

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ONARILMIŞ KOMPOZİT PLAKLARIN DARBE
DAVRANIŞLARI

Yalın AKGÜN

Haziran, 2010

İZMİR

ONARILMIŞ KOMPOZİT PLAKLARIN DARBE DAVRANIŞLARI

**Dokuz Eylöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Bölümü, Mekanik Anabilim Dalı**

Yalın AKGÜN

Haziran, 2010

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

YALIN AKGÜN, tarafından **DOÇ. DR. CESİM ATAŞ** yönetiminde hazırlanan “**ONARILMIŞ KOMPOZİT PLAKLARIN DARBE DAVRANIŞLARI**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Cesim ATAŞ

Danışman

Jüri Üyesi

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŐEKKÖR

Hazırlamıő olduğum Yüksek Lisans tezimde bana rehberlik eden, desteğini ve anlayıőını esirgemeyen değerli danıőmanım Doç. Dr. Cesim ATAŞ'a teőekkÖr bir borç bilirim.

Bu çalışmada yardımını eksik etmeyen ve tecrÖbelerini paylaőan Yard. Doç. Dr. BÖlent Murat İTEN'e ve Yard. Doç. Dr. Mehmet SARIKANAT'a ayrıca teőekkÖr ederim.

Bu alıőma TÖBİTAK'ın 107M406 numaralı projesi kapsamında yapılmıştır. TÖBİTAK'a sağladığı finansal destekten dolayı teőekkÖr ederim.

Son olarak, aileme ve çalışma arkadaőım Olgay DAĞDELEN'e gÖsterdikleri anlayıő ve manevi destekleri için çok teőekkÖr ederim.

Yalın AKGÖN

ONARILMIŞ KOMPOZİT PLAKLARIN DARBE DAVRANIŞLARI

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, onarılmış cam/epoksi kompozit plakların darbe davranışlarının deneysel yolla incelenmesidir. Deney esnasında kullanılan numuneler, vakum destekli reçine infüzyon sistemi kullanılarak Dokuz Eylül Üniversitesi Kompozit Araştırma Laboratuvarı'nda üretilmiştir. Numunelerin üretiminde, farklı oryantasyon açılarına sahip cam-fiber kumaşlar kullanılmıştır. Deney için CEAST marka Fractovis Plus serbest düşme prensipli darbe cihazı kullanılmıştır.

Bu çalışmada, çeşitli parametrelerin onarılmış kompozit plakların darbe davranışına etkileri incelenmiştir. İlk olarak, onarım yönteminin (el yatırması, vakum destekli reçine infüzyonu), daha sonra yama derinliği, son olarak da test sıcaklığının(-50°C, 20°C, 90°C) etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar çeşitli grafikler halinde bir arada deĐerlendirilmiŐ ve hasarlı numuneler ile apraŐ karşılaŐtırmalar yapılarak tartışılmıştır. Sözü edilen parametrelerin hasar mekanizmalarına katkısı deĐerlendirilmiŐtir ve onarılmış numuneler ile hasarsız numunelerin darbeli yüklere karşı cevapları ve hasar mekanizmaları da karşılaştırılmıştır. Elde edilen çarpıcı çarpıcı sonuçlara makalenin son kısmında yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler : onarım, kompozit plaklar, el yatırma, infüzyon, darbe, hasar

IMPACT BEHAVIOR OF REPAIRED COMPOSITE PLATES

ABSTRACT

The aim of this study was to examine the impact behavior of the repaired glass/epoxy composite laminates experimentally. The specimens used in experiments were manufactured by vacuum assisted resin infusion molding method in Composite Research Laboratory at Dokuz Eylül University. Glass-fiber fabrics with different orientation angles were used in fabrication of the specimens. CEAST marked Factovis Plus impact test machine with drop test module was used in the experiments.

In this study, the effects of several parameters such as the repair method (hand lay-up, vacuum assisted resin infusion molding), the depth of repair and the testing temperature(-50°C, 20°C, 90°C) on the impact behaviour of repaired composite plates as examined. The result obtained are discussed via diverse graphics and cross-examining of damaged samples after impacts. The contribution of the parameters mentioned on the damage mechanisms are examined. A comparison between impact responses of repaired and intact samples is also done. As summary of the attractive results is provided at the end of the article.

Keywords : repair, composite laminates, hand lay up, infusion, impact, damage

İÇİNDEKİLER

	sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
BÖLÜM BİR-GİRİŞ	1
BÖLÜM İKİ-KOMPOZİT YAPILARDA ONARIM.....	10
2.1 Hasar Tipleri	12
2.1.1 Yüzey Hasarı	12
2.1.2 Tabaka Hasarı	13
2.1.3 Bağlantı Delaminasyonu	13
2.2 Onarımın Amaçları ve Onarıma Genel Bir Bakış	14
2.2.1 Yapısal Tespit	15
2.2.2 Onarım Tasarımı	16
2.2.3 Onarım Malzemesi Seçimi	17
2.2.4 Onarım Analizi	19
2.2.5 Onarım Yapılışı	19
2.3 Onarım Metotları	20
2.3.1 Koruyucu Bant Metodu	20
2.3.2 Reçine İle Tıkama Metodu	21
2.3.3 Doldurma Onarımı Metodu	21
2.3.4 Cıvatalanmış Çiftler ile Onarım ve Yama Onarımı Karşılaştırılması	21
2.3.5 Oda Sıcaklığında El Yatırması Metodu	23
2.3.6 Yüksek Sıcaklıklarda El Yatırması Metodu	24

2.3.7 Pre-Preg Onarımı	24
2.3.8 Dolgu Ve Basamaklı Yama Onarımı	25
BÖLÜM ÜÇ-ÜRETİM	29
3.1 El Yatırma Yöntemi	29
3.2 Vakum Destekli Reçine İnfüzyon Metodu (VARIM).....	31
3.2.1 Vakum destekli reçine infüzyonu ile onarılmış numune üretimi.....	33
3.3 VARIM Kompozit Üretim Tezgahı	45
BÖLÜM DÖRT- KOMPOZİT PLAKLARDA DARBE	50
4.1 Darbe Deneyi.....	50
4.2 Kompozit malzemelerde darbe hasar modları.....	53
4.2.1 Matris modu.....	53
4.2.2 Delaminasyon modu	53
4.2.3 Fiber modu.....	53
4.2.4 Nüfuziyet ve delinme.....	54
4.3 Darbe grafikleri	55
4.3.1 Kuvvet-deplasman grafiği	55
4.3.2 Absorbe edilen enerji-zaman grafiği	56
4.3.3 Hız-deplasman grafiği	57
4.3.4 Eş enerji grafiği.....	58
4.4 Darbe uygulanışı ve parametreleri	60
BÖLÜM BEŞ - ONARILMIŞ KOMPOZİT PLAKLARIN DARBE DAVRANIŞI	65
5.1 Farklı yama üretim tekniklerinin karşılaştırılması	65
5.2 Yama derinliğinin tekrarlı darbe davranışının incelenmesi	81
5.2.1 Malzeme Özellikleri	81
5.2.2 Deneyler ve Sonuçları.....	82

5.3 Test sıcaklığının darbeye etkisi.....86

BÖLÜM ALTI-SONUÇLAR 97

KAYNAKLAR..... 99

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Günümüzde teknolojik yenilik ve gelişmeler çok hızlı bir şekilde ilerlemektedir. Bu hızlı ve çeşitli doğrultulardaki ilerlemeler sonucunda, farklı özelliklere sahip malzemelere duyulan gereksinim de artmıştır. Kompozit malzeme üretimi ve kullanımı ile ilgili teknolojiler, bu artan gereksinimi karşılamak amacıyla üzerine çokça çalışma yapılmaktadır.

Çeşitli sektörlerde fiber takviyeli tabakalı kompozitler özellikle uzay ve yat endüstrisi olmak üzere pek çok alanda, yüksek mukavemet/rijitlik oranından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca boyutsal kararlılık, ısı ve kimyasal direnç ve nispeten kolay üretim gibi istenilen fiziksel ve kimyasal özellikler kompozitleri güçlü kılan etkenlerdir.

Bilindiği üzere kompozitler de diğer malzemeler gibi kullanıldıkları yerlerde hasara uğrayabilirler. Ancak kompozitler onarılarak tekrar kullanılabilirler. Burada onarım, çeşitli nedenlerden dolayı hasara uğramış malzemenin tekrar kullanılabilir hale getirilmesine denir. İdeal bir onarımın amacı, hasar görmüş malzemenin mekanik özelliklerinin hasarsız malzeme özelliklerine yaklaştırılmasıdır. Kompozit malzemelerin kullanımının artması ile zarar görmüş kompozitlerin onarımı konusu son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Bu konudaki analitik ve deneysel çalışmaların sonucu olarak, farklı hasar tipleri için farklı onarım metodlarının pek çok avantajı ve dezavantajı belirlenmiştir. Kompozit malzemelerin onarımı ile ilgili birçok devam eden ve tamamlanan araştırmalar vardır. Burada bazı araştırmacıların çalışmalarından bahsetmek yararlı olacaktır.

Ahn ve Springer (1998) hasara uğramış fiber takviyeli tabakalı kompozitlerin onarımında kullanılan tekniklerin verimliliğini tespit etmek için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Dolgu (scarf), düzgün dıştan yama (uniform lap) veya basamaklı dış yama (stepped lap) teknikleriyle yapılan onarımların kalitesi ve verimliliğini belirlemek için çekme testleri yapmışlardır. Çalışmalarında şu parametreleri göz önüne aldılar: onarımı yapılacak hasarlı plakaların malzeme tipi, onarım malzemesi

tipi, dolgu açısı ve dolgu onarımda kullanılan dış tabaka sayısı, onarım öncesi ve sonrası malzemedeki nem oranı, test sıcaklığı, onarıma hazırlanan yüzeyin işlenmesinde kullanılan takımlar ve onarım bölgesinin yamanması esnasında uygulanan işlem sıcaklığı. Diğer taraftan aynı yazarlar dolgu ve düzgün dış yama teknikleri ile onarılan kompozit plakların hasar yüklerinin hesaplanmasına yönelik matematiksel modeller geliştirmişlerdir. Geliştirilen formüllerden elde edilen hasar yükleri ile deneysel verilerin birbirleri ile çok uyumlu olduğu gözlemlendi. Keller (2004) Boeing firması adına kompozit yapıların bakım ve onarımı esnasında karşılaşılan sorunlar ve bu sorunların çözüm yöntemleri üzerine geniş perspektifli bir çalışma yaptı. Marioli-Riga ve arkadaşları (2004) özel bir problemi (hava araçlarının hasara uğramış parçalarının onarımı ile ilgili olarak) çözerken “hangi onarım ve analiz tekniğinin en uygun olacağı” konusundaki karmaşıklığı gidermek için spesifik ve standardize edilmiş bir metodoloji sundular. Tzetzis ve Hogg (2006-2008) karbon fiber kompozitlerin vakum destekli infüzyon sistemi ile yapılan onarımlarında yapışma ara yüzey tokluğunun geliştirilmesi üzerine bir çalışma yaptılar. Yapışma tokluğunu tespit etmek için; ana malzeme ile yama malzemesi arasında imalat esnasında teflon filimler kullanılarak başlangıç çatlakları oluşturuldu ve daha sonra tamir bölgesinden ön çatlak içeren DCB numuneler çıkarılarak Mod-I tabakalar arası kırılma tokluğu incelendi. Ana malzeme ile yama malzemesi arasında daha ince liflerden oluşan ara perde (karbon, polyester veya her ikisinin bileşiminden oluşan ince tabakalar) kullanımının yapışma tokluğuna etkisi incelendi. Ayrıca vakum destekli infüzyon sistemi ile onarım yapmanın avantajlarından da çalışmada bahsedilmiştir. Bleay ve diğer araştırmacılar (2001) ise fiberler koptuğunda hasar alanında serbest kalan reçine ve delikli fiberlerden meydana gelen polimer kompozitlerdeki delaminasyonların onarımı için bir teknik geliştirmişlerdir. Pang ve Bond (2005) mekanik dayanımı iyileştiren ve görünmeyen hasarlar için fiber takviyeli kompozitlerde “yayılma” (bleeding) adında özel bir onarım tanımlamışlar ve geliştirmişlerdir. Odi ve Friend yakın zamanda kompozit yapıların yapışma onarımı için sonlu elemanlar modellerinin karşılaştırmalı çalışmasını sundular. Bu çalışmada konuyu çevreleyen, kompozit yapıların onarımı ve onarım şemalarının dizaynı için geliştirilen analitik tekniklere ihtiyaç vurgulanmasından dolayı yeniden inceleme yapmışlardır.

Bair ve arkadaşları (1991) hasara uğramış kompozit plakların analizi için bir sonlu elemanlar yaklaşımı sundular. Biri tabakalı plakların çekme yükleri diğeri sandviç yapıların eğilme yükleri altındaki analizi olmak üzere iki durumu göz önüne aldılar. Hasarsız, hasarlı ve onarılmış plaka durumları için analizler yaparak elde edilen sonuçları gerçek testler ile karşılaştırdılar. Çalışmalarında ayrıca kullanılan değişik modelleme tekniklerinin avantaj ve dezavantajları tartışılmıştır. Chue ve Liu (1995) tabakalı bir kompozit yamadaki tabaka dizilişinin, ortasında çatlak bulunan ve iki eksenli bir yükleme altında bulunan bir plakanın onarımı üzerindeki etkisini araştırdılar. Çalışmada, sonlu elemanlar metodu ve şekil değiştirme enerjisi yoğunluğu teorisi kullanılarak söz konusu yükleme durumu için optimum tabaka dizilişleri tespit edilmiştir. Campilho ve diğer araştırmacılar (2005) ABAQUS programını kullanarak çekme kuvvetlerine maruz tek ve çift taraftan onarılmış kompozit plaklardaki gerilme dağılımı ve dayanımı üzerine bir araştırma yaptılar. Bir onarımın performansını etkileyen en önemli parametrelerin numunenin geometrisi, tabaka dizilişi ve yama kalınlığı olduğunu tespit ettiler. Ayrıca tabaka özelliklerinin, ana malzeme/yapıştırıcı ve yapıştırıcı/yama ara yüzey özelliklerinin etkisini de incelediler. Benzer şekilde bu konu ile ilgili olarak yapılan yayınların listesini genişletmek mümkündür. Ayrıca kompozit malzemelerin onarım ve bakımı ile ilgili temel bilgilere çeşitli kitaplardan ulaşmak da mümkündür. Wilmarth (1982) BREPAIR adında bir analiz programı geliştirdi; program sınır kollokasyon metoduyla cıvata bağlantılı onarım için yapılmıştır fakat BREPAIR çift simetrisi olan konfigürasyonlara uygulanan tek eksenli ve kayma yük durumları ile sınırlı olarak kullanılabilir. Bu programın kullanılması ile yapılan çalışmada; Bohlmann ve arkadaşları (1981) kanat kabuğu tabakalarında cıvatalanmış onarım alanı üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada elde edilen deneysel verilerle BREPAIR programını doğrulamışlardır. Her ve Shie (1998) klasik sonlu elemanlar yaklaşımını kullanarak cıvatalı onarılmış kompozitlerin analizini yaptılar. Widagdo ve Aliabadi (2001) mekanik olarak bağlanmış kompozit onarım yamalarının, analizini iki boyutlu sınır elemanları için yapmışlar ve çatlaklı panellerin onarımının modellenmesi için bir sınır eleman formülü geliştirmişlerdir. Bu onarılmış panellerde E2/E1 “rijitlik oranının”, “rijitlik yoğunluğu katsayısı” değerine etkisini göstermişlerdir. Zhang (2001) cıvatalı kompozit bağlantılar ve onarımlarının yapısal bütünlüğünü

doğrulan bir sınır eleman metodu bulmuştur ve bu metodun maksimum hasar yükleri ve kuvvet dağılımı üzerinde çok iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Soutis ve çalışma arkadaşları (1999) yama yapılarak onarılmış karbon fiber/epoxy kompozit plakların bası yükleri altındaki davranışları üzerine bir çalışma yaptılar. Çalışmalarında, bası yükü altında kritik hasar mekanizmalarının 0° yönündeki mikro-burkulmalar, matris kırıkları ve tabakalar arası ayrılma olduğunu ve bu hasarların temelde yapışma ara yüzeylerinde tetiklendiklerini gösterdiler. Hu ve Soutis (2000) eksensel bası yüklerine maruz dıştan yama edilmiş karbon fiber takviyeli kompozit plakların dayanımını incelemişlerdir. Koh ve diğer araştırmacılar (1999) yüzey montajlı PZT sensor/aktüatör elemanlarında yapışma ile üretilmiş kompozit yapıların hasar değerlendirmeleri üzerinde çalışmışlardır. Kessler ve White (2001) örgülü cam/epoksi kompozitlerde delaminasyon hasarının iyileştirilmesi üzerinde çalışmalar yapmışlardır.

Gama ve arkadaşları (2003) dolgu tekniği ile onarılmış kalın kesitli kompozit plakların statik ve dinamik eksensel yükler altındaki dayanımını incelediler. Dinamik yükleme durumu için eksensel hasar gerilmesinin dolgu (the scarf) açısına ve yükleme hızına (the rate of loading) bağlı olduğu gösterilmiştir. Değişik malzemeler, dolgu açıları ve yükleme koşulları için kırılma/akma gerilme değerleri rapor edilmiştir. Charalambides ve arkadaşları (1998) karbon fiber/epoksi ile onarılmış bağlantıların statik ve dinamik (yorulma yükleri) altındaki performansını hem deneysel olarak hem de sonlu elemanlar yöntemi ile incelediler. Deneysel çalışmada kullandıkları test numunelerini 16 ay süre ile 50° C deki damıtılmış su içinde tutulan plaklardan (onarılmış) elde ettiler. Böylece ıslak ve sıcak ortam şartlarının statik ve yorulma dayanımı üzerindeki etkisini araştırdılar. Belhouari ve arkadaşları (2004) simetrik kompozit yapılarda tek taraflı veya çift taraflı yama ile yapılan onarımların kırılma mekaniği açısından nümerik bir analizini yaptılar ve çalışma sonucunda, çatlak ucundaki gerilme yığılma faktörünün çift taraflı yamada (tek taraflı yamaya oranla) ne kadar azaldığını incelediler. Leiborich ve çalışma arkadaşları (1990) onarılmış parçalarda kompozit yamaların yorulma çatlakları ilerlemesine etkisini incelemişlerdir. Naboulsi ve Mall (1998) çatlak barındıran alüminyum panellerin hasarlı bölgelerine

kompozit yama yaparak bu yamanın etkisini nonlinear analizlerle ortaya koymaya çalışmışlardır.

Belingardi ve arkadaşları (2006) cam lifi-karbon fiber takviyeli epoksi reçineden oluşmuş hibrit kompozit plakların eğilmeli yorulma davranışlarını incelemişlerdir. Yer değiştirme kontrollü yorulma deneyleri standart numuneler ile yapılmış ve kompozitteki hasar gözlemlenmiştir. Numuneler malzemenin en yüksek eğilme mukavemetinin %85'ine kadar farklı yorulma yüklemelerine maruz bırakılmışlardır. Aymerich ve arkadaşları (2003) kenarları dikilmiş grafit takviyeli kompozit levhaların statik çekme ve yorulma özelliklerini incelemişlerdir. Kevlar ile dikmenin levha kenar delaminasyonuna etkisi araştırılmıştır. $[-45/0/90]$ ve $[-30/90]$ açılarna sahip simetrik levhalarda maksimum çekme mukavemeti ve çekmede yorulma ömrü belirlenmiştir. Tabakalı levhaların statik delaminasyon direnci, kalınlık boyunca dikilmiş levhalarda daha iyi çıkmıştır. Fakat kalınlık boyunca dikmek $[-30/90]_s$ fiber oryantasyonuna sahip levhada maksimum çekme mukavemetini ve yorulma ömrünü arttırırken $[-45/0/90]_s$ fiber oryantasyonuna sahip levhada maksimum çekme mukavemetini ve yorulma ömrünü azaltmıştır. Jain ve arkadaşları (1998) kompozit levhalarda kalınlık boyunca kompoziti dikerek takviye etmenin yorulma ömrüne etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada, $[0/45/90]_s$ fiber açılarna sahip tabakalar kalınlık boyunca kevlar iplikler ile zikzak formunda dikilmiş ve reçine enjeksiyon tekniği kullanılarak şekillendirilmişlerdir. Deney sonuçları, çatlağın dikilmemiş levhalarda levha kenarında başladığını göstermiştir. Ayrıca sonuçlar, dikilmiş levhaların yorulma ömürlerinin dikilmemiş levhaların yorulma ömründen daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bennati ve Valvo (2006) bası yüklemesi şeklindeki yorulmada kompozit plakalardaki tabakalar arası ayrılmanın ilerlemesini incelemişlerdir. Plak-ara yüzey düzleminin normaline ve teğetine etkiyen doğrusal elastik yaylar ile elastik ara yüzey yapıştırılmış iki alt plakadan oluşacak şekilde modellenmiştir. Mod I ve Mod II için potansiyel enerji boşalma oranı ve Mod I-Mod II açısı tespit edilmiştir. Shivakumar ve arkadaşları (2006) tabakalar arası ayrılma hasarı bulunan kompozit yapıların kırılması ve yorulması üzerine çalışmışlardır. Çalışmada kullanılan yöntem, Mod I yüklemesinde örgü tipi cam lifi/vinilester kompozitlere uygulanmıştır. Enerji boşalma direncinin, delaminasyon büyümesinin

bir fonksiyonu olarak tespit edilmesi için Amerikan test merkezince standardize edilmiş Mod I yüklemesi kullanılarak kırılma deneyleri yapılmıştır. Meziere ve arkadaşları (2005) tek yönde karbon fiberlerle takviye edilmiş epoksi reçine ile emdirilmiş kompozitlerin yorulma özelliklerini incelemişlerdir. Mengenerlerdeki gerilme yığılmalarının meydana gelmemesi için özel test aparatları ve yöntemleri geliştirilmiştir. Ferreira ve arkadaşları (2006) epoksi ve polyester reçineler ile emdirilmiş cam lifi takviyeli kompozitlerin yorulma özellikleri üzerine çalışmışlar ve elde ettikleri sonuçları literatürdeki cam lifi takviyeli kompozitlerin sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Bu kompozitlerin ısı ve elektrik iletimi gibi özelliklerini belirlemişlerdir. Elektron mikroskobu kullanılarak hasar mekanizmaları incelenmiş ve kompozitlerin yorulma davranışları üzerine fiber hacim oranının etkileri belirlenmiştir.

Hosur ve arkadaşları (2003) balistik darbeye maruz kalmış kalın kesitli ve örgülü S2-cam elyaf /viniliester kompozitlerin onarım stratejileri üzerine bir çalışmanın sonuçlarını sundular. Çalışmaları birkaç basamaktan oluşmaktadır: balistik darbe sonucu oluşan hasar alanının tespiti, hasarlı kısmın yapıdan çıkarılması, onarım yüzeyinin hazırlanması ve reçine infüzyonu ile yama yapılması. Daha sonra onarım kalitesi ve verimliliğini tespit etmek için onarılan kısımlar üzerinde çeşitli tahribatsız muayeneler ve onarım sonrası bir takım deneyler (darbe ve eğilme deneyleri) yaptılar. Cam, karbon ve aramid/epoksi kompozitler farklı enerjilerde uygulanan tekrarlı darbe yükleri altında incelenmiştir. Belingardi ve arkadaşları (2008) vakum infüzyon ve el yatırma yöntemleriyle üretilen yoğun cam takviyeli tabakalarda tekrarlı darbe testlerini uygulamışlardır. Bu çalışmada hasar ilerleme devresinde darbe etkisini, en yüksek kuvvet ve rijitlik kaybının darbe sayısının bir fonksiyonu olarak gelişiminin ve hasar içeriğinin hesaplanmasından değerlendirdiler. Tek yönlü karbon fiber takviyeli polieterimid (PEI) kompozitlerin düşük hız tekrarlı darbeleri, darbe-yorulma özelliklerini incelemek için 0.54-0.94 J enerji seviyesi değişiminde sarkaç tipi araçla bir darbe test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tekrarlı darbe yüklemelerine maruz kalan kompozit malzemelerin ömür süresini tarif etmek için analitik bir model ayrıca sunulmuştur. Morais ve arkadaşları (2005) tabaka kalınlığının takviyeli kompozitlerin tekrarlı düşük enerji darbelerine direncinin

etkisini araştırmıştır. Sonuçlar, kesin bir enerji kademesinin aşağısında tabakanın kesit alanı darbe direncini belirten en alakalı değişken olduğunu gösterdi. Bu çalışmada darbe enerjisinin arttığı sırada fiber karakteristikleri bağlantılı hale geldiği sonucuna varılmıştır. Sugun ve arkadaşları (2004) cam/epoksi, karbon/epoksi ve aramid/epoksi kompozitlere farklı enerjilerde tekrarlı darbe testleri yaparak bunları karşılaştırmışlardır. Düşme tekrarlarının artışı ile, en yüksek yükün düştüğü sırada toplam enerjinin hasara kadar arttığı bulunmuştur. Bu çalışmada darbe enerjisi ve darbe sayısı arasında matematiksel bir ilişki öngörölmüştür. Mitrovic ve arkadaşları (1999) grafit/epoksi malzemedden yapılmış tabakalı kompozit plakta darbenin neden olduğu tabakalar arası ayrılma hasarının yayılmasına, yükleme etkisinin nasıl olabileceğini araştırmışlardır. Yükleme sabit genlikli yükleme ve spektrum yükleme olarak seçilmiş ve sonuçta darbe hasar tipine uygulanan yük etkisinin olduğunu belirlemişlerdir. Darbe sonrası bası mukavemetine maruz bırakılan kompozitte sabit genlikli yükleme durumundaki yorulma limitinin %60, spektrum yükleme durumundaki yorulma limitinin ise %65 olduğunu ifade etmişlerdir. Azouaoui ve arkadaşları (2001) cam lifi/epoksi malzemedden yapılmış tabakalı kompozit plakların darbe-yorulma hasarını düşük darbe hızlarında ve farklı enerjilerde incelemişlerdir. Mankowsky'nin hasar teorisini modifiye ederek kendi modellerine uygulamışlardır. Darbeye uğramış numunelerin hasar mekanizmaları taramalı elektron mikroskobu kullanılarak belirlenmiştir. Margueres ve arkadaşları (2000) enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilmiş cam lifi takviyeli polyester esaslı tabakalı kompozitlerde çekme, burulma, darbeli yorulma ve darbe sonrası yorulma testleri yaparak tabakalı kompozitlerin bu durumlardaki mekanik özelliklerini belirlemişlerdir. Freeman ve arkadaşları (2005) sandviç yapılı kompozitlerin darbe sonrası mekanik ve yorulma özelliklerini incelemişlerdir. Kompozit levha iki/dört tabakadan oluşan karbon fiber takviyeli dış yüzey ve köpükten oluşan iç yüzeyden meydana gelmiştir. Ağırlıklı düşme testleri vurucunun farklı kütle ve hızlarında olmak üzere farklı enerjilerde yapılmıştır. Darbe öncesi ve sonrası yorulma ömürlerini belirlemek için yorulma testleri yapılmıştır. Ayrıca darbe sonrası oluşan tabakalar arası ayrılma alanını belirlemek için ultrasonik teknikler kullanılmıştır. Roya ve arkadaşları (2001) sarkaç tipi vurucu kullanarak tekrarlı ve tekil yüklemelere maruz cam lifi takviyeli vinilester esaslı kompozitlerin darbe

dirençlerini belirlemişlerdir. Kompozitlerin darbeli yorulma davranışlarının belirli bir eşik mukavemeti altında olması gerektiğini S-N(yorulma-ömür) diyagramlarını çizmek suretiyle belirlemişlerdir. Melin ve arkadaşları (2002) sabit genlikte çeki-bası testleri yaparak karbon/epoksi kompozitlerin yorulma davranışlarını belirlemişlerdir. Burkulma biçimi ve burkulma yükü büyüklüğünün yorulma ömrüne etkisini incelemek için deneyler yapılmış ve bası yüklemeleri şeklindeki yorulmanın çeki yüklemeleri şeklindeki yorulmaya nazaran daha kritik olduğunu ifade etmişlerdir. Attia ve arkadaşları (2003) yorulma yüklerine maruz kompozitlerde darbe sonucu oluşan hasar yayılımını önceden belirlemek için yeni bir yöntem ileri sürmüşler ve sonlu elemanlar metodu kullanarak çözüm yapmışlardır. Numune olara karbon fiber takviyeli polimerik esaslı kompozit levha kullanılmıştır. Mevcut çalışmadan elde edilen teorik sonuçlar ile daha önceden yapılmış olan deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Beheshty ve arkadaşları (1999) malzeme özelliklerinin yorulma ömrüne etkilerini karbon fiber takviyeli ve cam lifi takviyeli plastik tabakalı kompozit kullanarak belirlemişlerdir. Her iki tip kompozit, darbe sonrası yorulma testlerine tabi tutulmuş ve darbe sonrası yorulma ömürlerinin farklılık gösterdiği belirtilmiştir. Tai ve arkadaşları (1999) karbon/epoksi malzemeden yapılmış, $[0/45/90/-45]_{2S}$ oryantasyonuna sahip tabakalı kompozit plakların düşük hızdaki darbe dirençlerini araştırmışlardır. Farklı darbe enerjilerinde plakta meydana gelecek olan artık gerilmeleri belirlemişler ve darbe sonrası yorulma testleri yapmışlardır. Absorbe edilen enerjinin kompozitin mukavemetine ve yorulma davranışına etkileri araştırılmıştır. Darbeye uğramış ve darbeye uğramamış numuneler için S-N eğrileri çizilmiş ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca her iki numune çeşidi için farklı yüklerdeki tabakalar arası ayrılma hasarı C-scan kullanılarak belirlenmiştir. Beheshty ve Harris (1998) düşük hızda darbeye uğramış ve uğramamış $[(\pm 45, 0_2)_2]_S$ oryantasyonuna sahip karbon/epoksi kompozitlerde darbe öncesi ve sonrası mekanik özellikleri belirlemişlerdir. Ayrıca kompozit plakların darbe sonrası çeki ve bası yorulma testleri yapılmıştır. Tai ve arkadaşları (1999) T300/976 karbon/epoksi malzemeden yapılmış ve düşük hızlarda darbeye uğramış tabakalı kompozitlerde levha kalınlığının çekme-bası yorulmasına etkisini incelemişlerdir. Darbeye maruz kalmış ve darbeye maruz kalmamış numunelerin statik çekme mukavemetleri ile çeki-bası yorulma özellikleri belirlenmiştir. Kompozitlerin verilen yük altında ve

devir sayısındaki yorulma ömürlerini analitik olarak önceden belirlemek için median-rank metodu ve Weibull dağılım fonksiyonları kullanılmıştır. Ayrıca, farklı darbe enerjileri ve farklı yorulma yüklerindeki kompozitlerde oluşan hasarlar ultrasonik muayene yöntemi (C-scan) kullanılarak belirlenmiştir.

BÖLÜM İKİ

KOMPOZİT YAPILARDA ONARIM

Onarım, çeşitli nedenlerle hasar görmüş yapıların tekrar kullanılabilmesi için yapılan işlemlerdir.

Fiber takviyeli polimerlerden imal edilmiş yapılarda hasar iki kategoride toplanır. İlkinde hasar, çarpışma veya farklı sıra dışı kuvvetlerden kaynaklanır. İkincisinde ise; hasar, tasarım yetersizlikleri veya üretimden dolayı meydana gelebilir. Bu durumda hasar bölgesi yeniden onararak malzeme orijinal mukavemetine yakın hale getirilmelidir. Yükler ve gerilme dağılımları, uygun tasarım değişiklikleri yapılarak tekrar incelenmelidir. Hasar beklenmedik bir olaydan kaynaklandığında ise ikincil bir yapışma malzemeyi daha güçlü yapacak veya orijinal mukavemet değerlerine getirecek yeni, ek malzeme kullanılmalıdır. Genelde fiber takviyeli polimer yapılara onarım yapmak diğer malzemelerden imal edilmiş yapılara onarım yapmaktan daha kolaydır. Ancak uygun çevresel şartlar ile hazırlama ve çalışma şartları çok önemlidir.

Günümüz hava taşıtları kullanım ömrünün sonuna yaklaştığında, perçin delikleri çevresinde ve diğer yüksek gerilmeye maruz bölgelerde gelişmiş yorulma çatlakları barındırır. Hava taşıtlarının ömrünü uzatmak için bu çatlakları önlemede onarım kullanılır. Yeni onarım metotlarını oluşturan kompozit tabakalar ve yamalar, hasarlı elemanların ömrünü uzatabilir. Onarımı kolaylaştırmak için birçok çelik perçin veya alüminyum plaka yerine tek bir kompozit tabaka hasarlı yapıyla birleştirilerek kullanılabilir. Yapışma ile yapılan onarımın mekanik olarak yapılan bağlantılara göre birçok avantajı vardır:

- Perçin deliği çevresinde yeni bir gerilme yığılması meydana gelmez
- Yamanın; yüksek rijitlik/ağırlık ve dayanım/ağırlık oranları azalmaya karşı direnç gösterir.
- Düzensiz geometrili yapılarda onarım daha kolay yapılabilir.
- Yüksek yorulma ömrü ve korozyon direnci elde edilir.

- Üretimde zaman kazandırır.



Şekil 2.1 Bir savaş uçağının yapısal hasarı (Philip, Larson The Air Force Research Labrotary [AFLR], 2008)

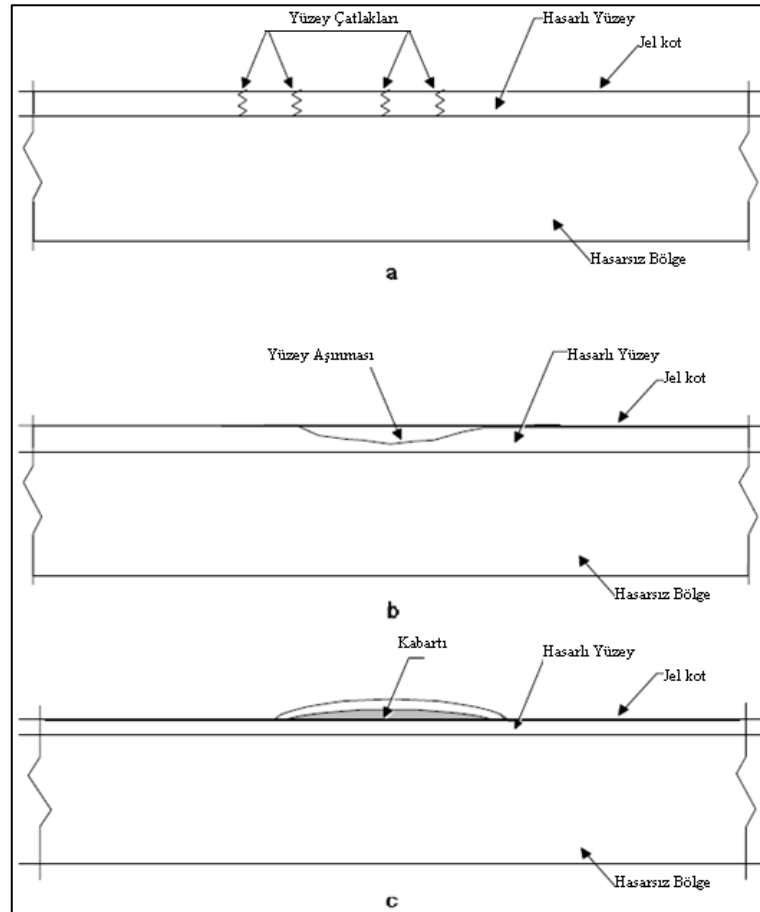
Yapışma ile yapılan onarım ilk olarak askeri havacılık alanında kullanılmıştır. Bu uygulamalara örnek verecek olursak:

- C-141 filosunda delikler çevresindeki çatlaklarda
- F-16'larda çatlamış yakıt menfez deliklerinde
- B-52G/H modellerinde üst kanadın çatlamış ek yerlerinde
- B52'lerin çatlamış yakıt geçiş kapısı çevresinde
- C-5A filusunun ana gövdesinin üst parçasındaki çatlaklarda
- F-111'in alçak kanat kabuğundaki çatlaklarda onarımlar yapılmıştır.

2.1 Hasar Tipleri

2.1.1 Yüzey Hasarı

Çatlamalar, aşınmalar ve kabartılar cam fiber takviyeli kompozitlerin yaygın olan hasarlarıdır. Yüzey hasarları 2mm'den az olan kalınlıklar için sözkonusudur ve hasarsız bölgeye yayılmazlar. Bu hasarların tek başına bir anlamı yoktur fakat göz ardı edilirse fiberler arasında sıvı sızması ile tabaka ayrılmaları görülebilir. Çatlamalar da yüksek gerilmeler ve yüzey altında tabaka hasarları gösterebilirler.

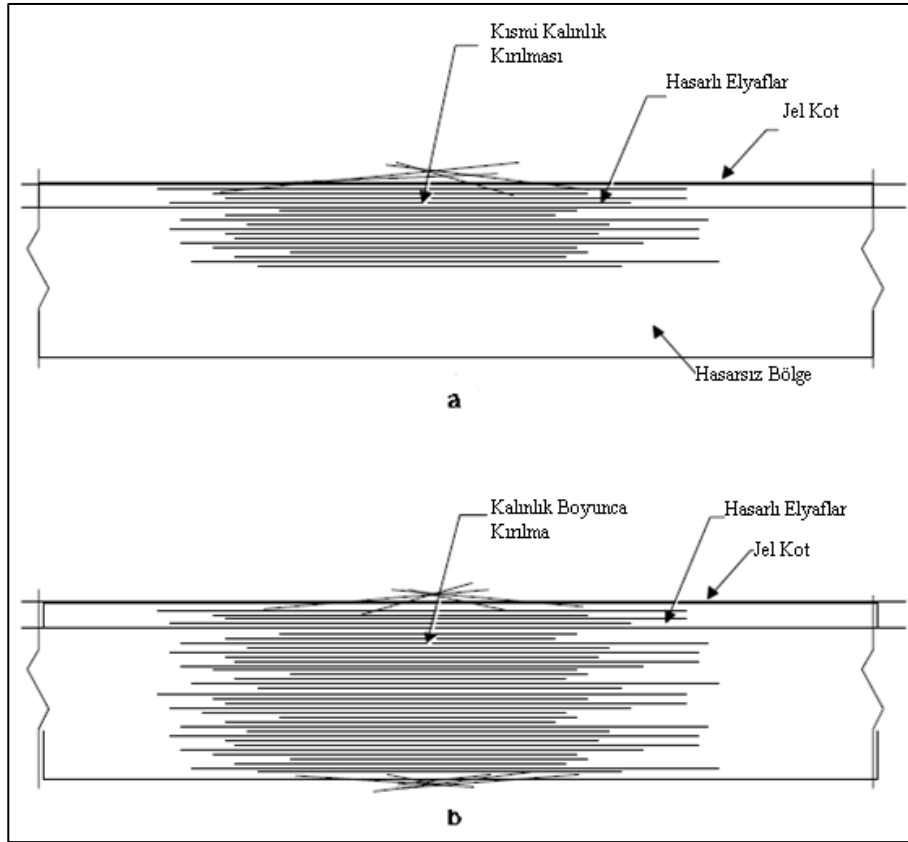


Şekil 2.2 Başlıca hasarlar a)Çatlama, b)Aşınma, c)Kabartı

(Kadala ve Gregory, www.marinecomposites.com.)

2.1.2 Tabaka Hasarı

Sıra dışı yüklemeler çatlaklara, küçük deliklere, ezilmelere ve tabakalar arası kaymalara neden olabilir. Bu hasarlar ilk olarak cam fiber takviyeli kompozitlerin cam fiberlerinde meydana gelir. Tabakalar arası kayma düzlem dışı gerilmelerden dolayı ilk olarak süreksiz bölgelerde başlar. Onarım prosedüründe bu hasar tipi “kalınlık boyunca kısmi hasar” ve “kalınlık boyunca hasar” olarak ikiye ayrılır. (Şekil 2.3)



Şekil 2.3 Hasarlar: Tabaka çatlakları, Kırılmalar, Küçük delinmeler, Delaminasyonlar
a) Kalınlık boyunca kısmi hasar, b) Kalınlık boyunca hasar (www.marinecomposites.com)

2.1.3 Bağlantı Delaminasyonu

Gemi bölmesi veya güverte gibi panel bağlantıları, üst üste konmuş cam fiberler içeren tabakalı bağlantılar ile yapılır. Bu formlar bağlanacak yapısal bileşenleri birleştirir. Ancak birleştirme yapılırken bileşenlerin bütün bölgeleri kür işlemine tabi tutulmalıdır. Çünkü tabakalı bağlantı elemanlarının geometrisi gerilme

konsantrasyonu yaratmaya eğilimlidir ve bu elemanlar delaminasyon ve sıyrılmalara elverişlidirler.

2.2 Onarımın Amaçları ve Onarıma Genel Bir Bakış

Onarım, makul giderlerde çeşitli yapıların hasarlı veya üretim hatası olan bileşenlerinin ömrünün uzatılması için kullanılır. Onarımın başlıca amaçlarını şöyle sıralayabiliriz:

- Yorulma iyileştirilmesi

-Çatlak yamalama

-Korozyon onarımı

Yorulma iyileştirilmesi: Onarımsadec gözle görülen hasarların giderilmesi için gerekli değildir. Görünmeyen küçük çatlakların yorulma nedeniyle büyümesi de çeşitli büyük hasarlar ile sonuçlanabilmektedir. Tekrar tasarlama, pahalı kontroller ve panellerin değiştirilmesi gibi gereklilikler beklenenden daha sık periyotlarda gerçekleşebilir. Yorulma iyileştirilmesi için yapılan onarımlar, yanlış tasarlanmış yapıların gerilme yoğunluğunu azaltmak, yorulma ömrünü uzatmak ve tekrarlanan kontrolleri minimize etmeyi hedeflemektedir.

Çatlak yamalama: Çatlaklı yapının onarımı yapıya dış yama yapılarak gerçekleştirilebilir. Bu da çatlağın ilerlemesini durdurur veya yavaşlatır.

Korozyon onarımı: Korozyon hasarı, hasarlı bölgenin yapıdan kaldırılması işlemi ile giderilir. Kalan girintili parçaya dolgu malzemesi ve yama yapılarak yapının orijinal yük taşıma değerleri yakalanmaya çalışılır.

Onarımda üç temel bilgi önem arz eder:

1)Tüm onarımlar sonradan eklenen bağlantılardır ve bu nedenle dayanımları reçinenin yapışma kabiliyetine bağlıdır.

2)Yüzey alanını arttırmak onarım mukavemetini ve sürekliliğini artırır.

3)Ana tabakanın kalınlığını, yoğunluğunu ve katman oryantasyonunu parçanın işlevselliğini koruyarak arttırmak büyük avantaj sağlar.

Hasarlı kompozit yapının onarımı üç aşamada gerçekleşir. Bunlar; yapısal hasar tespiti, onarım tasarımı ve analizi, onarımın yapılışı ve muayenesidir. Kusurlu yapının tespiti onarım tasarımından önce yapılması gerekir. Kusur tasarım hatasından veya çatlak, korozyon gibi hasarlardan kaynaklanabilir. Tespit sadece yapısal tasarım detaylarını değil çevredeki yapıya zarar verecek doğal olayların da hesaba katılmasını kapsamalıdır. Bir onarımdan, orijinal yapının tüm fonksiyonlarını yerine getirmesi beklenir. Bu şartlar; maksimum yük taşıma, süreklilik, hasar toleransı, çevre, sağlamlık, fonksiyonel aerodinamik ve elektronik performanslardır. Fakat onarım, yapının kullanım ömrünün sona ermesinde hızlandırıcı bir faktör olabilir. Bu durumda orijinal ömürden azalan miktar kabul edilebilir değerlerde olmalıdır. Bu bilgi uygun performans özelliklerine sahip olacak onarım için temel bir tasarım bilgisidir.

Yapıya ait bilgiler saptandıktan sonra onarım tasarımı başlayabilir. Onarım tasarımı, orijinal yapının sağlaması gereken bütün şartları sağlamalıdır. Tasarımda önem verilmesi gereken iki alan hasarın kaynağı ve onarımın yapılışıdır. Doğru tasarlanmış bir onarım eğer doğru yapılmamışsa performans kriterlerini yakalaması mümkün değildir. İşlemin son aşaması da muayenedir.

2.2.1 Yapısal Tespit

Onarım tasarımının başlangıç noktası; yüklemeler, gerilme dağılımı, geometri, çevresel etmenler gibi yapıya ait özelliklerin anlaşılmasıdır. Doğru bir onarım yapılabilmesi için gerekli olabilecek özellikler şunlardır:

- Onarılacak yapının malzeme tipi ve geometrisi
- Aerodinamik ve/veya elektromanyetik sınırlamalar
- Boyut sınırlaması
- Ek yapı veya hazır sistem

- Lokasyon sınırlamaları
- Kolay yanabilme
- Ağırlık ve denge
- Termodinamik sınırlamalar
- Aviyonik veya elektronik sınırlamalar
- Çevresel etkiler
- Gerilme değerleri
- Yükleme
- Yüzey hazırlık sınırlamaları
- Onarım malzemesi ve ekipmanların uygunluğu ve bütünlüğü

Yapısal kusurlar temelde yanlış tasarım ve üretim şartları veya normal çalışma şartlarında oluşabilirler. Yanlış tasarlanmış yapı ömür kriterini sağlamak için daha sık muayene ve /veya tekrar tasarlama veya onarım gerektirir. Hasar; paslanma sonucu çürüme ve yorulma çatlaklarının sonucu olarak yapısal yaşlanmadan veya asit dökülmesi, şimşek çarpması, kuş çarpması, delinme ve alet çizikleri gibi spesifik olaylardan dolayı meydana gelebilir.

Hasarın nedeni belirlenirse sonrasında gerçekleşecek hasarlar kolayca giderilebilir. Örneğin; korozyon ortam, onarımda veya yapı çevresinde ek bir hasar oluşturabilir. Eğer bir hava taşıtında uçuşta hasar meydana gelirse bu diğer hava taşıtları için önemli bir deneyim olur. Hasarın nedeni bir defa anlaşılırsa aynı bölgede nüksedecek hasara karşı önlem alınabilir.

2.2.2 Onarım Tasarımı

Onarım tasarımı; statik dayanım, süreklilik, işlevsellik, sağlamlık ve muayene edilebilirlik gibi özellikleri hasar toleransına uygun olacak şekilde sağlamalıdır. Yapısal ve yapısal olmayan sınırlamalar da dikkate alınmalıdır.

Tasarımın hedefi yamanın, taşınan yükün çoğunun transfer edilebilmesidir. Bu ana yapıdan yamaya olan yük transferi; hasarın by-pass edilmesi, gerilme yoğunluğu faktörü (K) azalması ve yorulma ömrünü uzatması gibi avantajlar doğurmalıdır. Bununla birlikte hesaba katılması gereken iki önemli faktör de yapılaşma bölgesinde

gerçekleşen maksimum kayma gerilmesi ve yama üzerinde, yükleme yönündeki normal gerilmedir.

Kompozit yama onarımı, tasarımı ve yukarıda belirtilen değerlerin hesaplanması için analitik ve nümerik olarak çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Bunların en yaygın kullanılan analitik metodu “Rose Denklemleri”dir. Diğer bir taraftan “Sonlu Elemanlar Metodu (SEM)” başka bir yaygın metottur. SEM’in geniş kullanım alanı, çok yönlülüğü ve doğruluğu daha az efor sarf ederek çözüme ulaşmamıza yardımcı olur.

Yamanın şekli, boyutu ve kalınlığı bir onarım tasarımındaki en önemli parametrelerdendir. Bununla birlikte onarımda dikkat edilmesi gereken bazı ince noktalarda vardır. Örneğin; yamanın kenarları, yük transferinden dolayı kenarlarda meydana gelen gerilme yığılması nedeniyle inceltilir.

Kompozit yama onarım tasarımının birkaç önemli kuralı vardır;

- Tabaka dizilimleri; çatlağa dik, yükleme doğrultusunda olmalıdır.
- Tabakaların küçük bir kısmı eksenel yükleri ve kayma gerilmelerini taşımak amacıyla yükleme doğrultusuna göre 90° ve $\pm 45^\circ$ açıları ile dizilebilirler.
- Ana yapıdan yamaya veya yamadan ana yapıya yük aktarılırken yama basamak sayısı, basamak derinliği, bindirme uzunluğu gibi onarım parametreleri büyük gerilme yığılmalarına sebebiyet vermeyecek şekilde seçilmelidir.

Basamaklı yama yapılması, özellikle gerilme geçişinin azalarak devam etmesini sağlar. Bu yolla yapışma yüzeyine geçen gerilmeler azalarak sıyrılmaya önlenmiş olacaktır. Ayrıca arzu edilmeyen gerilme yığılmalarından da kaçınılmış olacaktır.

2.2.3 Onarım Malzemesi Seçimi

Yapışma ve yama dayanımları belirlendikten sonra uygun malzeme seçimi yapılır. Yama malzemesi seçerken hesaba katılması gereken faktörler; gerekli rijitliği sağlamak için istenen yama kalınlığı, kullanımdaki sıcaklık ve çevre şartları, malzemenin kimyasal uygunluğu ve maliyetleridir. Seçilen malzemenin hasarlı

bölgedeki beklenen şartlara, maksimum gerilmelere ve yorulma gerilmelerine dayanması gerekir.

Onarımlarda metalik parçalarda kullanılabilir. Bu tip durumlarda; onarım malzemesi ve onarılmış yapı arasındaki termal genleşme katsayısı (CTE) uygunluğu önemli bir faktördür. CTE’deki farklılıklar, onarım dışında yapısal hasara veya yama delaminasyonuna sebebiyet verebilir. Onarım tasarımında yapışkan ısıtma işlemi süresince ve yapının kullanımı esnasında doğacak sıcaklık farkından kaynaklanan termal gerilmeler de hesaba katılmalıdır.

En sık kullanılan yama malzemeleri; boron/epoksi ve karbon/epoksi prepreglerdir. Boron/epoksinin, karbon/epoksiye göre mekanik özellikleri daha iyidir. Oysa karbonun iyileştirme işleminden sonra meydana gelen artık gerilmelerin düşük olmasına neden olan termal genleşme katsayısı daha yüksektir. Fakat boron kesimi karbondan daha zordur ve boronun serilmesi de zordur çünkü kolay şekil alamazlar. Ayrıca daha pahalı ve az bulunurlar. Diğer taraftan karbon prepregleri ucuzdur ve kolay bulunurlar. Yeterli mekanik özelliklere sahip olan karbon prepregler kolay kesilebilir ve onarılan yapının şeklini kolayca alabilirler. Bu nedenlerle karbon yama kullanımı daha yaygındır. Fakat, alüminyum ile birleştiklerinde korozyon oluşur

Cam fiber prepregler, yamayı çevresel etmenlerden korumak için üzerine yapıştırılırlar. Bu amaçla kullanılan cam fiberler yamanın yük transferine pek katkıda bulunmazlar.

Yapıştırıcı seçimi ise; yapışma dayanımı gerekliliğine, kullanım çevre şartlarına ve uygun kür (ısıtarak malzeme özelliklerini iyileştirme) cihaz özelliklerine bağlıdır. Genelde epoksi bazlı yapıştırıcılar kullanılır çünkü epoksi yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir. Ayrıca yorulma ve darbe yükleri açısından toklukta iyi bir davranış gösterir. Film yapıştırıcılar da piyasada tercih edilen yapıştırıcılardandır. Kalıp halinde bulunurlar ve fiberler (genelde cam fiberler ile kullanılırlar) yamaya eklenene kadar dayanıklılık ve kolay tutunma özellikleri sağlarlar. Film yapıştırıcıların en önemli avantajı; kullanımdan önce karıştırılmalarına gerek yoktur böylece mekanik özellikleri karışımın nasıl olduğuna bağlı olarak değişmez. Dahası uygulanmaları kolay ve yamayla aynı anda kür işlemine tabi tutulabilirler. Fakat

diğer yapıştırıcılara göre pahalıdırlar ve soğuk ortamda depolanmaları gerekmektedir.



Şekil 2.4 Bir uçak gövdesinin yama ile onarımı (www.dsto.defence.gov.au)

2.2.4 Onarım Analizi

Onarımı yapılan orijinal yapının fonksiyonları göz önüne alınarak tasarlanan onarımın verimliliğine dönük bir takım analizler yapılabilmektedir. Genellikle yöntem olarak ya sonlu elemanlar metodu gibi yöntemler veya uygun kapalı form analizler yapılabilmektedir.

2.2.5 Onarım Yapılışı

Yapışma ile yapılan onarımda ilk olarak yüzey hazırlığı, ısıtma metotları, basınç metotları, kür işlemleri ve muayeneler yapılır. Yamanın, yapı yüzeyine iyi yapışması yüzey hazırlığı ve onarım sürekliliği açısından önemlidir. Onarım malzemesinin imalat prosedürüne uygun olması gerekir.

Kür çevrimlerindeki sıcaklık değerleri ısıtıcı örtü, ısıtma blokları, fırın, otoklav, sıkıştırılmış hava veya ışıma ısısı üreten lamba sistemleri tarafından ayarlanır. En yaygın kaynak olan ısıtıcı örtünün ısıtma direnç kabloları oldukça esnektir bu

nedenle onarım bölgesini kaplayabilirler. Isıtma metodu seçmede önemli faktörler şunlardır:

- Güç gereksinimleri: gerekli sıcaklığa, ısıtılan bölgenin kalınlığına, ısıtılan alana ve malzemenin yayılımına göre belirlenir.
- Isıtıcının yeri: genelde termal muayenelerde belirlenir.
- Onarımdan önce ve onarım esnasında gerekli olan sıcaklık dağılımı, kontrolü: ısıtım çiftleri (thermocouples) ile yapılır.

Isıtma boyunca uygulanan basınç işlemi yapı, yapışkan ve yama arasındaki boşlukları minimize eder. Vakum torbası, mekanik aletler veya otoklav ile basınç yapılabilir. En yaygın basınç tekniği vakum torbası (vacuum bag) metodudur. Bu metotta hava sızdırmayan poşet, onarım bölgesine vakum yaparak bütün havayı boşaltır.

Tamamlanan onarımda yapıdaki hasarın büyümediğini ve beklenmeyen durumlar bulunmadığından emin olmak için tahribatsız muayene yapılır. Bu teknikler; indüksiyon akımı, boya geçişi, ultrasonik, x ışını ve termografik muayenelerdir.

2.3 Onarım Metotları

Birkaç çeşit onarım metodu mevcuttur bunlar arasında doğru seçim yapmak çok önemlidir. Öncelikle hasar tipi incelenmeli ve geçici, kalıcı veya onarılmayacak düzeyde olup olmadığı belirlenmelidir. Ekipmanların yeterliliği ve metodun sağlayacağı kolaylıklar düşünülüp seçim yapılmalıdır. Bunların yanı sıra servis ömrü gözeticilerle onarılmış yapının ne kadar süre için kullanılacağı da önemli bir konudur. Bazı durumlarda da zaman yetersizliği ve onarımın pahalı olmasından dolayı parça değişikliği yapmak gerekebilir.

2.3.1 Koruyucu Bant Metodu

Koruyucu bant metodunda kullanılan bant ince alüminyum folyodur. 0,025 ila 0,075 mm arasında değişen kalınlıklarda bulunabilir. Folyonun arkasında çıkarılması gereken bir kağıt bulunur. Kağıdın altında ise basınca karşı hassas olan yapışkan vardır. Bu kağıt çıkarıldıktan sonra folyo, söz konusu yüzey iyice temizlendikten

sonra üzerine yapıştırılır. Folyo su girişini engeller ve serbest kalmış fiberlerin dağılmasını engeller ve serbest kalmış fiberlerin dağılmasını önler. Geçici bir onarım metodu olan bu metot hava taşıtlarında bir veya birkaç uçuş için kullanılır. Dayanım sağlamaz fakat küçük hasarların daha kötü olmasını engeller ve böylelikle yapılacak kalıcı yama boyutlarını minimize etmiş olur. Koruyucu bant metodu, elektriksel iletkenliklerinden dolayı tarama alanındaki radarlar üzerinde kullanılmamalıdır ancak tarama alanının gerisinde kalan radarlarda kullanılabilir.

2.3.2 Reçine İle Kapatma Metodu

Reçine ile kapatma başka bir geçici onarım metodudur. Bu metotta hasarlı bölge, serbest kalan fiberleri tutmak ve hasar alanının boyutunun artmasını engellemek için onarım reçinesi ile kaplanır.

2.3.3 Doldurma Onarımı Metodu

Bu metot, uygun hasar sınırlarındaki küçük delikler barındıran bal peteği (*honeycomb*) panelleri için kullanılır. Delikler, oda sıcaklığında uygun doldurma bileşiği ile doldurulur. Kalıcı yama yapılanaya kadar su girişi engellenmiş olur. Ayrıca doldurma bileşiğinin üzeri su emilimini minimuma düşürmek için koruyucu bant metodunda kullanılan folyo ile kaplanabilir.

2.3.4 Cıvatalanmış Çiftler İle Onarım Ve Yama Onarımı Karşılaştırılması

Cıvatalanmış çiftler ile onarım metodu iki farklı biçimde uygulanabilir;

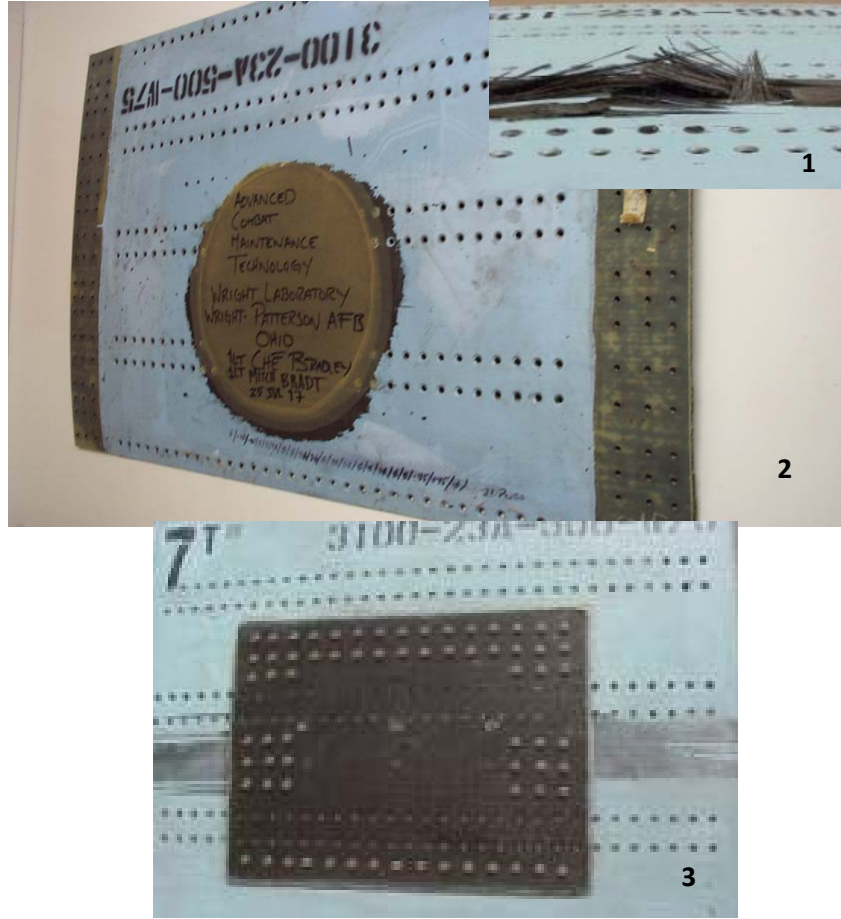
1) Geçici bir onarım olarak metotta kullanılan cıvata dışta metal bir kabuktan ve içte geniş çaplı rondelalardan oluşur. Hasarlı büyük bir kanadın veya çeşitli nedenlerle sıyrılmış dış kaplamanın bal peteği çekirdeğinin ve panellerinin cıvatalanması ile onarım yapılır. Bu metotta uçağın bütün panelini onarmak karmaşıklığa neden olup parçanın hurdaya ayrılmasıyla sonuçlanabilir. Hurda haline gelmemişse bile kapsamlı ve pahalı bir onarım gerektirir. Ancak bu metodun önemli bir avantajı vardır: hava taşıtlarının minimum gecikmeyle üsse dönmelerine olanak sağlar. Çünkü onarılmış yapıda tekrar hasar ya da cıvataların gevşemesi gibi

istenmeyen bir durum görülürse anında müdahale ile onarım yapılarak hava taşıtı kısa sürede tekrar havalanabilir.

2) Kalıcı bir onarım olarak yapılan onarımda ise eğer katı, tabakalı kanat kabuğuna veya benzer panellere yapılırsa kalıcı olabilir. Bu durumda metal plakada bütün deliklerin açılmasından ve son şeklin verilmesinden sonra anot işlemi veya başka uygun işlemlerin yapılması gerekir. Kalıcı cıvatalama onarımı genelde kalın panellere (2 mm veya daha fazla) yapılır. Bu yönüyle kalıcı cıvata onarımı, kalın panel onarımında geniş bir dolgu bağlantısı gerektiren yapışmalı yama onarımından daha hafif ve daha ucuz olur.

Fakat yama onarımının cıvatalı onarımlara göre avantajları daha fazladır.

- Onarılan yapıda delik açılmaz. Dolayısıyla yapıda artık gerilme yaratan ve yorulma ömrünü azaltan zayıf noktalar oluşturan ek bir gerilme yığılması meydana gelmez.
- Gerilme yoğunluğu çatlak üzerinde oldukça azalır çünkü yükler daha büyük bir yüzeye dağılır. Bu durum yapışma kalitesine göre değişkenlik gösterebilir.
- Onarım daha hafif ve daha incedir. Bu iki avantajın taşıtlarda yakıt tüketimi ve aerodinamik etkisi açılarından önemi büyüktür.



Şekil 2.5 Aynı hasarlı ve delikli iki panelin;1)Hasarı, 2)Dolgu yama ile onarımı,

3)Cıvatalı çift ile onarımı (Abaris Training Notes 2007)

2.3.5 Oda Sıcaklığında El Yatırması Metodu

Onarım şartlarına uygunluğu ve birçok avantajından dolayı çok tercih edilen bir metottur. Bu metodun avantajlarını şöyle sıralayabiliriz:

- Kullanılacak kumaş veya bandın onarılacak yüzeyin şekline kolay uyum sağlamasına izin verir.
- Hızlı kürleşme gerekmediğinde ısıtma işlemine gerek duyulmaz.
- İyi bir yapışma için vakum basıncı yeterli olur.
- Birçok durumda gerçekleşen herhangi bir performans kaybını kapatmak için ek kumaş tabakaları kullanılabilir.

Fakat bu metodun iki dezavantajı vardır:

- Yüksek sıcaklıklarda performansı düşük bir onarımdır.

- Reçine hassas bir şekilde hazırlanmalı, karıştırma ve tartma işlemleri doğru bir şekilde yapılmalıdır.

2.3.6 Yüksek Sıcaklıklarda El Yatırması Metodu

Bu metot, oda sıcaklığında el yatırması metodunun bütün avantajlarını kapsar ek olarak daha büyük parçalar için de kullanılabilir. Sadece bir dezavantajı vardır o da ısıya ihtiyaç duymasındır. Isıl çiftler doğru yerleştirilmeli ve bütün kür (pişme) işlemi boyunca yama bölgesindeki işlem sıcaklığının minimum değerinde seyretmesi gerekir. Bu sistemler yaklaşık 95°C’ de kür işlemine tabi tutulmalıdır.

2.3.7 Pre-Preg Onarımı

Pre-preg İngilizcede açık olarak “preimpregnated” şeklinde yazılır. Bu da “önceden emdirilmiş” manasına gelmektedir. Önceden reçine emdirilmiş kumaşlar anlamında bu tabir kullanılır.

Pre-preg onarımı birkaç biçimde yapılabilir;

- Düşük sıcaklık (yaklaşık 95°C) pre-preg kürleşmesi: sıcak kürleşen el yatırması metoduna benzer. Bu alanda geliştirme çalışmaları devam etmektedir.
- 120°C’ de kürleşen pre-pregler: yaklaşık 120°C veya 180°C’ de çalışacak yapılarda onarım parçası olarak kullanılabilirler.
- 180°C’ de kürleşen pre-pregler: 180°C’ de çalışacak yapılarda onarım parçası olarak kullanılabilirler. 120°C veya daha az sıcaklıklarda kullanılamazlar.

Eğer büyük boyutlarda bir onarım yapılacaksa pre-preg onarımı ile yapılmalıdır. İmalatçılar genelde pre-preg onarımını tercih ederler çünkü reçine karıştırma işleminde gerek yoktur ve pre-preg onarımı ile yapılan onarımlar temiz ve kolay olur.

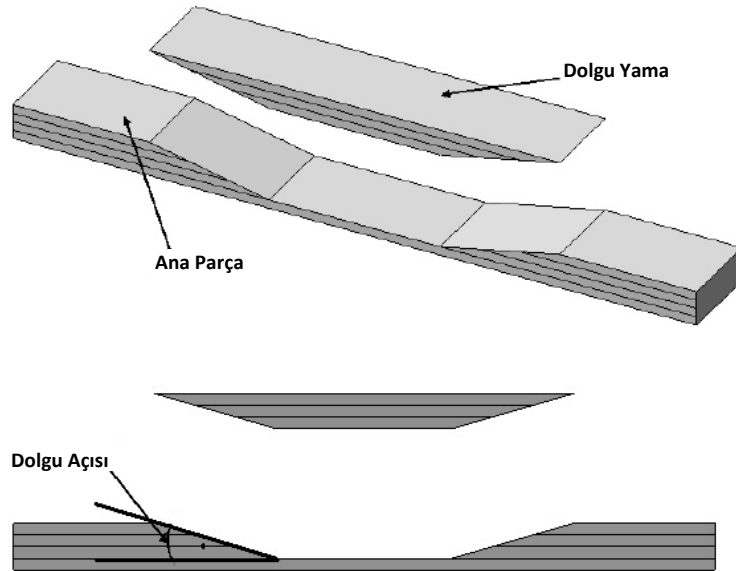
Ancak; eğer onarım orijinal kür sıcaklığında yapılıyorsa bal peteği yapıları için sorunlar ortaya çıkar. Onarım alanı ısıtıldığında onarımı çevreleyen bal peteği yapı hücrelerindeki hava basıncı, eğer hücrelerde su buharı bulunuyorsa ve kür sıcaklığı 180°C ise atmosfer basıncından oldukça yüksek bir basınç oluşturur. Dış basınç genelde vakum ile yapılır normal olan 0,7 bar basınçtır. Onarım çevresindeki bal

peteği yapılarından oluşan istenmeyen bu basınç patlamaya neden olur ve kötü sonuçlar doğurur. Bu nedenle büyük boyutlu onarımlar 120°C' den daha büyük sıcaklıklarda yapılmamalı veya ek bir sistemle vakum basıncı ayarlanmalıdır. Sıcak kürleşme istendiğinde ve bütün onarım bölgeleri eşdeğer sıcaklıkta tutulması gerektiğinde eğer büyük ve ağır parçalara onarım yapılacaksa onarım oldukça zorlaşır.

2.3.8 Dolgu Ve Basamaklı Yama Onarımı

Bu yapışma ile yapılan yama onarımları en çok kullanılan onarım yöntemleridir.

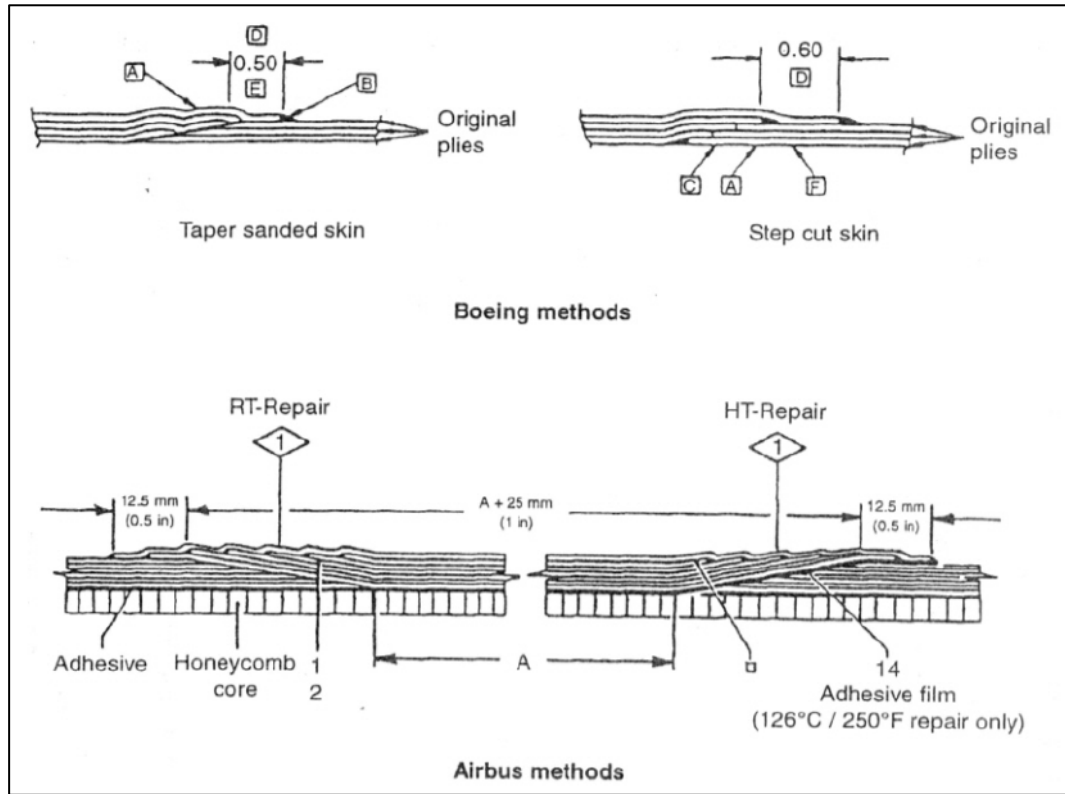
Dolgu Yama Onarımı: Dolgu yamalar iyi bağlanma dayanımı istendiğinde kullanılır. Onarım işlemi çok dikkatli yapılmalıdır. Genelde dolgu yamaları panel gibi düz parçalara yapılır. Panel kenarlarına denk gelen yamalar dışında şekil 2.6 da görünen dolgu açıları 50'ye 1 oranı gözetilerek yapılır. Panel kenarlarında ise 20'ye 1 oranı tercih edilir. Bu değerler dayanım analizleri sonucu saptanan yaklaşık değerleridir.



Şekil 2.6 Dolgu yama ve dolgu açısı modelleri

Yamalar uzunlukları farklı olarak artan veya azalan boyutlarda ana parçaya uygulanır. Aşağıdaki şekilde piyasada uygulanan iki metot örneklenmektedir. Boeing

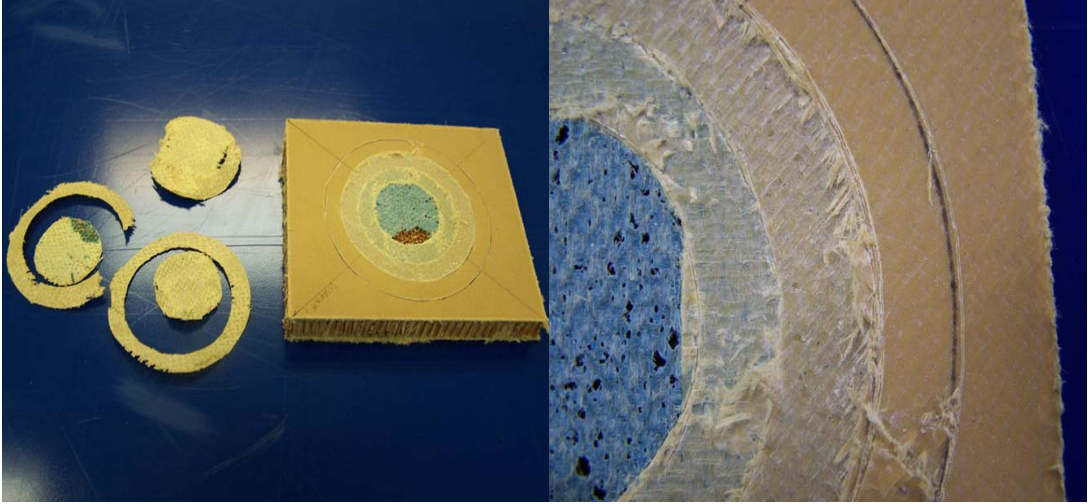
Firması'nın çalışmasında en kısa yama ilk serilmiş oysa Airbus Firması'nınkinden en uzun yama ilk serilmiştir. İki metot da test edilmiş ve ikisi de iyi bağlanma dayanımı göstermiştir.



Şekil 2.7 Hasarlı panellere yapılan dolgu yama serilme şekillerinde Boeing ve Airbus Firma'larının karşılaştırılması (Courtesy of Aero Consultants (United Kingdom) Ltd.)

Dolgu yama onarımının avantajları şöyledir; yapışma yüzeyinde daha düzgün kayma gerilemeleri dağılımı gözlenir ve bu da delaminasyon etkisini azalatarak sıyrılmayı engeller. Bindirme gibi ek yamalar yama bölgesi dışına taşarak sıyrılmaya etkisini azaltırlar. Dolgu yamalar yorulma testlerinde yüksek yük değerlerinde uzun periyotlardan sonra kenarlarda zayıflamaya başladığı görülmüştür. Bu bir avantajdır çünkü hasar başlangıç bölgesi kolay görülebilir ve bu bölgeye bir tabaka daha konularak onarım bir süre daha kullanılabilir. Normal şartlarda yükleme bu etkiyi yaratacak değerlere gelmez.

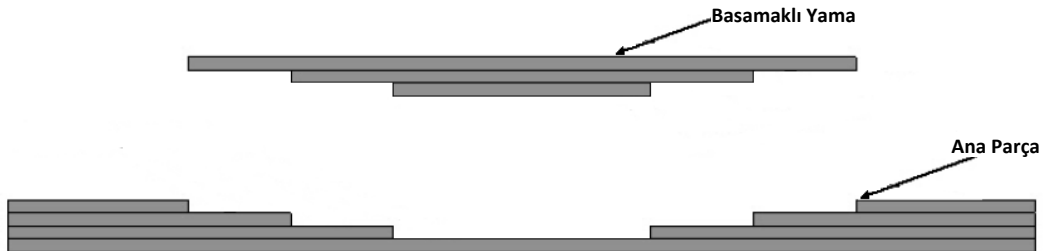
Dezavantajları ise; onarımın zor ve uzun zaman alan bir yöntem olmasıdır. Ayrıca yüzey boşaltma işleminde gerekli dolgu açısı değerini yakalamak için hasarsız bölgeden gerektiğinden fazla malzeme kaldırılır.



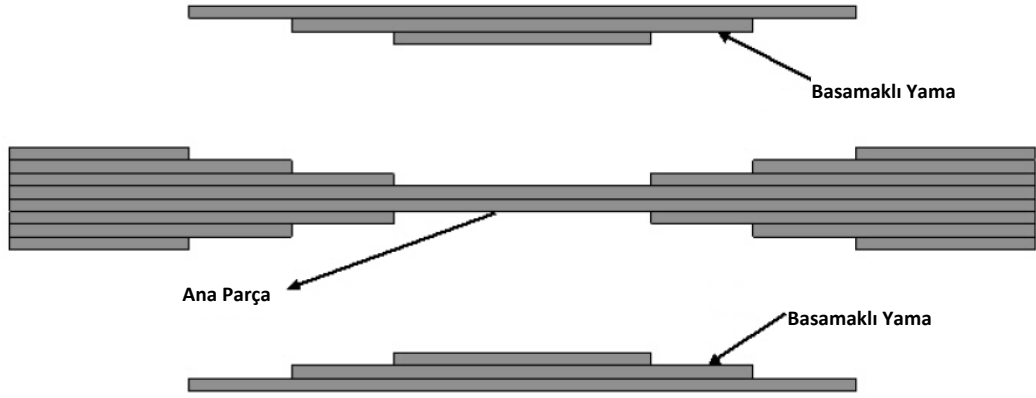
Şekil 2.8 Basamaklı yama onarımı için hasarlı yüzeyin çıkarılma işlemi (Abaris Training Notes 2007)

Basamaklı Yama Onarımı: Basamaklı yamalar da sıklıkla kullanılır. Dikkatli ve doğru bir şekilde yapılmalıdır. Cam fiber ve aramid kumaşlarında kolayca yapılan bu metot karbon fiberlerde oldukça zordur çünkü ayırık tabakaları düzenlerken kesimde birbiri üzerine düzgün bir şekilde gelmesini sağlamak ekstra dikkat ister. Bindirme boyutu her tabaka için genelde 12,5 veya 25 mm alınır ve her bir onarım tabakası birbiri üzerinde aynı yönde olmalıdır. Basamaklı yama onarımı ekstra yer kaplayan tabakaları minimize etmenin gerekli olduğu radar yapılarında sıklıkla kullanılır.

Basamaklı yama onarımının; tek taraflı ve çift taraflı basamaklı yama olmak üzere iki farklı tipi vardır. (Şekil 2.8 , 2.9)



Şekil 2.9 Tek taraflı basamaklı yama



Şekil 2.10 Çift taraflı basamaklı yama

Tez çalışmalarında daha çok basamaklı yama üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bunun nedenleri basamaklı yama metodunun çok tercih edilmesi, yama/ana parça ayrımının gözlenmesindeki kolaylıklar ve üretiminin diğerlerine göre daha uygun bir model olmasıdır.

BÖLÜM ÜÇ

ÜRETİM

Kompozit malzemelerin üretiminde pek çok farklı yöntem vardır. Ancak yamanın yapılması için gerekli koşulları sağlayan yöntem sayısı azdır. Bu projede, onarım için kuru kumaşlar kullanılarak yapılan en yaygın yöntemlerden olan el yatırma ve vakum destekli reçine infüzyon metodu kullanılmıştır.

3.1 El Yatırma Yöntemi

Bu yöntem; dokuma veya kırılmış elyafarla hazırlanmış takviye kumaşlarının hazırlanmış olan kalıp üzerine elle serilmesi ve sıvı reçinenin tüm elyaf katmanlarına emdirilmesi şeklinde uygulanır. Elyaf yatırılmadan önce kalıp temizlenerek jelkot sürülür. Jelkot sertleştikten sonra elyaf katları yatırılır. Reçine ise kompozit malzemenin hazır olması için en son sürülür. Bu işlemde elyaf kumaşına reçinenin iyi nüfuz etmesi önemlidir. El yatırma tekniğinde en çok kullanılan polyester ve epoksi'nin yanı sıra vinil ester ve fenolik reçineler de tercih edilmektedir. El yatırma yoğun işçilik gerektirmesine rağmen düşük sayıdaki üretimler için çok uygundur.

Bu yöntemin avantajları ve dezavantajları şöyledir;

Avantajları:

- Öğrenilmesi ve uygulanması çok kolay
- Özellikle oda sıcaklığında pişen reçinelerin kullanımında düşük maliyet
- Yönteme uygun malzeme temini çok kolay

Dezavantajları:

- Yöntem laminasyonu (tabakalama) yapan kişinin el becerisine çok bağlı
- Yüksek "Fiber Hacimsel Yoğunluğu"na ulaşmak çok zor

- Reçine oranı düşük tutulmak istendiğinde yüksek oranda hava boşlukları ve ıslanmayan bölgeler meydana gelebilir
- Bu yöntemde kullanılan reçinelerin yoğunluğu ve viskozitesi düşüktür. Bu tür reçinelerin insan sağlığı açısından ağır moleküllü reçinelere oranla daha zararlıdır.
- Pahalı havalandırma sistemleri olmaksızın Polyester ve viniliester için havaya karışan Styrene konsantrasyonunu yasal sınırlarda tutmak zordur.



Şekil 3.1 El yatırma yöntemi ile üretim(Alpin Kimya–
http://www.alpinkimya.com.tr/sayfa.asp?ContentID=Icerik&id=el_yatirma)

3.2 Vakum Destekli Reçine İnfüzyon Metodu (VARIM)

Literatürde vakum ortamında reçine infüzyonu mantığına dayanan ve farklı isimler ile adlandırılan çeşitli yöntemler vardır(SCRIMP, RIFT, VARTM...). Aralarında küçük birtakım farklılıklar olmakla birlikte temelde işlem mantığı ve basamakları aynıdır. Bazılarının isimleri şu şekildedir.

- VARTM-Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding/Vakum Destekli Reçine Transfer Kalıplaması (Koefoed, 2003),
- VARIM-Vacuum Assisted Resin Infusion Moulding/Vakum Destekli Reçine İnfüzyon Kalıplaması (Khattab, 2005),
- SCRIMP™-Seemann Composites Resin Infusion Moulding Process/Seemann Kompozit Reçine İnfüzyon Kalıplama Prosesi (2005),
- VBRTM-Vacuum Bag Resin Transfer Moulding/Vakum Poşeti Reçine Transfer Kalıplaması (2001),
- VARI-Vacuum Assisted Resin Infusion process/Vakum Destekli Reçine İnfüzyon Prosesi (2008).

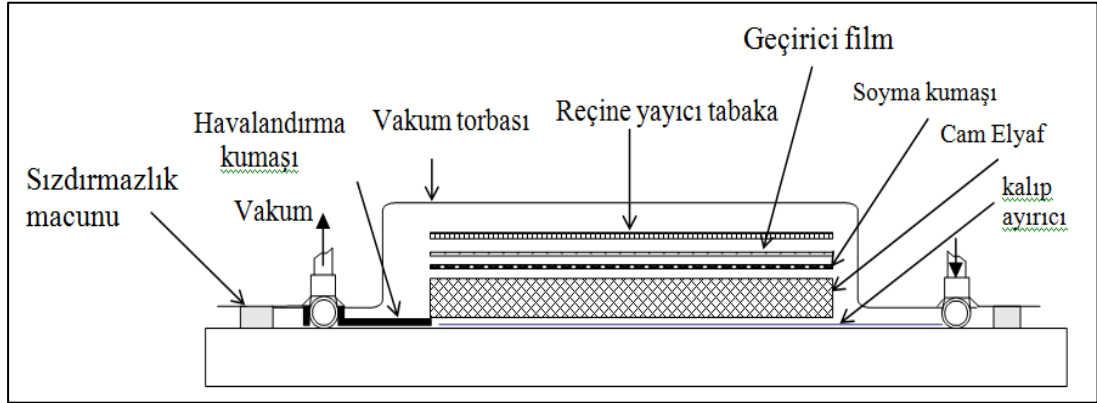
Temel proses kompoziti kalıptan ve vakum öğelerinden ayrılacak şekilde vakum altında üretmektir. Vakum öğeleri Şekil 3.2'den de görüldüğü gibi kalıp ayırıcı, geçirgen film, soyma kumaşı ve vakum poşetidir. Üretim kısaca kalıp ayırıcı sıvının kalıp yüzeyine sürülmesi ile başlar. Kompozit yüzeyinin kalıba yapışmaması için teflon gibi film kalıp ayırıcılar da kullanılabilir. Ardından elyaflar kalıp üzerine dizilir. Üretim sonrası vakum poşeti, yayıcı film v.b. öğelerin kompozit yüzeyinde kalmaması için elyaf tabakalarının üzerine soyma kumaşı serilir. Soyma kumaşının üzerine yayıcı (dağıtıcı) filenin yapışmasını engelleyen ayırıcı film serilir. Son olarak reçine yayıcı file bunların üzerine konulur. Kumaşların dizimi bittikten sonra havalandırıcı kumaşlar elyaflar ile vakum yoluna bağlı olan spiral boru arasına konulur. Etrafına sızdırmazlık macunu çekilir ve vakum poşeti yerleştirilir. Sistem bir süre vakum altında tutularak içerideki tüm havanın emilimi sağlanır ve ardından reçine verilerek kompozit pişmeye bırakılır.

Avantajları:

- Tek taraflı bir kalıba ihtiyaç vardır.
- Yüksek mukavemetli bir kalıba ihtiyaç yoktur.
- Büyük parçalar bu yöntemle üretilebilir.
- El yatırma yönteminde kullanılan kalıplar bu yöntem için modifiye edilerek kullanılabilir.
- Çekirdek yapılar bir seferde/adımda üretilebilir.

Dezavantajları:

- İşlem basamakları kısmen komplekstir.
- Düşük viskoziteye düşük reçine kullanımı mekanik özellikleri olumsuz etkileyebilir.
- Reçine ile ıslanmamış bölgeler kalabilir; bu da pahalı atık malzeme demektir.



Şekil 3.2 Vakum destekli reçine infüzyon sisteminin şematik gösterimi

3.2.1 Vakum destekli reçine infüzyonu ile onarılmış numune üretimi:

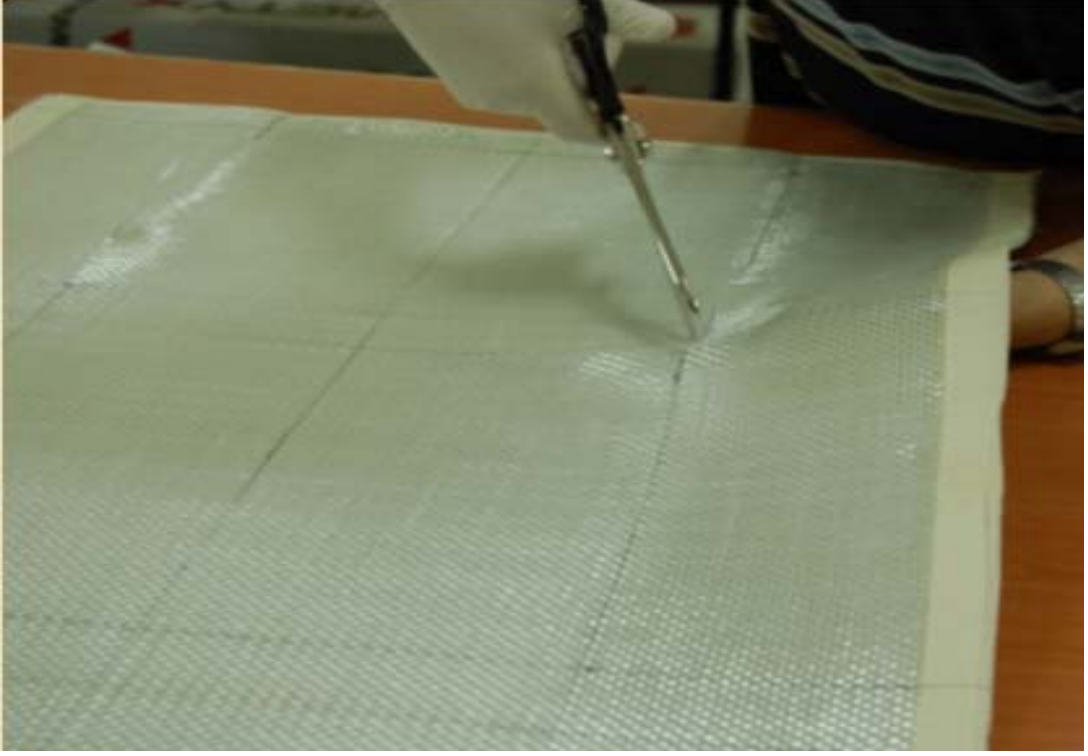
Bu üretim metodu için daha sonra özellikleri verilecek olan üretim tezgahı kullanılmıştır. Onarım mantığında anlatıldığı üzere onarım yapılacak hasarlı yüzey kompozitten talaş kaldırılarak temizlenir ve temizlenen bölgeye istenilen oryantasyonda yama kumaşları konularak tekrar üretim yapılır. Bu çalışmada bunu simüle etmek için önce yama yapılacak yüzeyleri eksik kumaşlar konularak kompozit yama boşluklu olarak üretilmiştir. Ardından bu boşluklara tekrar kumaşlar yerleştirilerek yama üretimi yapılmıştır. Üretim sırasında kompozitin tezgah yüzeyine yapışmamasını sağlayan kalıp ayırıcı sıvı yerine kalıp ayırıcı olarak polietilen bir film kullanılmıştır, Şekil 3.3.



Şekil 3.3 Kalıp ayırıcı film

Ayrıca filmin üzerine yama modeline uygun olarak kesilip hazırlanan kumaşlar yerleştirilir, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5. Elyaf kumaşlar yerleştirildikten sonra kalıp ayırıcı filmin etrafına sızdırmazlık macunu yapıştırılır. Macun yarısı kalıp ayırıcı filmin üzerine diğer yarısı da kalıbın üzerine gelecek şekilde yapıştırılarak kalıp ayırıcı

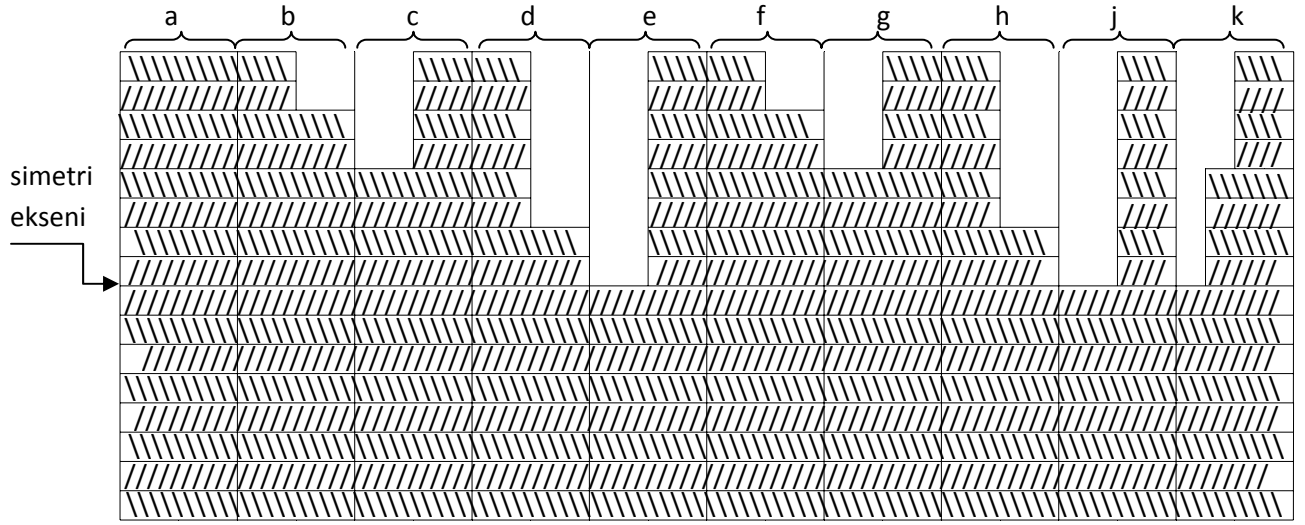
filmin altına hava girmesi engellenir ve böylece vakum verildiğinde düz bir yüzey, yüksek vakum basıncı ve kabarcıksız, homojen bir reçine dağılımı sağlanır.



Şekil 3.4 Kumaşların kesimi



Şekil 3.5 Kumaşlar



Şekil 3.6 Basamak planı a)yamasız b)2 tabaka yamalı c)4 tabaka yamalı d)6 tabaka yamalı e)8 tabaka yamalı f)2 tabaka köprülü g)4 tabaka köprülü h)6 tabaka köprülü j)8 tabaka köprülü k)2 basamak köprülü yama

Bu metotla çeşitli derinliklere ve basamak sayısına sahip numuneler üretilmiştir. Şekil 3.6'da 16 tabakalı numunelerin üretimi şematik olarak gösterilmiştir. Aynı üretimde; kesilen ve işlenen tabaka sayısı 2, 4, 6 ve 8 olacak şekilde bir laminasyon şeması oluşturulmuştur. Amaç aynı şartlarda farklı parametrelere sahip numuneler üretilmiştir. Şekil 3.7'de ise belirlenen laminasyon planına uygun olarak kesilip üst üste istiflenmiş kumaşlar gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Kumaşların yerleştirilişi

Yerleştirilen bu kumaşların üzerine Şekil 3.8’de görüldüğü üzere soyma kumaşı yerleştirilmiştir. Bu kumaş üretim sonrasında kompozitin diğer öğelerden ayrılmasını sağlamaktadır. Soyma kumaşının üzerine ayırıcı film Şekil 3.9’da görüldüğü gibi konulmuştur ve üzerine yayıcı Şekil 3.10’daki gibi yerleştirilerek üretimin kompozit kısmının yapımı tamamlanmıştır.



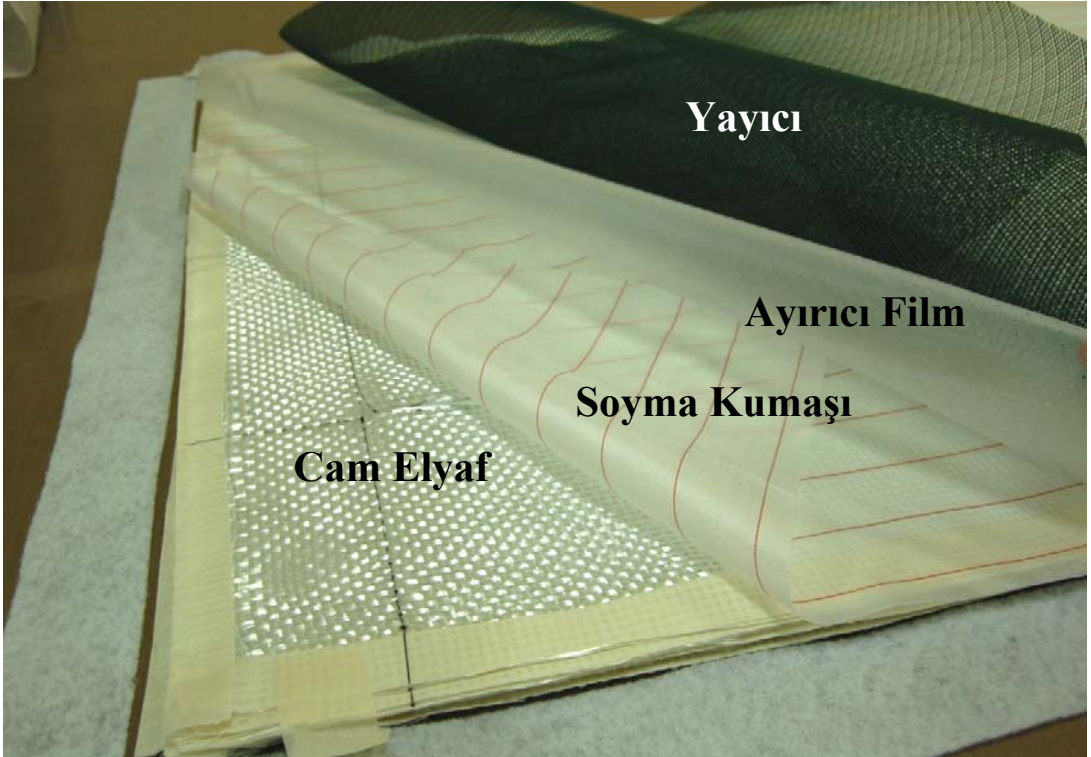
Şekil 3.8 Soyma kumaşı



Şekil 3.9 Ayırıcı film

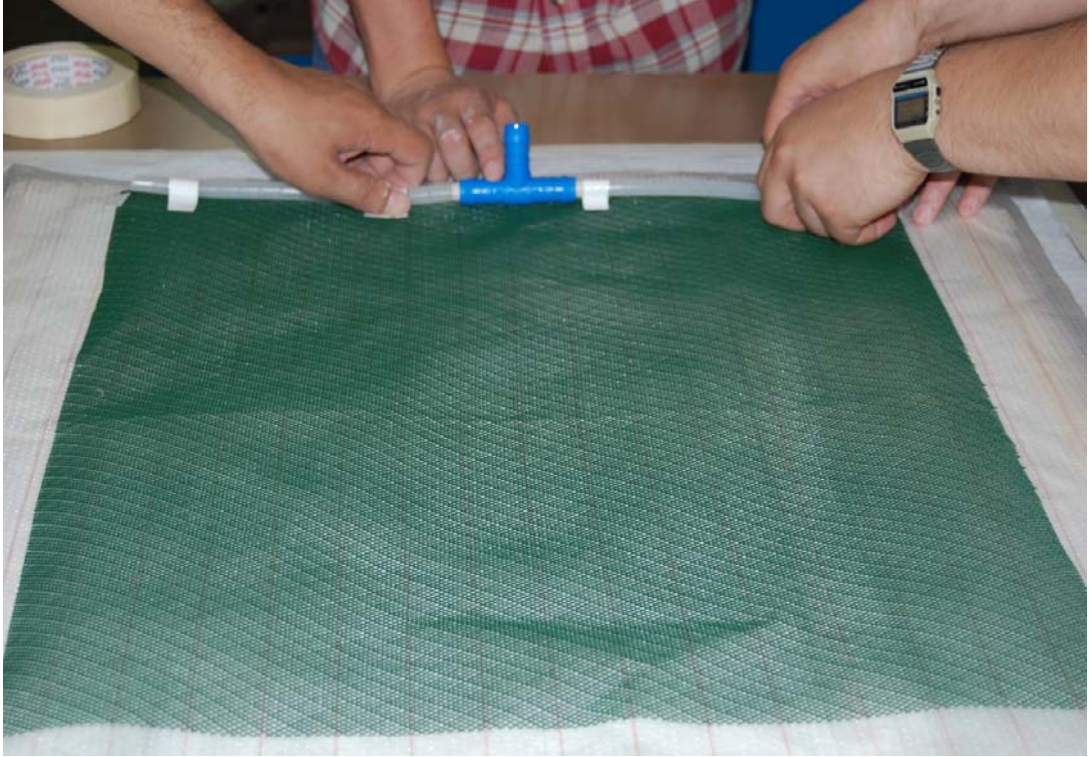


Şekil 3.10 Yayıcı



Şekil 3.11 Kompozit kısmın katmanları

Üretimin kompozit kısmı hazırlandıktan sonra vakum kısmı hazırlanmaya başlanmıştır. Vakumu homojen şekilde dağıtmak için vakum bölgesinin içinde kalacak şekilde kompozit genişliğindeki spiral borular yerleştirilir. Vakum hattındaki spiral borulara hava geçirici kumaş konulur ve bu kumaşın plakalar arasına girmesi sağlanarak tabakalar arasından vakum sırasında hava geçişi rahatlatılmıştır. Bu spiral borulara T borular bağlanmıştır. T borular yerleştirildikten sonra vakum poşeti vakum bölgesinin üzerine örtülerek sızdırmazlık macunu yardımıyla yapıştırılır ve dış ortamdan vakum bölgesinin ayrılması sağlanır. T boruların vakum poşetinin dışında kalan uçlarına sızdırmazlık macunu sürülerek vakum hattının ve reçine hattının plastik boruları yerleştirilmiştir.



Şekil 3.12 Reçine hattına ait spiral borunun T boru ile vakum bölgesine yapıştırılması



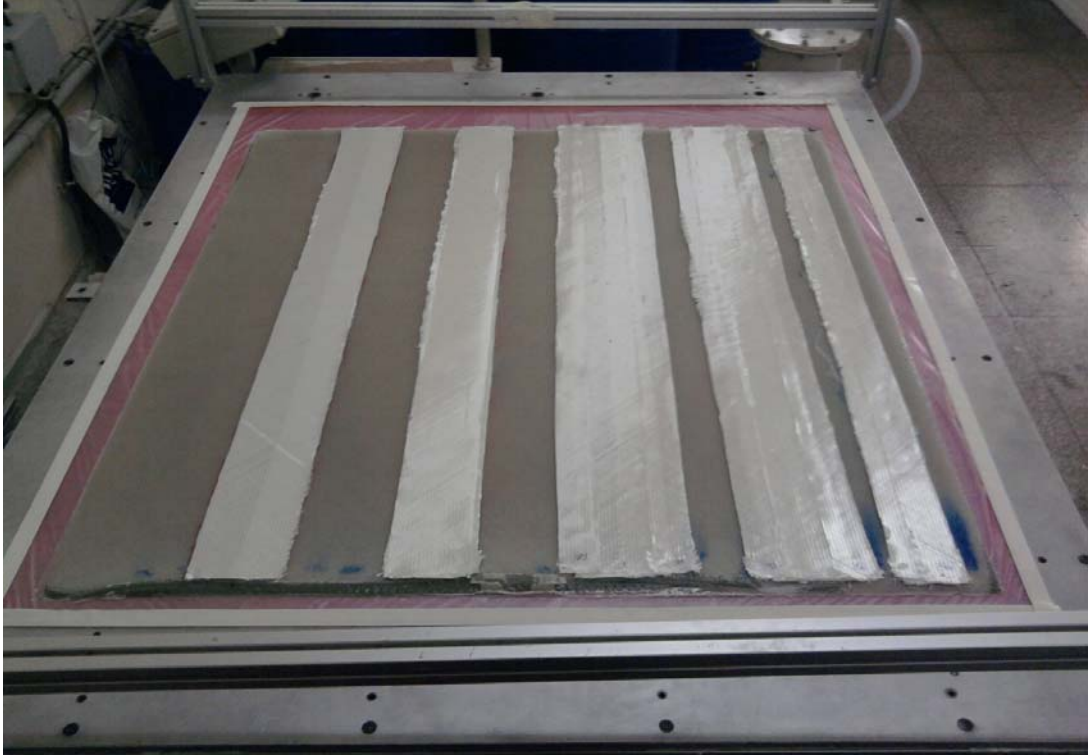
Şekil 3.13 Vakum hattına ait spiral borunun T boru ve havalandırıcı kumaş ile vakum bölgesine yapıştırılması



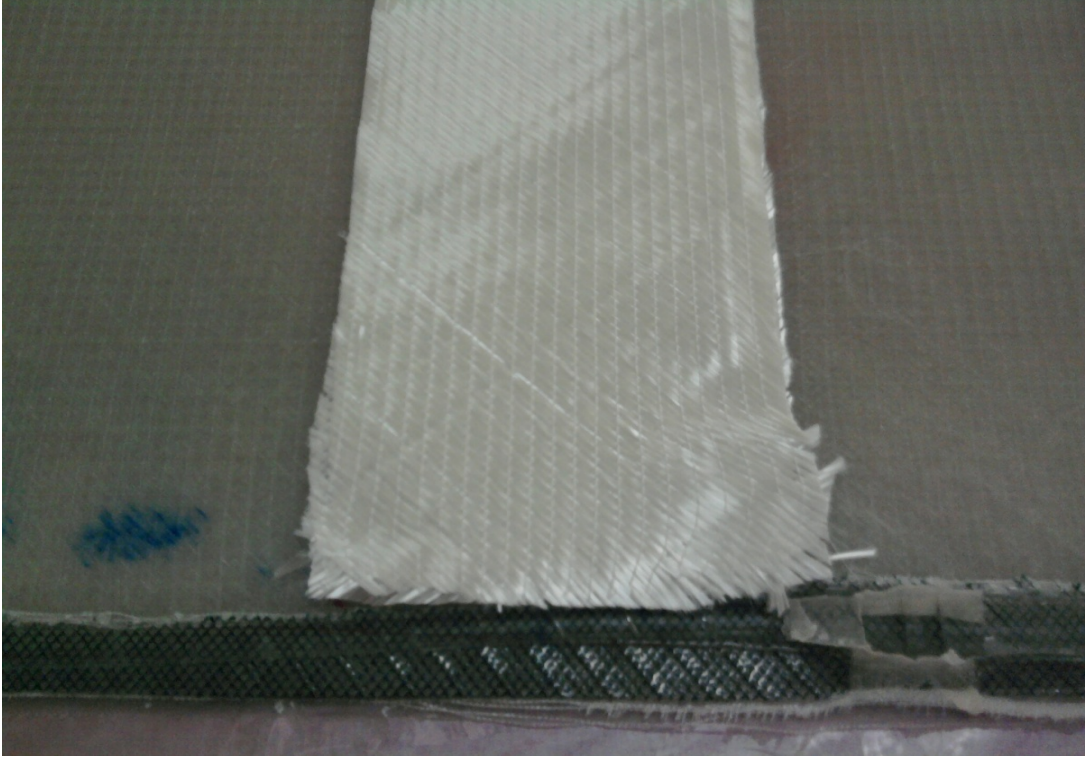
Şekil 3.14 Vakum poşeti ve vakum ortamı

Bir kap içinde karıştırılan reçine ve sertleştirici vakum yardımıyla kumaşlara emdirilmiştir. Kullanılan reçinenin özelliğine göre tepkimeye girmesi için gerekli olan ortam değerleri 50°C sıcaklıkta 30 dakika ve 90°C sıcaklıkta 120 dakika olarak ayarlanmıştır. Kompozit bu sürenin sonunda sertleşmiştir ve soğuduktan sonra atık kumaşlar ve yayıcıdan soyma kumaşı yardımıyla soyularak temizlenmiştir.

Üretilen bu yama boşluklu kompozitin yama tipine uygun boyut ve oryantasyon açısına sahip elyaf kumaşlar kesilerek yama boşluklarına dizilirler, Şekil 3.15. Yama işlemi tekrar vakum ortamında olacağı için kompozit üretim tezgahı üzerine kalıp ayırıcı film serilir ve üzerine yama boşlukları elyaf kumaşla doldurulmuş yamalı kompozit konulur. Soyma kumaşı, ayırıcı film ve yayıcı film aynı sırayla ilk üretimdeki gibi konulur. Vakum ortamı da ilk üretim gibi sağlanarak reçine/sertleştirici karışımı yama bölgelerindeki kumaşların emmesi için verilerek üretim pişmeye bırakılır.



Şekil 3.15 Kompozite yamanın yapılışı



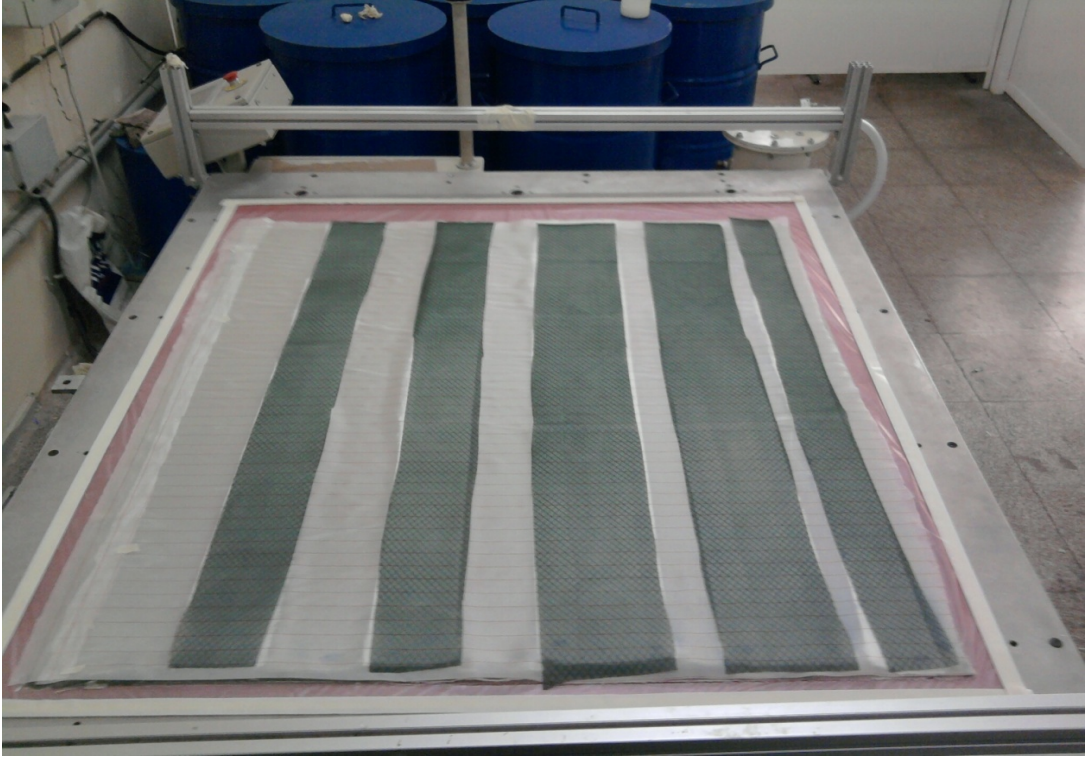
Şekil 3.16 Düz yama tipi



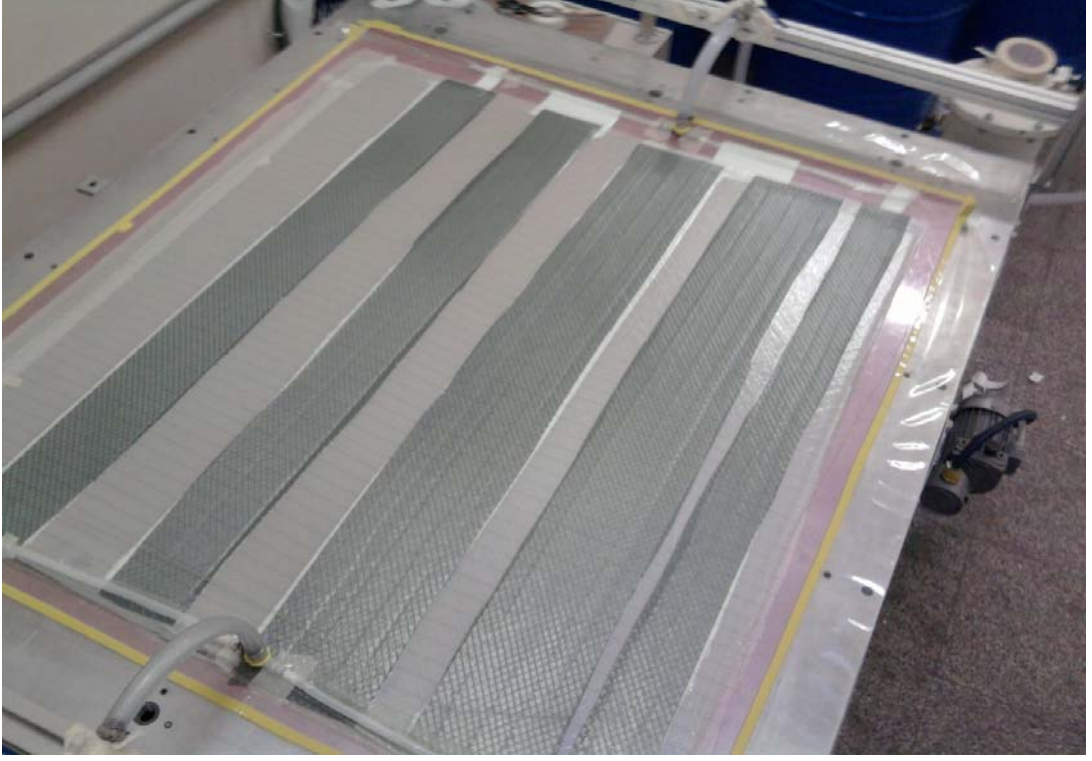
Şekil 3.17 Köprülü yama tipi



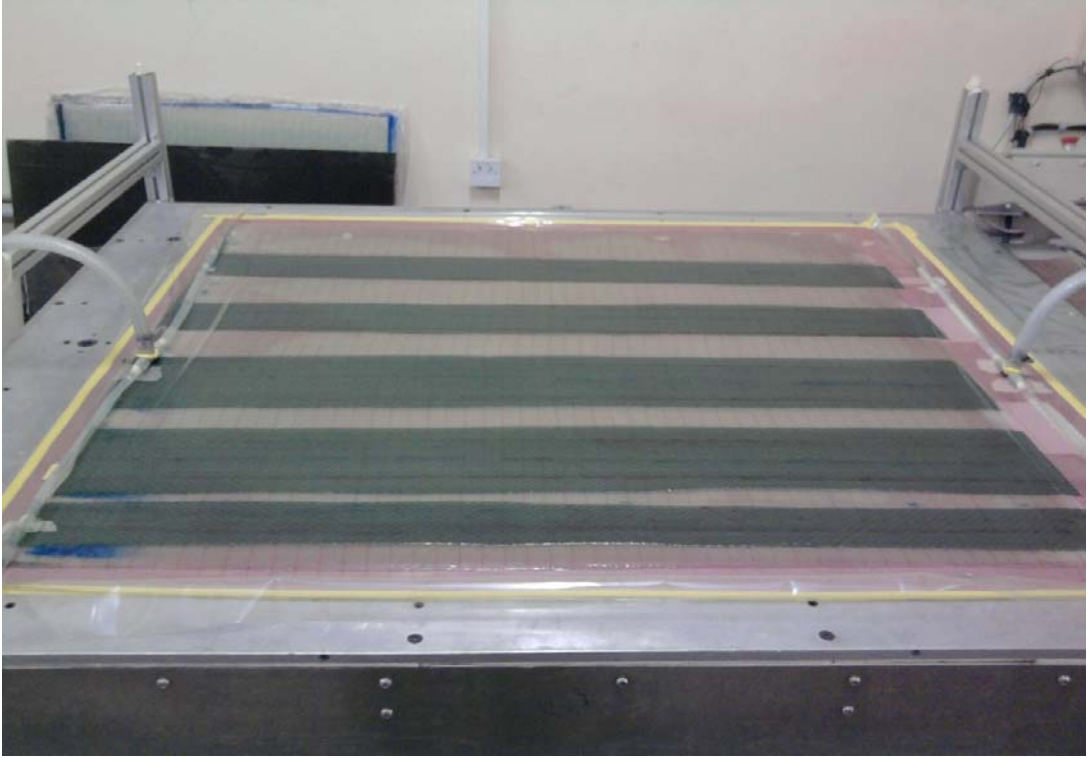
Şekil 3.18 Düz ve köprülü yama için kumaşların yerleşimi



Şekil 3.19 Farklı yama geometrileri için önceden boşluklu üretilmiş kısımlara kumaş yerleştirilmesi



Şekil 3.20 Onarılmış yapının vakum ortamına alınması



Şekil 3.21 Onarımın reçine/sertleştirici verilerek pişirilmesi

Bu yöntemin uygulanışında kullanılan kompozit üretim tezgahının özellikleri ve yapısı şöyle açıklanabilir.

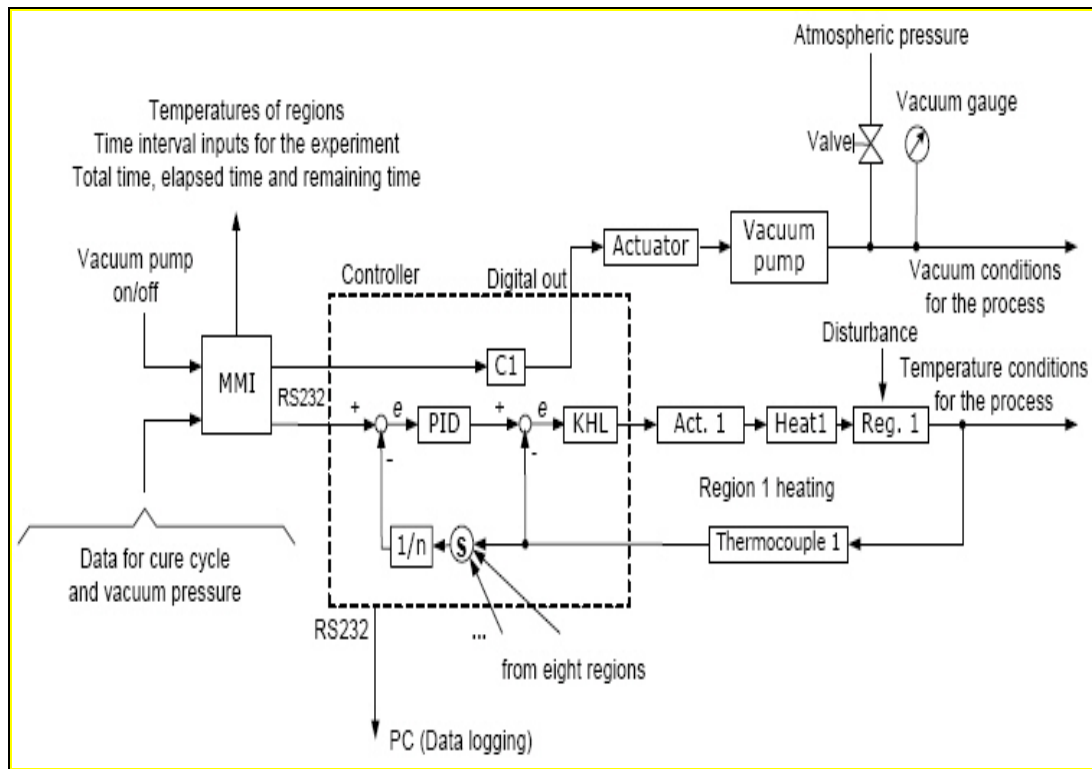
3.3 VARIM Kompozit Üretim Tezgahı

Bu yöntem özellikle epoksi ve fenolik reçine kullanımına uygundur. Çünkü; Vakum, polyester ve vinil ester uygulamalarında fazla oranda styrene'nin reçineden çıkarılmasına sebebiyet verebilir. Bu da polimerleşmeyi engelleyici bir faktör olarak ortaya çıkar. Bu metot ile üretim şu şekilde gerçekleştirilir. Kompozit plakanın oluşması için kullanılan reçine/sertleştirici tipi ısı yardımıyla sertleşen bir karışım ise vakum ortamın ısıtılmasını sağlayacak bir mekanizma yardımı alınmalı, eğer bu karışım kendi kendine ekzotermik kimyasal tepkime sonucu sertleşebilen bir karışım ise sadece vakum ortamı yeterli olacaktır. Projede kullanılan karışım tipi ısı yardımıyla tepkimeye giren bir karışım tipidir. Bu durumdan dolayı vakum ortamı ısıtmak için kompozit plaka üretim tezgahı kullanılmıştır, Şekil 3.22.



Şekil 3.22 Kompozit plaka üretim tezgahı

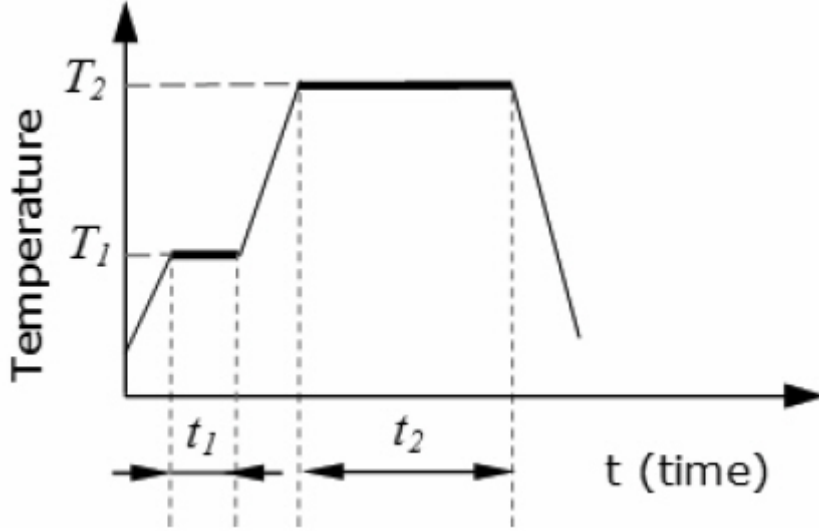
Bu tezgah 1800x1500mm ölçülerinde vakum ve ısı sağlayabilen bir tezgahdır. Masayı ısıtmak için elektrikli ısıtıcı rezistanslar kullanılmıştır. Isıl kontrol tezgah yüzeyinin altına eşit aralıklı yerleştirilmiş ısı çiftleri sayesinde gerçekleştirilmiştir. Dokunmatik bir ekranla kontrol edilen bir PLC sisteme sahip olan tezgahın sıcaklığı 200°C'ye kadar zaman ayarı da yapılabilmektedir. PLC kontrol sistemini en büyük avantajı değişik zaman-sıcaklık ayarlarını aynı üretime uygulayabilmesidir. Kompozit plakanın üretiminde tüm üretim parametreleri istenen seviyede olmalıdır ki plakadan istenen en iyi mekanik özellikler elde edilebilsin. Bu yüzden üretimde eşit sıcaklık dağılımı tepkimenin düzgün gerçekleşebilmesi için çok önemlidir. Bu sebepten tezgah 8 bölgeye ayrılmıştır. Her bölge kendi ısı kontrol sistemine sahiptir, bu da yüzeyin sabit sıcaklıkta kalmasını sağlamaktadır. Isıtıcı masanın (kalıp) kontrolüne ait blok diyagramı Şekil 3.23'te verilmiştir.



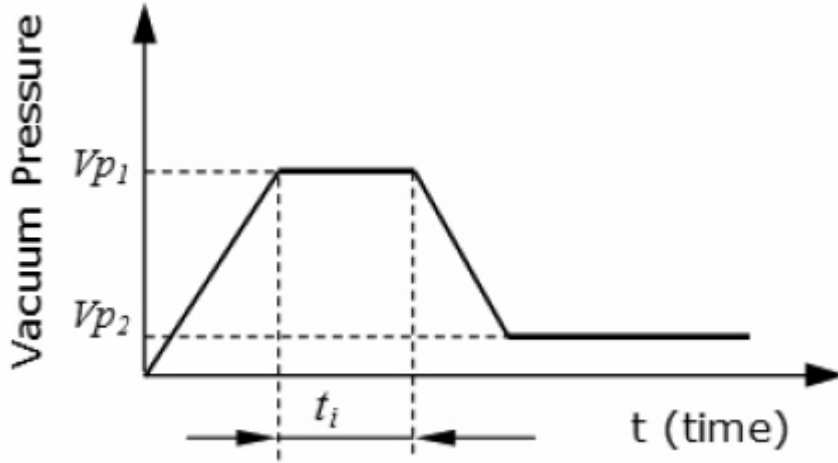
Şekil 3.23 VARIM metodu ısıtma tezgahı için blok diyagramı

Ancak Şekil 3.23'de yalnızca 1. bölgenin ısı kontrol sistemi gösterilmektedir. VARIM sisteminin PLC kontrol ünitesi, bütün bölgelere ait sıcaklık değerlerini kayıt

için bir diske yada bilgisayara eş zamanlı olarak aktarmaya programlanabilir. Kontrol ünitesi bir tepkime işlemi için iki yada üç sıcaklık basamağına programlanabilmektedir. Şekil 3.24 ve 3.25'te iki basamaklı bir tepkime işlemi için sıcaklığın ve vakumun zamanla değişimi gösterilmektedir.



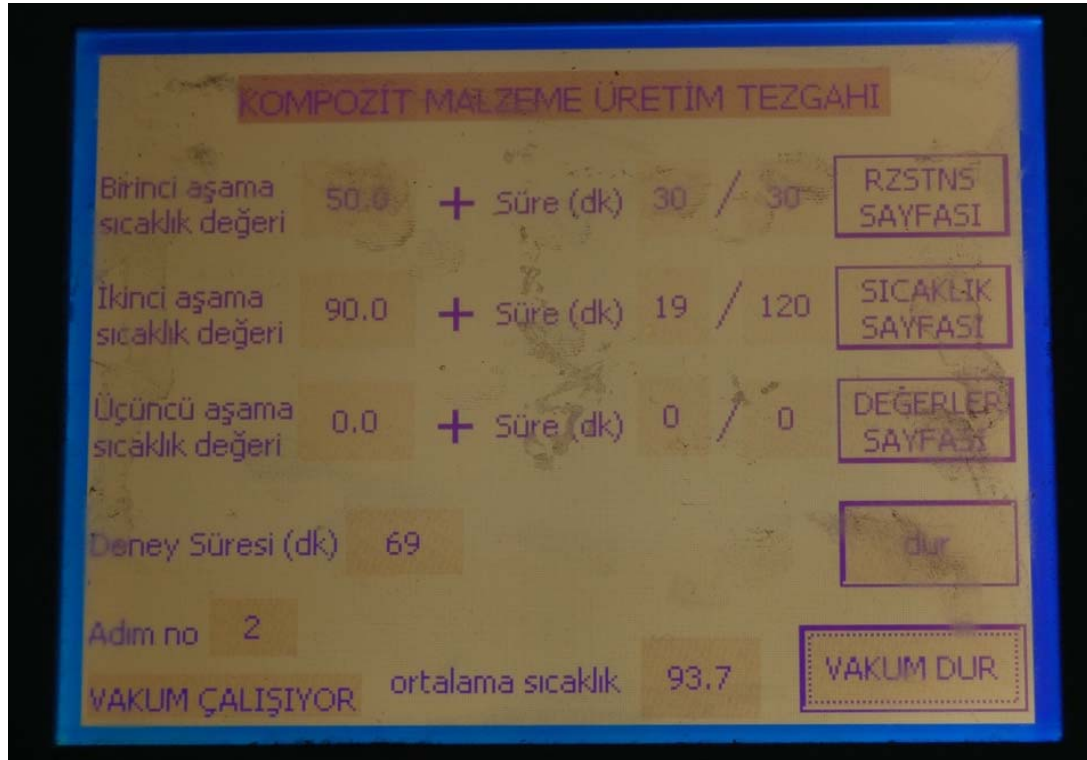
Şekil 3.24 Tepkime için sıcaklık-zaman grafiği(Goren, A. ve Atas, C., 2008)



Şekil 3.25 Üretim için vakum-zaman grafiği(Goren, A. ve Atas, C.,2008)

Tepkime sıcaklığı ve bekleme süresi reçine ve sertleştiriciyi sağlayan firma tarafından verilen bilgilere göre hazırlanmaktadır. Şekil 3.24 ve 3.25'te, T_1 ve T_2 tepkime sıcaklıkları, t_1 ve t_2 bu sıcaklıklarda bekleme zaman aralıklarıdır. V_{p1} reçine emdirme zaman aralığı t_i 'de gerekli olan vakum basıncını ve V_{p2} tepkime sırasında ortamda kalan vakum basıncını ifade eder.

VARIM'da ısı kontrol sistemine ek olarak, vakum pompası ve basınçölçer bulunmaktadır. Vakum pompası sistemin otomatik kontrol dokunmatik ekranından kontrol edilebilmektedir. Vakum değeri kullanıcı tarafından üretimden önce yada üretim sırasında el ile değiştirilebilmektedir, Şekil 3.26, 3.27.



Şekil 3.26 VARIM tezgahı dokunmatik kontrol ekranı



Şekil 3.27 VARIM tezgahı basınç göstergesi(vakum sırasında)

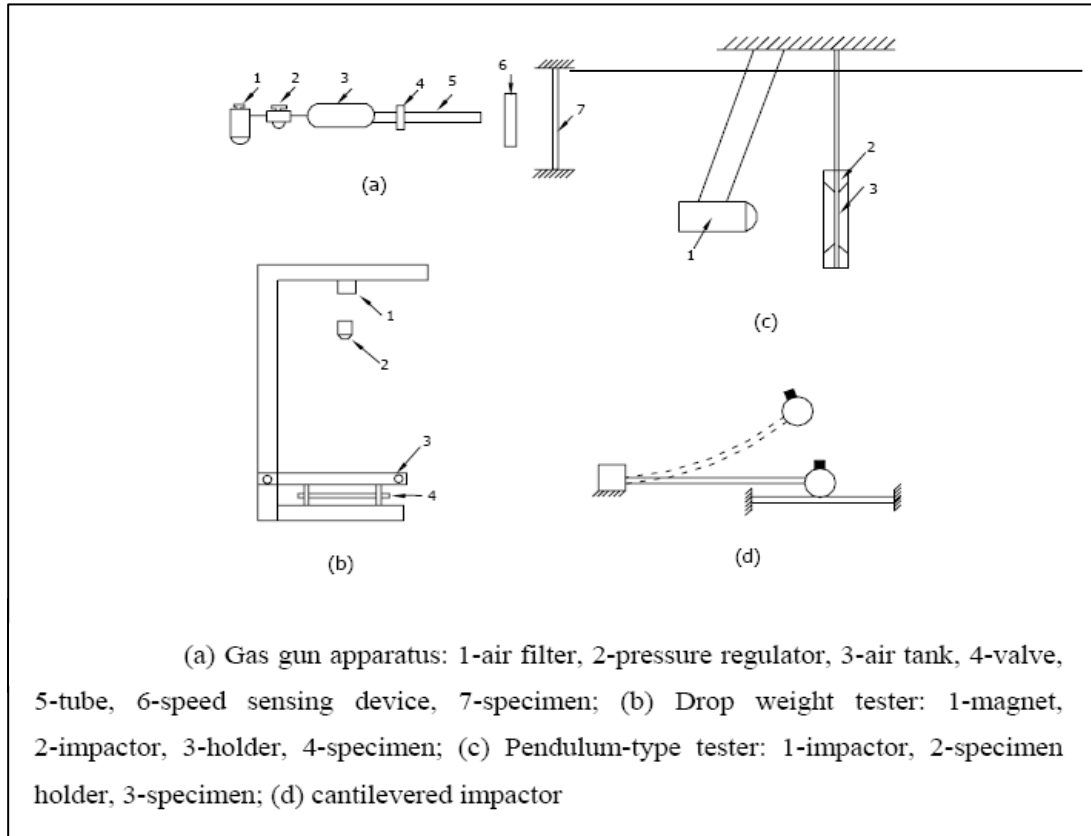
Böylece üretim ve yamanın nasıl yapıldığı gösterildi ve bu esnada kullanılan ekipmanlar hakkında bilgiler verildi. Bundan sonra üretilen plakalardan darbe numuneleri çıkarılarak, bu numunelere darbe deneyi uygulanmıştır.

BÖLÜM DÖRT

KOMPOZİT PLAKLARDA DARBE

4.1 Darbe Deneyi

Yabancı bir objeden dolayı olan gerçek bir darbeyi simüle etmek için, çeşitli test düzenekleri geliştirilmiştir; gaz tabancası cihazı, serbest düşen ağırlık sistemi, sarkaç tipi darbe cihazı...v.b. Abrate(2008), bu darbe test cihazlarını anlatan makaleleri incelemiştir. Bu cihazlardan serbest düşen ağırlık cihazı ve gaz tabancası cihazı araştırmacılar tarafından en çok kullanılanları olduğu görülmüştür. Gerçek test cihazlarının pek çok farklı parçalarının olmasına rağmen, ana hatlarıyla birlikte bu cihazlar Şekil 4.1’de görülmektedir.

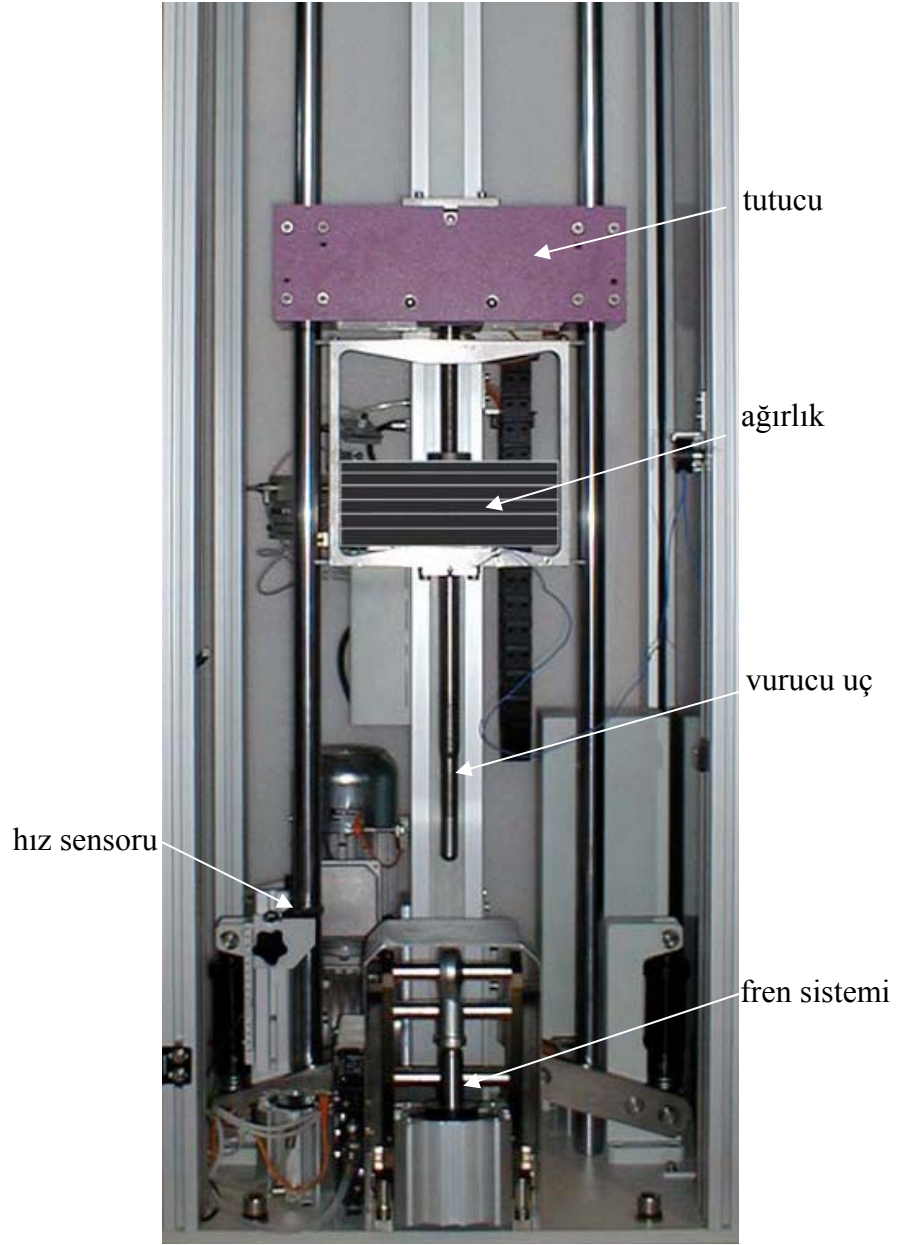


Şekil 4.1 Darbe test cihazları şematik gösterimi [Abrate (1998)]

Deneysel çalışmalarda kontrollü şartlar altında gerçek durumlar temsil edilmeye çalışılmıştır. Darbe uçlarının ilk darbe enerjileri tam olarak aynı olsa bile, yüksek ilk hızlı küçük bir kütle ve düşük ilk hızlı büyük bir kütle farklı hasar miktarına ve hasar modlarına neden olurlar. Bu nedenle cihaz tipinin seçimi ve yapının tipine etkiyen, darbe ucunun hızı gibi darbe faktörleri deneylerde büyük öneme sahiptirler.

Örneğin, bakım çalışmaları sırasında yapıların üzerine düşen aletler serbest düşen ağırlık testiyle simüle edilebilir iken hava araçlarının iniş ve kalkışları sırasında pistte uçan parçalar en iyi şekilde küçük mermili yüksek hızlı gaz tabancası ile simüle edilebilir.

Bu çalışmada ağırlık düşürme prensibine göre çalışan bir darbe test cihazı, CEAST – Fractovis Plus, kullanılmıştır. Kullanılan cihazın parçalarına ait bir resmi Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 Serbest düşen ağırlık darbe cihazı iç gösterim

Her bir darbe testinde numune kenarlarından çepeçevre tutulmuştur ve silindirik darbe ucunun hesaplanan yükseklikten numunenin tam ortasına düşürülmüştür. Ardından temas kuvveti/gerçek zaman grafiği elde edilmiştir. İvme, hız ve deplasman gibi diğer darbe parametreleri, temas kuvveti/gerçek zaman verilerinden (vurucu ucun mükemmel rijitlikte olduğu kabul edilerek) Newton'un ikinci yasası ve kinematik denklemler kullanılarak hesaplanır. Bu şekilde elde edilebilecek bir

kuvvet-deplasman eğrisinden darbe deneyinde numune tarafından absorbe edilen enerji değeri hesaplanabilir.

Bu çalışmada uygulanan darbe deneylerinde düşen ağırlık esasına dayalı olarak çalışan CEAST marka FRACTOVIS PLUS darbe test cihazı kullanılmıştır. Kullanılan cihaz, termal şartlandırma kabini (-100°C ile +150°C arasında), ilave enerji sistemi (1800 J enerji ve 24 m/s hız değerine çıkabilir), darbe sonrası fren sistemi (çekicinin sıçrama sonrası tekrar parçaya düşmesini engellemek için), vurucu yağlama sistemi gibi özelliklere sahiptir.

Darbe sonrası kompozit malzemede çeşitli hasar tipleri meydana gelmektedir.

4.2 Kompozit malzemelerde darbe hasar modları

Fiber takviyeli kompozitlerde dört farklı hasar modu vardır.

4.2.1 Matris modu

Matris hasarı, düşük hızlı enine darbenin oluşturduğu hasarın ilk tipidir. Genellikle matris kırılması şeklinde meydana gelir. Matris hasarı ayrıca fiber ve matris ara yüzeyi arasındaki bağın kopması şeklinde de oluşur.

4.2.2 Delaminasyon modu

Delaminasyon, aynı katman grubundaki tabakalar arasında değil, farklı fiber oryantasyonlarına sahip tabakalar arasında matris bakımından zengin bölgede meydana gelen bir kırılmadır. Tabakalı kompozit malzemede katmanlar arasındaki farklı fiber yönelmelerinden dolayı bu katmanların eğilme rijitlikleri farklılık gösterir. Delaminasyonun en önemli sebebi, tabakalar arasındaki bu eğilme rijitlik farklılığı ve eğilme kaynaklı gerilmelerdir.

4.2.3 Fiber modu

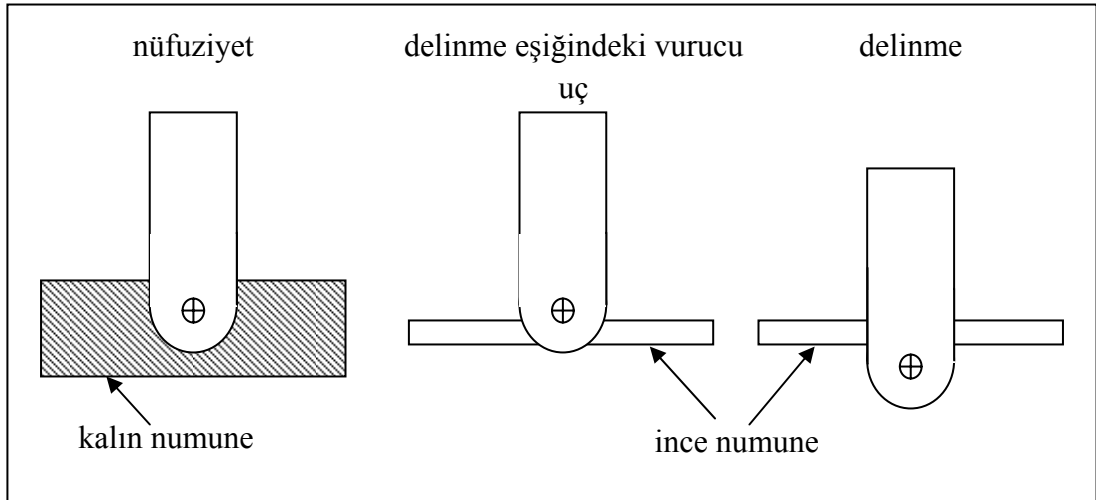
Hasar modlarından bir diğeri olan fiber kopması, genellikle matris kırılması ve delaminasyondan çok daha sonra meydana gelir. Fiber kopmasına neden olan en önemli iki faktör;

1)Yüksek lokal gerilmeler ve nüfuziyetin yaratmış olduğu etkilerdir (esas olarak kesme kuvvetleri tarafından idare edilen etkiler). Bu olay çarpan cismin hemen altında gerçekleşir.

2)Yüksek eğilme gerilmeleridir. Bu olay ise, darbeye maruz kalmayan yüzeyde meydana gelir.

4.2.4 Nüfuziyet ve delinme

Nüfuziyet, hasarın makroskobik bir modudur ve çarpan cismin malzemeye tamamıyla nüfuz etmesidir. Balistik darbede fiber davranışı, delip geçmek için gerekli olan enerjiyi karşılamada matris malzemesinden çok daha büyük bir öneme sahiptir. Fiberlerin tek yönlü olduğu katmanlarda matris kırılmalarını tahmin etmek oldukça kolaydır. Fiberler gelişigüzel düzenlendikleri zaman, kırılma modellerini oluşturmak daha zordur. Nüfuziyet kısaca çarpan parçacığın veya ucun numuneye saplanması olarak tanımlanırken delinme çarpan ucun numuneyi tamamen delip geçmesi şeklinde ortaya çıkar.



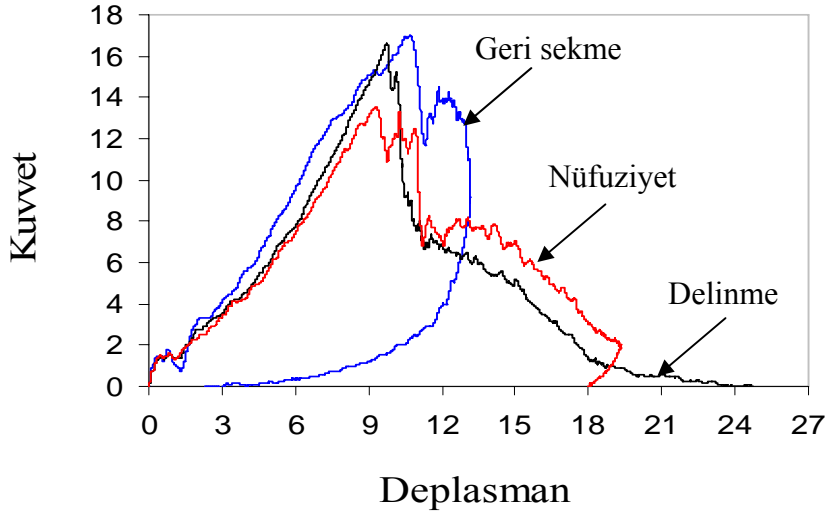
Şekil 4.4 Nüfuziyet ve delinme hasarları

Bu bilgiler daha sonra deney sonuçlarını değerlendirirken kullanılacaktır. Ayrıca değerlendirme sırasında çeşitli grafiklerden de yararlanılacaktır. Bu grafikler ve özellikleri şöyledir.

4.3 Darbe grafikleri

4.3.1 Kuvvet-deplasman grafiği

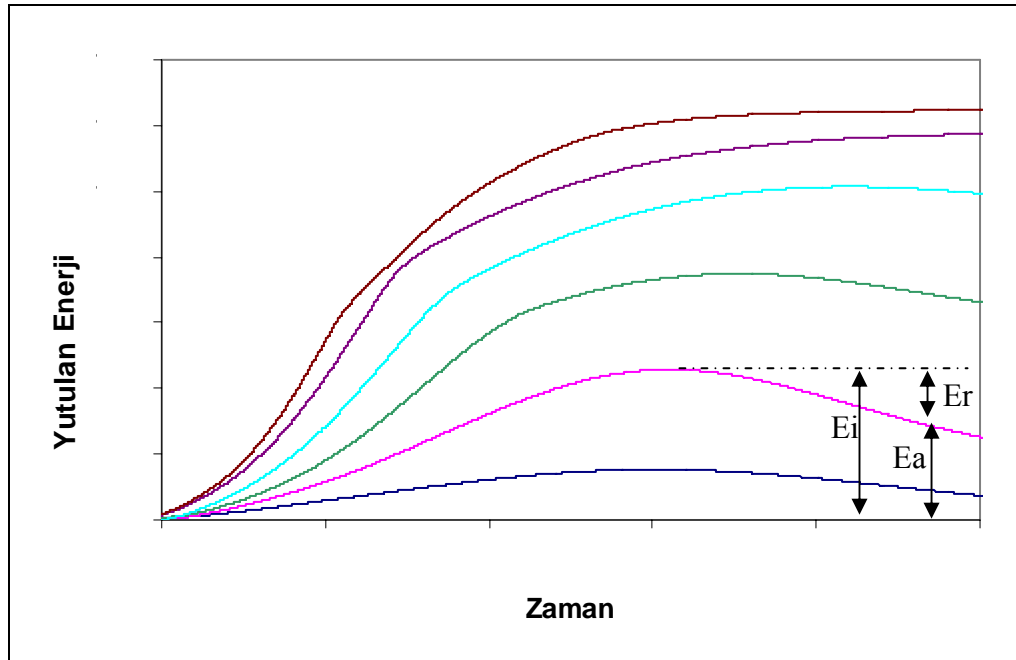
Kuvvet-deplasman eğrileri bir darbe testinde malzeme davranışına ilişkin çok önemli ipuçları içerir. Eğrilerin bir bütün olarak Şekil 4.5'te görüldüğü gibi dağa benzeyen bir şekli vardır. Bununla birlikte açık ve kapalı eğri olmak üzere iki tip eğri vardır. Kapalı eğri yük artışını gösteren bir bölüm ile yükleme ve boşalma içeren bir geri dönüş bölümü içerir. Ayrıca artan yükleme bölümünün eğimi kompozit malzemenin darbe yüklemesi altında eğilme rijitliğini gösterir. Darbe enerjisine bağlı olarak eğrinin tepe noktasından sonraki düşüş kısmı üç farklı şekilde olabilir. Bu darbe ucunun numuneden geri sekmesi ile oluşan geri sekme eğrisi olabilir. Bu kısmı nüfuziyet sonrası geri sekme olabilir. Bu durum delinme ile sonuçlanan açık bir eğri şeklinde olabilir. Eğer inen kısım tamamen delinmiş bir hasara aitse kuvvet-deplasman eğrisi açık eğri olur. Darbe enerjisi düşük olduğu zaman kuvvet-deplasman eğrisi kapalı bir eğri olur yani geri sekme sonucu kuvvet ve deplasman azalır ve eğri başlangıç noktasına yakın bir noktaya gelir. Darbe enerjisinin artmasıyla kuvvet maksimum noktaya yükselir bu noktaya pik kuvvet denir. Kısmi hasarlı dolayısıyla kısmi geri sekmeli durumlarda grafiğin iniş kısmında geri sekme olana kadar deplasmanın arttığı görülür. Darbe enerjisinin artmasıyla hasarlı kısım daha çok artar ve geri sekme gitgide düşer. Bu durum Şekil 4.5'te nüfuziyet eğrisinde görülebilmektedir. Darbe enerjisi iyice arttığında eğri açık eğriye dönüşür deplasman maksimuma ulaşır ve geri sekme gözlenmez. Bu durum Şekil 4.5'te delinme eğrisinde görülmektedir. Nüfuziyet eğrisinde görüldüğü üzere eğrinin son ucu delinme eğrisine yakındır bu durum delinmeye yakın bir nüfuziyet olduğunu gösterir. Ayrıca bu eğrilerin altında kalan alan darbe süresince yutulan enerjiye karşılık gelmektedir. Burada her bir numuneye ait yutulan enerji değerleri tespit edildikten sonra, kompozit plağa ait yutulan enerji – darbe enerjisi (enerji profili diyagramı) çizilebilir. Bu diyagramdan daha sonra (4.3.4'te) ayrıntılı bir şekilde bahsedilecektir.



Şekil 4.5 Kuvvet-deplasman eğrisi

4.3.2 Absorbe edilen enerji-zaman grafiği

Farklı darbe enerjileri (E_i) için, yutulan enerji – zaman değişimi grafikleri de Şekil 4.6'daki gibi olmaktadır.

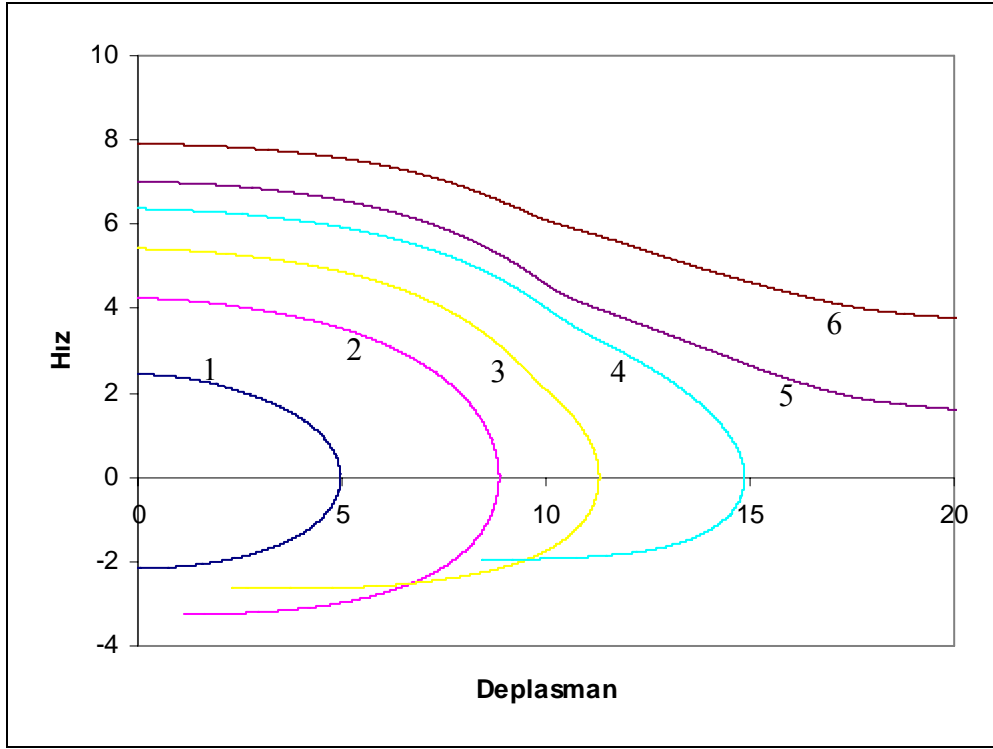


Şekil 4.6 Farklı enerjiler için absorbe edilen (yutulan) enerji-zaman diyagramı

Darbe olayının sonunda vurucudan kompozit numuneye geçen enerji miktarı, kompozit numuneye en fazla hasarı veren enerjiye kadar artar. Şekil4.6’da görüldüğü üzere her bir eğri önce artmakta daha sonra ulaştığı maksimum değerden düşüyor ve ardından sabit bir değerde yatay bir yol izliyor. Bu ulaşılan maksimum nokta darbe enerjisini (E_i) vermektedir. Yatayda ulaştığı sabit nokta ise absorbe edilen enerjiyi (E_a) göstermektedir. Bu ikisi arasındaki fark geri sekme enerjisini (E_r) göstermektedir.

4.3.3 Hız-deplasman grafiği

Şekil 4.7’de farklı enerjiler için vurucunun hız – deplasman değişimleri gözlenmektedir. Şekilden görüldüğü gibi (beklendiği üzere) hızın en yüksek olduğu anda numune ile vurucu arasında temas başlamıştır. Hız büyüklüğünün parabolik bir şekilde azalarak sifira ulaştığında deplasman maksimum noktaya ulaşmaktadır. Bununla birlikte 1, 2, 3 ve 4 eğrilerinde negatif hız değerleri çarpma ucunun maksimum deplasmandan sonra geri dönüşü (geri sekme) göstermektedir. 5 ve 6 eğrileri kısmi ve tam delinme durumunu göstermektedir. Bu durumlara göre Şekil 4.7’de görüldüğü üzere geri sekme hızı-darbe hızı oranı darbe enerjisinin artışı ile düşmektedir. Başka bir deyişle bu oran numunede oluşan hasarın artışı ile düşmektedir. Bu oran 0 ile 1 arasında bir değere sahip olmalıdır. Küçük enerjiler için bu durum Şekil 4.7’de 1 numaralı eğriden de görüldüğü gibi 1’e yakın olmalıdır.



Şekil 4.7 Farklı enerjiler için hız-deplasman grafiği

4.3.4 Eş enerji grafiği

Kompozit yapıların darbe davranışlarını ve darbe direncini incelemeye göz önüne alınan en önemli parametrelerden ikisi de darbe enerjisi (E_i) ve absorbe edilen enerjidir (E_a). Darbe enerjisi çarpan uç tarafından kompozit numuneye aktarılan enerji olarak, yutulan enerji ise darbe enerjisinin numune tarafından deformasyonlar yolu ile yutulan kısmı olarak tanımlanabilir.

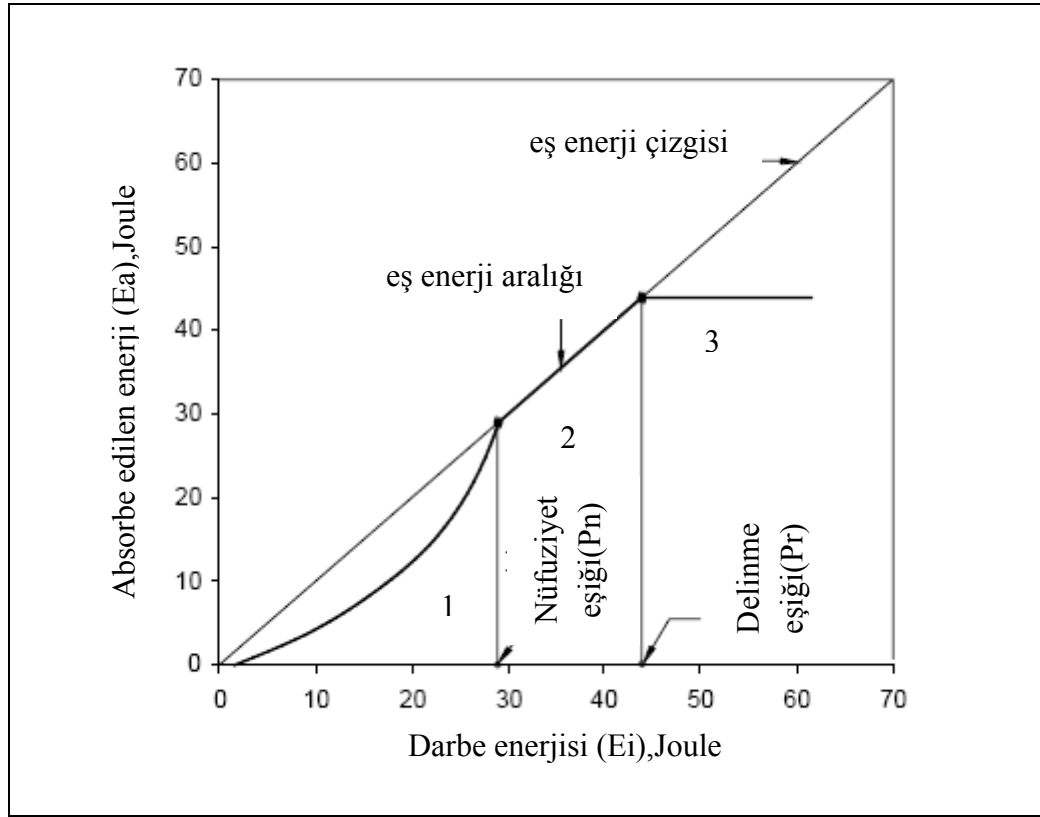
Bu iki parametre arasındaki ilişkiyi gösteren grafik enerji profil diyagramı olarak adlandırılmıştır. Enerji profili diyagramı ile kuvvet-deplasman eğrilerini ve hasarlı numuneleri bir arada karşılaştırarak incelemek hasar mekanizmalarının tespitinde önemli avantajlar sağlar.

Bu enerji profili diyagramının şeklini çarpan uç ve numune ile ilişkili bir takım parametreler belirler. Kompozit yapıyı meydana getiren bileşenler, lif geometrisi, numunelerin kalınlık ve tabaka dizilişi ve çarpan ucun geometrisi gibi faktörler buna örnek olarak verilebilir. Şekil 4.8'de bir enerji profili diyagramı (EPD) şematik olarak verilmiştir. Diyagram genel olarak 3 ana bölgeye ayrılabilir.

1.Bölge: Çarpan ucun numuneye saplanmadığı, çarpma sonrası geri sıçramanın gerçekleştiği bölgedir. Bu bölgede eş enerji çizgisi ile deney verileri arasındaki fark yutulmayan artık enerjiye karşılık gelmektedir.

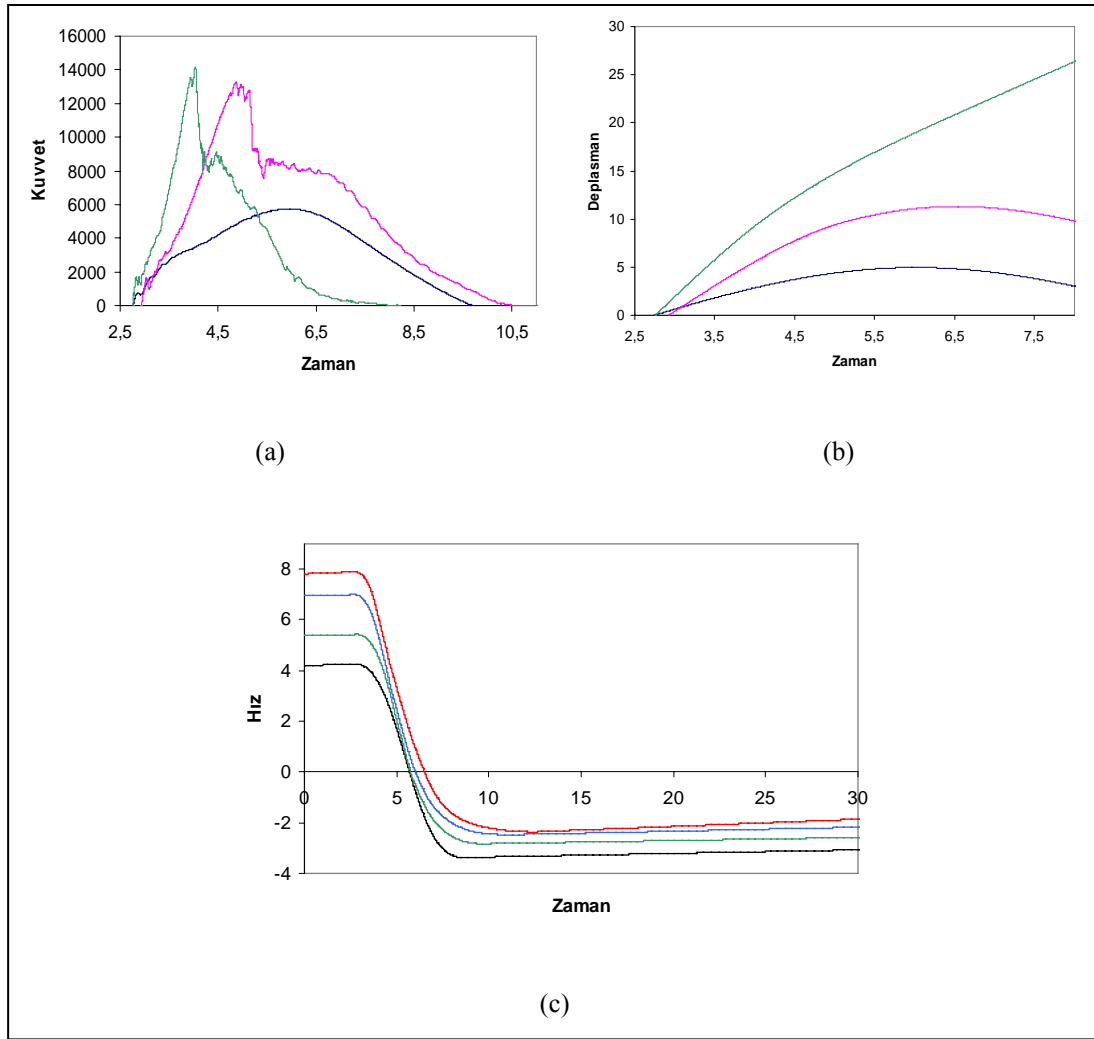
2.Bölge: Çarpan ucun numuneye nüfuz etmeye başladığı ve darbe enerjisi değerine bağlı olarak farklı derinlikte numuneye saplanıp kaldığı aralıktır. Bu bölgede darbe enerjisinin tamamına yakını numune tarafından yutulduğu için deney verileri eş enerji çizgisinin neredeyse üzerinde yer alırlar.

3.Bölge: Bu bölgede çarpan uç delinme eşiğinden daha büyük bir enerjiye sahiptir. Bu bölgede darbe enerjisinin artırılması meydana gelen hasar miktarını çok fazla değiştirmedikinden yutulan enerji miktarı hemen hemen sabit kalmaktadır.



Şekil 4.8 Enerji profil diyagramı

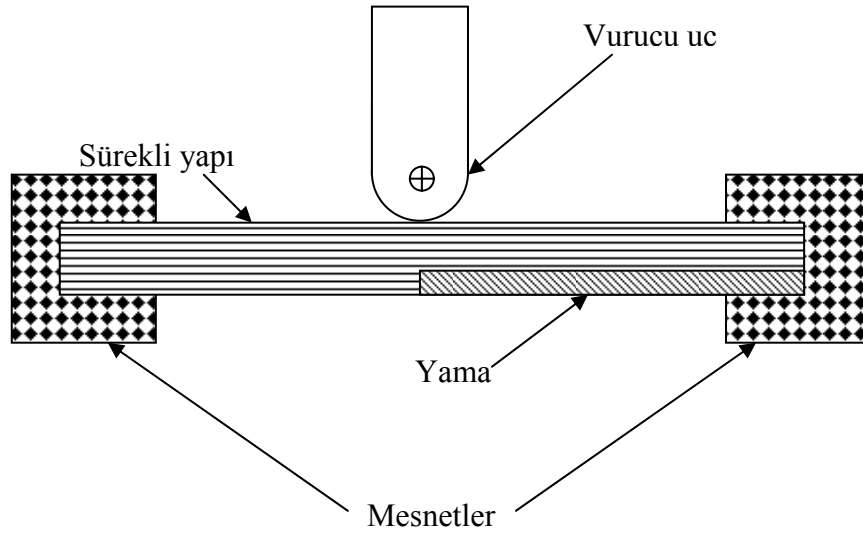
Bahsettiğimiz bu grafiklerden başka darbe deneylerini anlamamıza yarayan kuvvet-zaman, deplasman-zaman, hız-zaman gibi zamana bağlı değişimlerin gözlendiği çeşitli grafikler vardır. Bu grafiklere ait birer örnek Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9 Zamana bağlı darbe grafikleri (a) kuvvet-zaman (b) deplasman-zaman (c) hız-zaman

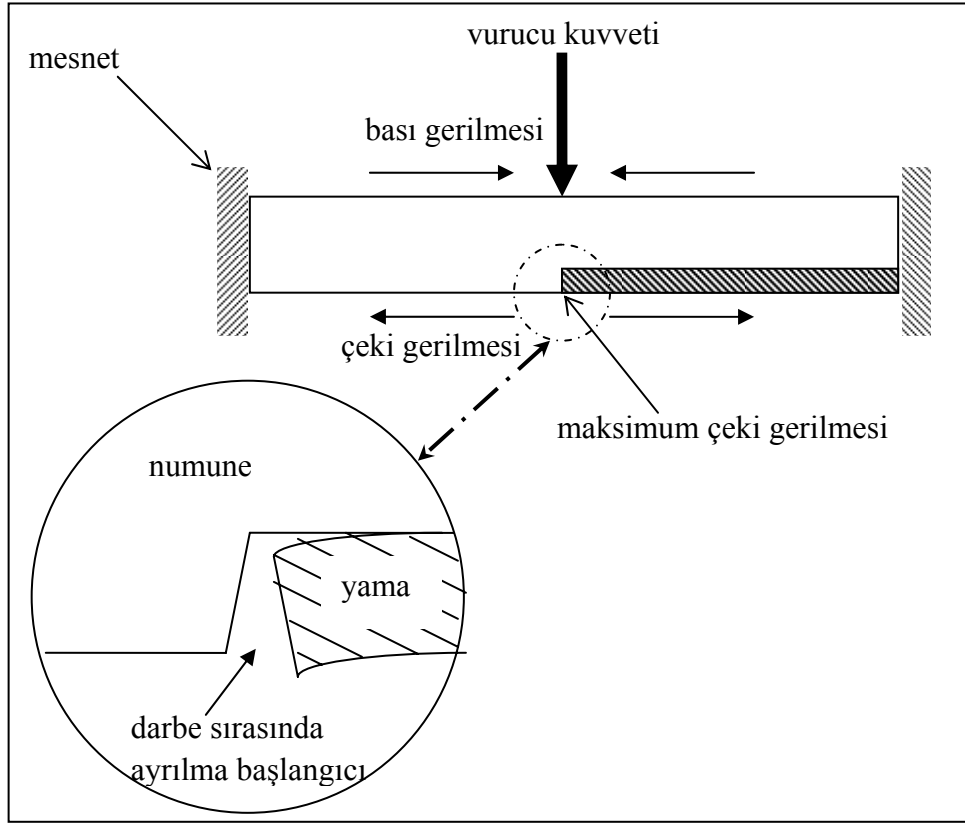
4.4 Darbe uygulaması ve parametreleri

Darbe numuneleri 100x100mm ölçüsüne sahip kare şeklinde kesilmiştir. Deneyin yapılması sırasında yama bölgesine vurucunun denk gelmesini sağlayabilmek için kare profil aparat kullanılmıştır. Darbe uygulaması için 20 mm çapında yarım küresel uç kullanılmıştır. Bu ucun seçiminde yama bölgesinin ayrılmasını sağlamak öncelikli tutulmuştur. İnce bir vurucu uc lokal etki yapıp yamanın incelenmesini zorlaştırmıştır. Şekil 4.10'da darbenin yapılışı şematik olarak gösterilmektedir.



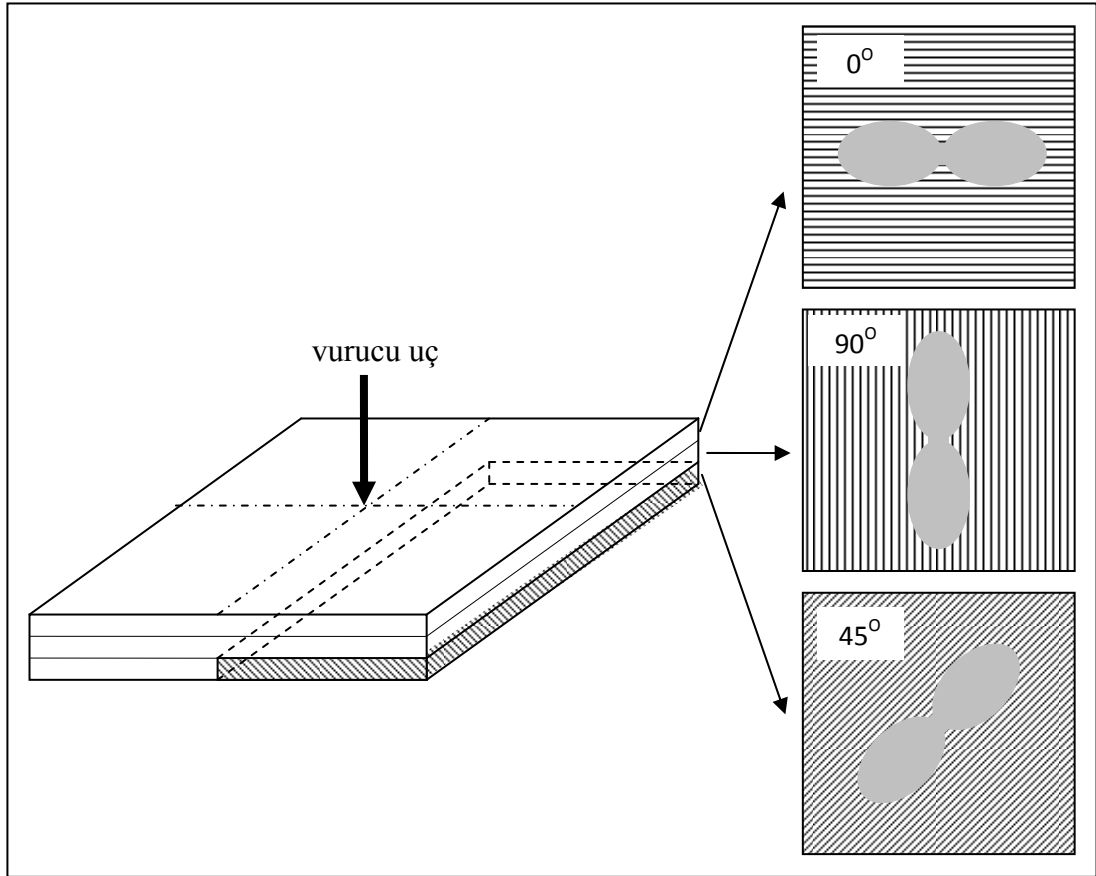
Şekil 4.10 Darbe deneyinin yapılışının şematik gösterimi

Şekil 4.10’da görüldüğü üzere vurucu uç yamanın tam basamak kısmından vurmaktadır. Deneylerde bu durum numuneyi eğmeye zorlamıştır ve böylece numunenin alt kısmında çeki üst kısmında bası gerilmeleri oluşmuştur. Oluşan bu çeki gerilmesi yamayı basamak noktasından zorlamıştır. Bu kısım yamanın en hassas olduğu yerdir. Çünkü yama mantığından dolayı bu kısım reçine ile ana parçaya yapışmaktadır. Şekil 4.11’de bu ayrılmanın oluşumu şematik bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 4.11 Yama ayrılışı şematik gösterim

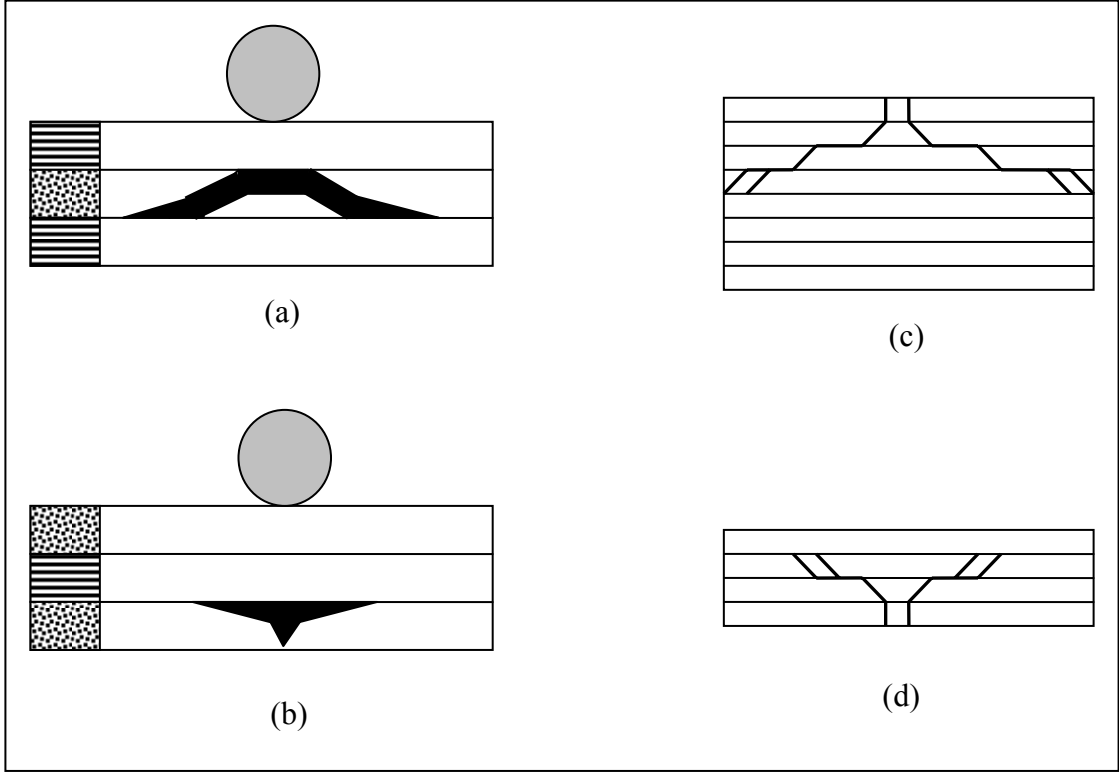
Kesit alanı olarak numunede yama davranışını inceledikten sonra yamanın uzunluğu boyunca nasıl davrandığını incelemek hasar alanını yorumlamada yardımcı olacaktır. Tabakalı kompozitlerde kompoziti oluşturan elyaf kumaşların örgülü olup olmamasına yada fiberlerinin yönüne göre oluşan hasar tipleri farklılık gösterir. Bu projede örgülü (woven) kumaş yerine açılı kumaş kullanılmıştır. 0° , 90° ve 45° açılı kumaşlar çeşitli tabaka sayılarında ve farklı dizimlerle kullanılmıştır. Darbe sonrasında tabakalar arasında oluşan hasar bir yer fıstığını andırmaktadır. Oluşan bu hasar şekli tabakadaki kumaşın fiber oryantasyon açısına göre değişmektedir. Şekil 4.12’de kullanılan kumaşlara göre oluşan bu ayrılma (delaminasyon) hasarı gösterilmektedir.



Şekil 4.12 Fiber oryantasyon açısına göre oluşan hasar şekilleri

Bu hasarlar çeşitli çatlak ilerlemeleri ile gerçekleşmektedir. Bu hasar ilerlemeleri ikiye ayrılmaktadır. Parçaların ince yada kalın olmasına göre çeki yada kayma çatlakları oluşmaktadır. Çeki çatlakları genellikle ince ve esnek numunelerde meydana gelmektedir. Darbe sırasında ucun numuneye temasıyla numunede oluşan gerilmeler Şekil 4.11’de verilmektedir. Buradan da görüleceği gibi çeki gerilmeleri ucun temas ettiği yüzeyin tam aksi yüzeyde oluşmaktadır. Numunede ilk hasar en alt noktadan başlamaktadır. Kayma (kesme) etkisi kalın ve rijitliği yüksek numunelerde meydana gelmektedir. Kalın numunelerde darbe noktasında gerilme yığılmaları meydana gelmekte ve hasar darbe yüzeyinde başlamaktadır. Oluşan bu lokal hasar daha alttaki tabakalarda çatlaklarla ilerler. Bu çatlak durumuna da kayma çatlakları denir. Şekil 4.13’te bu çatlaklar şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 4.13 (c) ve (d)’de verilen çatlak ilerlemeleri görüldüğü üzere palmiye şeklinde olup (c)’de kalın

numuneler için palmiye şeklinde, (d)'de ince numuneler için ters palmiye şeklindedir.



Şekil 4.13 Darbe çatlak ilerlemeleri şematik gösterimi (a) kayma çatlağı (b) çeki çatlağı (c) kalın numunede çatlak ilerleyişi (d) ince numunede çatlak ilerleyişi

Darbe deneyi yapılışı ve sonuçlarının incelenmesi ile ilgili bilgiler verildikten sonra darbe deney sonuçları verileri incelenmeye başlanabilir.

BÖLÜM BEŞ

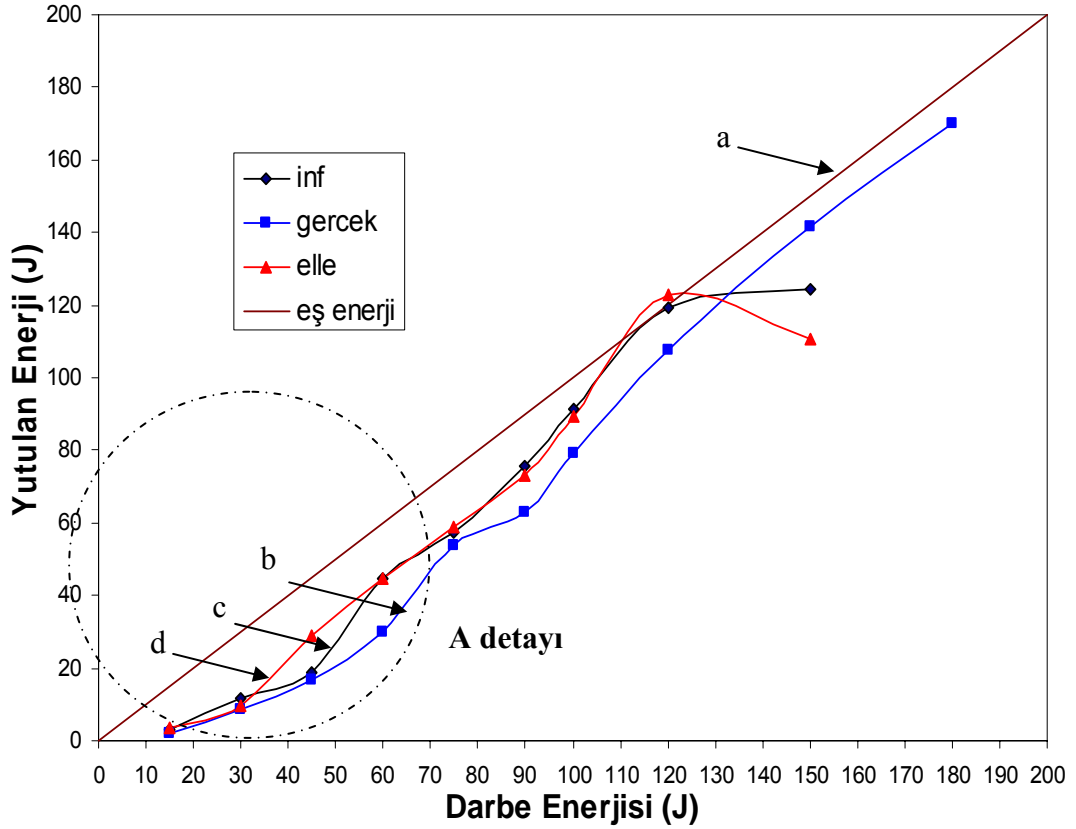
ONARILMIŞ KOMPOZİT PLAKLARIN DARBE DAVRANIŞI

Bu bölümde çeşitli faktörlerin onarılmış kompozit plakların darbeli yükler altındaki davranışına nasıl etki ettiği incelenmiştir. Bu parametreler; üretim yöntemi, yama derinliği ve test sıcaklığıdır.

5.1 Farklı yama üretim tekniklerinin karşılaştırılması

Onarım ve üretim kısımlarında da bahsedildiği üzere hasarlı numunenin onarılarak tekrar geri kazanımı için farklı üretim tipleri mevcuttur. Bir onarım işlemini incelemek için öncelikle bu onarımın hangi yöntemle yapıldığı önemlidir. Böylece en iyi onarım üretim yöntemi bulunarak diğer parametrelerin incelenmesi daha doğru sonuçlar verecektir. Bunun için onarım için en çok kullanılan iki metodun tabaka sayısı, fiber oryantasyon açısı v.b. diğer parametreleri sabit tutularak karşılaştırılması yapılır. Bu karşılaştırma için on iki tabaka $[\pm 45]_{3S}$ E-glass/epoksiden bir tarafı el yatırma ile onarılmış diğer tarafı infüzyon ile onarılmış ve bir tarafı da normal bırakılmış bir kompozit plaka üretildi. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar grafikler ve hasarlı numune resimleri yardımıyla incelenecektir.

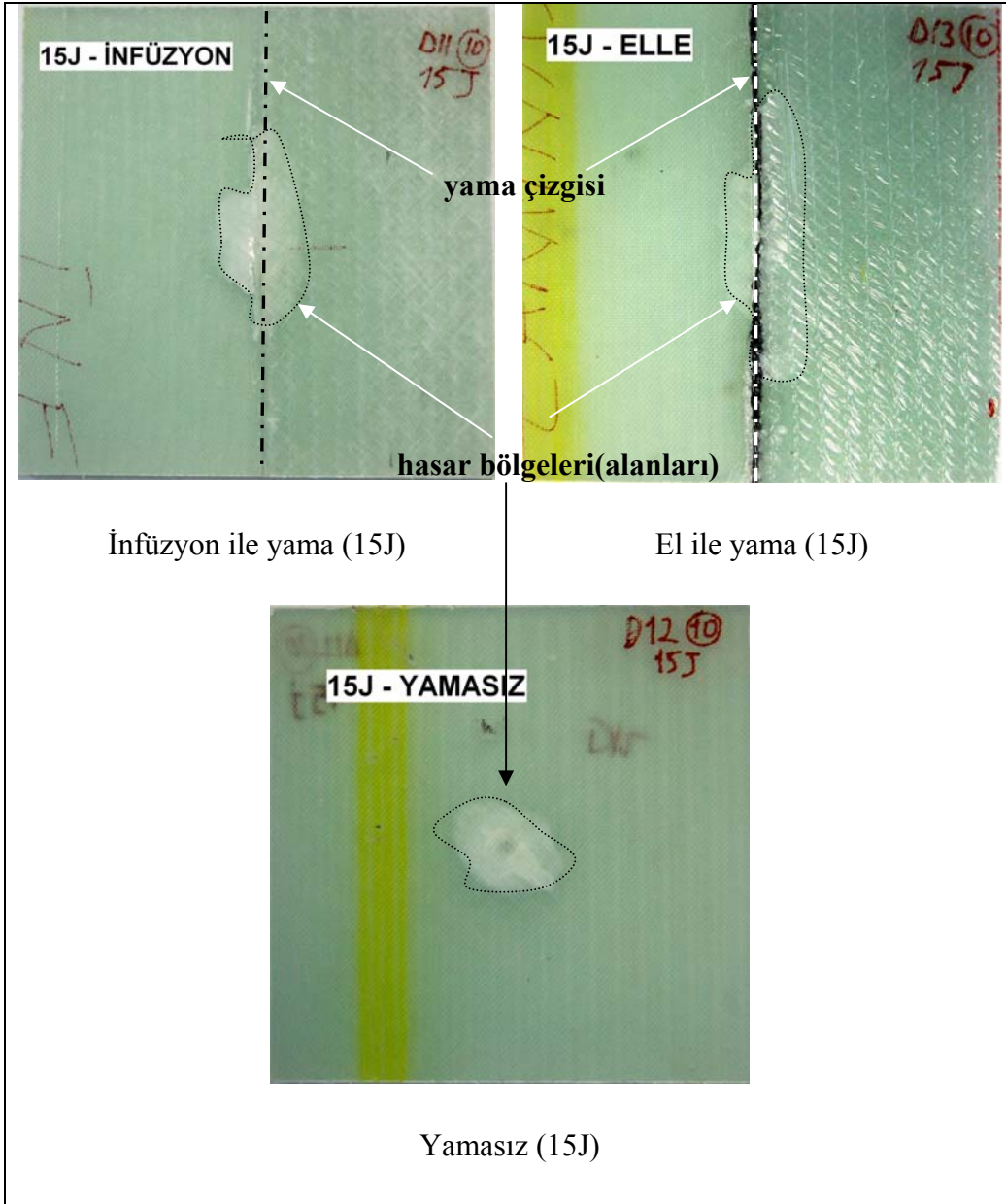
Bu yöntemle onarılmış kompozitlere sırayla 15J, 30J, 45J, 60J, 75J, 90J, 100J ve 150J enerji değerlerinde darbe yapılmıştır. Yapılan bu deneyler sonucunda numuneler ve bunlara ait kuvvet-deplasman ve eş enerji grafikleri incelenerek onarım metotları kıyaslanmıştır.



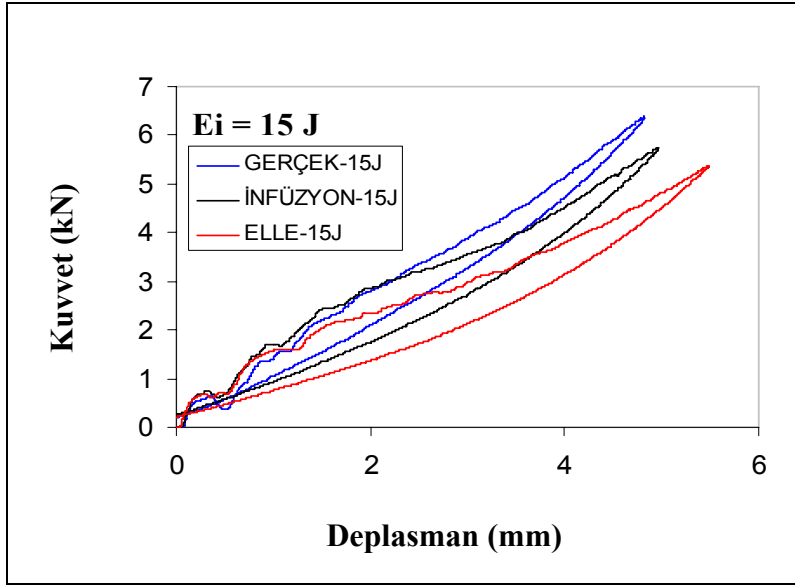
Şekil 5.1 Çeşit darbe enerjileri için numunelerin eş enerji grafiği (a) eş enerji eğrisi (b) yamasız numune eşik değeri (c) infüzyon ile yama eş değeri (d) el yatırma yaması eşik değeri

Şekil 5.1'de hasarsız (gerçek), elle onarılmış ve reçine infüzyonu yöntemiyle onarılmış numunelere ait enerji profili diyagramı (yutulmuş enerji – darbe enerjisi değişimi) verilmiştir.

Şekil 5.2 ve 5.3'te 15 J'lük darbe enerjisine karşılık gelen darbe testlerine ait resimler ve kuvvet – deplasman grafikleri verilmiştir.

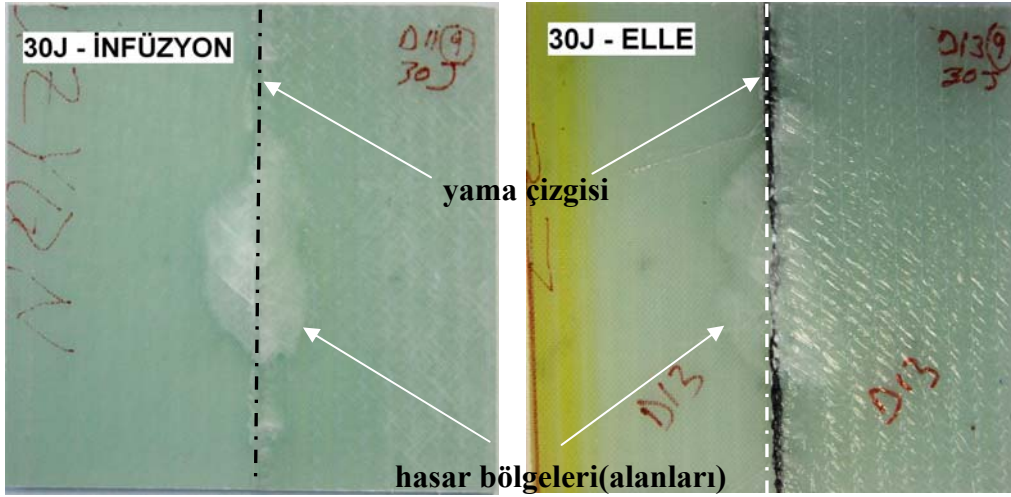


Şekil 5.2 Darbe enerjisi $E_i=15$ J için numunelerdeki hasar dağılımı



Şekil 5.3 15J darbe enerjisi uygulanmış numuneler için kuvvet deplasman grafiği

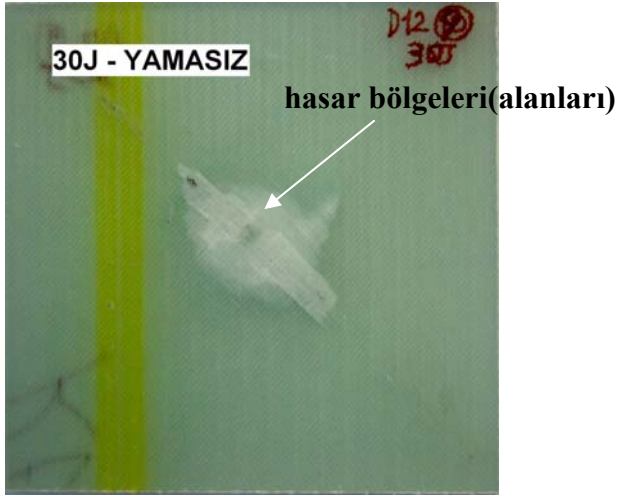
Grafikten görüldüğü gibi 15J enerji değerinde gerçek (yamasız) numune diğerlerine göre daha rijittir. Yama tiplerine göre bakacak olursak infüzyon ile yama yapılmış malzeme el yatırma ile yama yapılmış malzemeye göre daha rijittir.



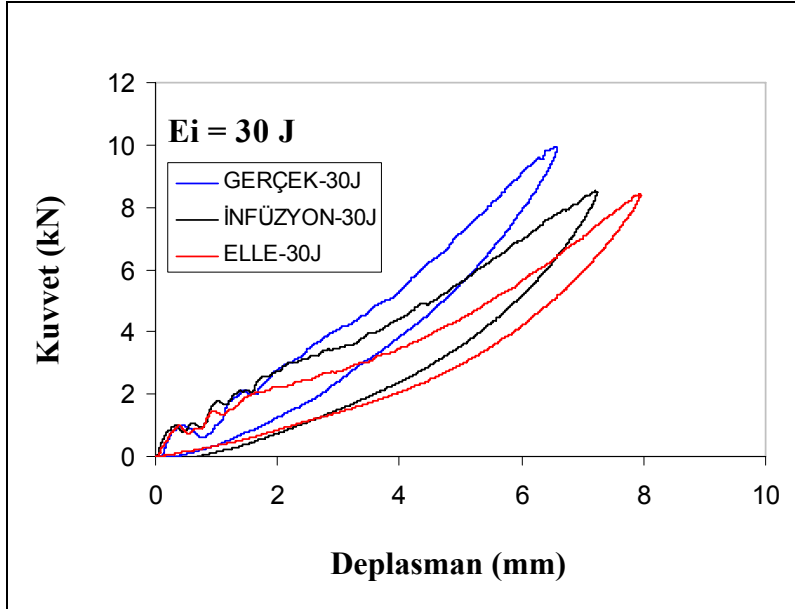
İnfüzyon ile yama (30J)

El ile yama (30J)

Şekil 5.4 30J darbe enerjisi uygulanmış numuneler



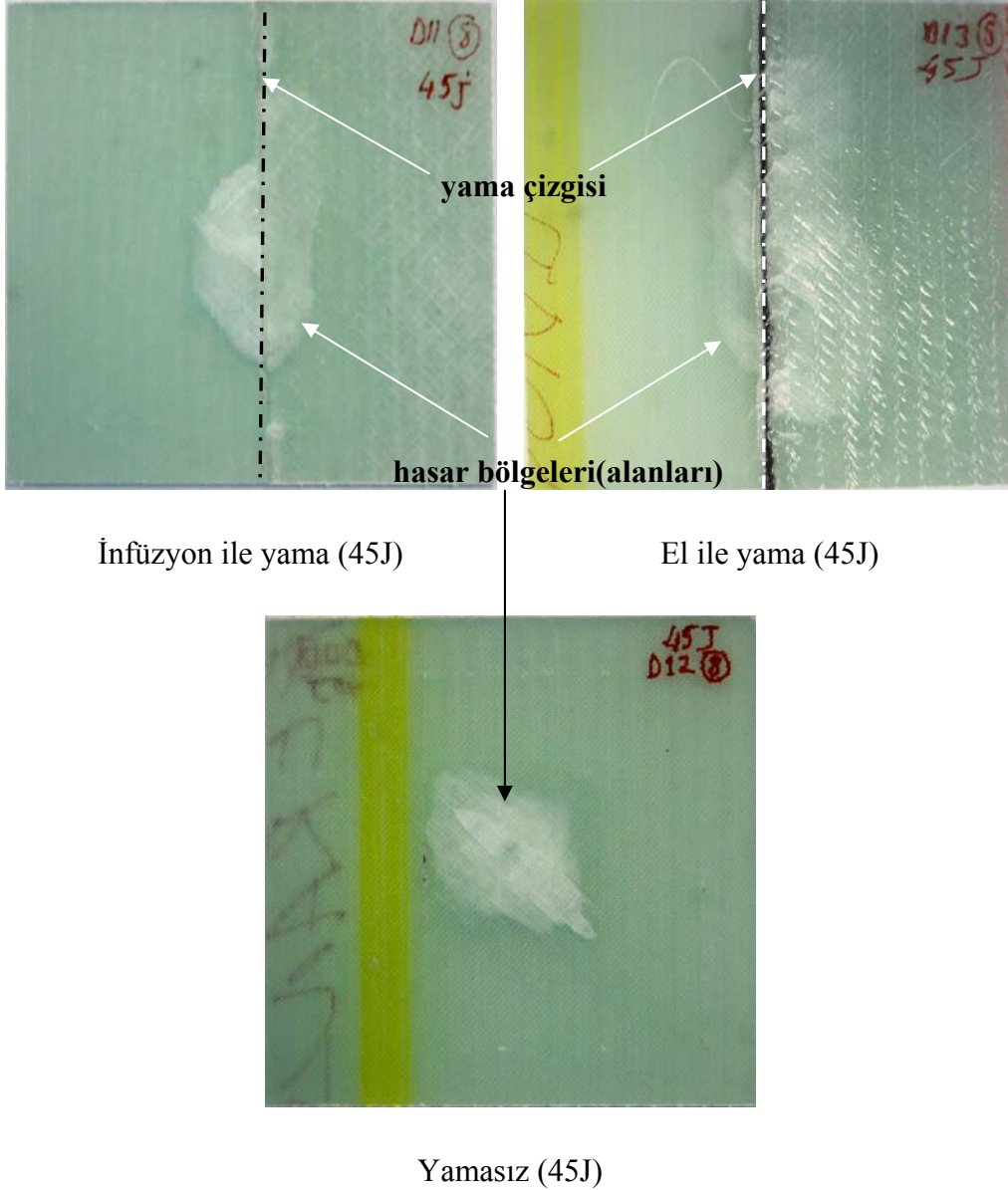
Yamasız (30J)



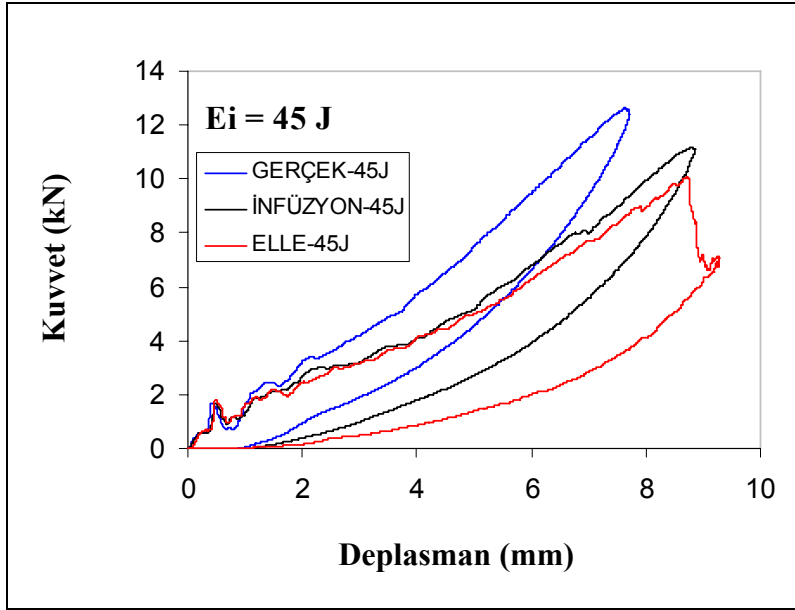
Şekil 5.5 30J darbe enerjisi uygulanmış numune ve kuvvet deplasman grafiği

30J lük darbe enerjisi için 15J lük darbe enerjisinde gözlenen gerçek(yamasız) numunenin diğerlerine göre daha rijit olma durumu ve yama tiplerine göre infüzyon ile yama yapılmış malzeme el yatırma ile yama yapılmış malzemeye göre daha rijit olması değişmemiştir. Bu durum bize yama tiplerinin darbe enerjisi altında birbirlerine göre nasıl farkları olduğunu göstermektedir. Grafikte 30J darbe enerjisi altında sağlam numunenin daha çok dayandığı net olarak görülebilmekte ancak onarımlı numuneler birbirlerine çok yakın değerlerde çıkmaktadır. Onarımlı

numuneler arasında hangisinin daha çok dayandığı verilerden bakılarak bulunur. Verilere göre infüzyon ile onarım 8,52kN, el ile onarım 8,44kN kuvvete dayanmıştır. Yakın kuvvet değerlerine karşın oluşan deformasyon arasındaki fark yüksektir. Bu durum da bize elle onarılan numunenin 30J darbe enerjisi altında infüzyon ile onarılan numuneye göre daha fazla hasar alanına sahip olduğunu gösterir.



Şekil 5.6 45J darbe enerjisi uygulanmış numuneler



Şekil 5.7 45J darbe enerjisi uygulanmış numunelerin kuvvet deplasman grafiği

45J'lük darbe enerjisi için el yatırma numunesine ait eğrideki en yüksek kuvvet değerinden ani düşüş, kompozitte yıkıcı hasarın meydana geldiğini gösterir. Buna karşın, infüzyonla üretilen numune en yüksek kuvvet değerinden sonra küçük bir geri sekme göstermektedir bu da az miktarda fiber hasarı yanısıra matris kırığını göstermektedir. Görüldüğü üzere numuneler eş enerji grafiğine yaklaştıkları enerji değerlerinde grafikleri önceki enerji grafiklerine kıyasla daha farklı olmaktadır. Eş enerji eğrisine yaklaşıldığı enerjilerde kuvvette ani bir düşüş olmaktadır. Kuvvetin bu ani düşüşü bir enerji boşalmasını göstermektedir. Bu enerji boşalması sayesinde enerji profili eş enerji eğrisine yaklaşmaktadır. Bu değişimler sırasında numunelerde oluşan hasarlar Şekil 5.8'deki resimlerde gösterilmektedir.

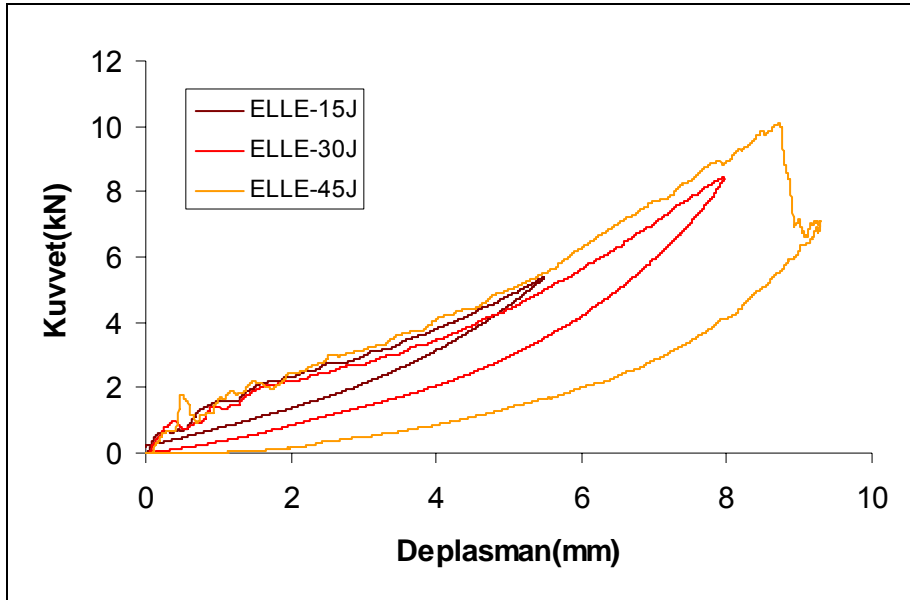


El ile onarım 30J

El ile onarım 45J

Şekil 5.8 El ile onarılmış numunelerde enerji atlaması sırasında oluşan hasar farklılığı

Genel olarak darbe enerjisinin artması ile, hasar alanlarının arttığı görülmektedir. Bu durum darbe enerjisinin daha fazla absorbe edildiğini ima eder. Bu nedenle enerji profili diyagramında eş enerji çizgisine yakın noktalar elde edilmektedir.

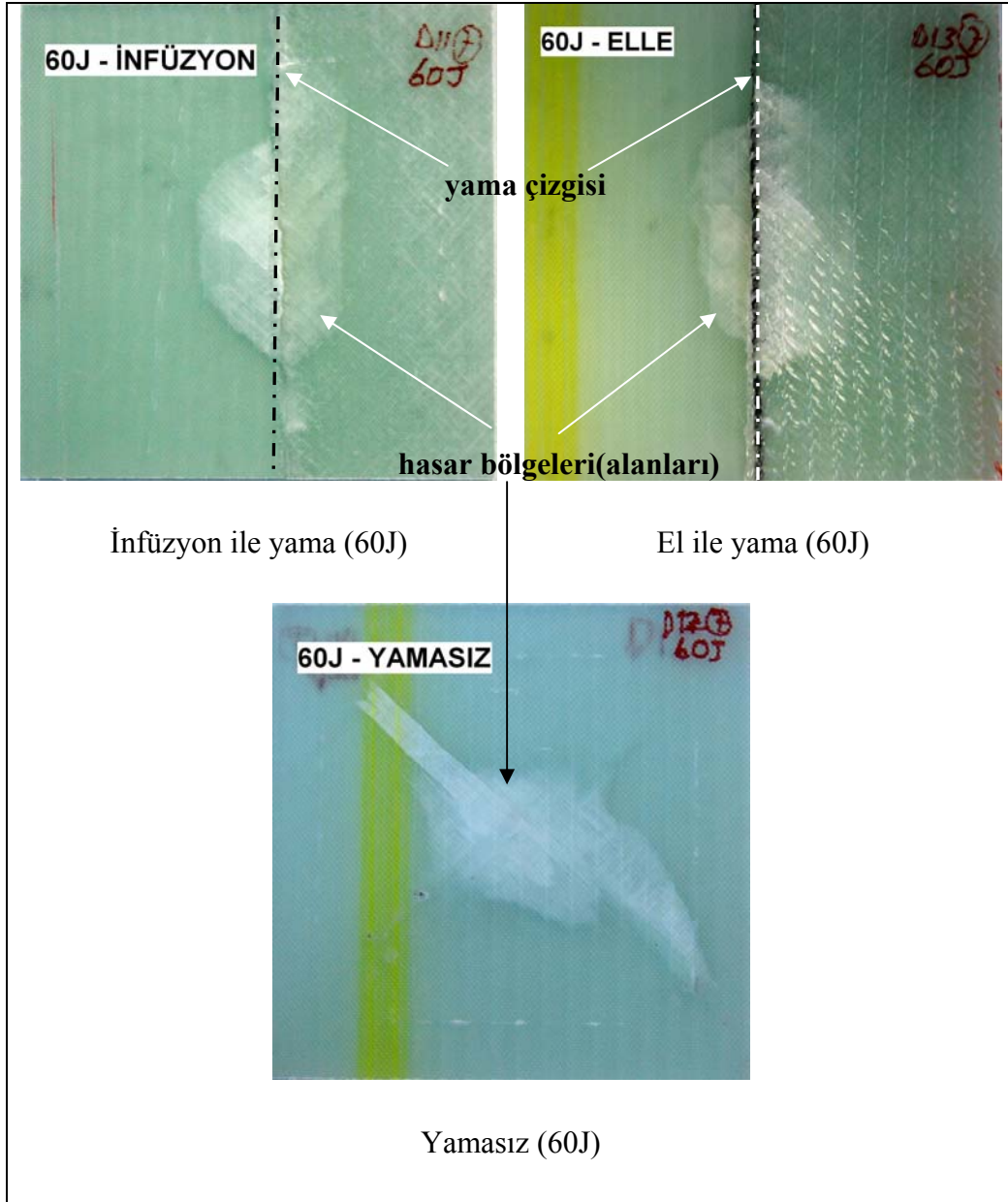


Şekil 5.9 15, 30 ve 45 J için el yatırması numunelerin kuvvet – deplasman değişimi

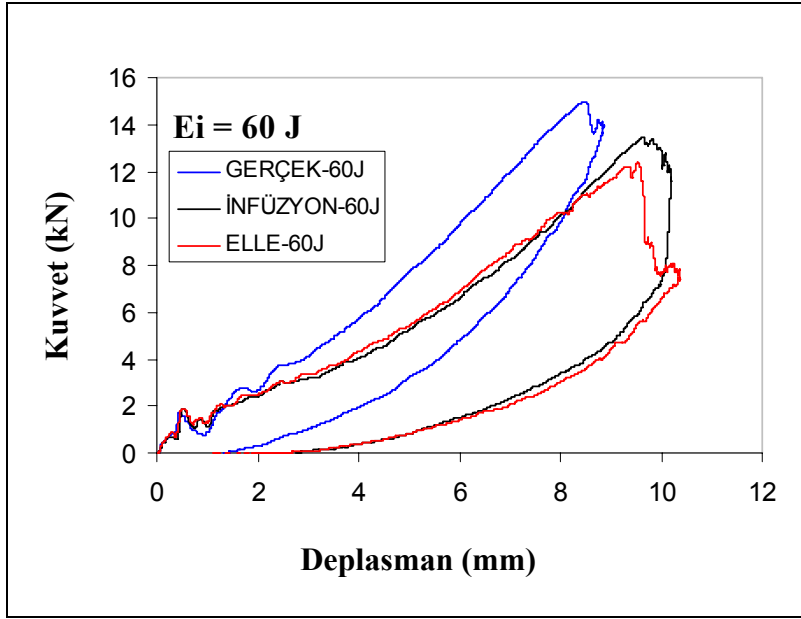
Şekil 5.9’da el yatırma ile onarılmış numunelerin nüfuziyet başlangıcına kadar olan enerjiler (15J, 30J, 45J) için kuvvet-deplasman grafikleri görülmektedir.

Görüldüğü üzere 15J ve 30J eğrilerinde geri sekme yaşanırken 45J eğrisinde nüfuziyetten dolayı kuvvet eğrisinde ani bir düşmeden sonra geri sekme meydana gelmektedir.

Fakat daha yüksek darbe enerjileri için kuvvetteki söz konusu ani düşüş tüm numuneler için (hasarsız ve onarılmış) görülmektedir. Özellikle onarılmış numunelerin eğilme rijitlikleri de birbirlerine yaklaşmıştır, Şekil 5.11. Bu sonuç, yüksek darbe enerjilerinde onarım yönteminin, darbe cevabına etkisinin azaldığını göstermektedir.



Şekil 5.10 60J darbe enerjisi uygulanmış numuneler



Şekil 5.11 60J darbe enerjisi uygulanmış numuneler in kuvvet deplasman grafiği

Resimler ile kuvvet - deplasman eğrileri arasında paralellikler vardır. Hasarsız numunelerde delaminasyonlar ve fiber kırıklarında oluşan hasarlar lif doğrultularında yönelirken, onarılmış numunelerde kırıklar onarım hattında meydana gelmiş ve hasar dağılımı yine onarım hattına paralel bir doğrultudadır.

Elle yatırma yönteminde olduğu gibi, infüzyonlu onarımlara ait hasar resimleri ve kuvvet - deplasman grafikleri de karşılaştırma amacıyla bir arada verilmiştir, Şekil 5.12 ve 5.13.

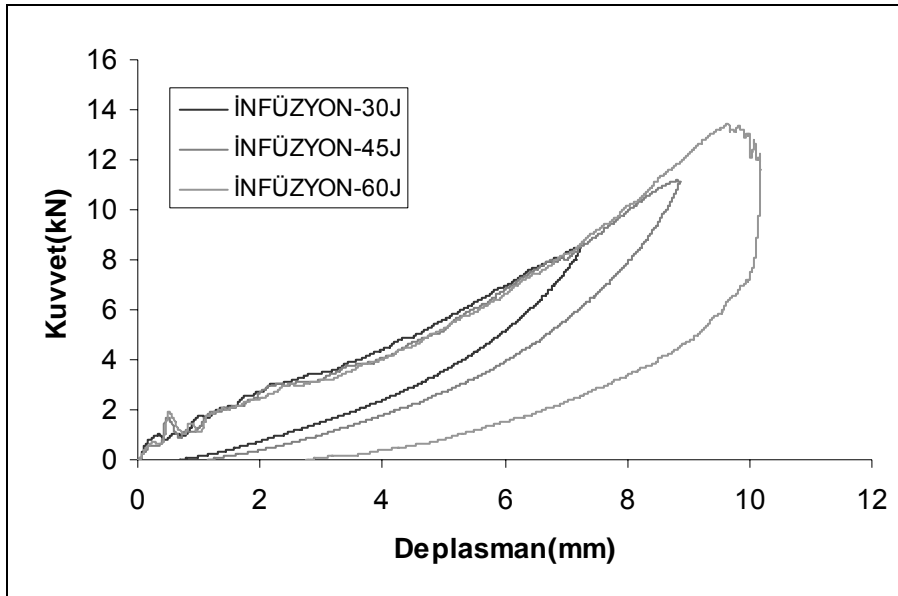


İnfüzyon ile onarım 45J

İnfüzyon ile onarım 60J

Şekil 5.12 İnfüzyon ile onarılmış numunelerde enerji atlaması sırasında oluşan hasar farklılığı

İnfüzyon ile onarılmış bu numunede 45J ve 60J darbe enerjilerinde hasar alanları arasında el ile onarımdaki kadar aşırı bir fark yoktur. Bu numunede eş enerji eğrisine yaklaşılmamasının sebebi tepki yüzey alanı düşüşü değil, darbe ucunun nüfuziyetinin daha fazla oluşudur.

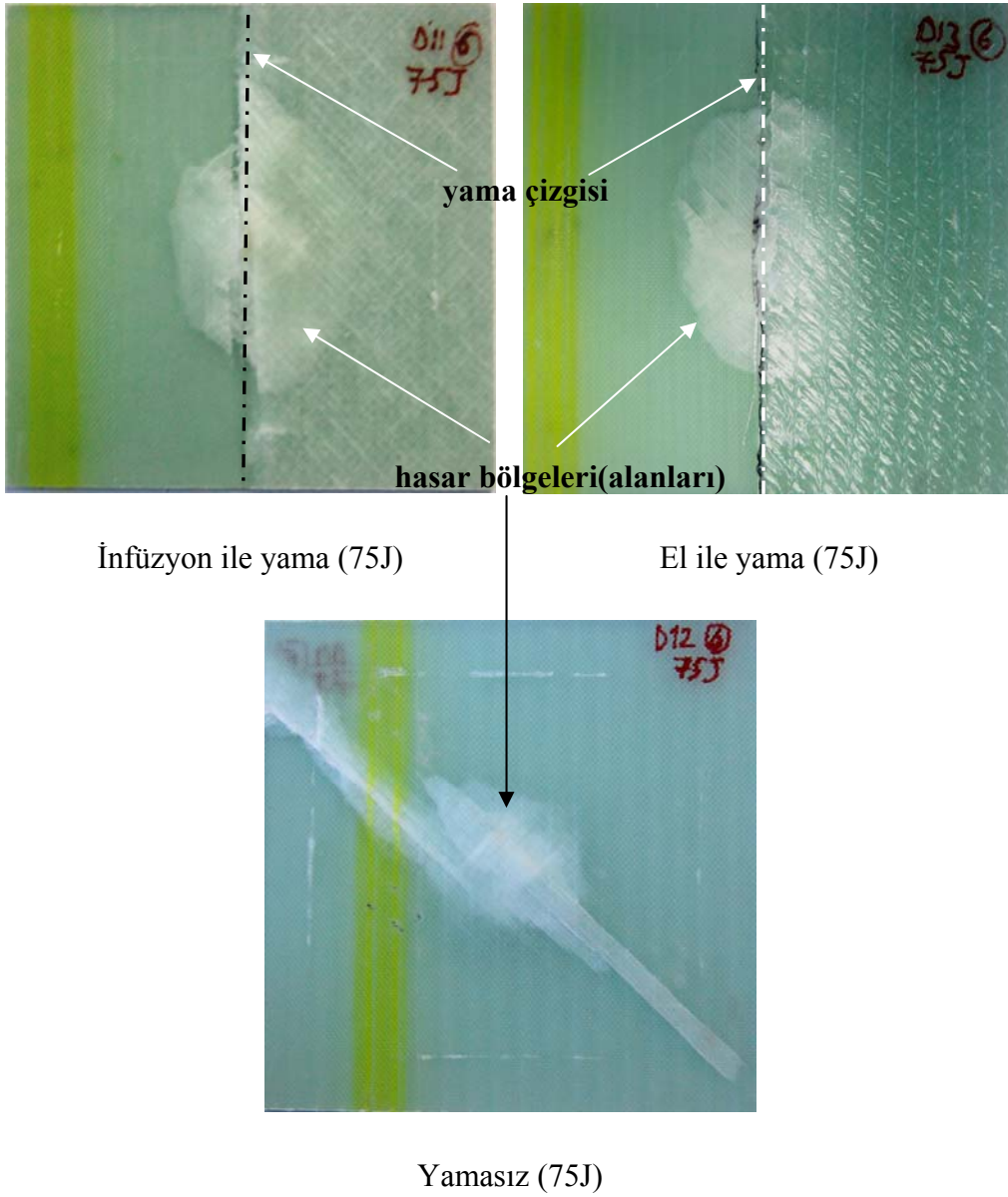


Şekil 5.13 İnfüzyon numunesi nüfuziyet başlangıcı grafiği

Şekil 5.13'te infüzyon ile onarılmış numunede, nüfuziyetin başlangıcına kadar çeşitli darbe enerjilerinde kuvvet - deplasman grafiği görülmektedir.

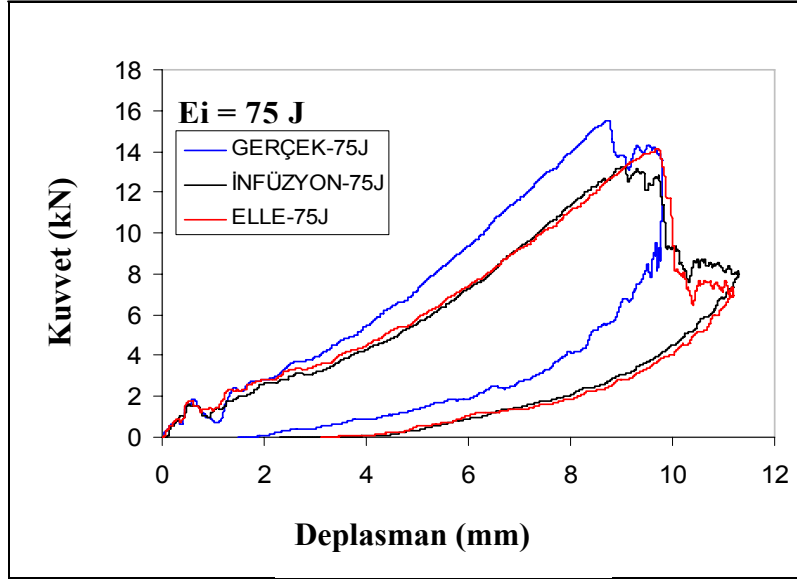
Görüldüğü üzere 30J ve 45J eğrilerinde geri sekme yaşanırken 60J eğrisinde nüfuziyetten dolayı bir miktar düşme vardır. Diğer bir deyişle darbe ucu 60J darbe enerjisinde numuneye daha fazla saplanma gerçekleştirmiştir. Bu artan saplanmada numunenin sürekli yapısında fiber kopmaları olmuş ve yamalı bölge üzerine gelen bu darbe enerjisinin tamamını absorbe edemediği için sürekli yapıdan ayrılmıştır. Bu ayrılma kuvvette oluşan ani düşüşün sebebidir.

Darbe enerjisi 75J'e çıkarıldığında yamalı numunelerde nüfuziyet başladığı için kuvvet - deplasman grafiklerinde çok benzer değişimler gözlenmektedir.

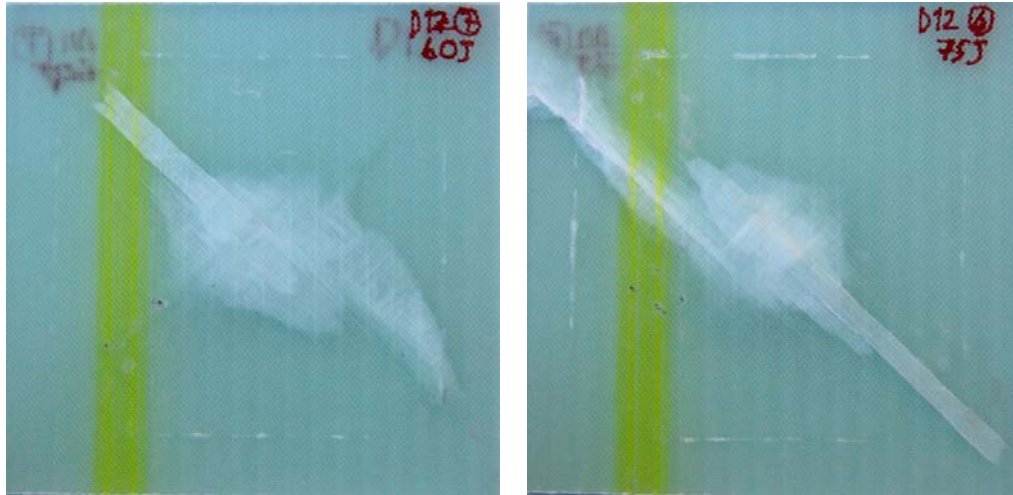


Şekil 5.14 75J darbe enerjisi uygulanmış numuneler

Şekil 5.16 ve 5.17’de de hasarsız numunelere ait (çeşitli enerjiler için) darbe sonrası resimler ve kuvvet - deplasman grafikleri karşılaştırma amaçlı olarak verilmiştir.



Şekil 5.15 75J darbe enerjisi uygulanmış numunelerin kuvvet deplasman grafiği



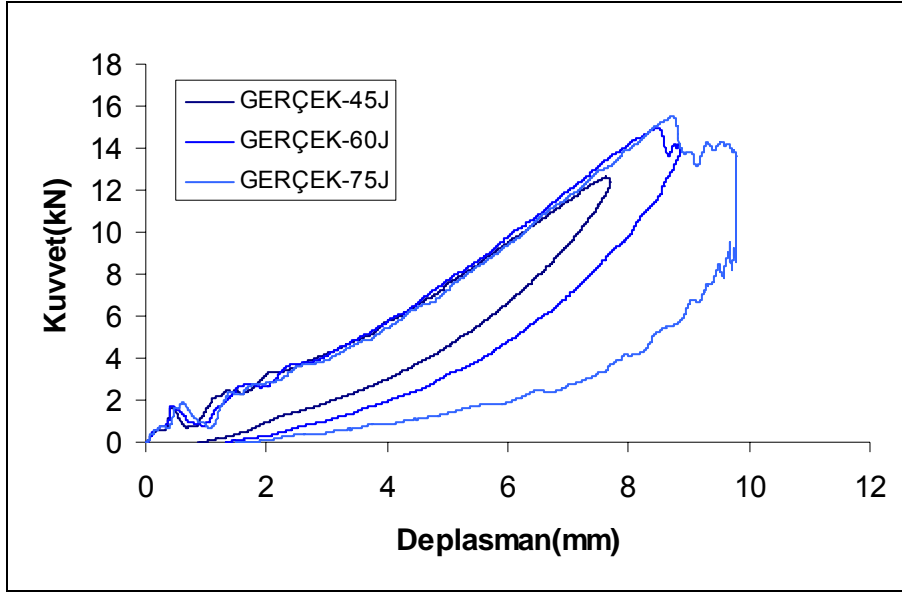
Yamasız 60J

Yamasız 75J

Şekil 5.16 Onarımsız numunelerde enerji atlaması sırasında oluşan hasar farklılığı

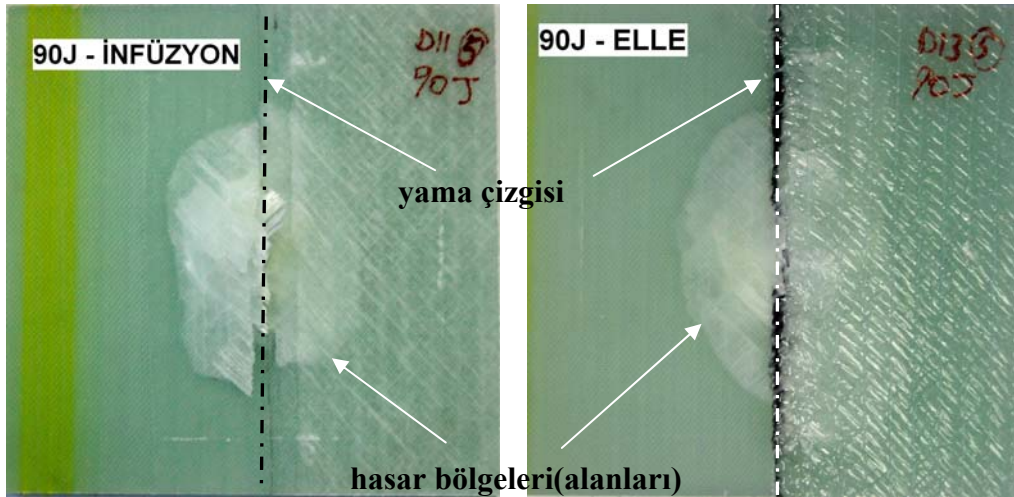
Şekillere bakıldığında onarımsız numunelerde 60J ve 75J için hasar alanı çok farklı olmamakla birlikte 75J için meydana gelen lif kırılmaları kuvvet - deplasman grafiğine yansımıştır. Fiberlerdeki bu kırılma başlangıcına ilave olarak enerji arttıkça

daha ciddi matris kırıklarının meydana geldiğine de işaret vardır. Bu hasar modu fiber kopmasından daha önceki bir aşama olup bu sonuç bize yüksek enerjide henüz numunelerin yüksek tahripli hasara uğramadığını gösteriyor.



Şekil 5.17 Yamasız numune nüfuziyet başlangıcı grafiği

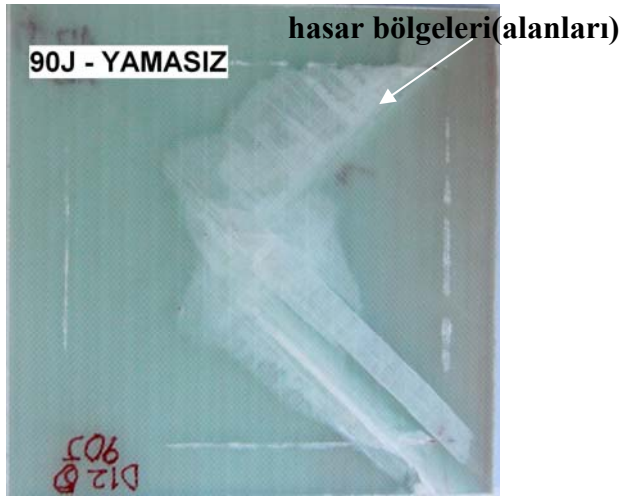
Aynı tartışmalar 90J gibi yüksek darbe enerjileri içinde olabilmektedir. Fakat beklendiği gibi darbe enerjisinin artmasıyla hasar alanları genişlemektedir.



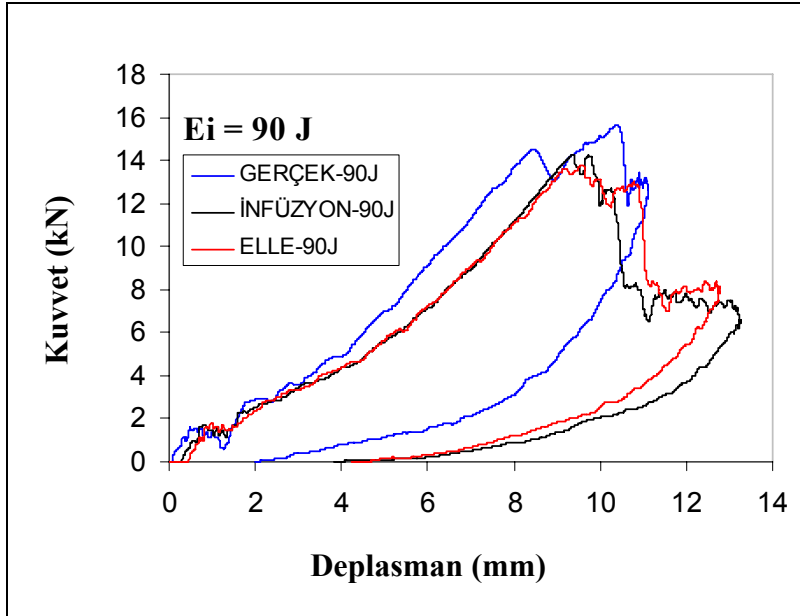
İnfüzyon ile yama (90J)

El ile yama (90J)

Şekil 5.18 90J darbe enerjisi uygulanmış numuneler



Yamasız(90J)



Şekil 5.19 90J darbe enerjisi uygulanmış numune ve kuvvet deplasman grafiği

Örneğin 150J de olduğu gibi darbe enerjisinin fazla artmasıyla onarılmış numunelere ait kuvvet-deplasman eğrileri açık tip eğriye dönüşmektedir, buda kompozitte delinme veya delinme başlangıcı olduğunu göstermektedir. Görüldüğü üzere darbe enerjisinin hasarsız numunede yayılması, çeşitli hasar modlarının daha genişlemesiyle bağlantılıdır ve darbe olayı numunede henüz delinme ile sonuçlanmamıştır. Ayrıca onarılmış numunelerde darbe enerjisinin (delinme eşiği enerjisine kadar) geniş bir alanda absorbe edildiği ve numunenin özellikle fiber

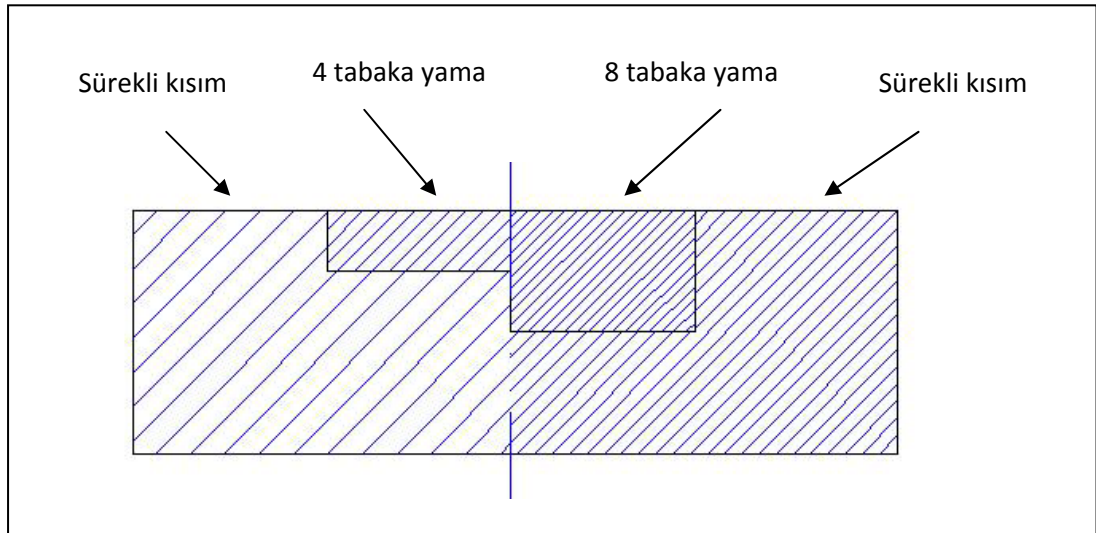
çatlakları ile bağlantılı olarak delinme ile sonuçlandığı gözlenmektedir. Onarılmış numunelerde delinme eşiğinin 120J civarında iken yamasız numunenin delinme eşiği 150J'den daha fazla olduğu ve yüksek enerjilerde yamalı numunelerde yama tipinin herhangi bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Sonuç olarak; farklı darbe enerjileri altında farklı onarım şekline sahip numunelerin incelemesinden sağlam numuneye göre onarılmış numunelerin dayanımlarının düşük olduğu genel olarak da infüzyon ile onarılmış numunelerin el ile onarılmış numunelere göre daha dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir.

5.2 Yama derinliğinin tekrarlı darbe davranışının incelenmesi

5.2.1 Malzeme Özellikleri

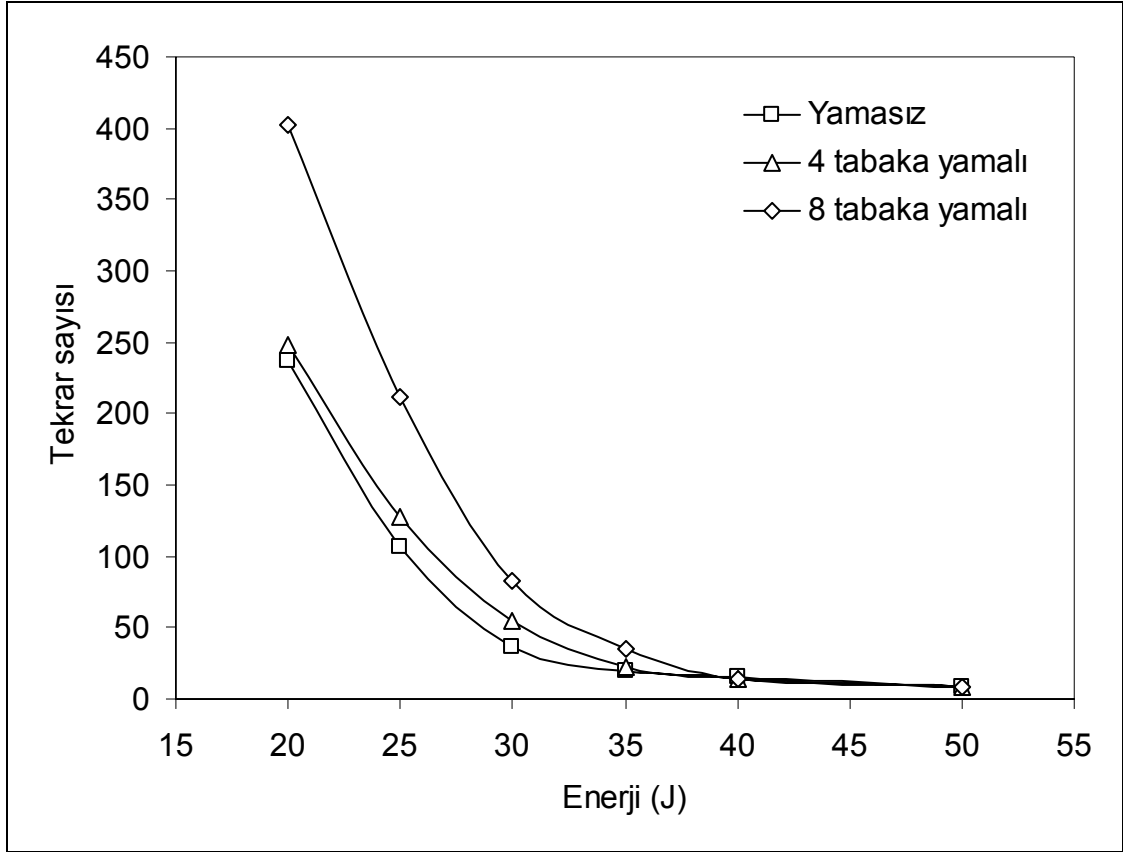
Kullanılan plaklar $[0/90/+45/-45/0/90/+45/-45]_s$ fiber oryantasyon açısında üretilmişlerdir. Bu çalışmada incelenecek yama kalınlıkları 4 ve 8 tabaka yamadır. Ayrıca karşılaştırma yapabilmek için 16 tabaka yamasız kompozit aynı yöntem ve fiber açısıyla üretilmiştir. Kompozitlerin üretiminde E-glass/epoksi kullanılmıştır. Şekil 5.20'de gösterimi yapılan numunelerin ağırlıkları ortalama 73gr ve kalınlıkları 3.95mm ölçülmüştür. İncelemede 4 tabaka yamalı numuneler 4T, 8 tabaka yamalı numuneler 8T kodlaması ile gösterilecektir.



Şekil 5.20 Onarılmış numune üretim gösterimi

5.2.2 Deneyler ve Sonuçları

Deneyler 20J, 25J, 30J, 35J, 40J ve 50J enerji değerlerinde tekrarlı darbelerle yapılmıştır.



Şekil 5.21 Yamasız, 4t ve 8t yamalı kompozitler tekrarlı darbe-enerji grafiği

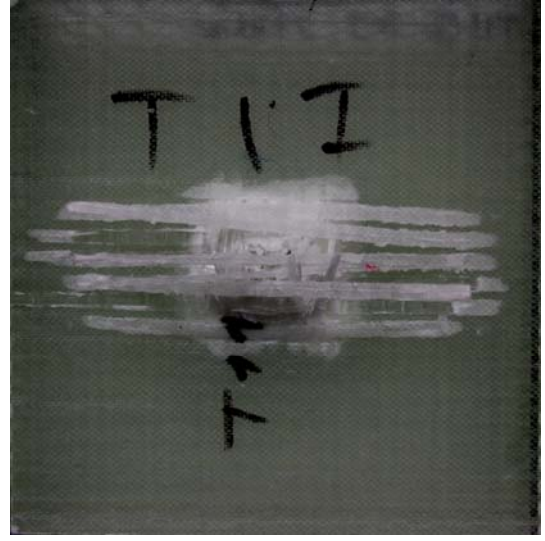
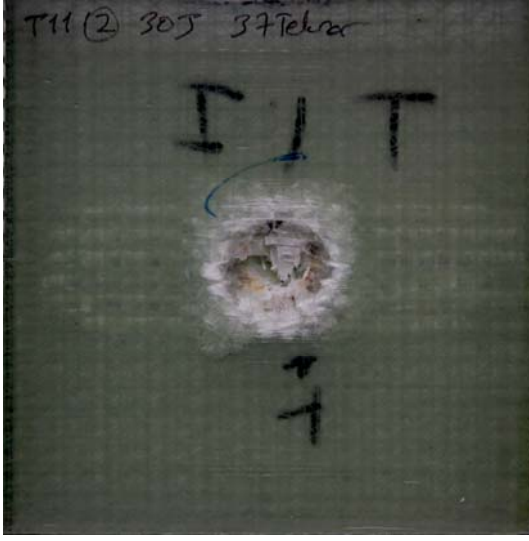
Şekil 5.21’de görüldüğü gibi aynı enerji değerlerinde 8 tabaka yamalı numune en çok dayanırken 4 tabaka yamalı numune daha az, en az yamasız numune dayanmaktadır. Bunun sebebi 8 tabaka yamalı numunedeki ayrılma yüzeyinin daha fazla olmasıdır. Ayrıca yüksek enerji değerlerinde yakınsama gözlenmektedir, deney değerleri için grafiklerden *Tablo 5.1* oluşturulmuştur.

Tablo 5.1 – Kompozit tiplerine göre tekrarlı darbe sayıları

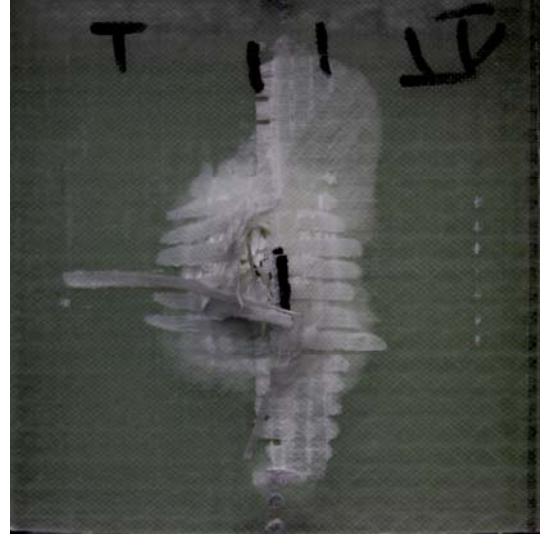
TİP	ENERJİ					
	20J	25J	30J	35J	40J	50J
YAMASIZ	237	107	37	20	15	8
4 TABAKA YAMALI	248	128	55	23	14	8
8 TABAKA YAMALI	403	212	83	35	14	9

Tablo 5.1'den görüldüğü gibi 40J ve 50J enerji değerlerindeki değişme 1 tekrardır. Enerji değerinin yüksek değişen tekrar sayısının az olmasından dolayı bu kısımdaki değişme göz ardı edilebilir. Kompozitler arası tekrar sayısının en iyi gözlendiği enerji 30J değeridir. Bu enerjide numunelerde oluşan hasarlar ve bu enerji için kuvvet - deplasman grafiğini inceleyelim.

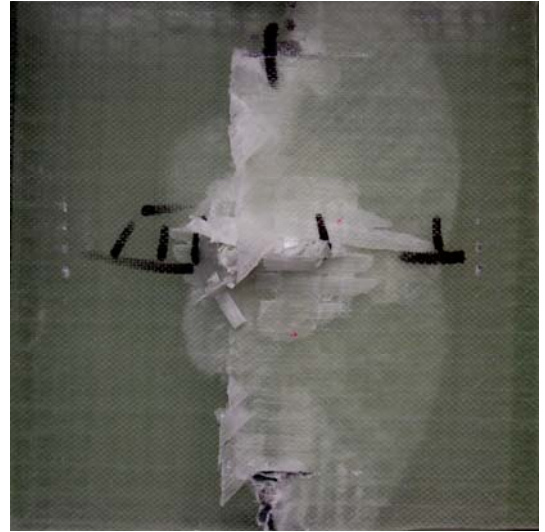
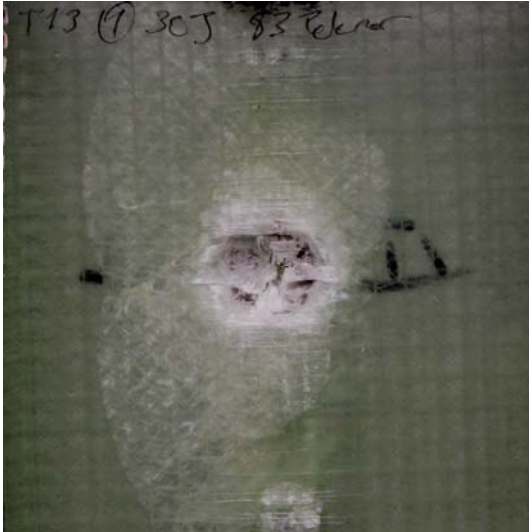
YAMASIZ



4 TABAKA YAMALI

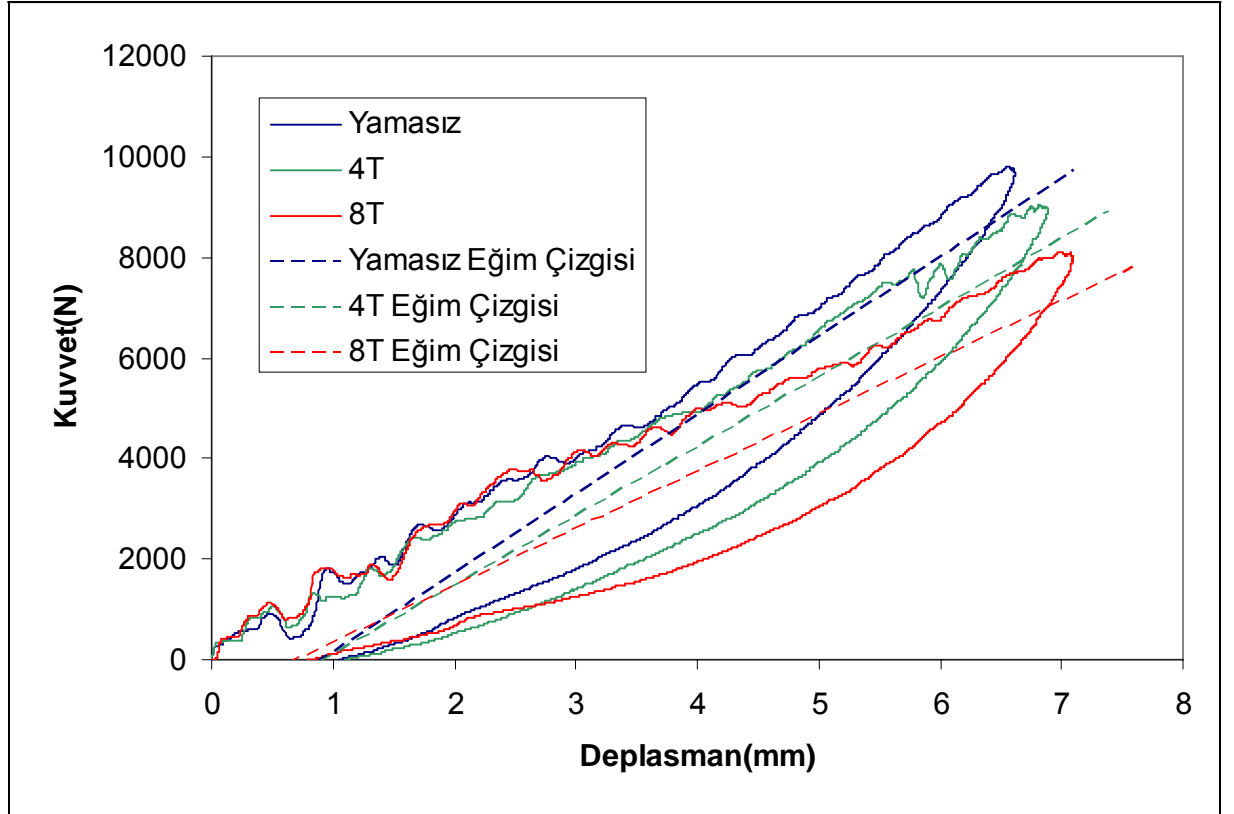


8 TABAKA YAMALI



Şekil 5.22 30 J lük darbeye maruz yamasız, 4 tabaka yamalı ve 8 tabaka yamalı numunelerin darbe yapılan yüzden (ön yüz) ve diğer yüzden (arka yüz) fotoğrafları

Şekil 5.22’de görüldüğü üzere 4 tabaka yamalı numunede hasar bölgesi artmıştır. Bu da bize enerjinin absorbe edildiğini gösterir. Enerjinin absorbe edilmesi de tekrar sayısının artmasına neden olmuştur. Şekil 5.22’de görüldüğü üzere 8 tabaka yamalı numunede hasar bölgesi diğerlerine göre en yüksek değerine ulaşmıştır. Enerjinin absorbe edilmesi bu numunede de tekrar sayısının artmasına neden olmuştur. Bu enerji değerinde malzemelerin kuvvet - deplasman grafiği Şekil 5.23’te verilmiştir.



Şekil 5.23 Yamasız, 4t ve 8t yamalı kompozitlerin kuvvet-deplasman grafikleri

Numunelerin tek ortak özelliği ilk darbeye hasara uğramamalarıdır. Kapalı eğri bize enerji absorbesi olduğunu gösteriyor. Ancak absorbe ettikleri enerjiler farklı olduğu için tekrar sayıları değişmiştir. Ayrıca numunelerin eğrilerinin eğiminden rijitliklerinin farklı olduğu anlaşılmaktadır. Bu duruma göre yamasız numune en rijit, 8 tabaka yamalı numune daha düşük rijitlik göstermiştir.

Sonuç olarak, onarılmış kompozitlerde tekrarlı darbe etkisine karşı genel olarak yama tabaka sayısının artmasının tekrarlı darbe sonucu oluşacak hasarın gecikmesine ancak hasar alanının artmasına sebep olduğu görülmüştür.

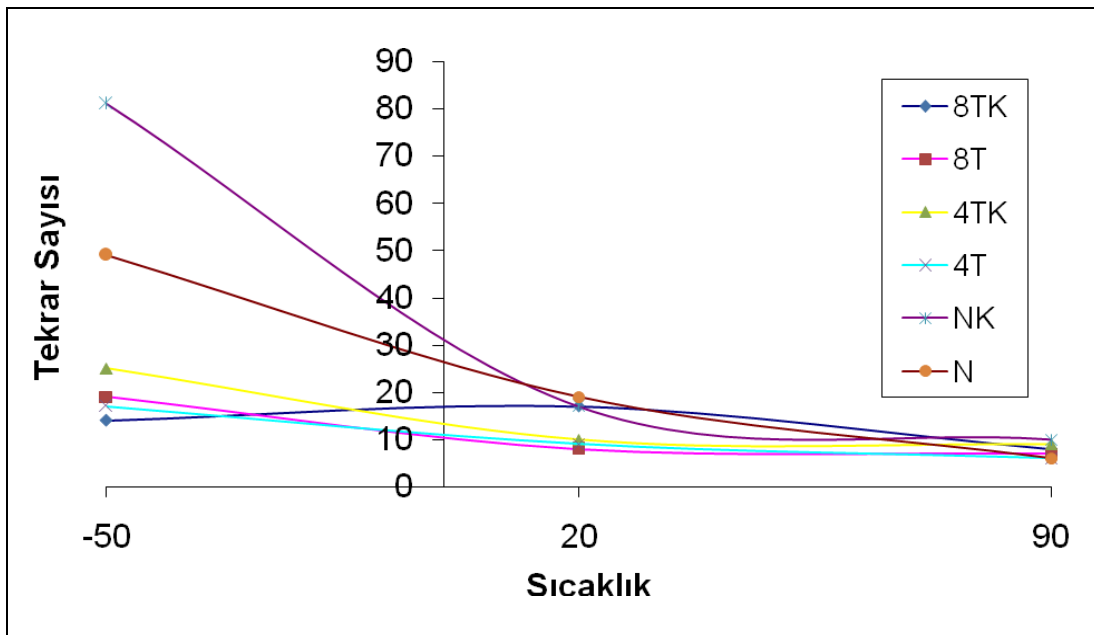
5.3 Test sıcaklığının darbeye etkisi

Onarılmış kompozitlerde yama derinliğinin dayanıma etkisini inceledikten sonra farklı derinlikteki yamalara sahip kompozitlerin değişik sıcaklıklarda darbe davranışlarının incelemesi yapılır. Bu deneyler için $[\pm 45^\circ]_8$ özellikte kompozit plaka üretilmiştir. Bu kompozit plaklar yamasız(N), 4 tabaka yamalı(4T) ve 8 tabaka yamalı(8T) olmak üzere üç farklı tiptedir. Ayrıca bu kompozitlerin yama bölgelerine tek yönlü(unidirection) kumaş konularak köprü oluşturulmuştur. Deneyler bu altı farklı numune için yapılmıştır. Bu plaklar -50°C , 90°C ve oda sıcaklığı(20°C) olmak üzere üç farklı sıcaklıkta darbeye uğratılmışlardır. Tekrarlı darbeler 30J enerji değerinde diğer darbeler 60J ve 90J enerjilerde yapılmıştır. Tekrarlı darbelere göre elde edilen sonuçlar *Tablo 5.2*'de verilmiştir.

Tablo 5.2 – Kompozit tiplerine göre farklı sıcaklıklarda tekrarlı darbe sayıları

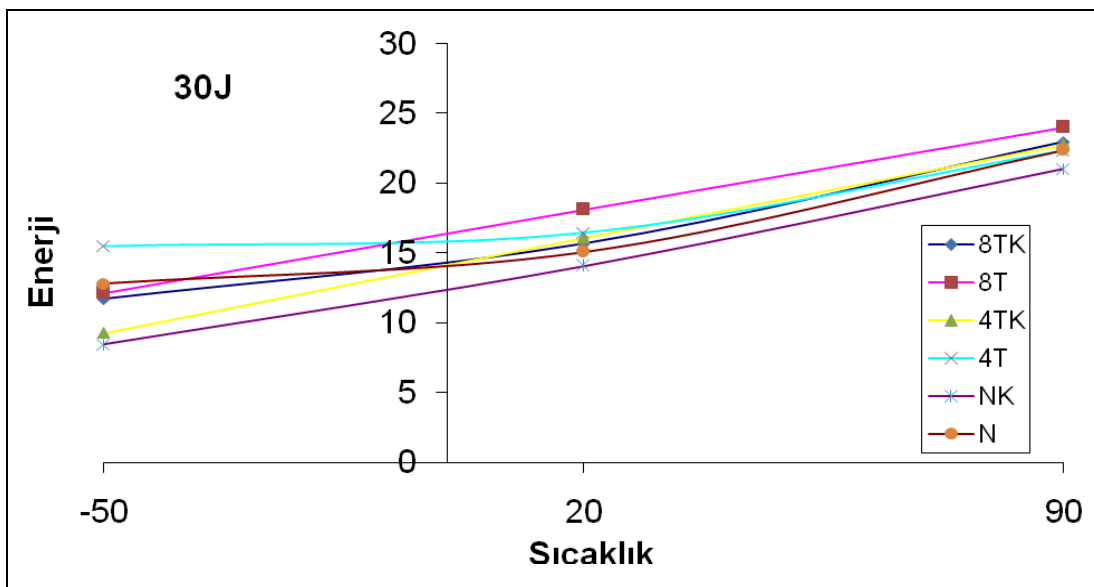
TEKRAR SAYISI	30J		
	90°C	20°C	-50°C
8TK	8	17	14
8T	7	8	19
4TK	9	10	25
4T	6	9	17
NK	10	17	81
N	6	19	49

Tablo 5.2'ye göre tekrar sayısı- sıcaklık grafiği şöyledir.

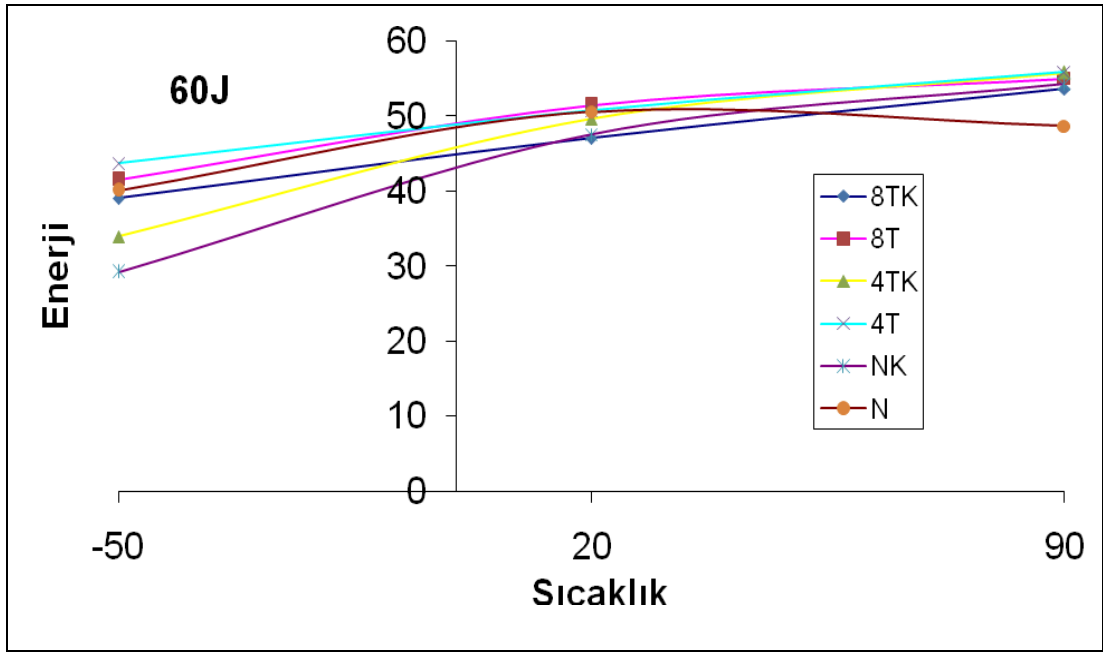


Şekil 5.24 Yamasız, 4t ve 8t yamalı kompozitler ve köprülülerinin tekrar sayısı-sıcaklık grafikleri

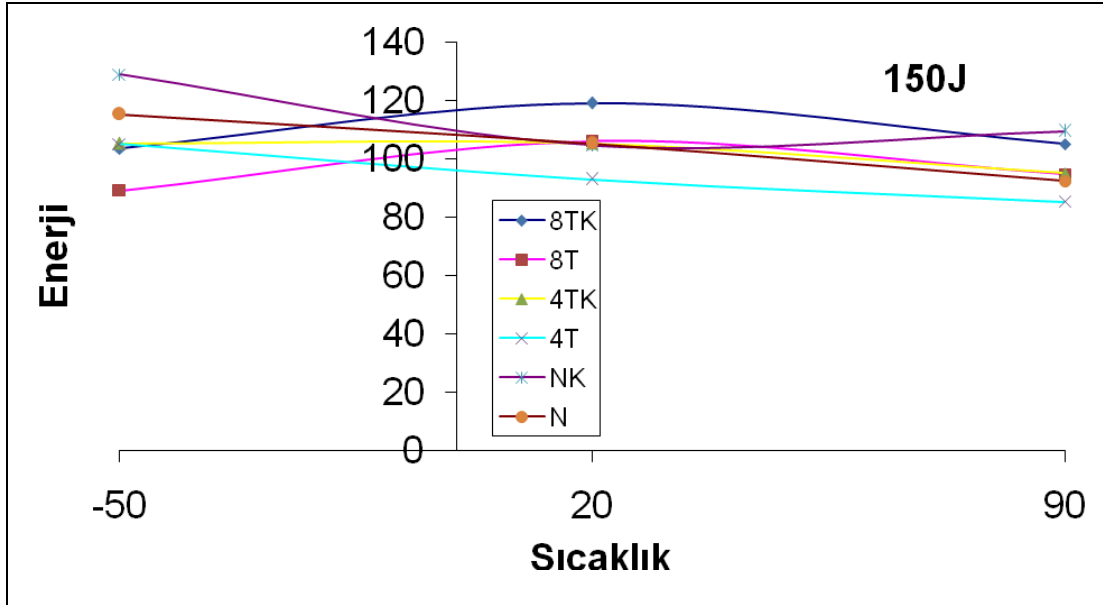
Görüldüğü üzere sıcaklık arttıkça tekrar sayısı düşmektedir. Bu durum soğuk ortamın kompoziti rijitleştirdiğini ve sıcak ortamın kompozitin sünekliliğini arttırdığını göstermektedir. Rijitlik arttıkça dayanım artıyor ancak sünek olduğunda enerji absorbesi değişiyor ve bu da tekrar sayısını düşürüyor. Sıcaklıklara göre elde edilen farklı değerdeki darbe enerjileri için diğer grafikler şöyledir.



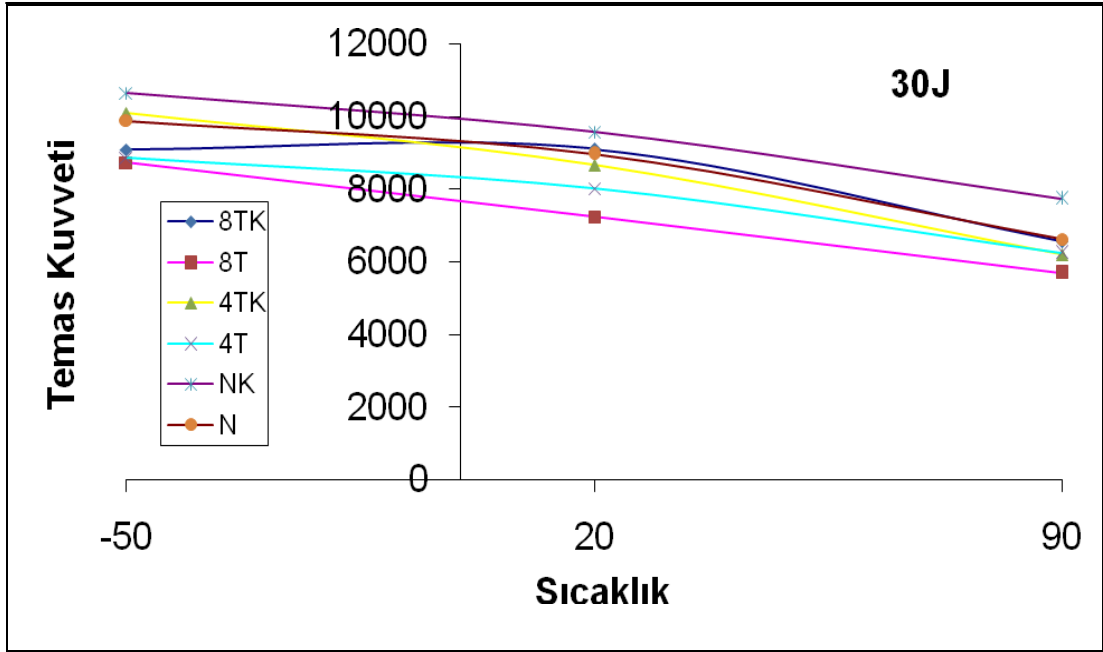
Şekil 5.25 Yamasız, 4t ve 8t yamalı kompozitler ve köprülülerinin 30J enerji için absorbe ettikleri enerji-sıcaklık grafikleri



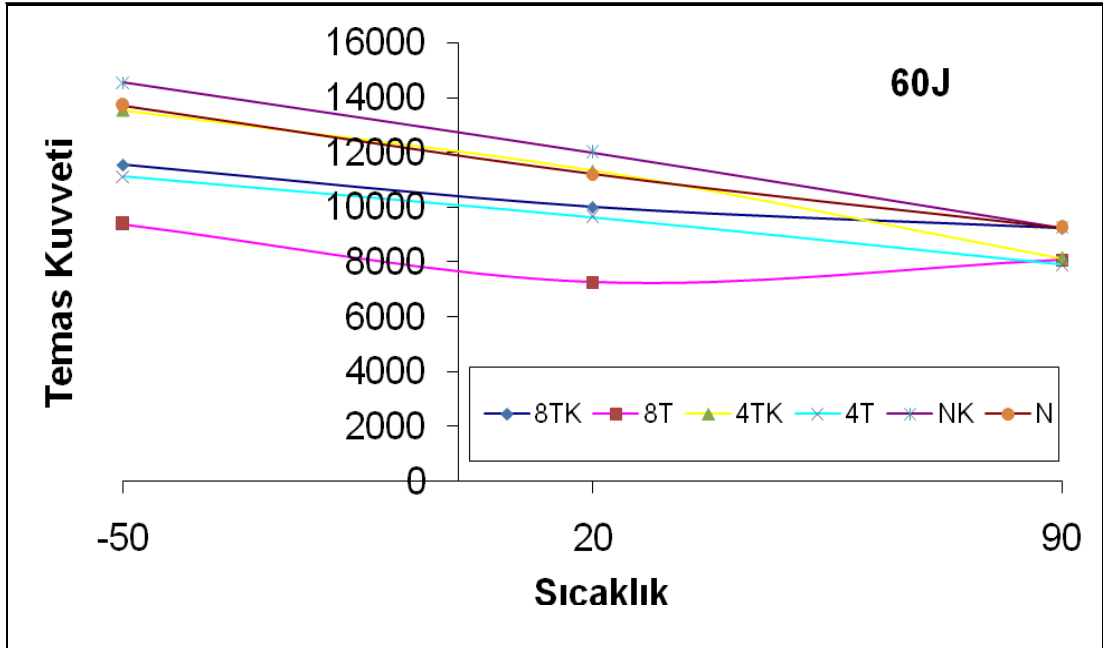
Şekil 5.26 Yamasız, 4t ve 8t yamalı kompozitler ve köprülülerinin 60J enerji için absorbe ettikleri enerji-sıcaklık grafikleri



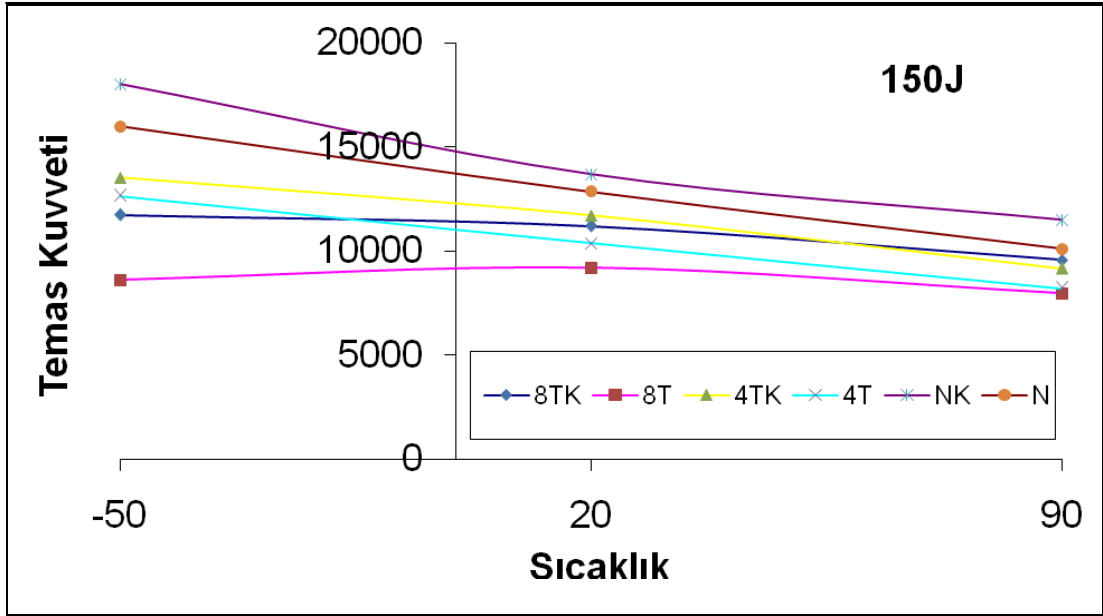
Şekil 5.27 Yamasız, 4t ve 8t yamalı kompozitler ve köprülülerinin 150J enerji için absorbe ettikleri enerji-sıcaklık grafikleri



Şekil 5.28 Yamasız, 4t ve 8t yamalı kompozitler ve köprülülerinin 30J enerji için temas kuvveti - sıcaklık grafikleri

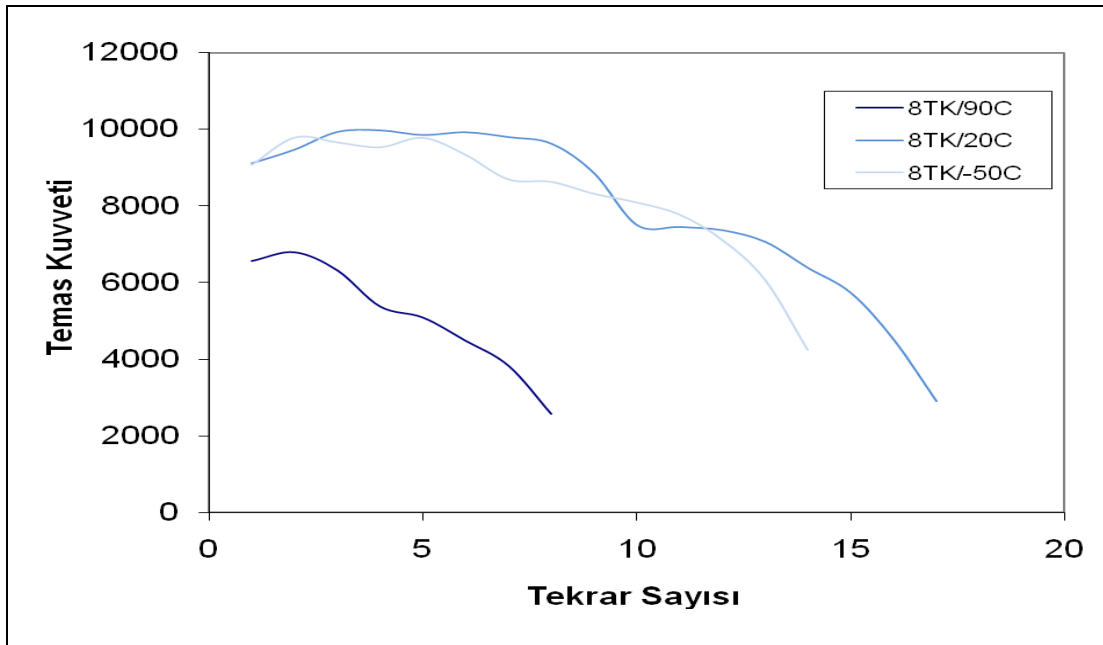


Şekil 5.29 Yamasız, 4t ve 8t yamalı kompozitler ve köprülülerinin 60J enerji için temas kuvveti - sıcaklık grafikleri

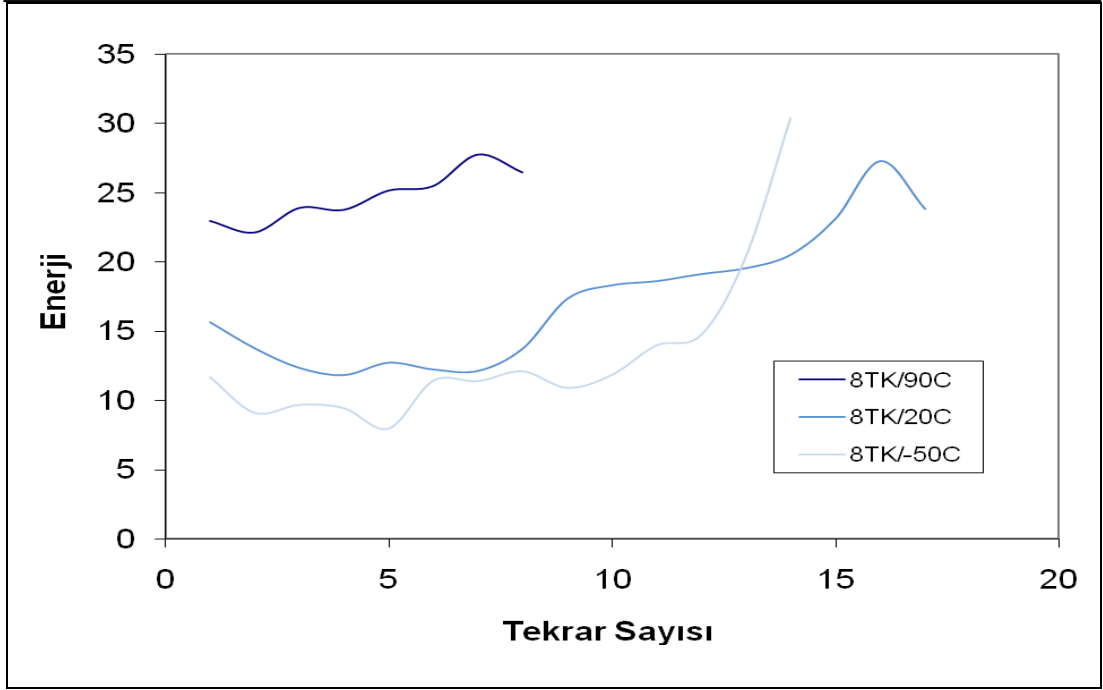


Şekil 5.30 Yamasız, 4t ve 8t yamalı kompozitler ve köprülülerinin 150J enerji için temas kuvveti - sıcaklık grafikleri

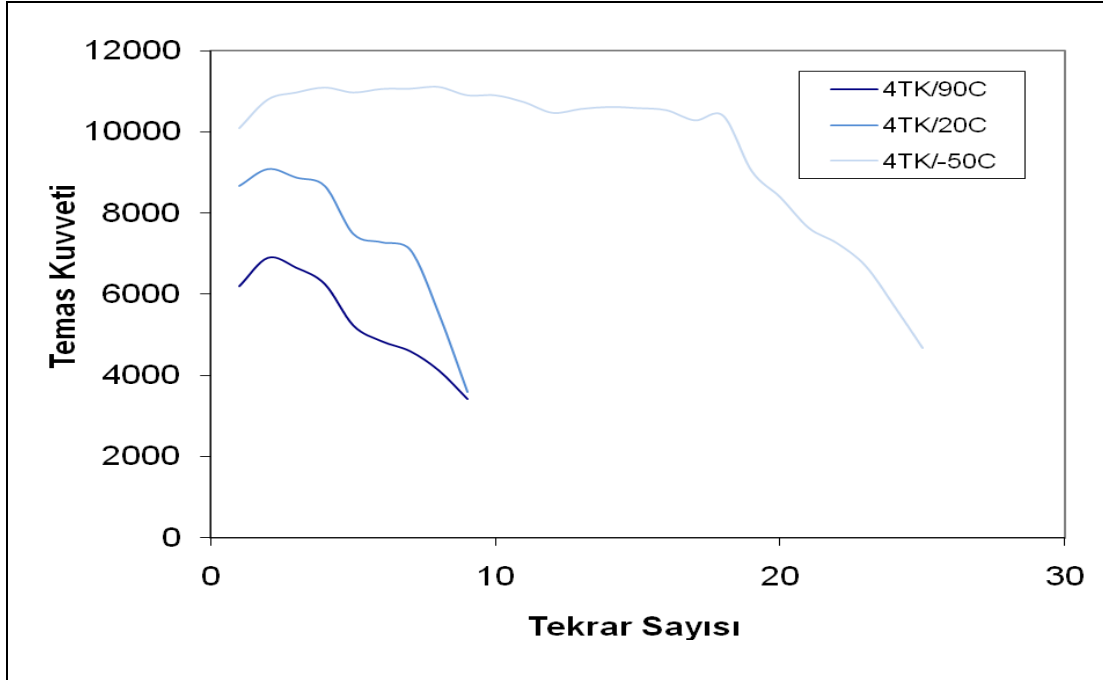
Numuneler kendi aralarında karşılaştırıldığı gibi tek başlarına tekrarlı darbelerde her darbeden sonra diğer darbeye aralarında ne kadar temas kuvvetinde ve absorbe edilen enerjide değişiklik olduğu incelenebilir.



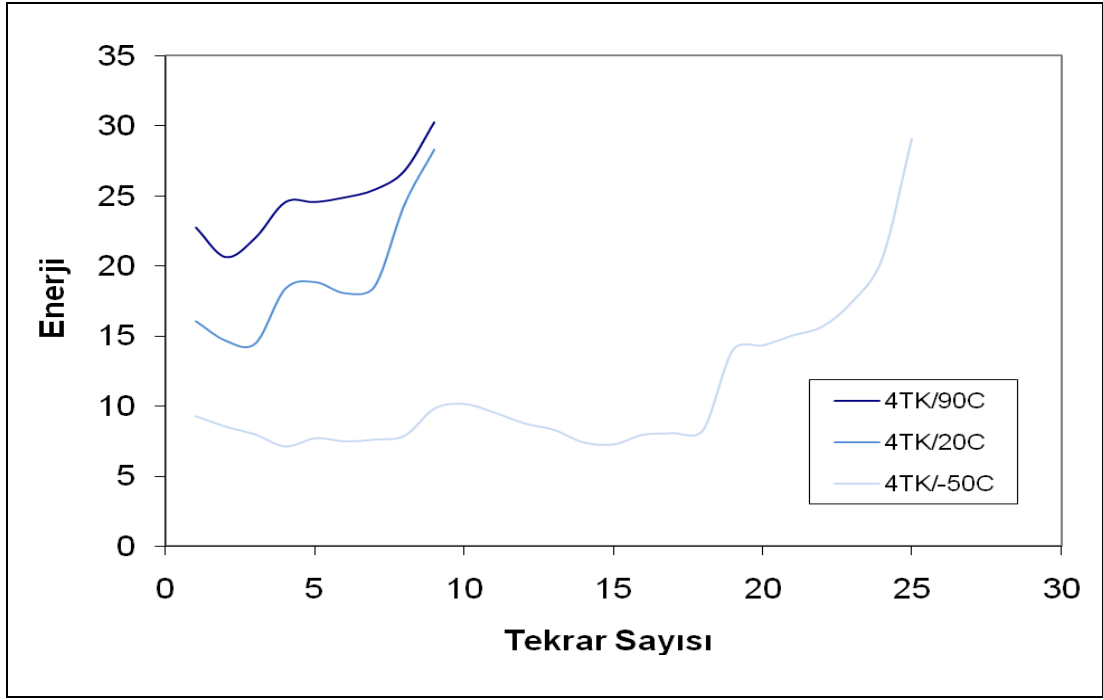
Şekil 5.31 8TK yamalı kompozit için farklı sıcaklıklarda 30J enerjide temas kuvveti – tekrar sayısı grafiği



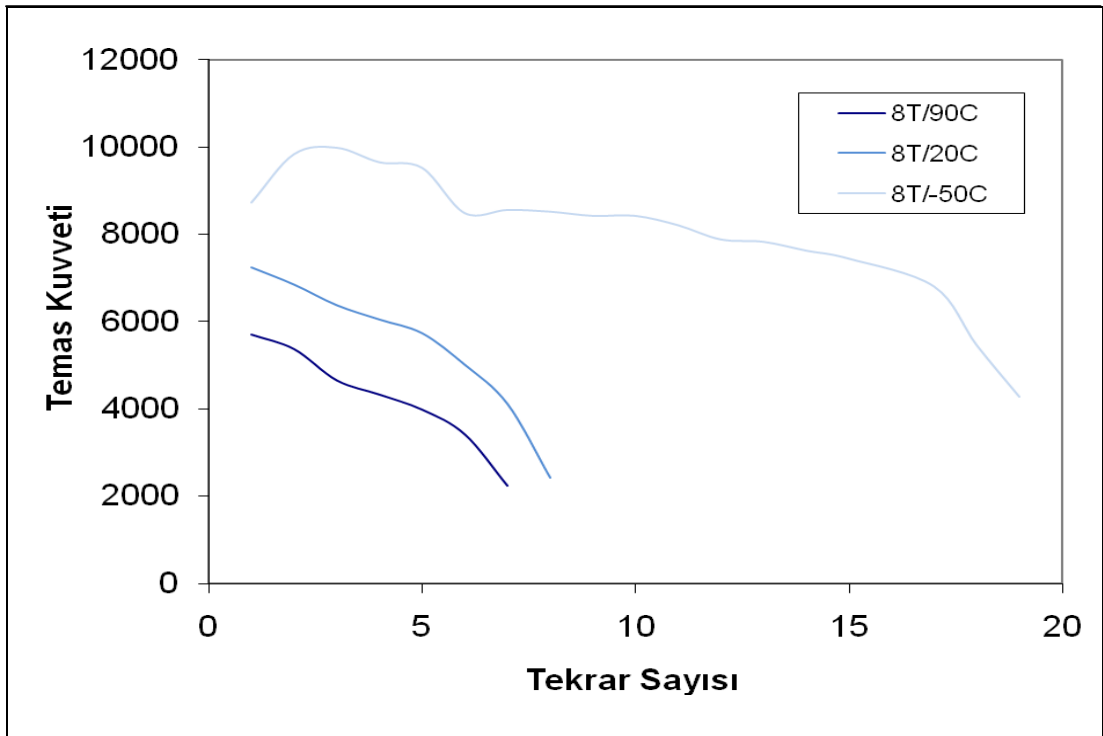
Şekil 5.32 8TK yamalı kompozit için farklı sıcaklıklarda 30J enerjide absorbe edilen enerji – tekrar sayısı grafiği



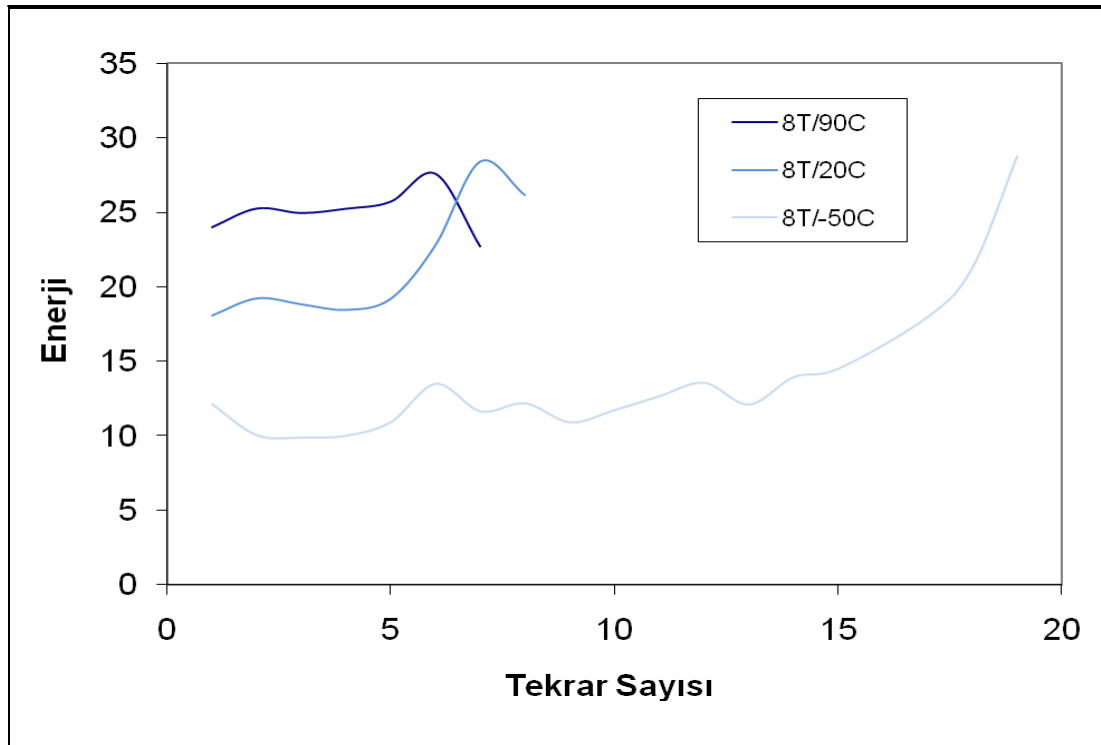
Şekil 5.33 4TK yamalı kompozit için farklı sıcaklıklarda 30J enerjide temas kuvveti – tekrar sayısı grafiği



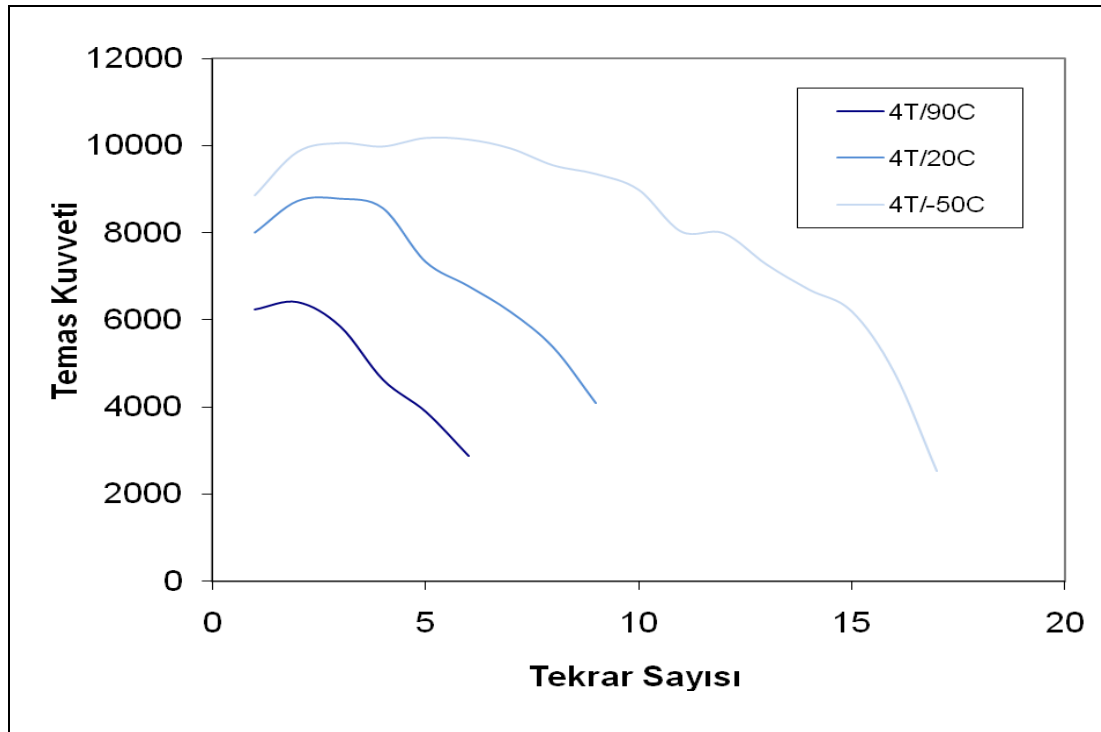
Şekil 5.34 4TK yamalı kompozit için farklı sıcaklıklarda 30J enerjide absorbe edilen enerji – tekrar sayısı grafiği



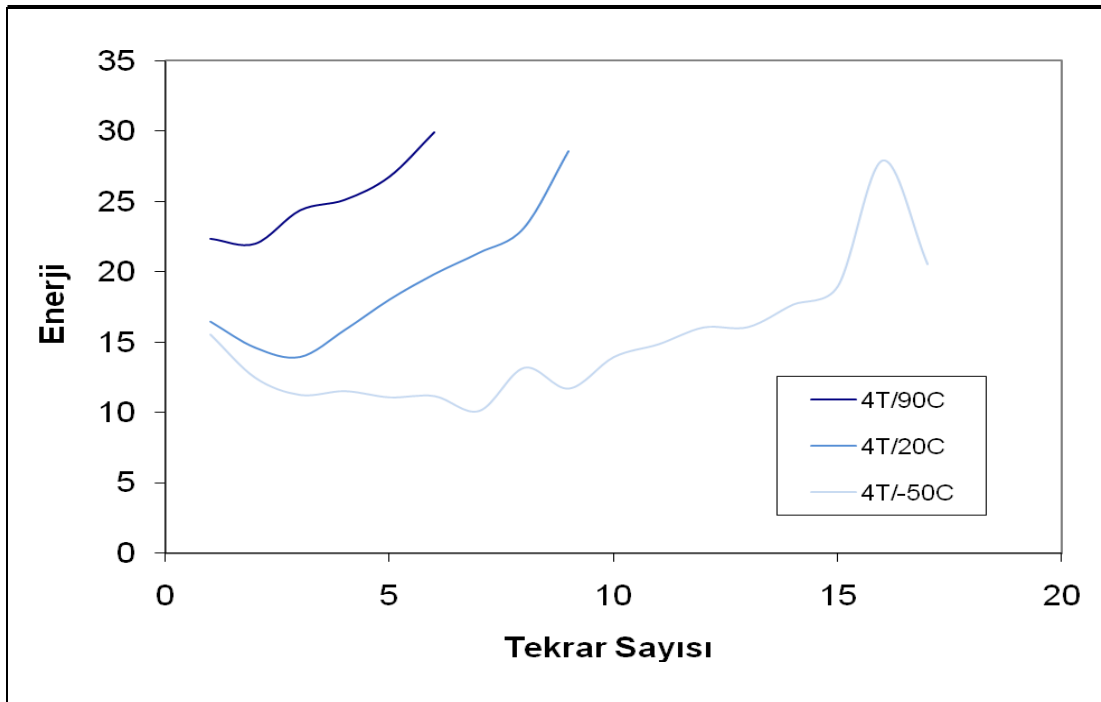
Şekil 5.35 8T yamalı kompozit için farklı sıcaklıklarda 30J enerjide temas kuvveti – tekrar sayısı grafiği



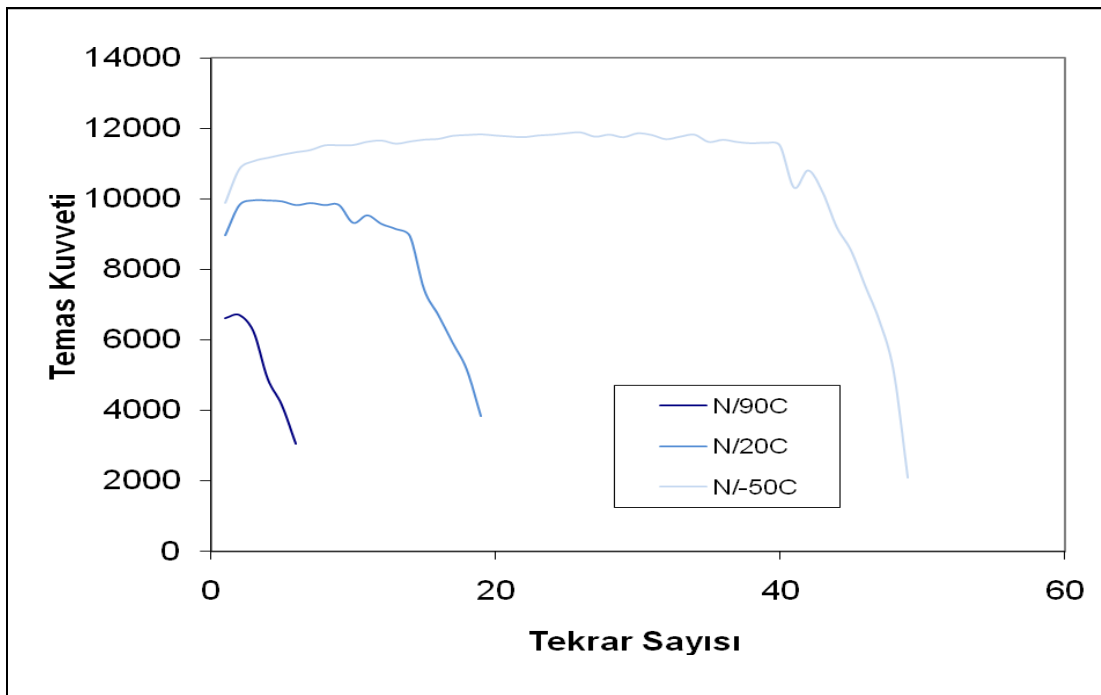
Şekil 5.36 8T yamalı kompozit için farklı sıcaklıklarda 30J enerjide absorbe edilen enerji – tekrar sayısı grafiği



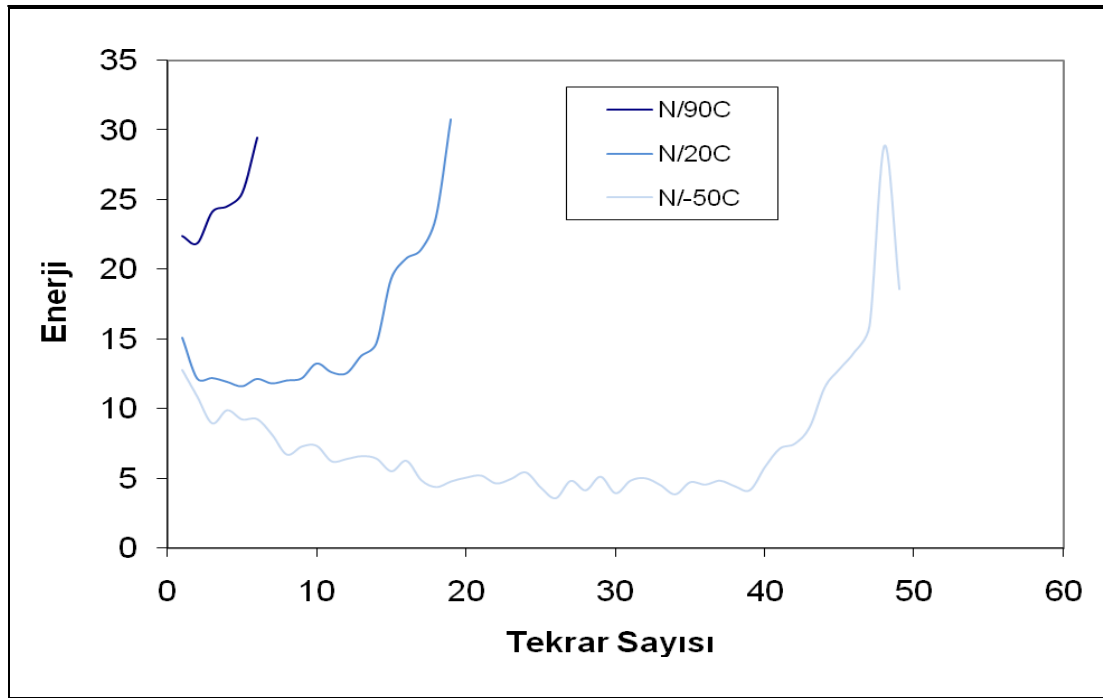
Şekil 5.37 4T yamalı kompozit için farklı sıcaklıklarda 30J enerjide temas kuvveti – tekrar sayısı grafiği



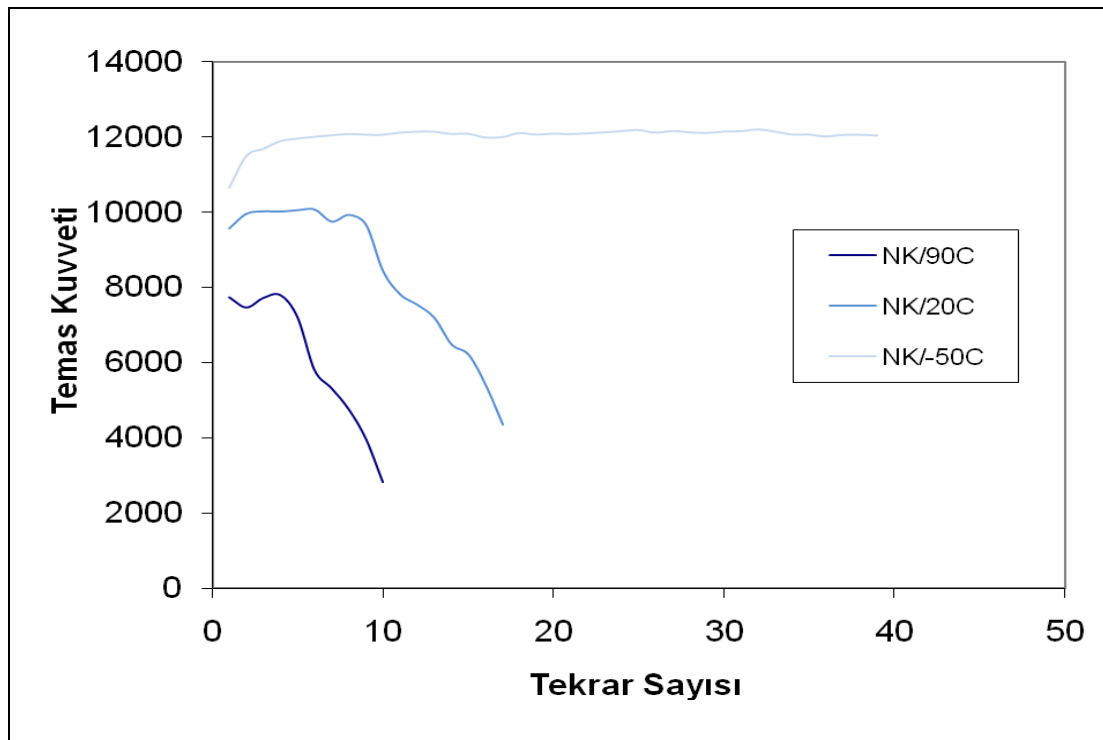
Şekil 5.38 4T yamalı kompozit için farklı sıcaklıklarda 30J enerjide absorbe edilen enerji – tekrar sayısı grafiği



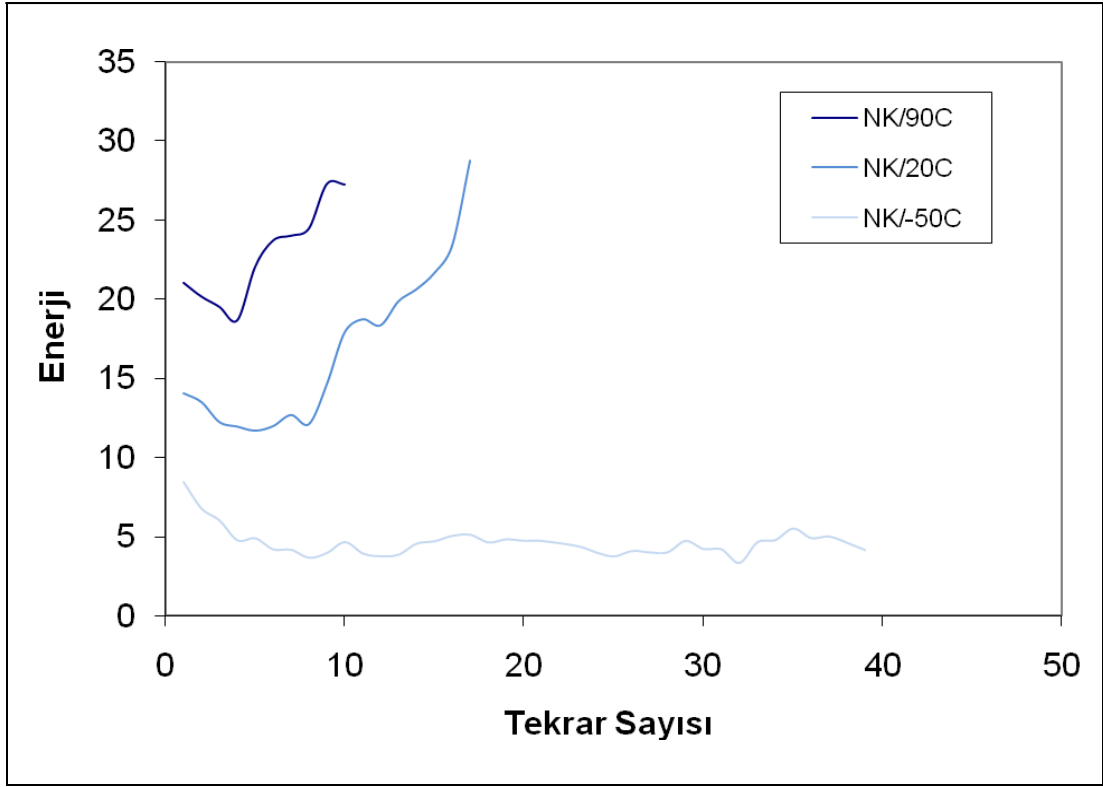
Şekil 5.39 N yamasız kompozit için farklı sıcaklıklarda 30J enerjide temas kuvveti – tekrar sayısı grafiği



Şekil 5.40 N yamasız kompozit için farklı sıcaklıklarda 30J enerjide absorbe edilen enerji – tekrar sayısı grafiği



Şekil 5.41 NK yamasız kompozit için farklı sıcaklıklarda 30J enerjide temas kuvveti – tekrar sayısı grafiği



Şekil 5.42 NK yamasız kompozit için farklı sıcaklıklarda 30J enerjide absorbe edilen enerji – tekrar sayısı grafiği

Sonuç olarak, sıcaklığın yamalı kompozitleri yamasızlara oranla daha fazla etkilediği görülmüştür. Sıcaklık düştükçe numune darbeye karşı daha dirençli hale gelmektedir. Sıcaklığın artmasıyla numune daha esnek davranmaktadır, bu durum da yamanın numuneden daha çabuk ayrılmasına sebep olmaktadır.

BÖLÜM ALTI

SONUÇLAR

Onarılmış kompozitlerin darbe davranışlarının incelendiği bu çalışmada yapılan deneylerde pek çok farklı parametre kombinasyonu denenmiştir. Öncelikle hangi onarım metodunun, onarımın darbe performansı açısından en iyi olduğu incelenmiştir. Bu inceleme için iki farklı onarım tipi, el yatırma ile onarım ve infüzyon ile onarım kullanılmıştır. Farklı enerjilerde yapılan deneyler sonucu infüzyon ile onarım metodunun el yatırma ile onarım metoduna göre daha avantajlı olduğu görülmüştür. İnfüzyonlu üretimlerde onarılmış numunelerin özellikle küçük darbe enerjilerinde daha büyük eğilme rijitliklerine sahip oldukları ancak enerji arttıkça kuvvet - deplasman davranışlarının birbirlerine yaklaştıkları görülmüştür. Bu durumdan yüksek enerjilere dayanımın her iki metod için hemen hemen aynı olduğu ancak enerji düştükçe onarımın etkisinin daha belirginleştiği görülmüştür. Bu duruma göre infüzyon ile onarımın üstünlüğü açıkça belli olmaktadır.

İnfüzyon ile onarımın üstünlüğünün belirlenmesinden sonra onarım derinliğinin araştırması yapılmıştır. Farklı derinliklerde hasara uğramış parçalar düşünülerek, farklı yama derinliğine sahip numuneler üretilmiştir. Üretilen bu farklı yama kalınlığındaki numuneler çeşitli enerjilerde tekrarlı darbeye maruz bırakılarak yama hasar ömürleri bulunmuştur. Yama ömürlerinden yola çıkılarak dayanıklılıkları ile bağlantı kurulmuştur. Elde edilen sonuç kuvvet-deplasman grafikleri ile karşılaştırılarak teyit edilmiştir. Tekrarlı darbede de yüksek enerjilerde onarımın bir etkisinin kalmadığına ulaşılmıştır. Ancak tekrarlı darbede dayanım arasındaki fark orta ve düşük enerji değerlerinde belli olmuştur. Bu deneylerden çıkan sonuç yama derinliği arttıkça darbe enerjisi daha çok hasarla sonuçlanmış, tekrarlı darbe ömrü bu nedenle artmıştır.

Bu çalışmalardan sonra sıcaklığın yama üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yüksek ve düşük sıcaklıkların oda sıcaklığı ile karşılaştırılarak yapılan darbelerde soğuk ortamda yamanın dayanımın daha çok arttığı görülmüştür. Sıcaklığın artmasıyla düşen tekrar sayısı yamanın numuneden daha çabuk kopmaya başladığını

göstermektedir. Bu kıyaslamaları oda sıcaklığında yapılan numunelerin tekrar sayısına göre karşılaştırarak verildi.

Sonuç olarak, bu araştırmada infüzyon ile onarım derinliği fazla numuneler üretildiğinde normal bir numuneye göre dayanımlarının düşük ancak ömürlerinin yüksek olduğu bulunmuştur. Ayrıca soğuk ortamda darbeye uğrayan numunelerin ömürlerinin de daha uzun olduğu görölmüştür.

KAYNAKLAR

- Ahn S-H, Springer G.S. (1998). Repair of composite laminates-I: test results. *Journal of Composite Materials*, 32: 1036–1074.
- Atas C. (2004) “Large Deformations in Composite Laminated Plates”, Dokuz Eylül University, *Graduate School of Natural and Applied Sciences*, Ph. Thesis.
- Attia O., Kinloch A.J., Matthews F.L. (2003). The prediction of fatigue damage growth in impact-damaged composite skin/stringer structures. Part I: Theoretical modelling studies. *Composite Science and Technology*, 63:1463-1472
- Aymerich, F., Priolo, P., Sun, C.T., “Static and fatigue behaviour of stitched graphite/epoxy composite laminates”, *Composites Science and Technology*, 2003, 63: 907-917
- Azouaoui, K., Rechak, S., Azari, Z., Benmedakhene, S., Laskimi, A., Pluvinage, G., “Modelling of damage and failure of glass/epoxy composite plates subject to impact fatigue”, *International Journal of Fatigue*, 2001, 23:877-885.
- Bair D.L., Hudson P.O., Ghanimati G.R. (1991). *Analysis and repair of damaged composite laminates*. International SAMPE Symposium and Exhibition - How Concept Becomes Reality, 36: 2264–2278.
- Behesty, M.H., Haris, B., Adam, T., “An empirical fatigue-life model for high-performance fibre composites with and without impact damage”, *Composites: Part A*, 1999, 30:971-987.
- Behesty, M.H., Haris, B., “A constant-life model of fatigue behaviour for carbon-fibre composites: The effect of impact damage”, *Composite Science and Technology*, 1998, 58:9-18.
- Belhouari, M., Bouiadjra, B.B., Megueni A., Kaddouri K. (2004). Comparison of double and single bonded repairs to symmetric composite structures: a numerical analysis. *Journal of Composite Structures*, 65, 47-53.

- Belingardi G, Cavatorta MP, Paolino DS. (2008). Repeated impact response of hand lay-up and vacuum infusion thick glass reinforced laminates. *International Journal of Impact Engineering*, 35: 609–619.
- Belingardi G, Cavatorta MP, Frasca, C., “Bending fatigue behavior of glass-carbon/epoxy hybrid composites”, *Composites Science and Technology*, 66,2006,222-232.
- Bennati, S., Valvo, P.S., (2006) “Delamination growth in composite plates under compressive fatigue loads”, *Composite Science and Technology*, 66, 248-254.
- Bleay, S.M., Loader, C.B., Hawyres, V.J., Humberstone, L., Curtis, P.T. (2001). A smart repair system for polymer matrix composites. *Journal of Composites: Part A*, 32, 1767-1776.
- Bohlmann, R. E., Renieri, G. D., Libeskind, M. (1981). Bolted field repair of graphite / epoxy wing skin laminates. *ASTM (American Society for Testing and Materials) STP*, 749, 97–116.
- Campilho, R.D.S.G., de Moura, M.F.S.F., Domingues, J.J.M.S. (2005). Modelling single and double-lap repairs on composite materials. *Journal of Composites Science and Technology*, 65, 1948-1958.
- Charalambides, M. N., Hardouin, R., Kinloch, A. J., Matthews, F. L. (1998). Adhesively bonded repairs to fibre-composite materials I: experimental. *Journal of Composites: Part A*, 29A, 1371–1381.
- Charalambides, M.N., Kinloch, A.J., Matthews, F.L. (1998). Adhesively bonded repairs to fibre-composite materials II: finite element modelling. *Journal of Composites: Part A*, 29A, 1383–1396.
- Chue C-H., Liu T J-C. (1995). *Effects of laminated composite patch with different stacking sequences on bonded repair*. *Composites Engineering*, 5: 223–230.

- Ferreira, J.M., Pires J.T.B., Costa, J.D., Zhang, Z.Y.,Errajhi, O.A., Richardson, M., (2006) “Fatigue damage analysis of aluminized glass fiber composites”, *Materials Science and Engineering A*, 407, 1-6.
- Freeman, B., Schwingler, E., Mahinfalah, M., Kellogg, K., “The effect of low-velocity impact on the fatigue life of sandwich composites”, *Composite Structures*, 2005,70:374-381.
- Gama B.A., Cichanowski C., Gillespie J.W. Jr. (2003). *Static and dynamic axial compression of scarf repaired thick section composite laminates*. International SAMPE Symposium and Exhibition (Proceedings), 48 I: 814–825.
- Goren, A., Atas, C., Manufacturing of polymer matrix composites using vacuum assisted resin infusion molding, *Archives of Materials Science and Engineering* 34 (2008) 117-120.
- Her, S., Shie, D. (1998). The failure analysis of bolted repair on composite laminate. *International Journal of Solids and Structures*, 35(15),1679-1693.
- Hu, F. Z., Soutis, C. (2000). Strength prediction of patch - repaired CFRP laminates loaded in comparison. *Journal of Composite Sciences and Technology* ,60, 1103-1114.
- Hosur, M. V., Vaidya, U. K., Myers, D., Jeelani, S. (2003). Studies on the repair of ballistic impact damaged S2 – glass / vinyl ester laminates. *Journal of Composite Structures*, 61, 281-290.
- Jain, L.K., Leong, K.H., Mai, Y.W., Tong, L., (1998)“Effect of through-thickness stitching on the fatigue life of composite single-lap joints” *Applied Composite Materials*, 5:399-409.
- Keller. R.L. (2004). *Challenges in composite maintenance and repair: A perspective*. International SAMPE Technical Conference, SAMPE 2004: 3359–3372.
- Kessler, M.R., White, S.R. (2001). Self – activated healing of delamination damage in woven composites. *Journal of Composites: Part A*, 32, 683-699.

- Koh, Y.L., Rajic, N., Chiu, W.K., Galea, S. (1999). Smart structure for composite repair. *Journal of Composite Structures*, 47, 745-752.
- Leiborich, H., Sason, N., Simon, A., Gren, A. K. (1990). *Repair of cracked aluminum aircraft structure with epoxy/epoxy patches*. Proceedings of the Ninth International Conference on Composite Materials (Madrid, Spain), vol. 4. Cambridge: Woodhead, 461-468.
- Margueres, Ph., Meraghni, F., Benzeggagh, M.L., “Comparison of stiffness measurements and damage investigation techniques for a fatigued and post-impact fatigued GFRP composite obtained by RTM process”, *Composites:Part A*, 2000, 31:151-163.
- Marioli-Riga Z., Xenos D., Vrettos C. (2004). A standard analysis methodology for the stress analysis of repaired aircraft structures with the method of composite patch repair. *Applied Composite Materials*, 11: 191–203.
- Mazumdar, S. K. (2002). *Composite manufacturing - materials, product and engineering*. Florida: CRC Press.
- Melin, L.G., Schön, J., Nyman, T., “Fatigue testing and buckling characteristics of impacted composite specimens”, *International Journal of Fatigue*, 2002,24:263-272.
- Mezierea, Y., Bunsella, A.R., Favrya, Y., Teissedrea, J.-C., Do, A.T., (2005)“Large strain cyclic fatigue testing of unidirectional carbon fibre reinforced epoxy resin”, *Composites: Part A*, 36, 1627-1636.
- Mitrovic, M., Hahn, H.T., Carman, G.P., Shyprykevich, P., “Effect of loading parameters on the fatigue behavior of impact damaged composite laminate”, *Composite Science and Technology*, 1999,59:2059-2078.
- Morais WA, Monteiro SN, d’Almeida JRM (2005). Evaluation of repeated low energy impact damage in carbon–epoxy composite materials. *Composite Structures*; 67: 307–315.

- Morais WA, Monteiro SN, d'Almeida JRM (2005). Effect of the laminate thickness on the composite strength to repeated low energy impacts. *Composite Structures*; 70: 223–228.
- Naboulsi, S., Mall, S. (1998). Nonlinear analysis of bonded composite patch repair of cracked aluminum panels. *Journal of Composite Structures*, 41, 303-313.
- Odi R.A., Friend C.M (2002). A comparative study of finite element models for the bonded repair of composite structures. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 21: 311-332.
- Roya, R., Sarkara, B.K., Boseb, N.R., “Impact fatigue of glass fibre-vinylester resin composites”, *Composites: Part A*, 2001,32:871-876.
- Pang, J.W.C., Bond, I.P. (2005). A hollow fibre reinforced polymer composite encompassing self – healing and enhanced damage visibility. *Journal of Composites Science and Technology*, 65, 1791–1799.
- Shivakumara, K., Chena, H., Abalib, F., Leb, D., Davis, C., (2006) “A total fatigue life model for mode 1 delaminated composite laminates”, *International Journal of Fatigue*, 28, 33-62
- Soutis, C., Duan, D - M., Goutas, P. (1999). Compressive behaviour of CFRP laminates repaired with adhesively bonded external patches. *Journal of Composite Structures*, 45, 289-301.
- Sugun BS, Rao RMVGK (2004). Impactor mass effects in glass–epoxy composites subjected to repeated drop tests. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 23: 1547-1560.
- Tai, N.H., Yip, M.C., Lin, J.L., “Effects of low-energy impact on the fatigue behavior of carbon/epoxy composites”, *Composite Science and Technology*, 1998,58:1-8.

- Tai, N.H., Mab, C.C.M., Lin, J.M., Wub, G.Y., “ Effects of thickness on the fatigue-behavior of quasi-isotropic carbon/epoxy composites before and after low energy impacts”, *Composites Science and Technology*, 1999,59:1753-1762.
- Tzetzis, D., Hogg, P.J. (2006). Bondline toughening of vacuum infused composite repairs. *Journal of Composites: Part A*, 37, 1239-1251.
- Widagdo, D., Aliabadi, M.H. (2001). Boundary element analysis of cracked panels repaired by mechanically fastened composite patches. *Journal of Engineering Analysis with Boundary Elements*, 25, 339-345.
- Wilmarth, D. D. (1982). *BREPAIR Bolted Repair Analysis Program*. Cambridge: Arthur D. Little Inc.
- Zhang, J. M. (2001). Design and analysis of mechanically fastened composite joints and repairs. *Journal of Engineering Analysis with Boundary Elements* 25, 431-441.