şekil 4.10' da belirtilen, kopma (çeki), yırtılma (kayma), ezilme (yuva), parçalanma (çeki ve kayma), ve perçin çıkması (perçin çıkması ve kırılma) hasar tiplerinin tümü, Şekil 4.4.e' de görülen, yapıştırıcının malzeme yüzeyinden ince tabaka şeklinde malzeme ile birlikte koptuğu hasar tipi ile birleşik olarak görülmüştür.

Hem perçin hem de Loctite3430 ile birleştirilmiş olan (PY2) numunelerin hasar yükleri Tablo 6.13’de belirtilmiştir. Hasar yüklerine ulaşıldığında deformasyon 1,5 ile 6 mm arasında değişmiştir. En büyük yapıştırma alanına sahip olan E/D=4 W/D=4 numunesinde hasar yükü, 3433,5 N olarak görülmüştür.

Tablo 6.13 PY2 birleştirmelerinin hasar yükleri

PY2		Hasar Yüğü (N)			
		E/D			
		1	2	3	4
W/D	2	1589,22	1549,98	1687,32	1500,93
	3	1549,98	2452,5	2599,65	2776,23
	4	1981,62	2933,19	3315,78	3433,5

Perçin ve Loctite3430 hızlı yapıştırıcı ile yapıştırılmış (PY2) numunelerin yapıştırma alanları Tablo 6.14’de belirtilmiştir.

Tablo 6.14 PY2 birleştirmelerinin yapıştırma alanları

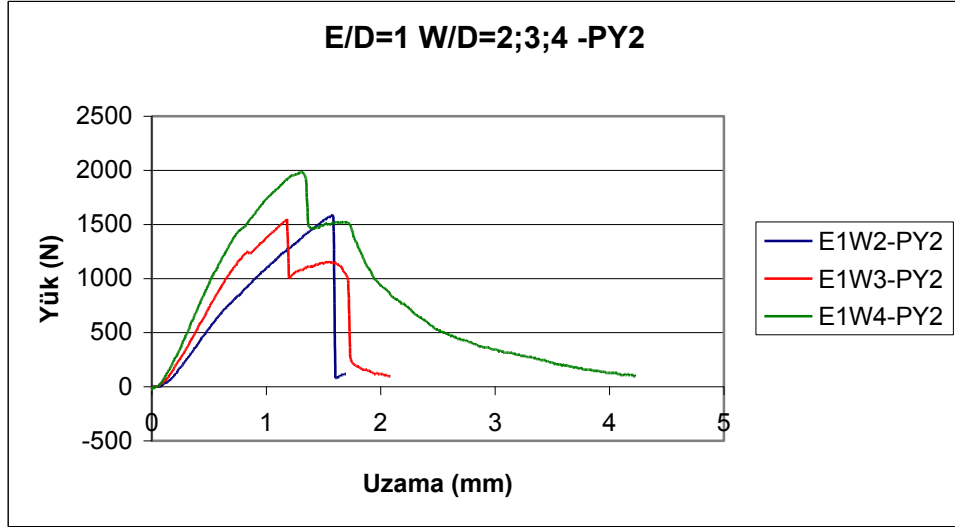
PY2		Yapıştırma Alanı (mm ²)			
		E/D			
		1	2	3	4
W/D	2	80,37	180,37	280,37	380,37
	3	130,37	280,37	430,37	580,37
	4	180,37	380,37	580,37	780,37

Perçin ve Loctite3430 hızlı yapıştırıcı ile yapıştırılmış (PY2) numunelerin hasara uğradığı kayma gerilmeleri Tablo 6.15’de belirtilmiştir. Kayma gerilmeleri her numunenin koştığı hasar yükünü yapıştırma alanına bölerek elde edilmiştir.

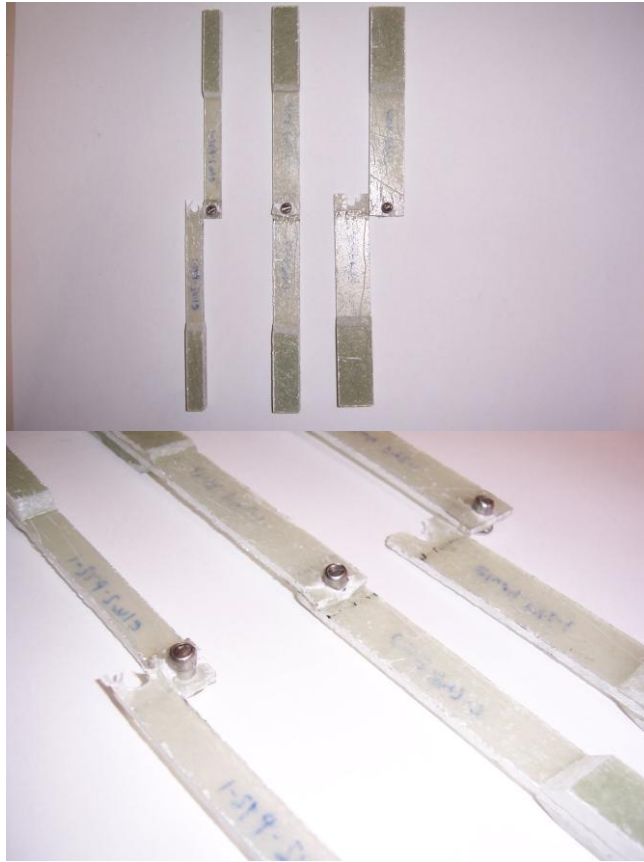
Tablo 6.15 PY2 birleştirmelerinin hasara uğradığı kayma gerilmeleri

PY2		Kayma Gerilmesi (N/mm ²)			
		E/D			
		1	2	3	4
W/D	2	19,77	8,59	6,02	3,95
	3	11,89	8,75	6,04	4,78
	4	10,99	7,71	5,71	4,40

Şekil 6.57 ile Şekil 6.64 arasında sabit E/D oranlarında, W/D oranı değişiminin sonuçları verilmiştir. W/D oranı arttıkça hasar yükü ve deformasyon artmıştır. Şekil 6.57 ve Şekil 6.58'de görüldüğü gibi E1W2-PY1' de kopma (çeki) hasarı, E1W3-PY1 ve E1W4-PY1' de yırtılma (kayma) hasarı gözlenmiştir.

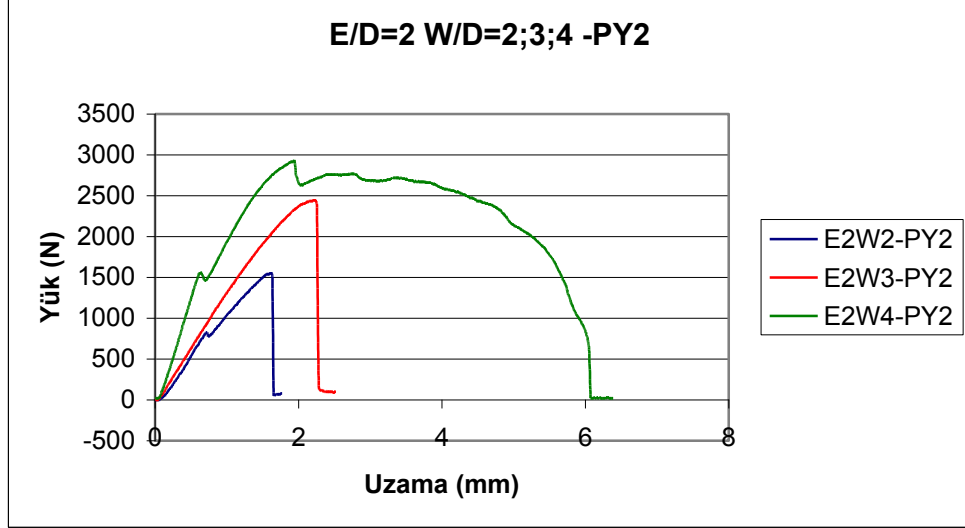


Şekil 6.57 E1W2-PY2, E1W3-PY2, E1W4-PY2 yük-uzama diyagramı

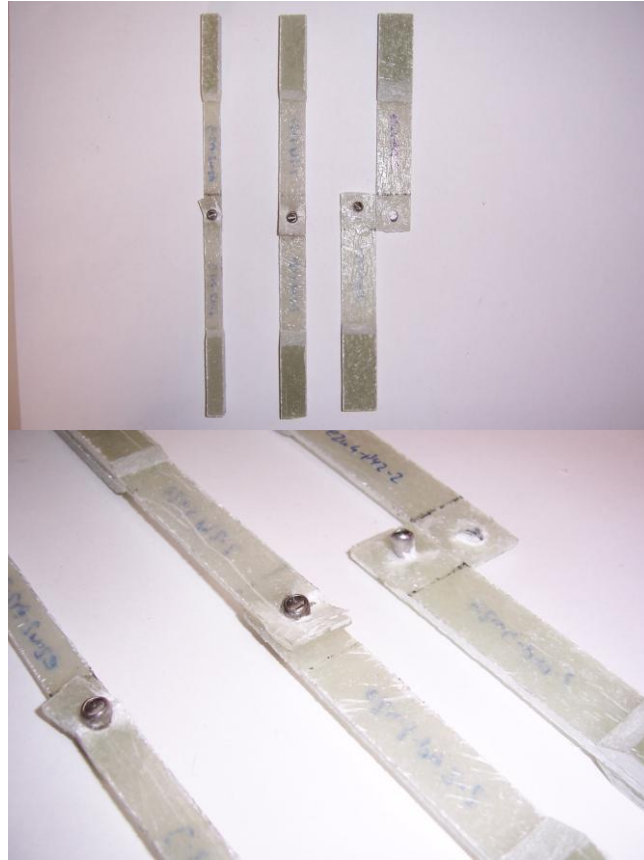


Şekil 6.58 E1W2-PY2, E1W3-PY2, E1W4-PY2 hasar tipleri

Şekil 6.59 ve Şekil 6.60'da görüldüğü gibi E2W2-PY2 ve E2W3-PY2' de kopma (çeki) hasarı, E2W4-PY2' de ezilme (yuva) ile ve perçin çıkması (kırılma) gözlenmiştir.

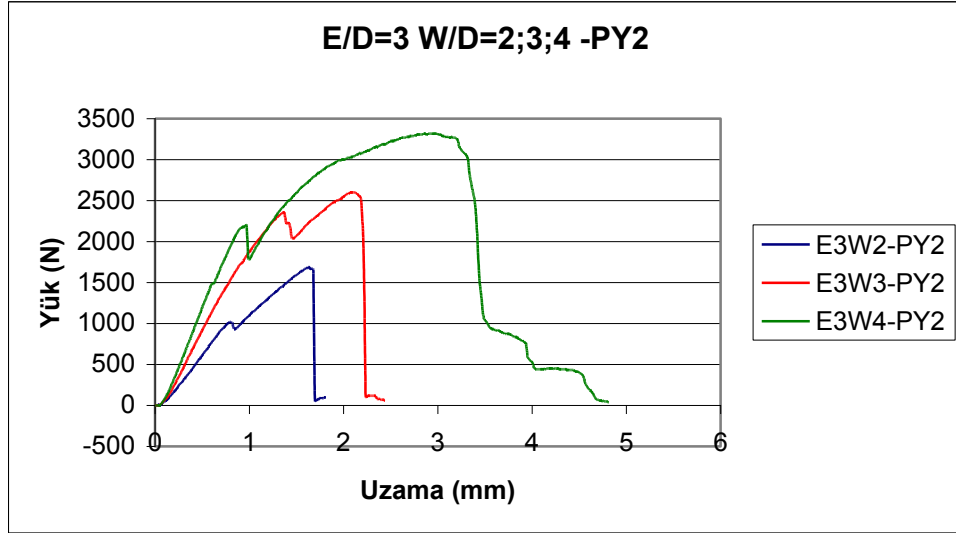


Şekil 6.59 E2W2-PY2, E2W3-PY2, E2W4-PY2 yük-uzama diyagramı

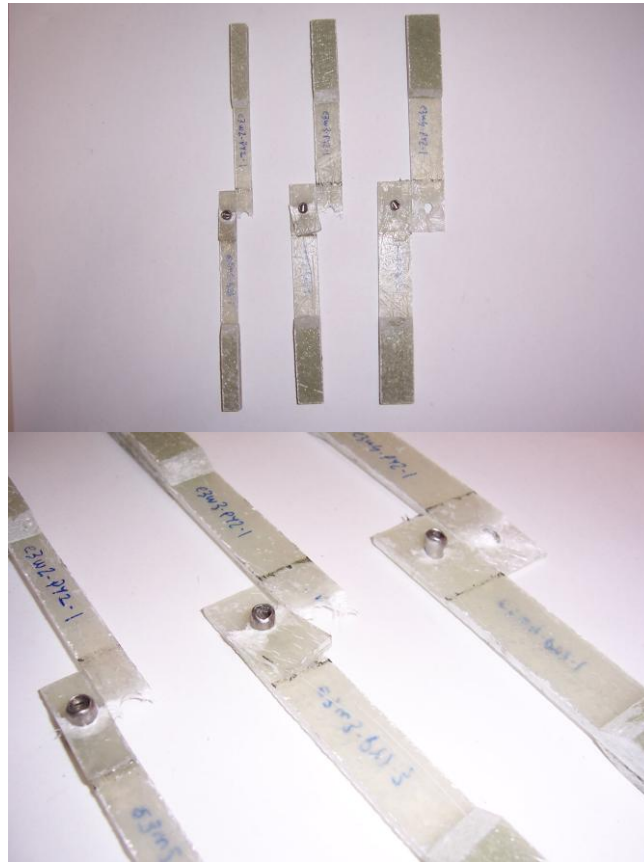


Şekil 6.60 E2W2-PY2, E2W3-PY2, E2W4-PY2 hasar tipleri

Şekil 6.61 ve Şekil 6.62'de görüldüğü gibi E3W2-PY2' de kopma (çeki) hasarı, E3W3-PY2' de ezilme (yuva) ile birlikte kopma (çeki) hasarı, E3W4-PY2' de ezilme (yuva) ile birlikte perçin çıkması (kırılma) gözlenmiştir.

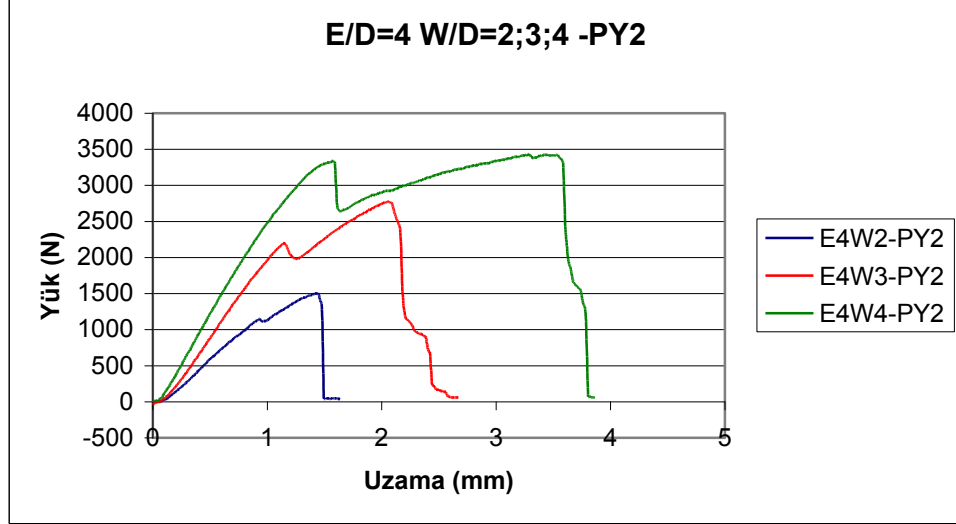


Şekil 6.61 E3W2-PY2, E3W3-PY2, E3W4-PY2 yük-uzama diyagramı

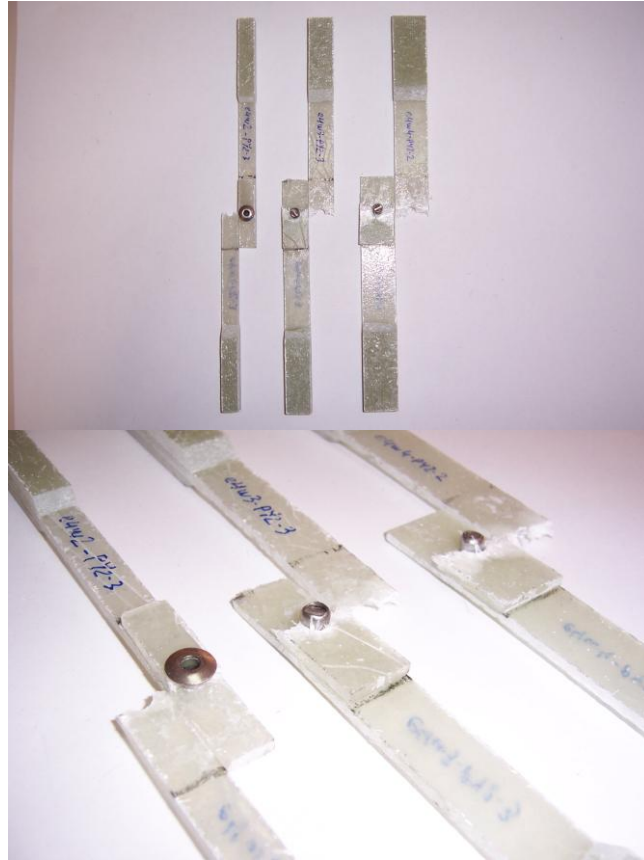


Şekil 6.62 E3W2-PY2, E3W3-PY2, E3W4-PY2 hasar tipleri

Şekil 6.63 ve Şekil 6.64'de görüldüğü gibi E4W2-PY2' de kopma (çeki) hasarı, E4W3-PY2' de ezilme (yuva) ile birlikte kopma (çeki) hasarı, E4W4-PY2' de ezilme (yuva) ile birlikte kopma (çeki) ve perçin çıkması (kırılma) gözlenmiştir.

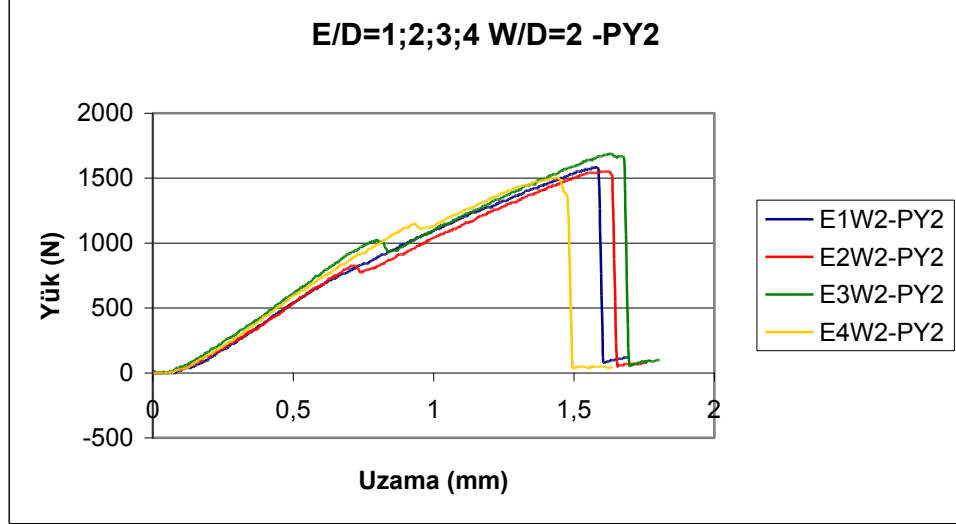


Şekil 6.63 E4W2-PY2, E4W3-PY2, E4W4-PY2 yük-uzama diyagramı



Şekil 6.64 E4W2-PY2, E4W3-PY2, E4W4-PY2 hasar tipleri

Şekil 6.65 ile Şekil 6.70 arasında sabit W/D oranlarında, E/D oranı değişiminin sonuçları verilmiştir. W/D=2 iken tüm E/D oranlarında kopma (çeki) hasarı görülmüştür ve yapıştırma alanının artışına paralel olarak hasar yükü de artmıştır.

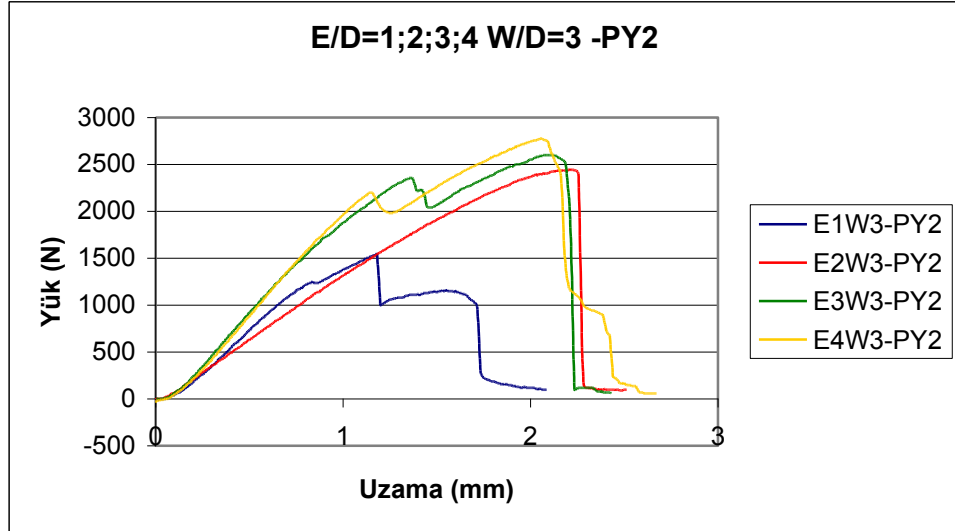


Şekil 6.65 E1W2-PY2, E2W2-PY2, E3W2-PY2, E4W2-PY2 yük-uzama diyagramı

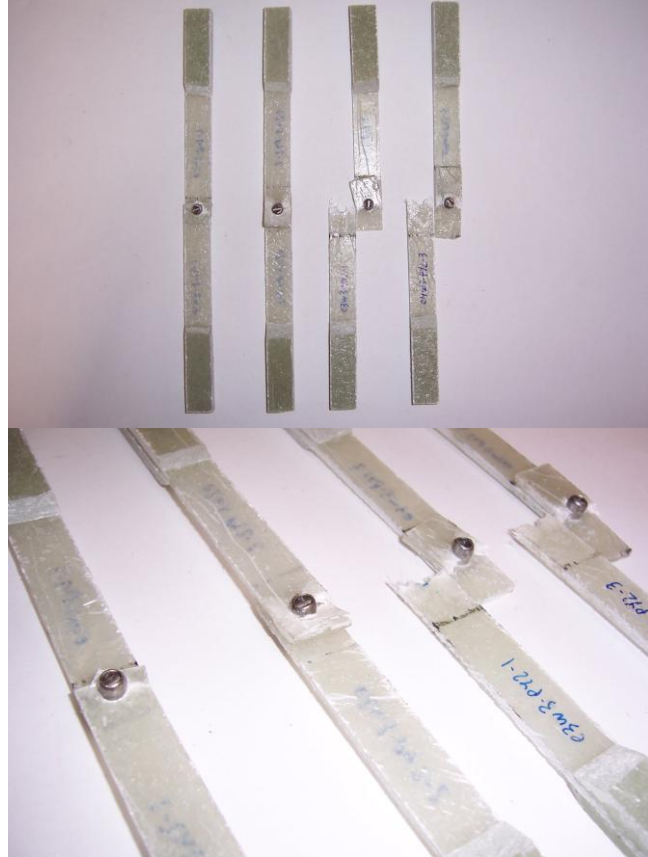


Şekil 6.66 E1W2-PY2, E2W2-PY2, E3W2-PY2, E4W2-PY2 hasar tipleri

Şekil 6.67 ve Şekil 6.68’ de görüldüğü gibi $W/D=3$ iken, $E/D=1$ olduğunda yırtılma (kayma), $E/D=2,3$ ve 4 iken tüm yuva (ezilme) ve kopma (çeki) hasarı birlikte görülmüştür.

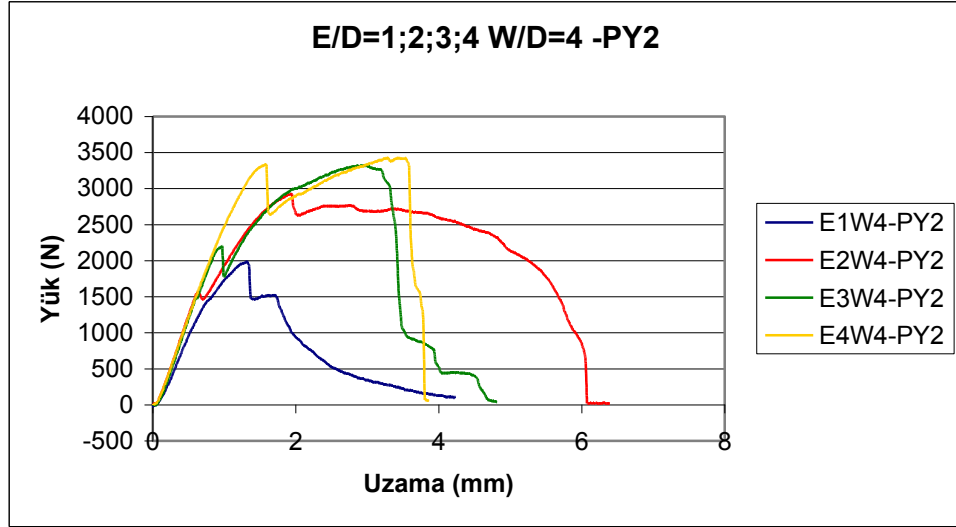


Şekil 6.67 E1W3-PY2, E2W3-PY2, E3W3-PY2, E4W3-PY2 yük-uzama diyagramı

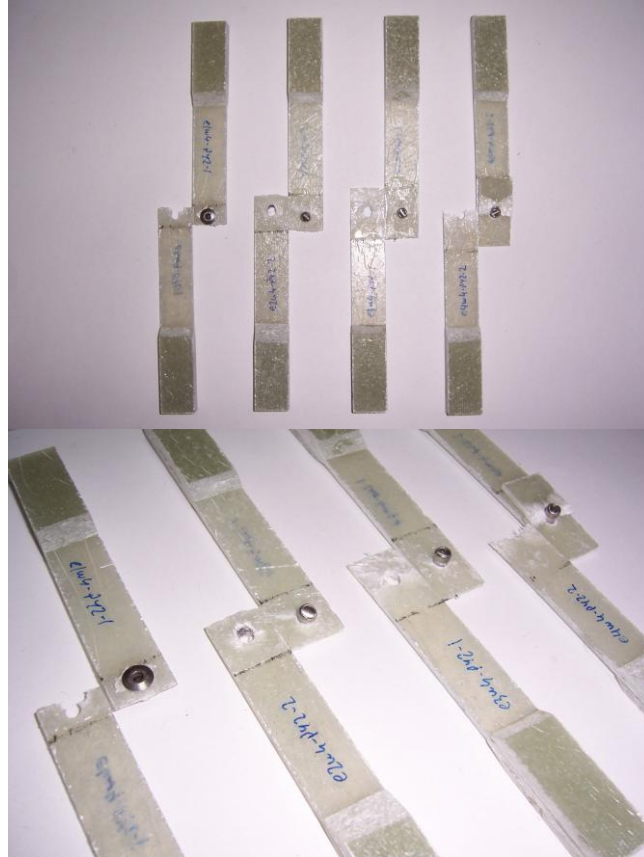


Şekil 6.68 E1W3-PY2, E2W3-PY2, E3W3-PY2, E4W3-PY2 hasar tipleri

Şekil 6.69 ve Şekil 6.70' de görüldüğü gibi $W/D=4$ iken, $E/D=1$ olduğunda yırtılma (kayma), $E/D=2$ ve 3 iken yuva (ezilme), perçin çıkması (kırılma), $E/D=4$ iken yuva (ezilme), kopma (çeki), perçin çıkması (kırılma) hasarları görülmüştür.



Şekil 6.69 E1W4-PY2, E2W4-PY2, E3W4-PY2, E4W4-PY2 yük-uzama diyagramı



Şekil 6.70 E1W4-PY2, E2W4-PY2, E3W4-PY2, E4W4-PY2 hasar tipleri

6.6 Yapıştırırmalı (Y1), Perçinli (P), Perçinli-Yapıştırırmalı (PY1), Yapıştırırmalı (Y2), Perçinli-Yapıştırırmalı (PY2) Karşılaştırması

Y1 ve Y2 birleştirmelerine ait diyagramlar (Şekil 6.71~6.94) incelendiğinde numunelere uygulanan çekme kuvveti arttıkça numuneler lineer olarak uzama göstermiştir. Belli bir yüke geldiğinde Y1’ de yapıştırıcı aniden kopmuş, Y2’de ise yumuşak bir şekilde yapıştırıcı kopmuştur. Y1’ in sert ve kırılğan, Y2’nin yumuşak ve sünek olduğu gözlenmiştir. 12 farklı geometride yapıştırılan birleştirmelerde birleştirme alanı arttıkça hasar yükü de artmıştır. Kayma gerilmesi olarak hasar yükleri yapıştırma alanlarına bölüldüğünde Y1’ de 6~14 N/mm² değerleri, Y2’ de ise 2~12 N/mm² değerleri elde edilmiştir. Y1 birleştirmeleri her zaman Y2 birleştirmelerinden daha yüksek çeki yüklerinde kopmuştur (Tablo 6.16). Hasar tipi olarak inceleme yapıldığında, Şekil 4.4.e’ de görülen, yapıştırıcının malzeme yüzeyinden ince tabaka şeklinde malzeme ile birlikte koptuğu hasar tipi tüm numunelerde gözlenmiştir.

P birleştirmelerine ait diyagramlar incelendiğinde (Şekil 6.71~6.94) sonuçların farklılaştığı görülmektedir. Bunun sebebi de perçinleme için açılan D deliğinin numune üzerinde bindirme kenarına ve yan kenarlara olan mesafesinin parametrik olarak değişmesi ve numunenin mukavemetini farklı yönlerde değiştirmesidir. Çekme yükü arttıkça uzama genellikle dışbükey bir parabol şeklinde olmaktadır. Bindirme mesafesi ve numune genişliği arttıkça hasar yükü artmış ve numuneler perçin yerlerinden daha yüksek çeki yüklerinde kopmuştur (Tablo 6.16). Genel olarak bakıldığında P birleşmeleri, Y1 birleştirmelerinden daha düşük çeki yükünde, Y2 birleştirmelerinden ise daha yüksek çeki yüklerinde kopmuştur. Hasar tipi olarak inceleme yapıldığında, Şekil 4.10’ da belirtilen, kopma (çeki), yırtılma (kayma), ezilme (yuva), parçalanma (çeki ve kayma) ve perçin çıkması (perçin çıkması ve kırılma) hasar tiplerinin tümü görülmüştür.

PY1 ve PY2 birleştirmelerine ait diyagramlar (Şekil 6.71~6.94) incelendiğinde numunelere uygulanan çekme kuvveti arttıkça numunelerin öncelikle yapıştırıcı karakteristiği gösterdiği yani lineer olarak uzadığı ve belli bir yüke geldiğinde keskin

bir şekilde yapıştırıcının kopup uygulanan yükün perçine bindiği görülmüştür. Yapıştırıcı koştuktan sonra perçin karakteristiğinde yani çekme yükü arttıkça uzama genellikle dışbükey bir parabol şeklinde olmaktadır.

Ayrıca P ve Y1 arasında karşılaştırma yapıldığında PY1 ile yapılan birleştirmelerin P ve Y1' e oranla daha yüksek çeki yüklerinde koştuğu görülmüştür (Şekil 6.71~6.94). Yine P ve Y2 arasında karşılaştırma yapıldığında PY2 ile yapılan birleştirmelerin P ve Y2'ye oranla daha yüksek çeki yüklerinde koştuğu görülmüştür (Şekil 6.71~6.94). Birleştirmede yapıştırıcıya ilave olarak perçinin bulunması kopma mukavemetini her zaman yükseltmiştir (Tablo 6.16). Bunun sebebi de perçinin yapıştırıcıya yaptığı baskı kuvvetidir. Bu kuvvet hem yapıştırıcının daha iyi yapışmasına sebep olmuş hem de çekme testi sırasında yüzeylerin birbirine daha iyi basmasını sağlamıştır.

Fakat PY1 ile PY2 karşılaştırıldığında PY1' in PY2' ye oranla daha yüksek çeki kuvvetlerinde koştuğu görülmüştür. Bunun da sebebi Y1' in Y2'ye göre daha yüksek olan kayma mukavemetidir.

P, PY1 ve PY2 birleştirmelerinde hasar tipi bakımından inceleme yapıldığında, P' de sadece Şekil 4.10' da belirtilen, kopma (çeki), yırtılma (kayma), ezilme (yuva), parçalanma (çeki ve kayma) ve perçin çıkması (perçin çıkması ve kırılma) hasar tiplerin tümü, PY1 ve PY2' de bunlara ilave olarak Şekil 4.4.e' de görülen, yapıştırıcının malzeme yüzeyinden ince tabaka şeklinde malzeme ile birlikte koştuğu hasar tipi ile birleşik olarak görülmüştür.

Y1, P, PY1, Y2, PY2 numunelerinin hasar yükleri Tablo 6.16' da belirtilmiştir. En büyük yapıştırma alanına sahip olan E/D=4 W/D=4 numunesinde hasar yükü, 6513,84 N olarak görülmüştür.

Tablo 6.16 Y1, P, PY1, Y2, PY2 birleştirmelerinin hasar yükleri

NUMUNE ADI		Hasar Yükü (N)				
		Birleştirme Tipi				
		Y1	P	PY1	Y2	PY2
W/D=2	E/D=1	1206,63	1363,59	1559,79	765,18	1589,22
	E/D=2	1520,55	1599,03	1824,66	873,09	1549,98
	E/D=3	2383,83	1608,84	2550,6	1079,1	1687,32
	E/D=4	2530,98	1432,26	3001,86	1206,63	1500,93
W/D=3	E/D=1	1628,46	1569,6	2266,11	1677,51	1549,98
	E/D=2	2354,4	2530,98	2403,45	1451,88	2452,5
	E/D=3	3080,34	2893,95	3109,77	2118,96	2599,65
	E/D=4	4797,09	2530,98	4787,28	1422,45	2776,23
W/D=4	E/D=1	2805,66	2158,2	2786,04	2099,34	1981,62
	E/D=2	2893,95	3355,02	3139,2	1863,9	2933,19
	E/D=3	5277,78	3227,49	4100,58	2795,85	3315,78
	E/D=4	5385,69	3629,7	6513,84	1805,04	3433,5

Y1, P, PY1, Y2, PY2 numunelerinin yapıştırma alanları Tablo 6.17'de belirtilmiştir.

Tablo 6.17 Y1, P, PY1, Y2, PY2 birleştirmelerinin yapıştırma alanları

NUMUNE ADI		Yapıştırma Alanı (mm ²)				
		Birleştirme Tipi				
		Y1	P	PY1	Y2	PY2
W/D=2	E/D=1	100	x	80,37	100	80,37
	E/D=2	200	x	180,37	200	180,37
	E/D=3	300	x	280,37	300	280,37
	E/D=4	400	x	380,37	400	380,37
W/D=3	E/D=1	150	x	130,37	150	130,37
	E/D=2	300	x	280,37	300	280,37
	E/D=3	450	x	430,37	450	430,37
	E/D=4	600	x	580,37	600	580,37
W/D=4	E/D=1	200	x	180,37	200	180,37
	E/D=2	400	x	380,37	400	380,37
	E/D=3	600	x	580,37	600	580,37
	E/D=4	800	x	780,37	800	780,37

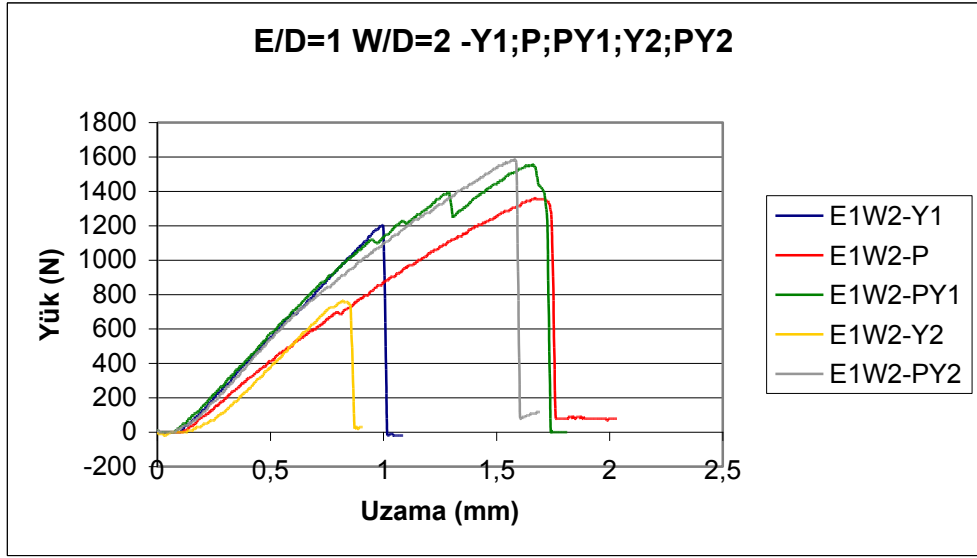
Y1, P, PY1, Y2, PY2 numunelerinin hasara uğradığı kayma gerilmeleri Tablo 6.18'de belirtilmiştir. Kayma gerilmeleri her numunenin koptuğu hasar yükünü yapıştırma alanına bölerek elde edilmiştir.

Tablo 6.18 Y1, P, PY1, Y2, PY2 birleştirmelerinin hasara uğradığı kayma gerilmeleri

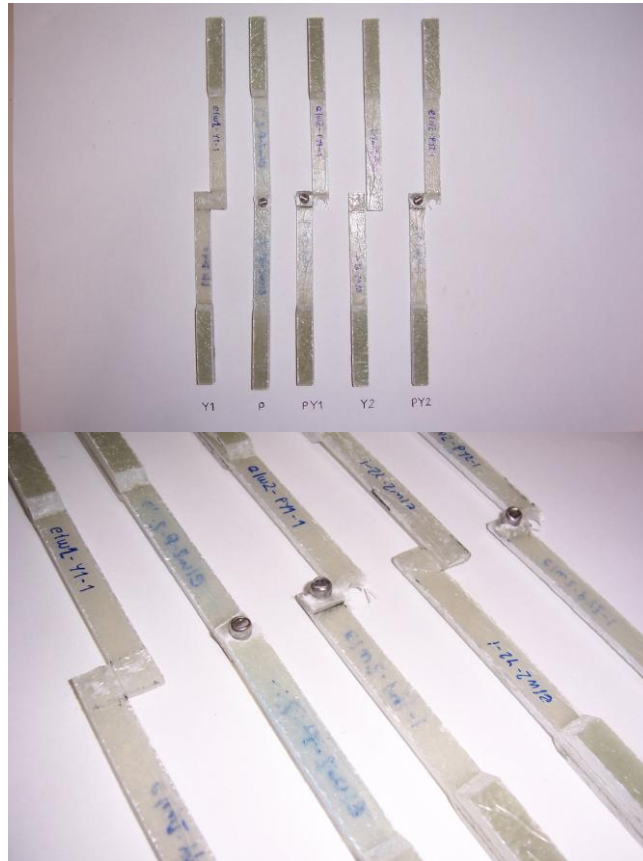
NUMUNE ADI		Kayma Gerilmesi (N/mm ²)				
		Birleştirme Tipi				
		Y1	P	PY1	Y2	PY2
W/D=2	E/D=1	12,07	x	19,41	7,65	19,77
	E/D=2	7,60	x	10,12	4,37	8,59
	E/D=3	7,95	x	9,10	3,60	6,02
	E/D=4	6,33	x	7,89	3,02	3,95
W/D=3	E/D=1	10,86	x	17,38	11,18	11,89
	E/D=2	7,85	x	8,57	4,84	8,75
	E/D=3	6,85	x	7,23	4,71	6,04
	E/D=4	8,00	x	8,25	2,37	4,78
W/D=4	E/D=1	14,03	x	15,45	10,50	10,99
	E/D=2	7,23	x	8,25	4,66	7,71
	E/D=3	8,80	x	7,07	4,66	5,71
	E/D=4	6,73	x	8,35	2,26	4,40

Y1, P, PY1, Y2 ve PY2 ile birleştirilmiş numunelerin çekme kuvveti altındaki hasar yükü ve uzama diyagramları karşılaştırmalı olarak Şekil 6.71 ile 6.93 arasında ilerleyen sayfalarda belirtilmiştir.

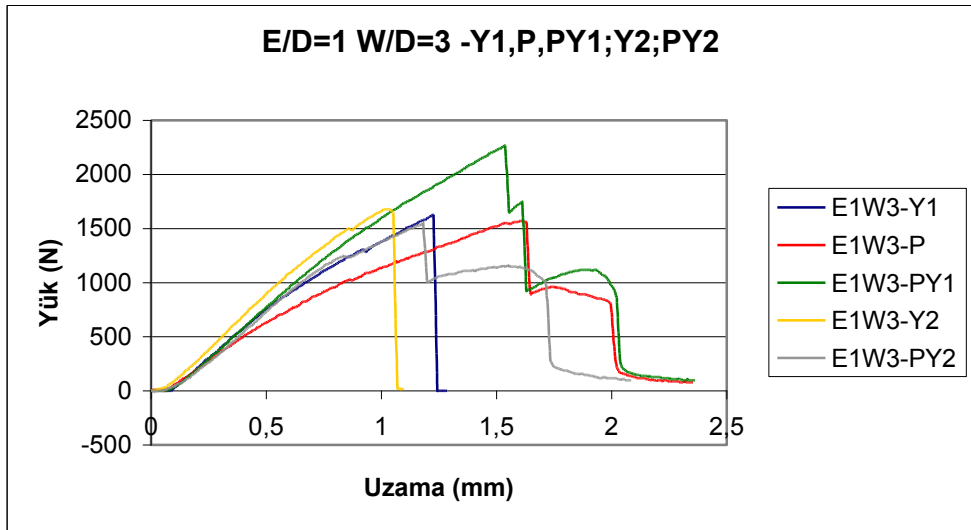
Y1, P, PY1, Y2 ve PY2 ile birleştirilmiş numunelerin çekme kuvveti altındaki gördükleri hasarların fotoğrafları Şekil 6.72 ile 6.94 arasında ilerleyen sayfalarda belirtilmiştir.



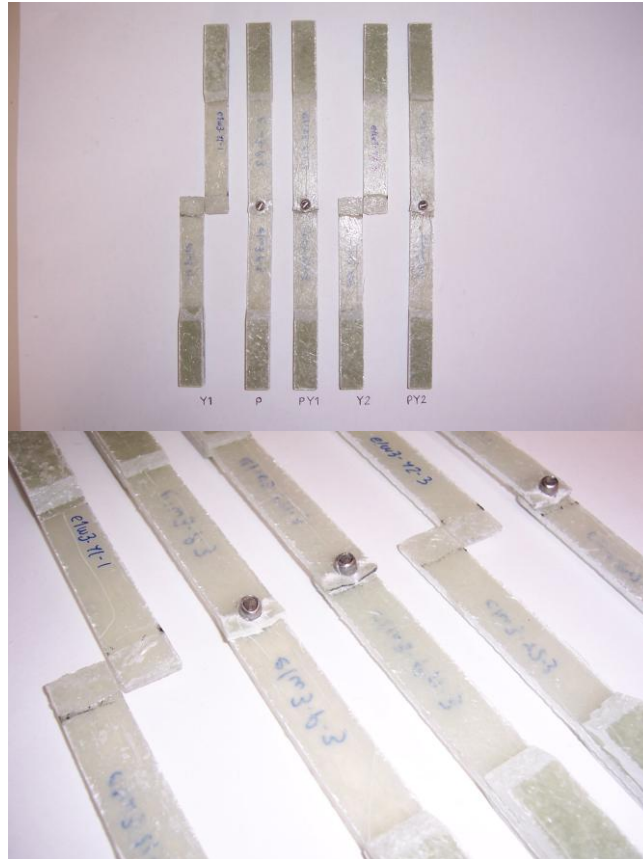
Şekil 6.71 E1W2-Y1, E1W2-P, E1W2-PY1, E1W2-Y2, E1W2-PY2 yük-uzama diyagramı



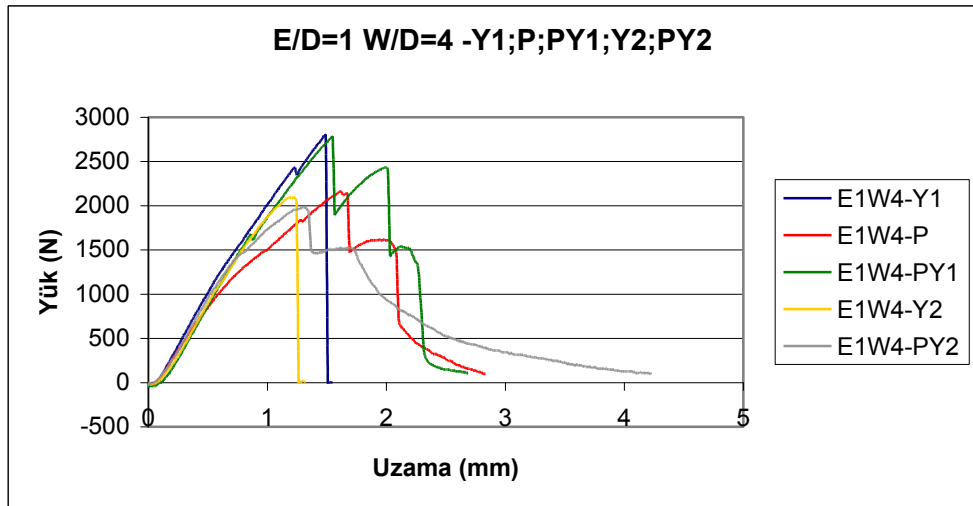
Şekil 6.72 E1W2-Y1, E1W2-P, E1W2-PY1, E1W2-Y2, E1W2-PY2 hasar tipleri



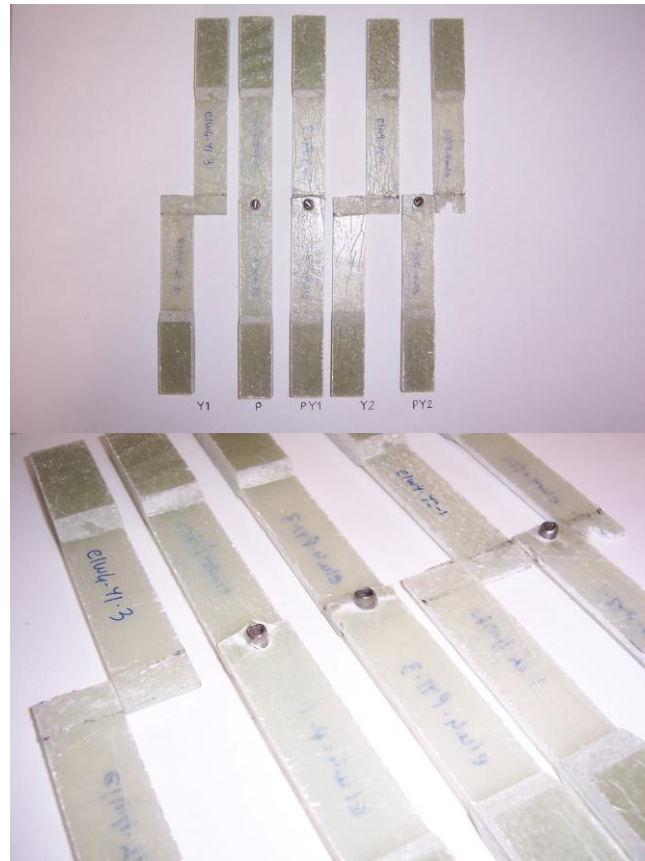
Şekil 6.73 E1W3-Y1, E1W3-P, E1W3-PY1, E1W3-Y2, E1W3-PY2 yük-uzama diyagramı



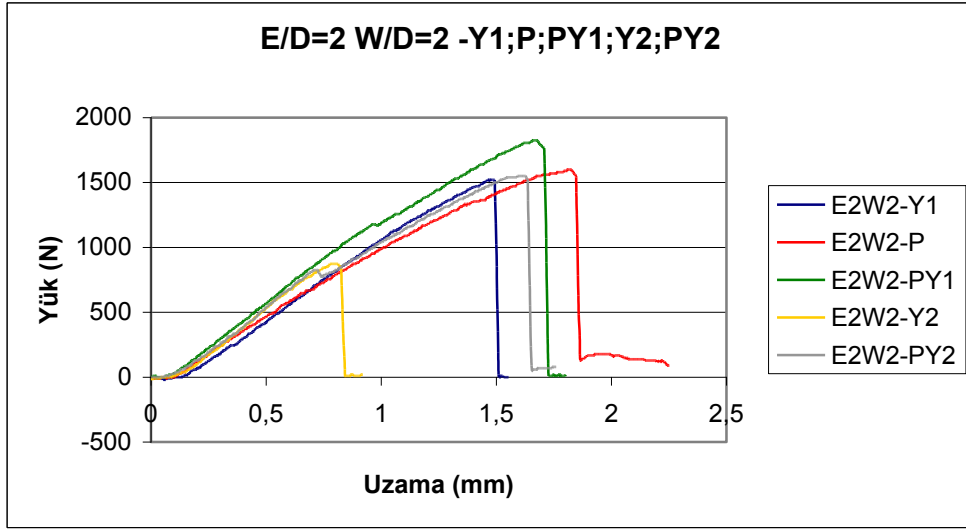
Şekil 6.74 E1W3-Y1, E1W3-P, E1W3-PY1, E1W3-Y2, E1W3-PY2 hasar tipleri



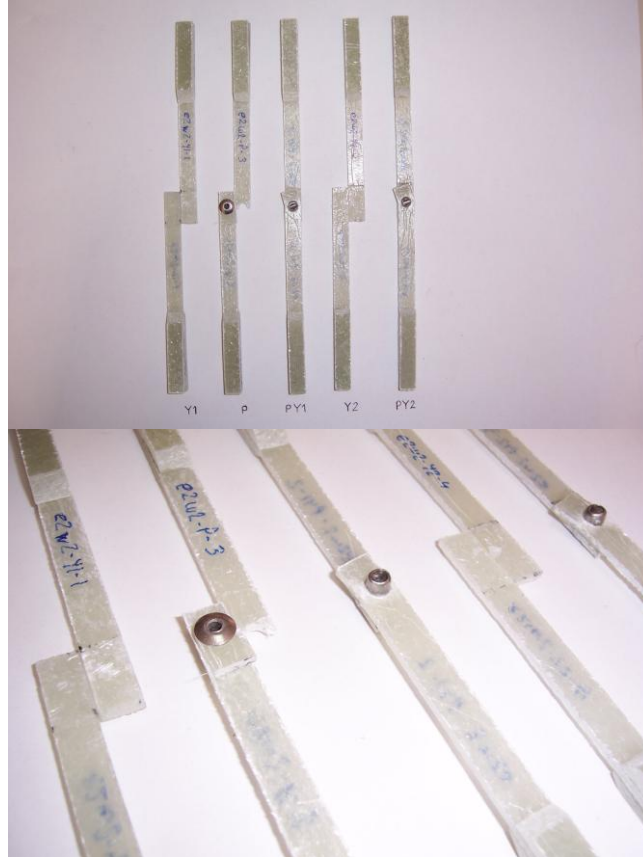
Şekil 6.75 E1W4-Y1, E1W4-P, E1W4-PY1, E1W4-Y2, E1W4-PY2 yük-uzama diyagramı



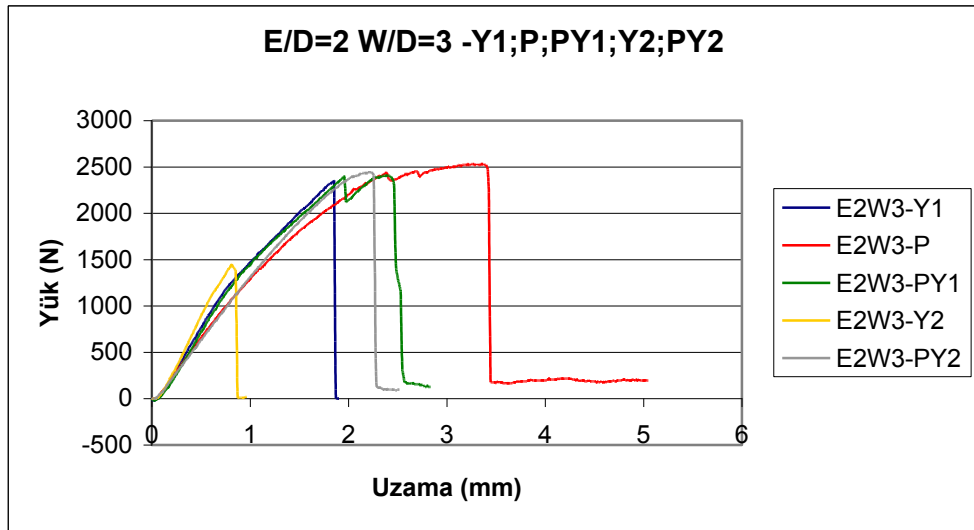
Şekil 6.76 E1W4-Y1, E1W4-P, E1W4-PY1, E1W4-Y2, E1W4-PY2 hasar tipleri



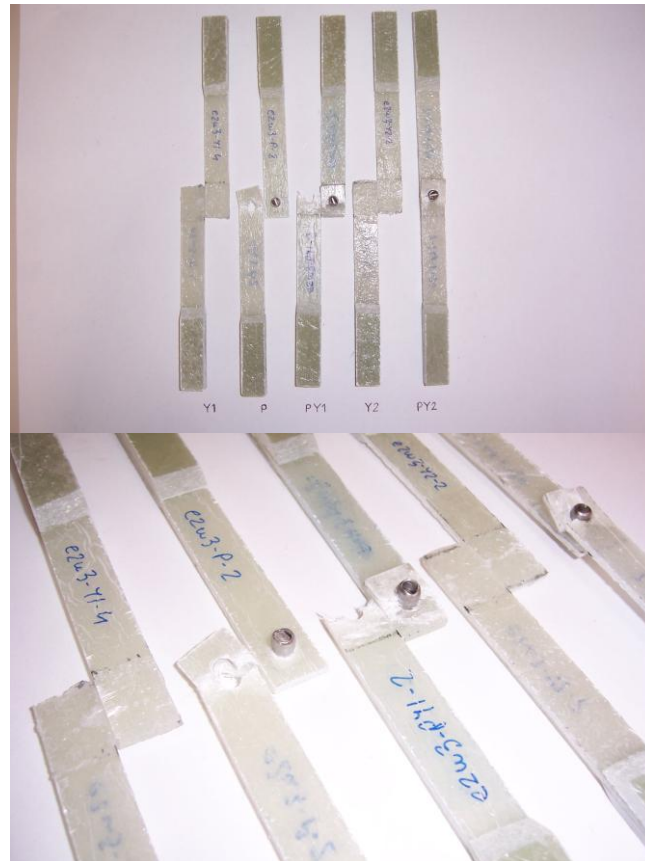
Şekil 6.77 E2W2-Y1, E2W2-P, E2W2-PY1, E2W2-Y2, E2W2-PY2 yük-uzama diyagramı



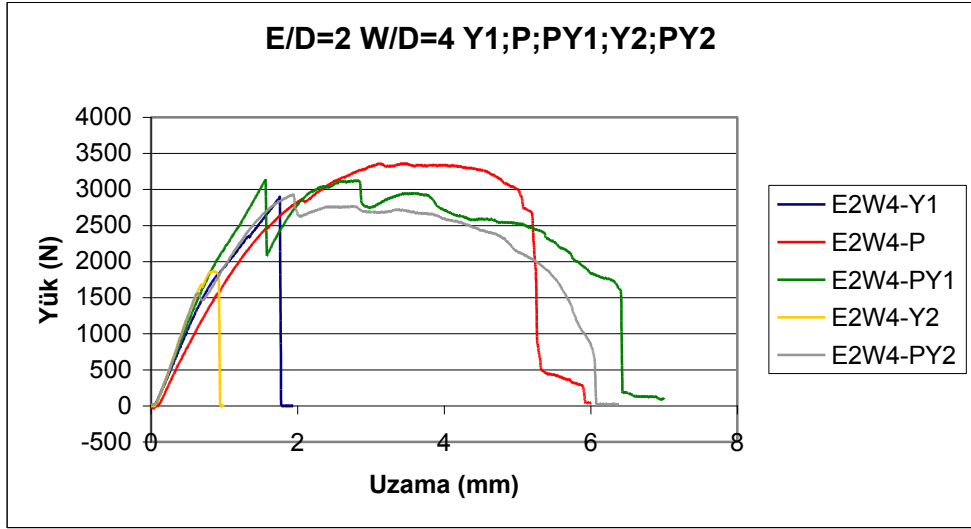
Şekil 6.78 E2W2-Y1, E2W2-P, E2W2-PY1, E2W2-Y2, E2W2-PY2 hasar tipleri



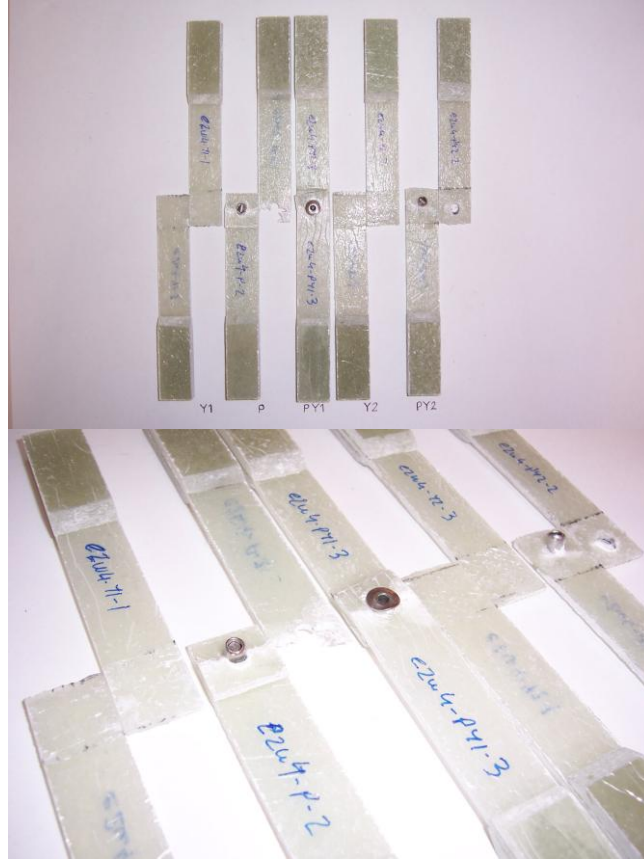
Şekil 6.79 E2W3-Y1, E2W3-P, E2W3-PY1, E2W3-Y2, E2W3-PY2 yük-uzama diyagramı



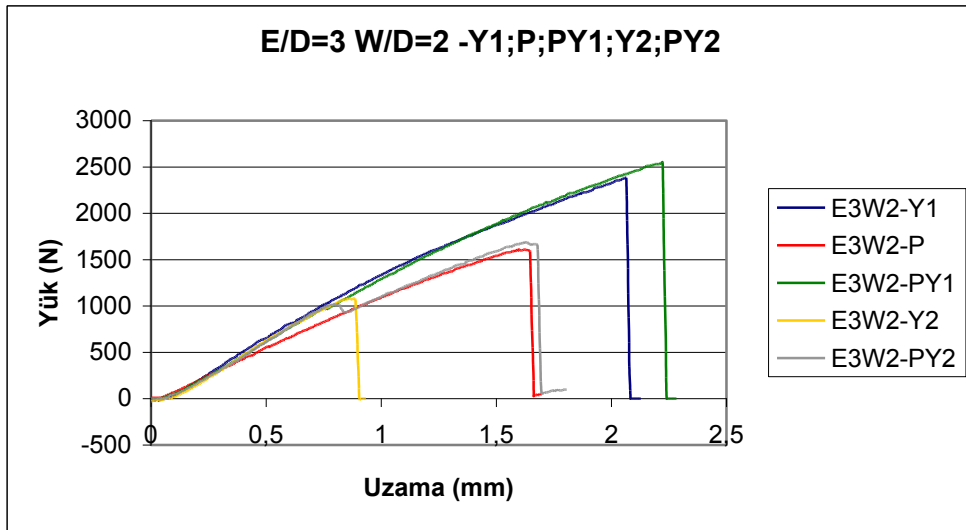
Şekil 6.80 E2W3-Y1, E2W3-P, E2W3-PY1, E2W3-Y2, E2W3-PY2 hasar tipleri



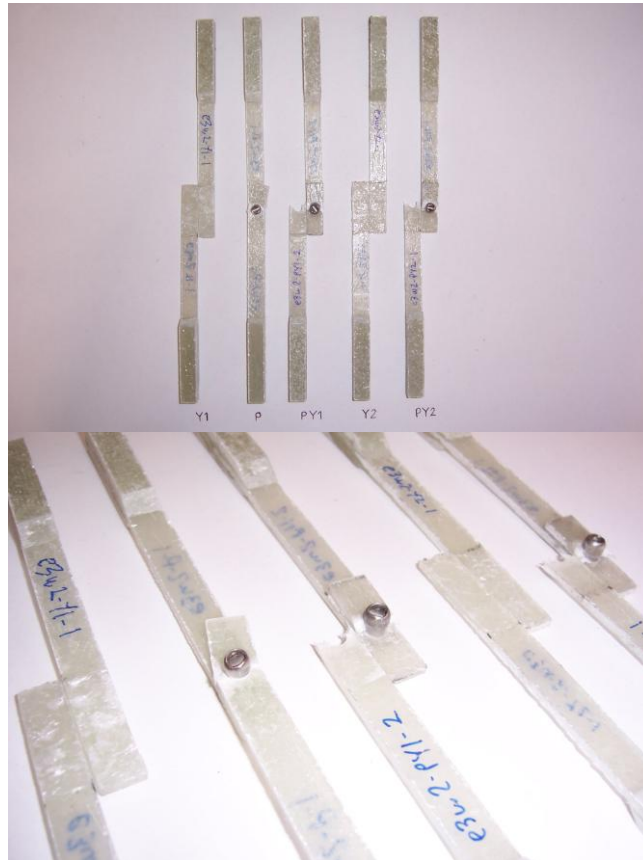
Şekil 6.81 E2W4-Y1, E2W4-P, E2W4-PY1, E2W4-Y2, E2W4-PY2 yük-uzama diyagramı



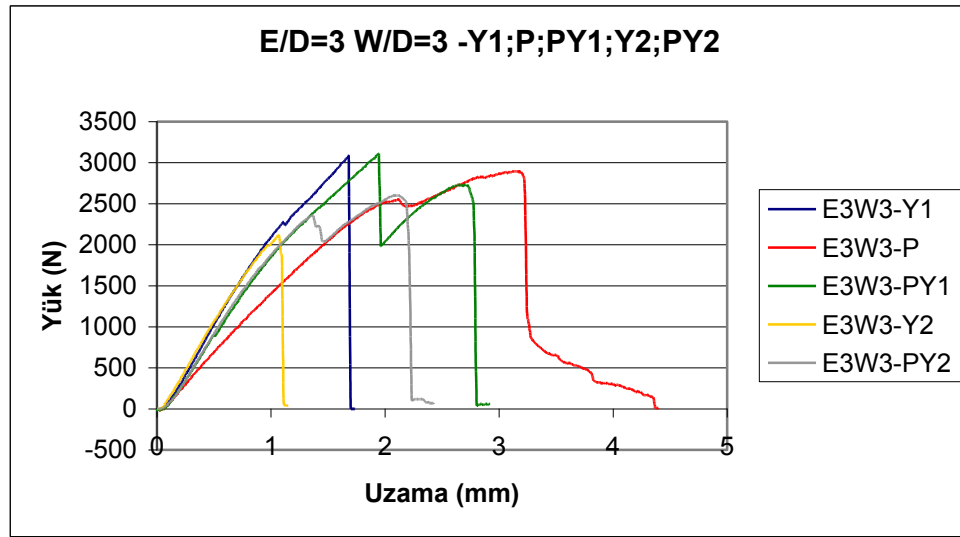
Şekil 6.82 E2W4-Y1, E2W4-P, E2W4-PY1, E2W4-Y2, E2W4-PY2 hasar tipleri



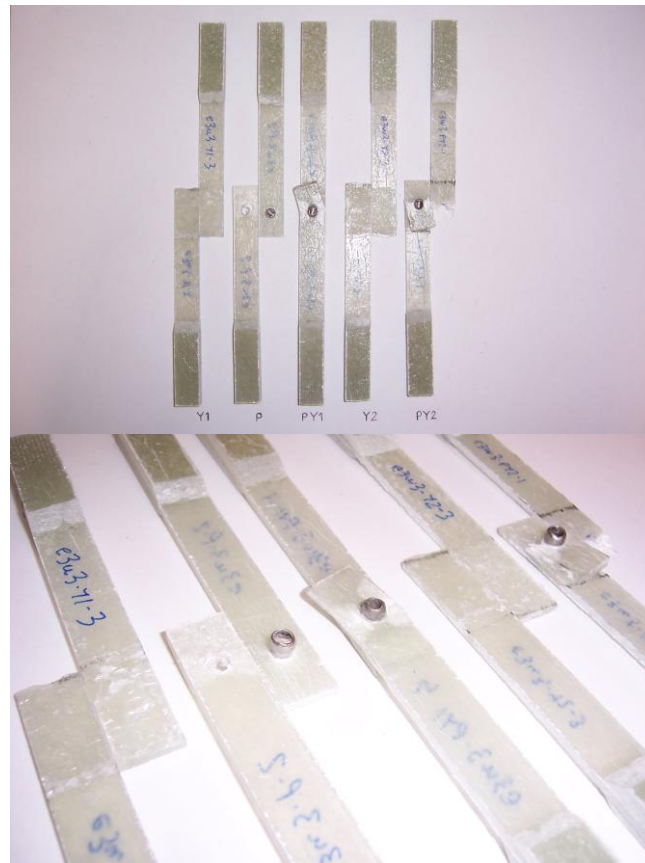
Şekil 6.83 E3W2-Y1, E3W2-P, E3W2-PY1, E3W2-Y2, E3W2-PY2 yük-uzama diyagramı



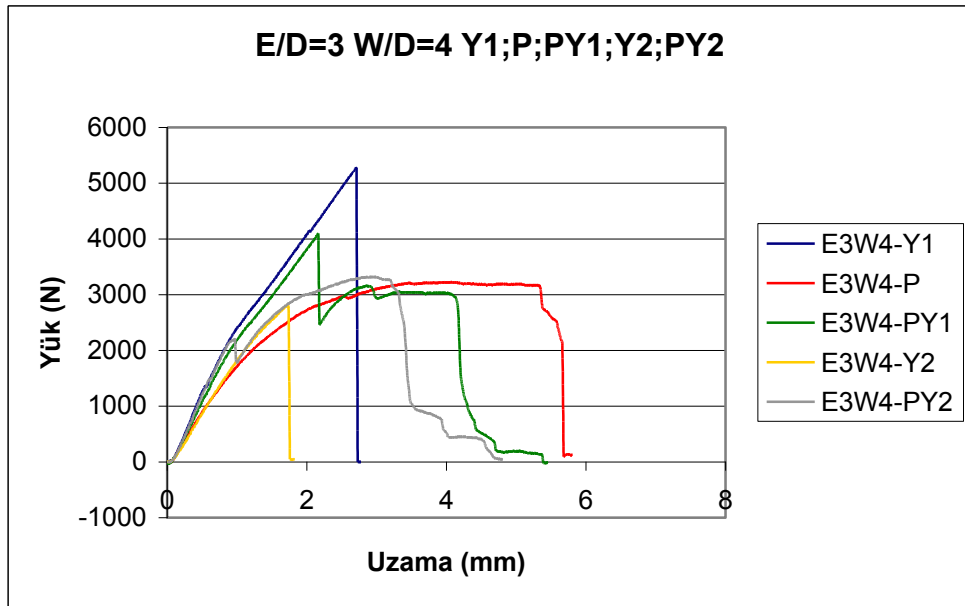
Şekil 6.84 E3W2-Y1, E3W2-P, E3W2-PY1, E3W2-Y2, E3W2-PY2 hasar tipleri



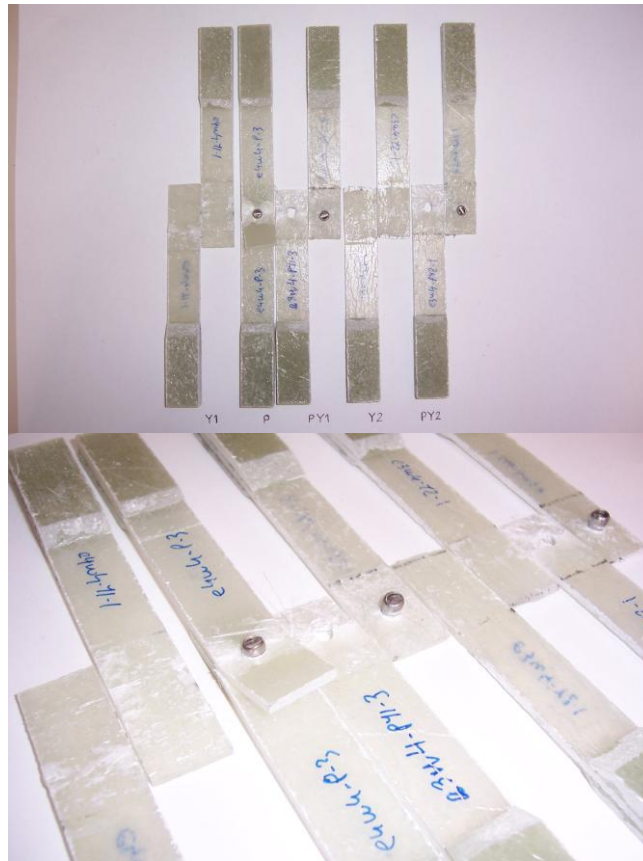
Şekil 6.85 E3W3-Y1, E3W3-P, E3W3-PY1, E3W3-Y2, E3W3-PY2 yük-uzama diyagramı



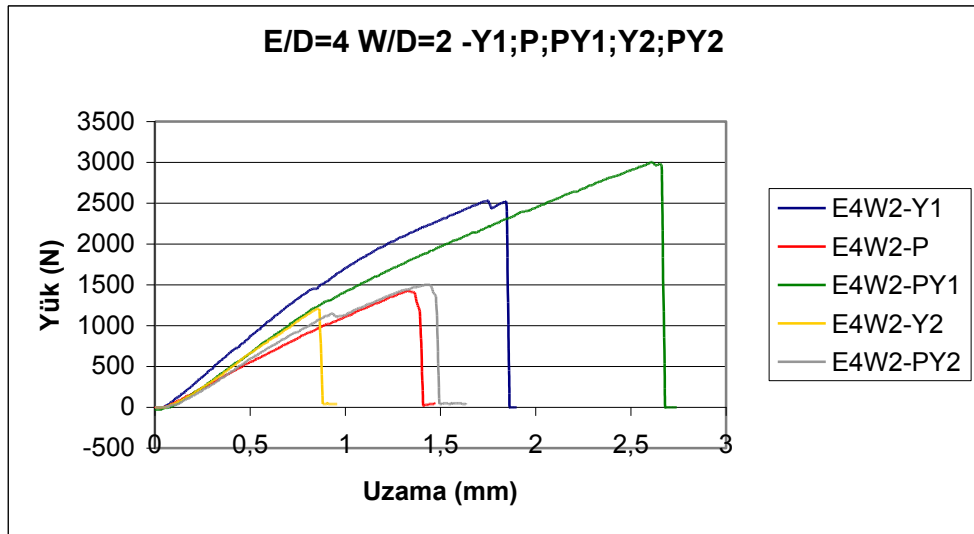
Şekil 6.86 E3W3-Y1, E3W3-P, E3W3-PY1, E3W3-Y2, E3W3-PY2 hasar tipleri



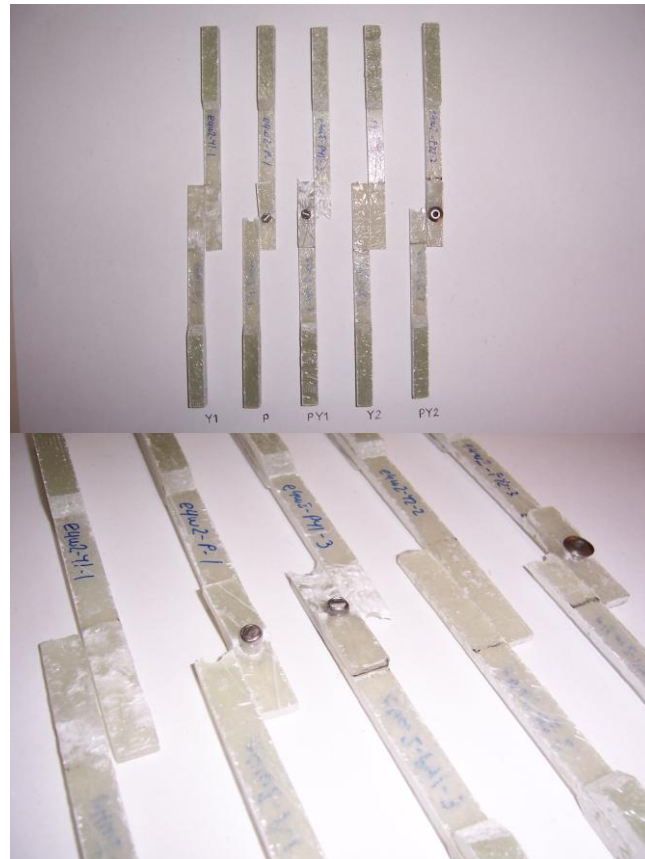
Şekil 6.87 E3W4-Y1, E3W4-P, E3W4-PY1, E3W4-Y2, E3W4-PY2 yük-uzama diyagramı



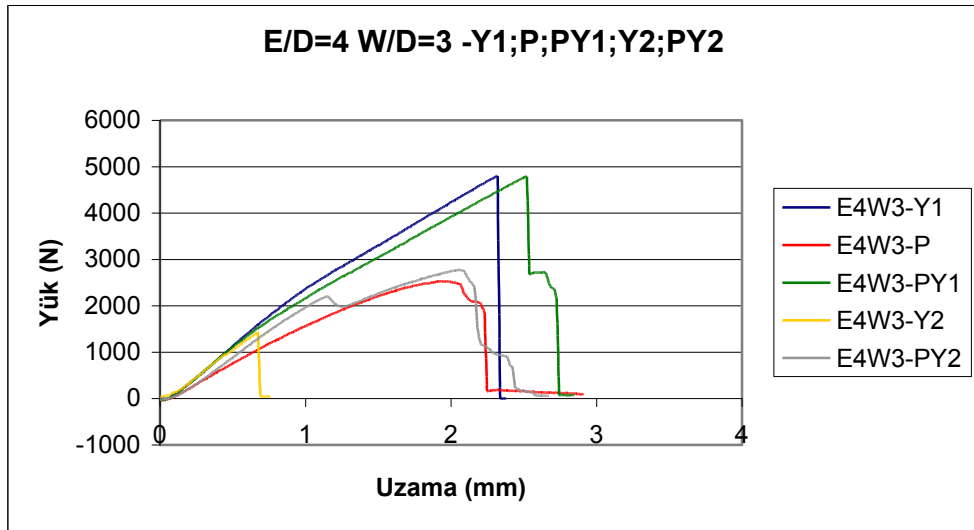
Şekil 6.88 E3W4-Y1, E3W4-P, E3W4-PY1, E3W4-Y2, E3W4-PY2 hasar tipleri



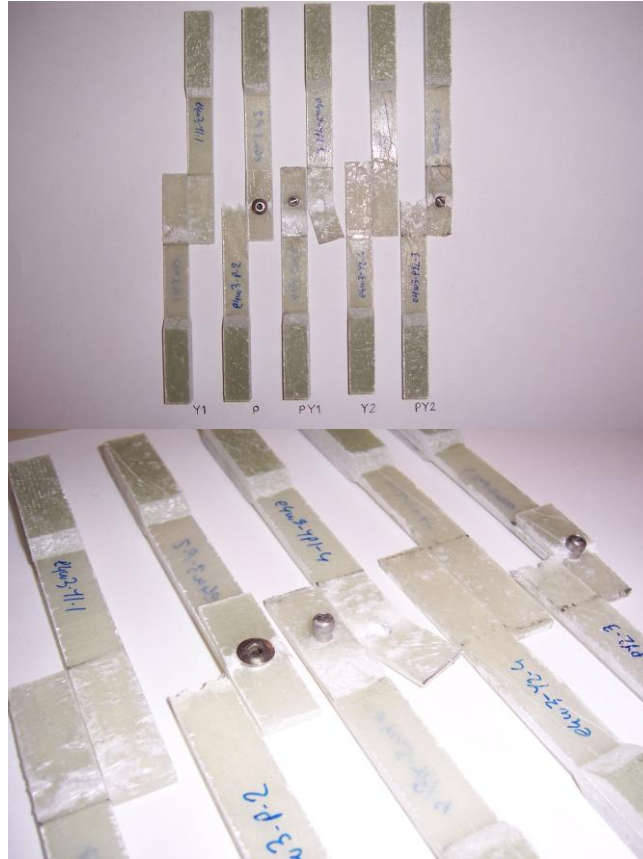
Şekil 6.89 E4W2-Y1, E4W2-P, E4W2-PY1, E4W2-Y2, E4W2-PY2 yük-uzama diyagramı



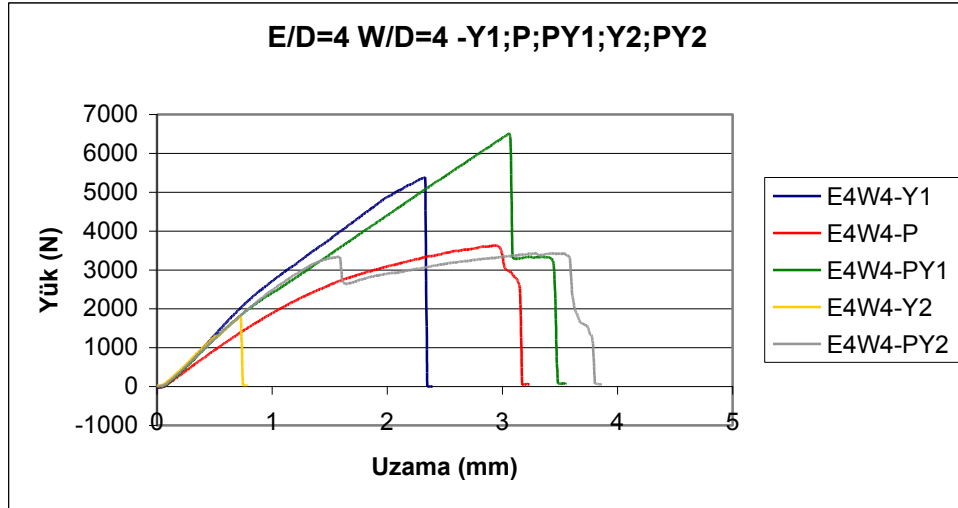
Şekil 6.90 E4W2-Y1, E4W2-P, E4W2-PY1, E4W2-Y2, E4W2-PY2 hasar tipleri



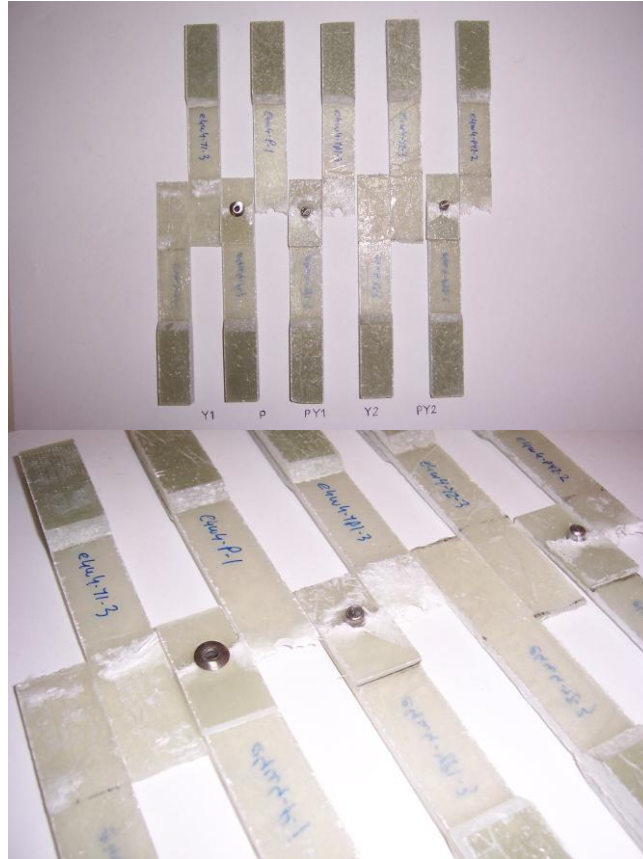
Şekil 6.91 E4W3-Y1, E4W3-P, E4W3-PY1, E4W3-Y2, E4W3-PY2 yük-uzama diyagramı



Şekil 6.92 E4W3-Y1, E4W3-P, E4W3-PY1, E4W3-Y2, E4W3-PY2 hasar tipleri



Şekil 6.93 E4W4-Y1, E4W4-P, E4W4-PY1, E4W4-Y2, E4W4-PY2 yük-uzama diyagramı



Şekil 6.94 E4W4-Y1, E4W4-P, E4W4-PY1, E4W4-Y2, E4W4-PY2 hasar tipleri

BÖLÜM YEDİ

SONUÇ

Yapılan deneyler sonucunda, daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi yapıştırıcılı birleşmelerde ve perçinli birleştirmelerde ortaya çıkan hasar tiplerinden birçoğu görülmüştür.

Bu çalışma sonucunda yapıştırırmalı (Y1 ve Y2) birleştirmelerde oluşan hasar tipleri incelendiğinde Şekil 4.4.e' de belirtilen yapıştırıcı hasar tipine rastlanmıştır. Yapıştırıcı koparken ana malzemedden de ince bir zar tabakası şeklindeki katmanı kaldırarak kopmuştur. Bu hasar tipinde, yapıştırıcı ile birlikte ayrılan malzeme içinde üretimde kullanılan cam elyaf keçenin kırıntıları görülmüştür.

Sadece perçinli (P) birleştirmelerde oluşan hasar tipleri incelendiğinde Şekil 4.10' da belirtilen tüm hasar tiplerine rastlanmıştır. Bunlar genellikle kopma (çeki) başta olmak üzere, yuva (ezilme), perçinin yuvadan çıkması (kırılma), yırtılma (kayma) ve klevaj (ayrılma) hasar modları olarak sıralanabilir.

Hem perçinli hem de yapıştırırmalı (PY1 ve PY2) numuneler incelendiğinde sadece perçinli (P) ve sadece yapıştırıcılı (Y1 ve Y2) numunelerde görülen hasar modları karma olarak görülmüştür.

$W/D=2$ iken E/D değeri ne olursa olsun P, PY1 ve PY2 numunelerinde kopma (çeki) hasarı görülmüştür.

$E/D=1$ iken W/D değerinin 2'den büyük olması durumunda P, PY1 ve PY2 numunelerinde yırtılma (kayma) hasarı görülmüştür.

W/D değeri ile birlikte E/D değerinin de artışı çeki hasarını bileşik hasarlara doğru değiştirdiği görülmektedir. Ama bileşik hasarlar sonucunda genelde yine (kopma) çeki hasarı meydana gelmektedir.

W/D değeri ve E/D değeri ne olursa olsun sadece yapıştırılmalı olan numunelerin tümünde kayma hasarı meydana gelmiştir.

PY1 ve PY2 numuneleri Y1 ve Y2 numunelerine göre daha yüksek çeki kuvvetlerinde hasara uğramışlardır. Bu durumda perçinin yaptığı baskı kuvveti mukavemeti arttırmıştır.

PY1 ile PY2 karşılaştırıldığında PY1' in PY2' ye oranla daha yüksek çeki kuvvetlerinde koptuğu görülmüştür. Bunun da sebebi Y1' in Y2'ye göre daha yüksek olan kayma mukavemetidir.

W/D=4 iken E/D değerinin 3 veya 4 olduğu durumlarda perçin yuvadan çıkmaya çalışmıştır. Perçin kaydıkaç çekme ekseninde eksantriklik meydana gelmiş ve numuneler eğilme momentine maruz kalmıştır. Bu durumda dönmeye çalışan numuneler perçin başının kenarlarının baskısına dayanamayıp kopma (çeki) hasarının görüldüğü noktalardan kırılmıştır. Yine aynı sebepten dolayı hem perçinli hem yapıştırılmalı bağlantılarda perçin çıkmaya çalışırken yapıştırıcının da daha düşük yüklerde kopmasına sebep olmuştur. Bu durumda çift sıralı perçinleme önerilmiştir.

Y1 ve Y2' de oluşan hasar türleri birbirine benzerken P, PY1 ve PY2' de oluşan hasar türleri de kendi aralarında birbirlerine benzemektedir. Uzama-yük diyagramları incelendiğinde PY1 ve PY2 öncelikle sırası ile Y1 ve Y2'nin karakteristiğini sonra da P1 ve P2'nin karakteristiğini taşımaktadır.

Tablo 7.1' de bu çalışmada görülen hasar tipleri birleştirme tipine ve geometriye göre sınıflandırılmıştır.

Tablo 7.1 Bu çalışmada oluşan hasar tipleri

Y1		E/D			
		1	2	3	4
W/D	2	KY 1206,63 N	KY 1520,55 N	KY 2383,83 N	KY 2530,98 N
	3	KY 1628,46 N	KY 2354,4 N	KY 3080,34 N	KY 4797,09 N
	4	KY 2805,66 N	KY 2893,95 N	KY 5277,78 N	KY 5385,69 N

P		E/D			
		1	2	3	4
W/D	2	Ç 1363,59 N	Ç 1599,03 N	Ç 1608,84 N	Ç 1432,26 N
	3	KL 1569,6 N	Ç+Y 2530,98 N	Ç+Y 2893,95 N	Ç+Y 2530,98 N
	4	K 2158,2 N	Ç+Y 3355,02 N	Ç+Y+P 3227,49 N	Ç+Y+P 3629,7 N

PY1		E/D			
		1	2	3	4
W/D	2	Ç+KY 1559,79 N	Ç+KY 1824,66 N	Ç+KY 2550,6 N	Ç+KY 3001,86 N
	3	K+KY 2266,11 N	Ç+Y+KY 2403,45 N	Ç+Y+KY 3109,77 N	Ç+Y+KY 4787,28 N
	4	K+KY 2786,04 N	Ç+Y+KY 3139,2 N	Y+P+KY 4100,58 N	Ç+Y+P+KY 6513,84 N

Y2		E/D			
		1	2	3	4
W/D	2	KY 765,18 N	KY 873,09 N	KY 1079,1 N	KY 1206,63 N
	3	KY 1677,51 N	KY 1451,88 N	KY 2118,96 N	KY 1422,45 N
	4	KY 2099,34 N	KY 1863,9 N	KY 2795,85 N	KY 1805,04 N

PY2		E/D			
		1	2	3	4
W/D	2	Ç+KY 1589,22 N	Ç+KY 1549,98 N	Ç+KY 1687,32 N	Ç+KY 1500,93 N
	3	K+KY 1549,98 N	Ç+Y+KY 2452,5 N	Ç+Y+KY 2599,65 N	Ç+Y+KY 2776,23 N
	4	K+KY 1981,62 N	Y+P+KY 2933,19 N	Y+P+KY 3315,78 N	Ç+Y+P+KY 3433,5 N

KY = Yapıştırıcı kayma hasarı,

Ç = Çeki kopması,

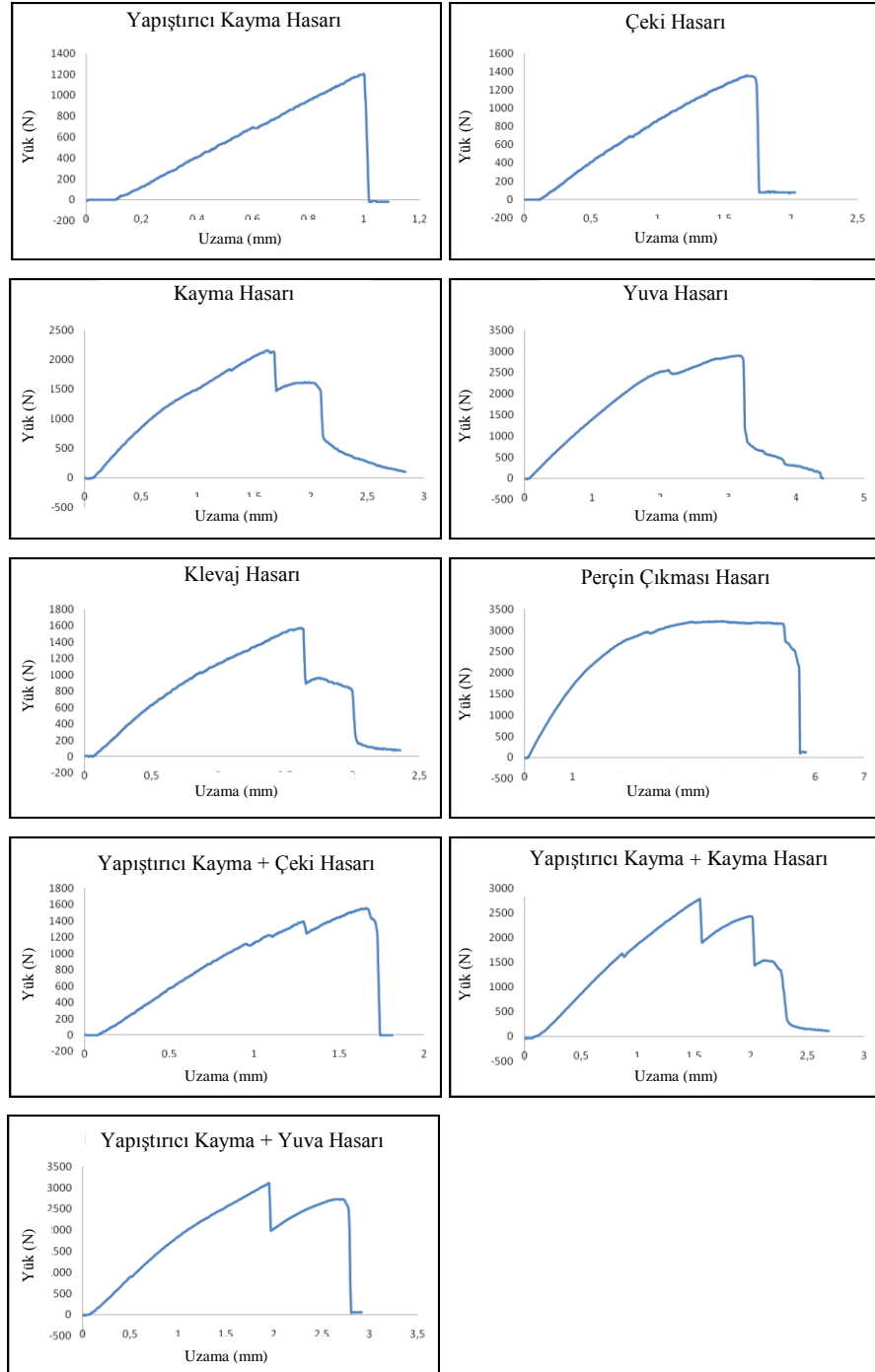
K = Kayma yırtılması,

KL = Klevaj (ayrılma)

Y = Yuva ezilmesi,

P = Perçin çıkması (kırılma)

Şekil 7.1’ de bu çalışmada görülen hasar tiplerine ait yük/uzama eğrileri genel olarak sınıflandırılmıştır. Aynı hasarların aynı eğrilere sahip olduğu görülmüş ve gruplandırılmıştır.



Şekil 7.1 Hasar tiplerine göre Yük/Uzama eğrilerinin sınıflandırılması.

KAYNAKÇA

- Akkuş, A.. (2005). Bearing strength of carbon epoxy laminates under static and dynamic loading. *Composite Structures*, 67 (2005) 485-489.
<http://www.elsevier.com/locate/compstruct>
- Aran, A. (1990). Elyaf takviyeli karma malzemeler. İstanbul: İ.T.Ü' si Rektörlük Ofset Atölyesi.
- Avila, A.F. ve Bueno, P.O. (2004). Stres analysis on awavy-lap bonded joint for composites. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 24(5) (2004) 407-414 www.elsevier.com/locate/ijadhadh
- Ay, İ. ve Demircioğlu K. Makine mühendisliğine giriş ders notları. Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi
- Banea, M.D. ve Da Silva, L.F.M., (2008). Adhesively bonded joints in composite materials: an overview. *Proc. IMechE Vol. 223 Part I: J. Materials: Design and Applications* (2008) 1-18. <http://journals.pepublishing.com>
- Chan, W.S. ve Vedhagiri, S. (2001). Analysis of composites bolted-bonded joints used in repairing. *Journal of Composite Materials* 35 (12) (2001) 1045-1061.
<http://jcm.sagepub.com>
- Demirkesen, E. (1991). Kompozit malzemeler. İstanbul: İ.T.Ü' si Rektörlük Ofset Atölyesi.
- Ekici, E. ve Işık, B. (2009). Cam elyaf takviyeli polimer kompozit malzemenin delinmesi esnasında oluşan yüzey hasarının deneysel olarak incelenmesi. 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu* <http://iats09.karabuk.edu.tr>

- Hart-Smith, L.J. (1982). Design methodology for bonded-bolted composite joints. *Technical Report AFWAL-TR-81-3154*, Douglas Aircraft Company. <http://www.stormingmedia.us>
- Kinloch, A.J., (1987). Adhesion and adhesives science and technology. *Chapman&Hall, ISBN 0-412-27440-X, p.441, London*
- Li, Q.M., Mines, R.A.W. ve Birch R.S., (2000). Static and dynamic behaviour of composite riveted joints in tension. *International Journal of Mechanical Sciences* 43 (2001) 1591-1610. www.elsevier.com/locate/ijmecsci
- Li, R., Kelly, D., Berg, B.L., ve Crosky, A., (2002). Strength improvement by fibre steering around a pin loaded hole. *Composite Structures* 57 (2004) 377-383. <http://www.sciencedirect.com/science/journal/02638223>
- Loctite Worldwide Design Handbook (1998)
- Maofeng, F. ve Mallick, P.K. (2001). Fatigue of hybrid (adhesive/bolted) joints in SRIM. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 21 (2001) 145-159 www.elsevier.com/locate/ijadhadh
- Mazumdar, S.K. ve Mallick, P.K., (1998). Static and fatigue behaviour of adhesive joints in SMC-SMC composites. *Polimer Composites*, 19(2) (1998) 139-146. <http://cat.inist.fr>
- McCarthy, M.A., Lawlor, V.P., Stanley, W.F. ve McCarthy, C.T. (2002). Bolt-hole clearance effects and strength criteria in single-blot, single-lap, composite bolted joints. *Composite Science and Technology* 62 (2002) 1415-1432. <http://www.elsiver.com/locate/compscitech>

- Okutan, B. (2002). The effects of geometric parameters on the failure strength for pin-loaded multi-directional fiber-glass reinforced epoxy laminate. *Composite Part B: Engineering*, 33 (2004) 567-578.
<http://www.sciencedirect.com/science/journal/13598368>
- Pfeiffer, P. ve Shakal, M. (1998). Effect of bonded metal substrate area and its thickness on the strength and durability of adhesively bonded joints. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 12(3) (1998) 407-414
<http://www.ingentaconnect.com>
- Solmaz, M.Y. ve Turgut, A. (2009). Yapıştırıcı ile birleştirilmiş basit bindirme bağlantılarında serbest uç açısı ve bindirme mesafesinin bağlantı mukavemeti üzerine etkisinin deneysel olarak araştırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(2) (2009) 24-26. <http://web.firat.edu.tr>
- Song, M.H., Kweon, J. H., Kim, S.K., Kim, C., Lee, T. J., Choi, S.M. ve Seong, M.S. (2008). An experimental study on the failure of carbon/epoxy single lap riveted joints after thermal exposure. *Composite Structures* 86 (2008) 125-134.
www.elsevier.com/locate/compstruct
- Şahin, Y. (2000). Kompozit malzemelere giriş. Ankara: Gazi Kitapevi Ticaret Limited Şirketi.
- Taib, A., Boukhili, R., Achiou, S. ve Bouheili, H. (2005). Bonded joints with composite adherends; part 2 finite element analysis of joggle lap joints. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 26 (2006) 237-248.
www.elsevier.com/locate/ijadhadh
- Taib, A., Boukhili, R., Achiou, S., Gordon, S. ve Bouheili, H. (2005). Bonded joints with composite adherends; part 1 effect of specimen configuration, adhesive thickness, spew fillet and adhesive stiffness on fracture. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 26 (2006) 226-236. www.elsevier.com/locate/ijadhadh

Temiz, Ş., Aydın, M.D., Alar, G., ve Özel, A. (2005). Nemli ortamlara maruz yapıştırıcıların dayanımı. *TMMOB Makine Müh. Odası IX. Otomotiv ve yan sanayi sempozyumu*, 27-28 Mayıs <http://www.atauni.edu.tr>

Turgut, A. ve Sancaktar, E. (1991). The effects of cure and loading conditions on fiber matrix adhesion. *The Adhesion Society*, 41 (1991) 24-26
<http://www.ingentaconnect.com>

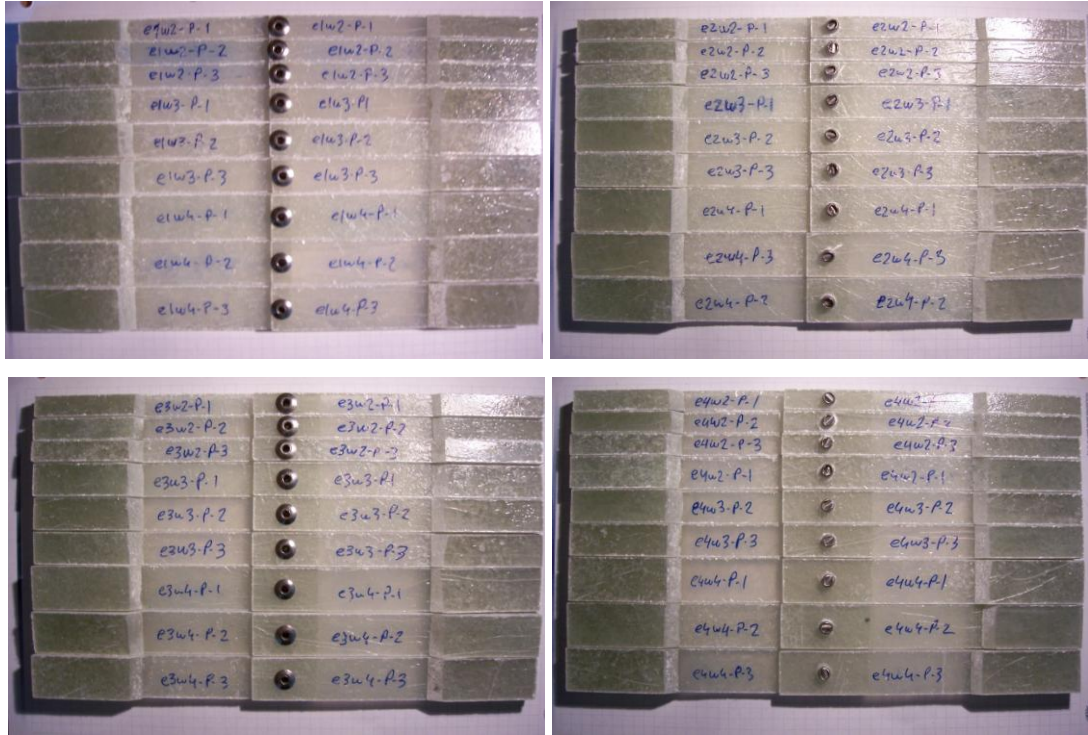
Ünal, Osman. (2004). Yapı malzemesi ders notları.

Withworth, H.A., Othieno, M. ve Barton, O. (2003). Failure analysis of composite pin loaded joints. *Composite Structures* 59 (2003) 261-266.
<http://www.elsevier.com/locate/compstruct>

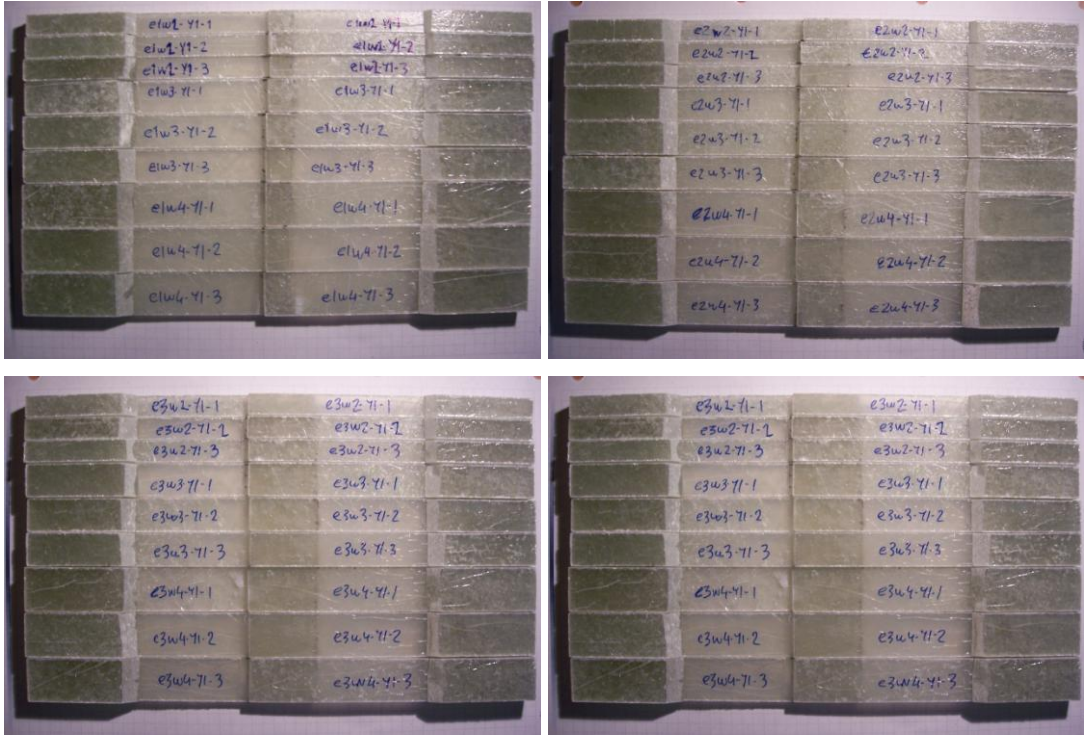
EKLER

1. Numuneler

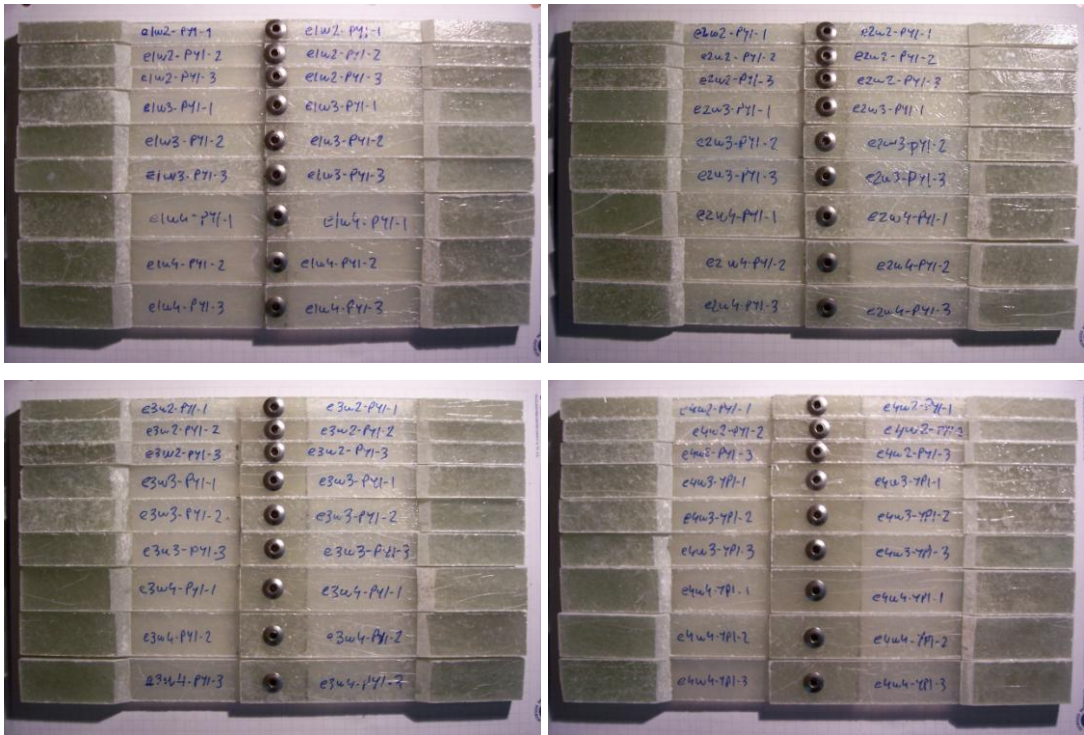
Aşağıdaki şekillerde deneylerde kullanılan numuneler gösterilmiştir. Şekil 1.1' de sadece perçinli birleştirmeler (P), Şekil 1.2' de sadece yapıştırırmalı birleştirmeler (Y1), Şekil 1.3' de perçinli yapıştırırmalı birleştirmeler (PY1), Şekil 1.4' de perçinli yapıştırırmalı birleştirmeler (PY2), Şekil 1.5' de yapıştırırmalı birleştirmeler (Y2) bulunmaktadır.



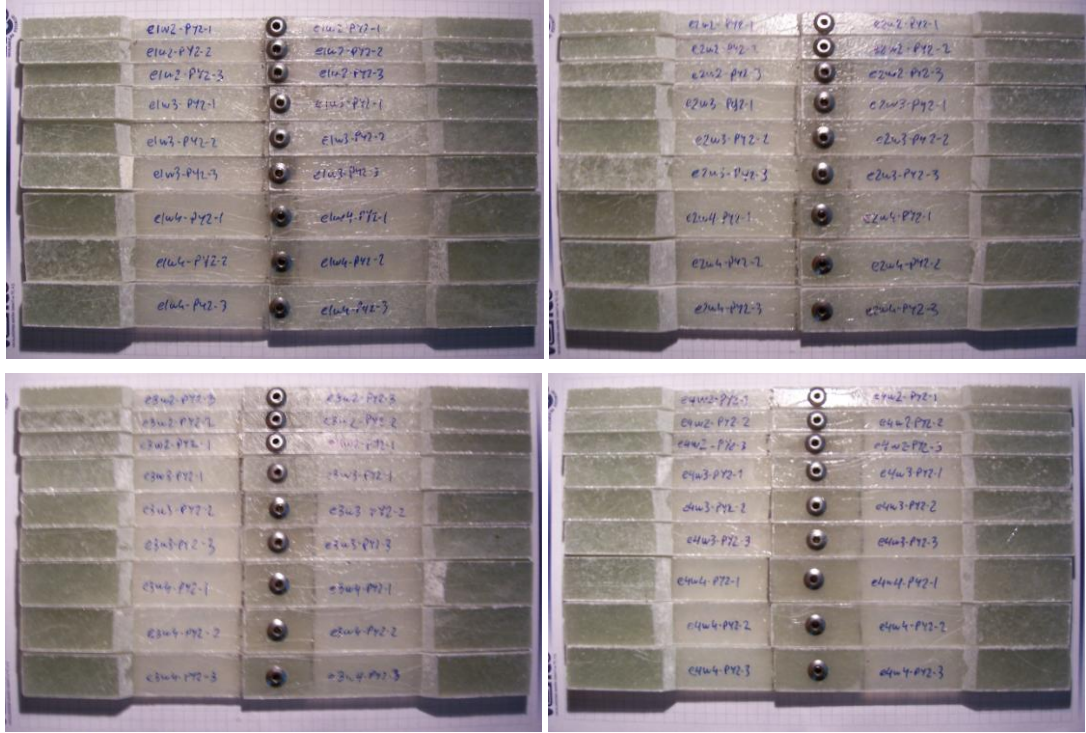
Şekil 1.1 Perçinli birleştirmeli numuneler (P)



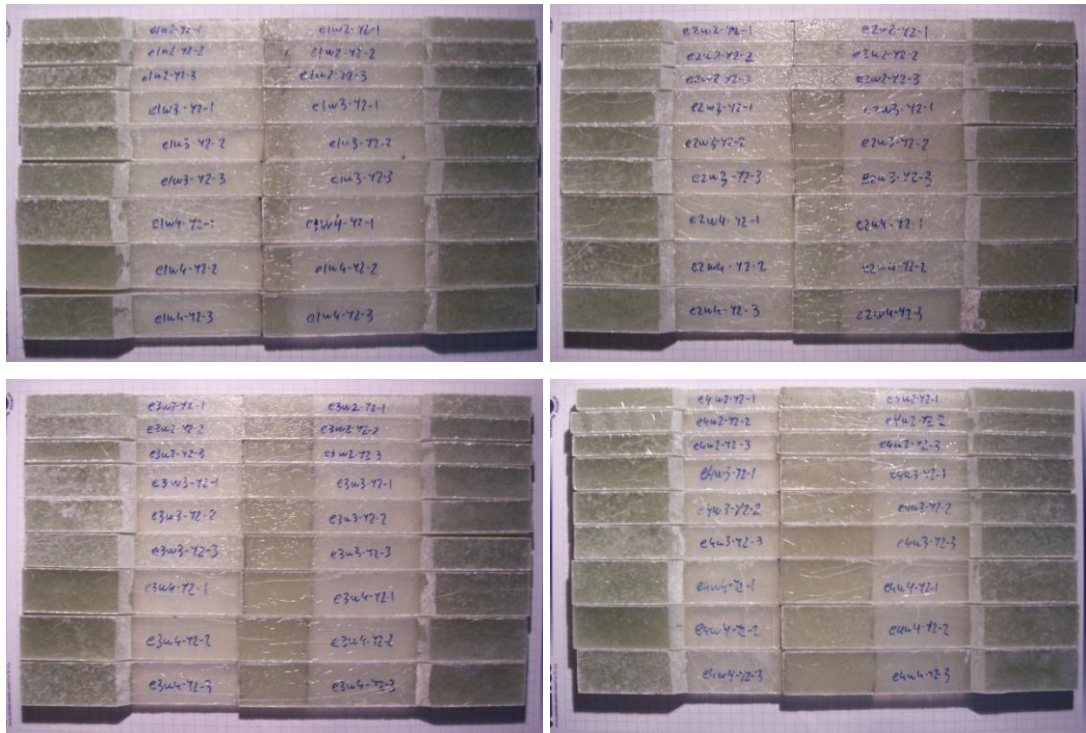
Şekil 1.2 Yapıştırırmalı birleştirmeli numuneler (Y1)



Şekil 1.3 Perçinli yapıştırırmalı birleştirmeli numuneler (PY1)



Şekil 1.4 Perçinli yapıştırırmalı birleştirmeli numuneler (PY2)



Şekil 1.5 Yapıştırırmalı birleştirmeli numuneler (Y2)