

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**I PROFİLLİ ALIN BİRLEŞTİRİLMİŞ KOMPOZİT PLAKALARIN
MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Halil Murat ENGİNSOY**

Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği

Programı : Yüksek Lisans

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Muzaffer TOPÇU

TEMMUZ 2012

YÜKSEK LİSANS ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 101111005 nolu öğrencisi Halil Murat Enginsoy tarafından hazırlanan “**I PROFİLLİ ALIN BİRLEŞTİRİLMİŞ KOMPOZİT PLAKALARIN MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Muzaffer TOPÇU (PAÜ MÜH.)
(Jüri Başkanı)

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Gürkan ALTAN (PAÜ MÜH.)

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Gökmen ATLIHAN (PAÜ TEK.)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
12.03.2012 tarih ve 18/16 sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Nuri KOLSUZ

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza

: 

Öğrenci Adı Soyadı : Halil Murat Enginsoy

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde ve tamamlanmasında her zaman bana yol gösteren ve engin tecrübeleriyle yönlendirerek emek veren, değerli yardımlarını ve desteklerini hep görmüş olduğum saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Muzaffer TOPÇU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince hiçbir zaman desteğini esirgemeyip, bana her zaman yardımcı olan, çalışmalarına bilgi ve birikimini titiz bir şekilde aktaran değerli hocam Doç. Dr. Gürkan ALTAN'a çok teşekkür ederim. Çalışmalarım esnasında bana destek olan değerli arkadaşım Mak. Müh. Furkan BAŞBUĞ'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının maddi olarak desteklenmesini 110M250 nolu proje kapsamında sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'na çok teşekkür ederim.

Bana çalışmalarım esnasında ve hayatımın her aşamasında, yanımda olarak sabır gösteren, her zaman maddi ve manevi destek olarak güç verip ilham kaynağı olan, sevgi ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli anneme ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz 2012

Halil Murat Enginsoy
(Makine Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	1
1.2 Tezin Yapısı	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1 Mekanik Birleştirme İle İlgili Çalışmalar.....	3
2.2 Yapıştırarak Birleştirme İle İlgili Çalışmalar.....	11
3. KOMPOZİT MALZEMELER VE BİRLEŞTİRME TÜRLERİ.....	24
3.1 Kompozit Malzemeler ve Özellikleri	24
3.2 Kompozit Malzemelerin Olumlu ve Olumsuz Yönleri	25
3.3 Kompozit Malzemelerin Uygulama Alanları.....	25
3.4 Kompozit Yapılar ve Birleştirme Türleri	27
3.4.1 Mekanik birleştirme türleri	27
3.4.2 Yapıştırarak birleştirme türleri.....	28
3.4.3 Birleştirme türlerinin olumlu ve olumsuz yönleri.....	28
4. I PROFİLLİ ALIN BİRLEŞTİRİLMİŞ KOMPOZİT PLAKALARIN MEKANİK DAVRANIŞLARININ SAYISAL ANALİZİ.....	30
4.1 Giriş	30
4.2 Fiziksel Problemin Modellenmesi.....	34
4.2.1 Parça oluşturma ve malzeme özellikleri tanımlama.....	35
4.2.2 Kesit özelliklerini tanımlama ve parçaya atama	38
4.2.3 Modele parça oluşturma.....	39
4.2.4 Çözüm adımının tanımlaması	39
4.2.5 Sınır koşullarının ve yüklemelerin tanımlanması.....	39
4.2.6 Parçalar arası etkileşimin sağlanması	40
4.2.7 Modelin çözüm ağının oluşturulması	41
4.2.8 Bir iş oluşturularak çözüme verilmesi ve sonuçların elde edilmesi	42
4.3 Birleştirilmiş Kompozit Yapıların Gerilme Analizi.....	46
4.4 Optimum Kompozit Yapıların Belirlenmesi.....	65
4.5 Yapısal Modellemenin Doğrulanması	67
4.6 Belirlenen Kompozit Yapılarda Hasar Analizleri	68
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	75
5.1 Sonuçlar	75
5.2 Öneriler	76
KAYNAKLAR	

KISALTMALAR

SEM	: Sonlu elemanlar metodu
ASTM	: Amerikan test ve malzeme topluluğu
CFRP	: Karbon elyaf takviyeli plastikler

TABLO LİSTESİ

Tablolar

4.1 : Boyut tasarımlarının gerçekleştirildiği geçme şekil elemanlarının geometrik parametreleri.....	31
------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

ŞEKİL LİSTESİ

Şekiller

3.1 : Kompozit malzemelerin uygulama alanları (Url-1)	26
3.2 : Mekanik birleştirme türleri (Jones,2009).....	27
3.3 : Yapıştırarak birleştirme türleri (Jones,2009).....	28
4.1 : Sonlu Elemanlar Metodu ile analizi yapılacak I profilli alın birleştirilmiş numuneye ait modelin şematik görünümü.	30
4.2 : Yapı bileşenleri üzerinde oluşan gerilme dağılımlarının incelendiği Yol 1, Yol 2, Yol 3 ve Yol 4.	32
4.3 : Kompozit tabakada fiber takviye doğrultusuna göre oluşan gerilmeler (Okutan,2001).....	33
4.4 : Analizi yapılacak modelin şematik görünümü.....	35
4.5 : Tasarımı yapılan bağlantı kilidinin üç boyutlu model görünümü	36
4.6 : Tasarımı yapılan birleşme numunesini üç boyutlu model görünümü.....	37
4.7 : Bağlantı Kilidi Üzerine Kesit Atanması	38
4.8 : Birleşme Numunesi Üzerine Kesit Atanması.....	38
4.9 : Model bileşenlerinin çalışma ortamı içinde birleştirilmesi.....	39
4.10 : Model bileşenlerinin çalışma ortamı içinde sınır koşullarının ve yüklemelerinin tanımlanması.....	40
4.11 : Model bileşenlerinin arasında temas tanımlamasının gerçekleştirilmesi.....	41
4.12 : Eleman sayısına karşılık en yüksek yapısal gerilme değerleri	42
4.13 : Modelin çözüm ağının gerçekleştirilmesi	42
4.14 : Modelin çözüme verilmesi	43
4.15 : Elde edilen analiz sonuçlarının görüntülenmesi.....	45
4.16 : $h=24$ mm ve $b=12$ mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.	46
4.17 : $h=24$ mm ve $b=16$ mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.	47
4.18 : $h=24$ mm ve $b=20$ mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.	48
4.19 : $h=24$ mm ve $b=24$ mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.	49
4.20 : $h=24$ mm ve $b=28$ mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.	50
4.21 : $h=24$ mm sabit geometrik parametresinin değişik b değerleri ve z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.	52

4.22 : h=40 mm ve b=12 mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.....	53
4.23 : h=40 mm ve b=16 mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.....	54
4.24 : h=40 mm ve b=20 mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.....	55
4.25 : h=40 mm ve b=24 mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.....	56
4.26 : h=40 mm ve b=28 mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.....	57
4.27 : h=40 mm sabit geometrik parametresinin değişik b değerleri ve z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.....	58
4.28 : h=56 mm ve b=12 mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.....	59
4.29 : h=56 mm ve b=16 mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.....	60
4.30 : h=56 mm ve b=20 mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.....	61
4.31 : h=56 mm ve b=24 mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.....	62
4.32 : h=56 mm ve b=28 mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.....	63
4.33 : h=56 mm sabit geometrik parametresinin değişik b değerleri ve z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.....	64
4.34 : h değeri 24, 40, 56 mm geometrik parametrelerinin b=12 mm ve z/b=0,3 oranına göre oluşturulan birleştirmelerine ait Abaqus yazılımı ile yapısal gerilme analizleri.....	66
4.35 : Bağlantısız ve optimum numunenin gerilmeleri	67
4.36 : h=24 mm, b=12 mm ve z/b=0,3 oranında oluşturulan birleştirmeye ait hasar kuvvetlerinin Hashin Hasar Teorisi kullanılarak Abaqus yazılımı analizleri.....	69
4.37 : h= 24 mm, b=12 mm ve z/b=0,3 oranında oluşturulan birleştirmeye ait 7 N kuvvet altında Hashin Hasar Teorisi kullanılarak Abaqus yazılımı analizleri. ..	71
4.38 : h= 24 mm, b=12 mm ve z/b=0,3 oranında oluşturulan birleştirmeye ait 13,5 N kuvvet altında Hashin Hasar Teorisi kullanılarak Abaqus yazılımı analizleri. ..	72
4.39 : h=24 mm, b=12 mm ve z/b=0,3 oranında oluşturulan birleştirmeye ait 45,5 N kuvvet altında Hashin Hasar Teorisi kullanılarak Abaqus yazılımı analizleri. ..	73
4.40 : h=24 mm, b=12 mm ve z/b=0,3 oranında oluşturulan birleştirmeye ait 53,5 N kuvvet altında Hashin Hasar Teorisi kullanılarak Abaqus yazılımı analizleri. ..	74

SEMBOL LİSTESİ

b	Kilit uç genişliği (mm)
D	Pim çapı (mm)
E	Kenar uzunluğu (mm)
E_1	Boyuna elastisite modülü (MPa)
F	Uygulanan kuvvet (N)
G_{12}	Kayma modülü (MPa)
h	Kilit uzunluğu (mm)
L	Toplam numune uzunluğu (mm)
lbs	Kütle ölçüm birimi
N	Uygulanan kuvvet birimi
S	Kayma mukavemeti (MPa)
z	Kilit et kalınlığı (mm)
w	Numune genişliği (mm)
σ	Normal gerilme (MPa)
σ_1	Takviye doğrultusu çekme gerilmesi (MPa)
σ_2	Takviye doğrultusuna dik çekme gerilmesi (MPa)
X_φ	Boyuna çekme mukavemeti (MPa)
X_b	Boyuna basma mukavemeti (MPa)
Y_φ	Enine çekme mukavemeti (MPa)
Y_b	Enine basma mukavemeti (MPa)
ν_{12}	Poisson oranı

ÖZET

I PROFİLLİ ALIN BİRLEŞTİRİLMİŞ KOMPOZİT PLAKALARIN MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Çağımızın ileri teknolojisinin üst düzey nitelikli malzemeye olan ihtiyacı artan bir ivme ile devam etmektedir. Gelenekselleşmiş mühendislik malzemeleri artık bu sürecin isteklerine karşı yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle temel olarak iki veya daha çok malzemenin beraber kullanımı ile oluşturulan ve oluşum sonucundaki malzemenin içerdiği bileşenlerinden farklı özelliklere sahip yeni türdeki malzemelerin yani kompozit malzemelerin kullanım alanları giderek artmaktadır. Kompozit malzeme kullanımının gerçekleştirildiği alanlarda da çeşitli zorunluluklar ortaya çıkmaktadır. Hem üretim aşamalarında hem de mühendislik tasarımlarında gerçekleştirilecek sistemler birden fazla parçadan oluşmaktadır. Bu nedenle tasarımı yapılan sistemin, amacı doğrultusunda iş yapar bir duruma getirilebilmesi için parçaların birleştirilmesi ve birbirleriyle çeşitli açılardan fonksiyonel olarak uyumlu hale getirilmesi gerekmektedir. Bu uyum mekanik ve yapıştırma teknikleri ile sağlanmaktadır. Bu çalışmada, kompozit plakaların alın altına birleştirilmesinde kullanılan yapıştırma tekniği yerine kullanılacak, I profiline sahip bir bağlantı kilidi ile yapılan mekanik birleştirmeler önerilmiştir. I profilli bağlantı kilidini karakterize eden temel geometrik parametrelerinin değişimi ile oluşturulmuş farklı boyutlardaki kilitlerin yük taşıma yeteneği, kompozit yapı bileşenlerinin dayanımı ve ilk hasar oluşumunun üzerine etkileri nümerik olarak incelenmiş olup içlerinden en uygun dayanıma sahip olan birleştirmenin tespiti de gerçekleştirilmiştir.

Kompozit yapının bütünüyle hasara maruz kalarak kullanılamaması durumu yerine I profilli bağlantı kilidi üzerinde meydana gelecek ilk hasarın belirlenmesi ve buna bağlı olarak kompozit yapının kullanım ömrünün arttırılması sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kompozit malzeme, geometrik birleştirme, hasar analizi

SUMMARY

INVESTIGATION OF MECHANICAL BEHAVIOURS OF I PROFILE BUTT JOINTED COMPOSITE PLATES

The need for advanced technology, high-level quality of our era material continues rapidly with increasing momentum. Inadequate in this process is now against the wishes of the traditional engineering materials. Therefore, basically with the use of the material is formed by two or more components contained in the material resulting from the formation of new types of materials with different characteristics, the areas of use of composite materials is increasing gradually. The composite material was carried out using a variety of fields emerging requirements. Engineering design and production stages will take place as well as systems composed of multiple tracks. For this reason, the system design, makes the purpose of a business to be brought as functional fragments that needs to be aligned with each other in several ways. This adaptation is provided by the mechanical and bonding techniques. In this study, the bonding technique used to combine the composite butt plates that can be used instead of the I profile with a lock with mechanical connections of a connection is proposed. I profiled the basic geometric parameters that characterize the connection to unlock the locks of different sizes generated by a change in load-carrying ability, strength of composite structural components are investigated numerically the effects of formation damage, and the first of them was the most appropriate strength and determination of the consolidation.

Totally destroyed the building instead of being exposed to the I composite profile, the connection lock is unavailable, the situation will occur on the first determination of damage has been increased and consequently, the composite structure of its life.

Key Words: Composite material, geometric joint, failure analysis

1. GİRİŞ

Günümüzde insanların, çağın gereksinimlerine uygun bir şekilde faaliyetlerine devam edebilmeleri için çeşitli malzemelere ihtiyaç duymaktadırlar. Kullanımını gerçekleştirdikleri en önemli malzeme türü ise kompozit malzemeler olmaktadır. Kompozit malzemelerin tercih edilmesinin en önemli nedenleri arasında, kompozit malzemelerin oluşumu esnasında kullanılan bileşenlerin birbirlerine ait olan zayıf yönlerini düzeltecek şekilde üstün özelliklerinin bir araya getirilmesini sağlamasıdır.

Farklı uygulama alanlarında kompozit malzemeler kullanılarak tasarımı gerçekleştirilen yapıların, hafif, kompakt, dayanıklı ve kullanım süresinin uzun olması ihtiyacı hem üretici hem de kullanıcı tarafından istenen ortak yönleridir. Bu yapılarda en önemli nokta ise, yapının birden fazla bileşenden oluşmasından dolayı bileşenlerin birleştirilmeleri gerekliliği ile yapının dayanımının sağlanması ve uzun kullanım süresine sahip olması gerekliliği mevcuttur. Buradaki temel hedef, en az iki veya daha çok kompozit bileşenin birleştirilmesiyle statik veya dinamik yük altındaki ana yapıdan kuvvet iletimini, tasarlanan birleşme bölgelerindeki mukavemet düşümlerini en aza indirgeyerek iletmelerini sağlamak gerekliliğidir. Endüstride, bu birleştirmeler için çeşitli mekanik ve yapıştırma teknikleri kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, yapılardaki birleştirme türlerinden, kompozit plakların alın altına birleştirilmesinde kullanılan yapıştırarak birleştirme yerine, I profilli bağlantı kilidi ile mekanik birleştirme yapılması önerilmiş olup; yapının çözülebilir olmasını ve kuvvet iletiminin yönlendirilebilmesini sağlaması açısından endüstrideki kullanım alanının yaygınlaşması potansiyeli de tezin önemini ayrıca ortaya koymaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Kompozit plakaların birleştirilmesinde kullanılan yapıştırılmış alın birleştirmeler yerine kullanılacak, I profilli bağlantı kilidi ile yapılan mekanik alın birleştirmeler kullanılarak, zayıflamış olan ara geçiş bölgesinin çeki gerilmesi altındaki optimum düzeyde dayanıklılığın hangi geometrik parametrelerden oluşan bağlantı kilidi tarafından sağlandığının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

1.2 Tezin Yapısı

İlk bölümde çeşitli uygulama alanlarında kullanılan kompozit malzemeler hakkında kısaca bir giriş yapılarak, geliştirilen bağlantı türünün kompozit yapılarda kullanılan birleştirmeler içerisindeki önemi belirtilmiştir.

İkinci bölümde kompozit malzemelerin birleştirme yöntemleri sınıflandırılarak geniş ve detaylı bir literatür çalışması gerçekleştirilmiştir.

Üçüncü bölümde kompozit malzemeler ve özellikleri hakkında genel açıklamalar yapılmış olup, olumlu-olumsuz yönleri ve sınıflandırılmaları belirtilmiştir. Uygulamada kullanılan birleştirme türlerinin detaylı bir incelemesi yapılmıştır.

Dördüncü bölümde, tasarımı gerçekleştirilen birleştirmelere ait kompozit yapıların Abaqus 6.11 ticari paket yazılımı ile sayısal analizleri gerçekleştirilmiş olup, uygulanan analiz adımları detaylı bir şekilde belirtilerek optimum kompozit birleştirmenin belirlenmesinde Sonlu Elemanlar Metodu kullanılmış, yapılan gerilme ve hasar analizlerinde belirlenen teknikler ve elde edilen sonuçlar üzerindeki etkileri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca belirlenen optimum kompozit yapının hangi kuvvet değerinde, üzerinde oluşacak ilk hasarı tespit edebilmek amacıyla Hashin Hasar Teorisi, Sonlu Elemanlar Metodu kullanılarak uygulanmıştır.

Son olarak beşinci bölümde ise, yapılan Sonlu elemanlar analiz sonuçları ile elde edilen verilerin detaylı bir şekilde irdelenmesiyle ulaşılan sonuçlar ve ilerideki yapılacak olan çalışmalara yönelik önerilere yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kompozit malzemelerin birleştirilmeleri ile ilgili olarak literatürde çok çeşitli birleştirme türleri mevcut olmakla beraber, yapılan çalışmalar temelde mekanik ve yapıştırarak birleştirmeler olmak üzere iki ana sınıf şeklinde ele alınarak incelenebilmektedir.

2.1 Mekanik Birleştirme İle İlgili Çalışmalar

Naik vd (2002) üç boyutlu dokunmuş kompozit modellerin dayanımının, üç boyutlu açılı kenetleyerek dokunmuş kompozitlerdeki tek eksenli çekme gerilmesi ve kayma gerilmesi altındaki hata davranışlarının tahmini üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Model, yinelenen birim hücrenin iki düzeydeki ayrıklaştırılmasına dayandığını belirtmişlerdir. Yinelenen birim hücre, bölümlere, elemanlara, altbölümlere ve alt elemanlara bölünmüşlerdir. Alt eleman seviyesinde gerçekleştirilerek ikincil hatalardaki gerilme seviyelerinin, modelde öngörüsünü yapmışlardır. İkincil hatanın etkileri; ileriki analizler, son çekme gerilmesi dayanımı, kayma gerilmesi dayanımı ve eş değer şekil değişimleri için dikkate alarak belirlemişlerdir. Farklı üç boyutlu açılı birleştirilerek dokunmuş kompozit grupları için parametrik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Nie vd (2006) yazdıkları bu makalede, açılı örülmüş kumaş yapısının tanımlanması için bilinen kademeli formül tanımlaması yaparak basit bir metot sunmuşlardır. Çok tabakalı açılı geçme kumaş, çözü ve atkı dokumaları arasında birbirine göre iç içe girerek, açılı geçme kumaş yapısı olarak ve formül ile bir birim hücrede bir çözü iplik dokuma üstünlüğünü göstermek için sunmuşlardır. Ayrıca bu makalelerinde, çok tabakalı açılı geçme kumaş tasarımı için uygulamalı kademeli formülün genişletilmiş bir metot olarak da vermişlerdir. Kademeli formül tanımlama metodunu tartışmalarından sonra, bu açıklama yönteminin çok etkili olduğu kanıtlamışlardır ve sunum için geçerli olduğunu belirtmişlerdir. Açılı geçme kumaş yapısı ve dokuma kumaş tasarımı özellikle çok tabakalı açılı geçme kumaş için bilgisayar destekli tasarımın çok etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Baucom vd (2010) fiber takviyeli kompozit tabakalardaki, bir orta ölçekli düzlem yerleştirme tekniğini geliştirmek için çeşitli çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Böyle bir teknik, tabakaların tasarım alanını genişletmekle birlikte bölgesel olarak tabaka özelliklerinin adapte edilmesi yeteneği de kazandırılabilceğini ifade etmişlerdir. Örneğin; böyle tabakaların serbest kenarlarındaki gibi yerlerde ortaya çıkan gerilme yoğunluklarını azaltabilmekte olduğunu belirtmişlerdir. Döşenmiş tabakaların ön imalatı, neredeyse eşit bir elastik modül ile sürekli takviye edilmiş bir malzeme ile üretmişlerdir. Ancak bu ilk deney numunelerinin dayanımının önemli bir ölçüde azaldığını belirtmişlerdir. Sonlu eleman analizleri, kendine özgü olarak döşenmiş kompozit tabakaların karakteristik etkilerini ve ardından performansını belirlemek için yapılmışlardır. Birebir olarak döşenmiş, zengin reçine ara yüzlerinde olduğu gibi, döşenen tabaka kalınlığı boyunca düzenlenen bağlantının etkilerini de araştırmışlardır. Minimum dayanımını en aza indirmek için, ayrıca yeni bir bileşik ortak bağlantı geometrisi gibi önerilerin oluşmasına da neden olduğunu belirtmişlerdir. Yeni tasarım kuralları kullanılarak üretilen tabakaların mukavemet değerleri ile geleneksel deney analogları karşılaştırıldığında %92 fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Son olarak, serbest kenarlardaki dairesel süreksizlik bölgesinin önlenmesi için kompozit döşemelerin potansiyel uygulamalarını irdelemişlerdir.

Santiuste vd (2010) yaptıkları bu çalışmada, havacılıkta kullanılan cıvatalı bağlantıların sıcaklık ve tork etkisi altındaki davranışlarının analizi üzerinde durmuşlardır. Bir titanyum cıvata ve kompozit levhaları ASTM D5961'e göre tekli bindirme olarak kabul etmişlerdir. Her iki cıvata ve kompozit plakalarda oluşan gerilmeleri değerlendirmek için FEM'e dayalı sayısal bir model geliştirmişlerdir. Yük-yer değiştirme eğrileri, gerilme alanları ve hasar etkilerindeki, özellikle bağlantı üzerindeki tork seviyesi ile sıcaklığın birlikte etkisi olduğunu göstermişlerdir. Plaka, hem maksimum ve minimum tork seviyeleri dikkate alınarak üretilmiş, hem de kritik hasar eşiği üzerinde olduğunu bulmuşlardır. Bağlantının üretim süreci boyunca, bu gerçek hesaplamalara dâhil olması gerektiğini belirtmişlerdir.

İçten vd (2006) dokunmuş kevlar epoksi kompozit plakaların mekanik olarak oluşturulmuş birleştirmelerin hasar yükünü ve hasar modunu belirleyebilmek için bir araştırma yapmışlardır. Hasar başlaması, ilerlemesi ve birleştirmelerin dayanımını tahmin edebilmek için 2 boyutlu sonlu elemanlar kodu geliştirmişlerdir. Hasar

analizinde Hashin, Hoffman ve Maksimum Gerilme kriterlerini kullanmışlardır. Analizde bağlantı geometrisinin etkilerini parametrik olarak değerlendirmişlerdir. Yapmış oldukları deneyleri, hasar modunu tahmin edebilmek ve hasar yükünü bulabilmek için gerçekleştirmişlerdir. Elde etmiş oldukları sonuçları karşılaştırmış olup, nümerik ve deneysel çalışmalar arasında iyi bir uyum olduğunu göstermişlerdir.

Aktas ve Dirikolu (2004), $[0^\circ/45^\circ/-45^\circ/90^\circ]_s$ ve $[90^\circ/45^\circ/-45^\circ/0^\circ]_s$ tabaka konfigürasyonlu karbon epoksi kompozit plakalarını pim ile oluşturularak yapılan birleştirmelerin mukavemetini araştırmak için deneysel ve nümerik bir çalışma yapmışlardır. Yapmış oldukları deneyleri ASTM D953 standardına göre, nümerik analizleri ise sonlu elemanlar metoduna göre gerçekleştirmişlerdir. Kenar uzunluğunun pim çapına oranı (E/D) ve deney numunesinin genişliğinin pim çapına oranı (W/D) analizler sırasında sistematikleştirilmişlerdir. Her iki analiz sonucu olarak hazırlanmış oldukları deney konfigürasyonları yatak hasar modunu göstermiştir. $[90^\circ/45^\circ/-45^\circ/0^\circ]_s$ konfigürasyonunun yataklama mukavemetinin $[0^\circ/45^\circ/-45^\circ/90^\circ]_s$ konfigürasyonu ile karşılaştırıldığında daha güçlü olduğunu tespit etmişlerdir. Sonuç olarak her iki konfigürasyonla E/D ve W/D oranlarının 4'den büyük veya eşit olduğunda yataklama mukavemetlerinin en üst sınırlara ulaştığını ifade etmişlerdir.

Fu ve Mallick (2001) yaptıkları bu çalışmada, enjeksiyon ile kalıplanmış kompozit yapıların yapıştırma ve civatalı olarak yapılmış bağlantılarının statik ve yorulma performansları üzerinde çalışmışlardır. Hibrit bağlantıların, yapıştırma bağlantılarından daha yüksek statik hasar yüküne ve daha uzun yorulma ömrüne sahip olduklarını belirtmişlerdir. Bununla birlikte, hibrit bağlantının performansının rondela tasarımına bağlı olduğunu deneysel yöntemlerle ve sonlu elemanlar analizleri ile ifade etmiş olup, başarılı bir hibrit bağlantısı için daha uygun bir rondela türü geliştirmişlerdir.

Strakiv ve Schön (2002) yapmış oldukları bu çalışmada, öncelikle civatalı kompozit bağlantıların yorulma davranışını anlayabilmek için bölgesel olarak kompozit çevresince tutturulmuş bağlantıların iyi bir şekilde anlaşılması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Boscolo vd (2010) çift taraflı takviyeli olarak güçlendirilmiş bütünleşik yapılarda yorulma sonucu çatlak ömrünün tahmini için 2 boyutlu sonlu eleman modelleme

tekniki üzerine çalışmışlardır. Esas olarak, bütünleşik yapılarda hasar toleransı eksikliğini çözümü için çeşitli tasarım çözümleri sunmuşlardır. Birleştirilmiş yapılardaki birçok ve karmaşık hasar mekanizmalarından dolayı, önemli tasarım parametrelerinin değerlendirilmesi için geniş kapsamlı bir modelleme tekniğine ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmanın iki kısımdan oluştuğunu belirtmişlerdir. İlk olarak birleştirilmiş yapıların hareket ve mekanizmalarını içeren kısım üzerine çalışmışlardır. Ardından, her bir mekanizma için modelin sunumuna benzer şekilde simülasyonlar yapmışlardır. Dairesel süreksizlik bölgesi veya çözülmüş olan desteklerde, ön gerilme enerjisini bırakma oranı ve bir kırılma mekaniği kriteri ölçüt alınarak bilgisayarda modellenmesini yapmışlardır. Termal gerilme artıkları, yapıştırılarak birleştirme sürecinde ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Onların tabandaki çatlak dağılımı gelişmesinin hesaplanması ile çatlak ömrü analizini göz önünde tutmuşlardır. İkincil eğilme etkisi, tek taraflı asimetric geometriye sahip takviye olarak modellenmesini yapmışlardır. Klasik doğrusal elastik kırılma mekaniği, bir boyutsuz gerilme şiddeti faktörü sadece numune geometrisine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Yani gerilme faktörü b 'ye bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Çözülme büyüklüğü ile ilişkili olduğunu ve çözülme boyutuna uygulanan gerilmenin, yapının geometrisini değiştirdiğinden itibaren bu b faktörü çeşitli bağlı yapılar için bulunamamakta olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, ikincil eğilme etkisinin geometrik olarak nonlineer olduğunu ortaya koymuşlardır. Böylece, gerilme şiddet faktörü, uygulanan gerilme ile normalize edilemez olduğunu göstermişlerdir. Bu nedenlerden dolayı, her bir çatlak uzunluğu için hem maksimum ve minimum uygulanan gerilmeleri, hem de gerilme şiddet faktörünün hesap ihtiyacını da içerecek şekilde alternatif bir teknik geliştirmişlerdir. Bu analiz tekniği, bir bilgisayar ara yüzünde NASTRAN ticari programı yardımıyla yorulma sonucu çatlak gelişim sürecinin yapılardaki destek iyileştirmesinde uygulanmakta olduğunu ortaya koymuşlardır.

Kinloch vd (1992) yaptıkları bu çalışmada, bir epoksi macun yapıştırıcı kullanarak Termoplastik fiber kompozitlerin birleştirmesini göz önüne almışlardır. Çalışmalarındaki bağlantı tasarımında ikili bindirme geometrisini kullanmışlardır. İlk olarak, Termoplastik fiber kompozit tabanlarının, önceki taç şeklindeki yapısal yüzey bağlantısının iyileştirilmesiyle iyi bir bağlantı dayanımına sahip olduğunu göstermişlerdir. İkinci olarak, konik kompozit yüzeylerde, açılı bir şekilde

doldurulmuş yapıştırıcıların kullanımı ile bağlantı dayanımının arttırılabilir olduğunu belirlemişlerdir. Aslında, bağlantı verimleri bu gibi ikili bindirme bağlantıları için 100% benzerlik gösterebilmekte olduğunu belirtmişlerdir. Üçüncü olarak, sonlu elemanlar analizlerinde ve teorik çalışmalarında çeşitli bağlantı tasarımlarını kullanmışlardır. Yapmış oldukları bu analizlerin sonuçları ile deneysel ölçümlerinin iyi bir uyum içinde olduğunu göstermişlerdir.

Soni vd (2009) yapmış oldukları çalışmada kulplu bağlantıların yorulma hasarı deneylerinin havacılık endüstrisindeki önemli birkaç noktadan biri olduğunu belirtmişlerdir. Al2024 T351 plakasından 0.25 inç kalınlıkta hazırlamış oldukları kulplu bağlantı örneklerinde birkaç farklı yorulma testleri yapmış olup, farklı bir hata modeli olarak belirtmişlerdir. Tüm örneklerdeki yüklemelerin başarısız olarak sonuçlandığını belirtmişlerdir. Bu nedenle şimdi yapmış oldukları bu çalışma; deneysel ve sayısal modellemesi aktif olarak farklı çentik ölçülerindeki yüklemelerle sunmuş olup, sağlıklı bir biçimde piezoelektrik güç çeviricilerini uygulamışlardır. Gerçek zamanlı deneysel simülasyonlarda sonlu eleman analizlerini kullanmışlardır. Kulplu bağlantı örneklerindeki çatlak geometrisi ve piezoelektrik güç çeviricileri hem deneysel hem de simülasyon için aynı uyumu koruduğunu göstermişlerdir. Sonuçlar, kulplu bağlantılarda güdümlü dalgaların oluşturduğu hasarın fizibilitesini sorgulayarak örneklerle ortaya koymuşlardır. Deneysel ve simülasyon sonucu, sensörlerden elde ettikleri sinyaller aralarında karşılaştırılmış olup, frekans alanı içinde uygun bağıntılar gösterdiklerini belirtmişlerdir. Sensör sinyal verisinin frekans dönüşümü, hasar karakterizasyonu için faydalı bilgi sağlamakta olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmalarda kullanılan sensör hassasiyeti, farklı hasar durumları için uzaklık temelli bir tekniğe dayanmış olup, sensörden gelen veriler sınıflandırılarak yönlendirilmişlerdir. Bu bilgi, gereğinden fazla indirgenmiş sensörler tarafından ve en uygun sensör konumlandırılması yoluyla hasarın yerini içeren birçok uygulamalarda kullanılabilenekte olduğunu belirtmişlerdir.

Campilho vd (2008) yaptıkları bu çalışmada, tek takviyeli onarımların gerilme davranışları ile ilgili deneysel ve numerik analizlerinin her ikisini de konu olarak ele almışlardır. İki temel geometrik parametre olan; üst üste gelme uzunluğu ve yama kalınlığı üzerinde çalışmışlardır. Nümerik model için ABAQUS yazılımını kullanmışlardır. Yapıştırılarak birleştirilmiş hasar modeli modu için uygun eğilebilir

yapıştırıcılar geliştirmiş olup, arayüz içinde sonlu elemanlar uygulaması yapmışlardır. Gerilme analizleri ve dayanımlarına ait tahminler yürütmüşlerdir. Deneysel ve nümerik çalışmalar; hasar modları, hasar yükleri ve onarım için eş değer katılığı açısından karşılaştırmalar yapmışlardır. Deneysel ve numerik sonuçlar arasında iyi bir ilişki saptamışlardır. Bu ilişki, model için uygulanan bağıntıların veya onarımların başarılı olduğunu ortaya koyduğu için önermişlerdir.

Belgin vd (2010) yaptıkları bu çalışmada, uzun-dar CFRP parçası ve beton yüzey arasındaki farklı sayıda demirle destek uygulamalarının, dizilişlerinin ve demir türlerinin gerilme dağılımı üzerindeki etkisi üzerine çalışmışlardır. Sıkıştırılmış betonun dayanımı ve uzun-dar CFRP parçasının bağlantı uzunluğu sabit tutularak, iki farklı demirle destekleme dizilişleri ile iki tip demir destek türü ve üç farklı demir destek numarasıyla 12 deney numunesi üzerinde test etmişlerdir. Buna ek olarak, toplamda 14 numunenin içinden 2 numunede herhangi bir demirle destekleme olmadan test etmişlerdir. Demir desteklerin darbe etkisindeki deney numunelerinde rijitlik, dayanım artışı ve uzun-dar CFRP parçalarındaki gerilme dağılımı üzerinde incelemeler yapmışlardır. Deney numuneleri, uzun-dar CFRP parçaları tarafından soyulmasında başarısız olmadığını, bunun yerine demirli desteklerin yerinin belirlenmesi noktasında koptuğunu belirlemişlerdir.

Mines vd (2002) yaptıkları bu çalışmada, sandviç yapılı polimer kompozit kirişlerin, deniz araçlarının tipik konstrüksiyonlarında yüksek performans gösterdiği tecrübeye dayanan bir sonuç olduğunu belirtmişlerdir. Dış yüzeyi, çapraz şekilde biriktirilmiş tek yönlü glass epoxy'den oluşturmuşlardır. İç kısmını da, ya Divinycell H100 ya da H200 köpükten yapmışlardır. Bu kirişlerin iki boyuttaki aşamalı çöküşlerinin sayısal simülasyonları, sonlu elemanlar prensibi kullanılarak Abaqus/Standart'ta meydana getirilmiştir. Bu çalışma, sayısal model üzerindeki girilmesi gereken malzeme özelliklerine odaklanmıştır. Ayrıca bu çalışmada, üst yüzey içerisindeki tabaka hasarın olduğunu belirtmişlerdir.

Lubineau vd (2008) yapmış oldukları bu çalışma ile en son ilerlemelerde, indirgenmiş tabakalı kompozitler için tüm ölçeklerde modellenmesinin gelişmiş bir yol olduğunu ortaya koymuşlardır. Özellikle, bugün, mikromekanik için; genel bir çerçevede elde edilen tek bir malzeme bilgisinden bütünleşmiş referans sanal malzeme tanımlamamıza olanak sağlamakta olduğunu belirtmişlerdir. Böylece, orta

ölçekli ve yapısal analiz için hasar mekaniği kullanarak yapılmış bir model üzerinde kullanılabilir olduğunu ortaya koymuşlardır. Daha önce geliştirilmiş bir köprü ile bu referans modelinin bir homojenize versiyonu olarak meydana getirmişlerdir. Çalışmanın sonucu olarak türetilerek işlenmiş bir modelin, mikromekanikte önemli olduğunu ancak ticari kodlarda değiştirilebileceğini ifade etmişlerdir.

Aymerich vd (2006) yaptıkları çalışmalarında, seçmiş oldukları dikişin etkisini ve yorulma yükü altında aynı eksenli kürleştirilmiş tekli bindirme birleştirmelerinin delaminasyonlu bölgelerindeki kırılma davranışlarını deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi içeren nümerik çözümlerle incelemişlerdir.

Camanho vd (2006) yaptıkları bu çalışmada, kompozit tabakalardaki mekanik olarak tutturulmuş bağlantıların hata türü için, hasar başlangıcı ve son hata şeklini tahmin etmek amacıyla yeni bir yöntem ortaya koymuşlardır. Her bir tek tabakadaki gerilme dağılımını yarı analitik veya sayısal metodlarını kullanarak elde etmişlerdir. Bağlantının elastiklik sınırı, tabaka dayanımları ve hasar kriterine göre gerilme dağılımları kullanarak öngörmüşlerdir. Son hata ve hata türü noktası veya ortalama gerilme modelleri kullanılarak tahmin etmişlerdir. Noktasal veya ortalama gerilme modellerinde kullanılan karakteristik mesafeleri ölçmek için standart prosedürler önerilmişlerdir. Önermiş oldukları bu yöntem; yarı izotropik tabakalar kullanarak çift kayma bağlantılarında uygulamışlardır. Tahminler, yüklü pim ve civatalı bağlantılardan elde edilen deneysel verilerle karşılaştırmışlardır. Sonuçlar, önermiş oldukları metodolojinin tam olarak doğru olduğunu göstermiştir ve etkili bir bileşik civatalı bağlantılarda son hata yüklerinin yanı sıra hasar türlerinin etkili bir şekilde doğru olduğunu göstermiştir.

Dano vd (2000) yaptıkları bu çalışmada literatürde yayınlanan plastiklerdeki tekil mekanik tutturulmuş bağlantıları yeniden incelemişlerdir. Sonlu elemanlar modeli, kompozit plakalardaki pim-yüklemeye olan cevabını tahmin etmek için geliştirmişlerdir. Bu model, büyük deformasyon teorisi, ilerleyen hasar, pim ve delik arayüzü arasındaki ilişkiyi ve non-lineer kayma gerilmesi ve gerilme ilişkisini göz önüne aldığını belirtmişlerdir. İlerleyen tabaka hasarı, Hashin ve maksimum gerilme hasar kriterini birleştirerek tahmin ettiğini ifade etmişlerdir. Yapmış oldukları bu çalışmanın amaçları; hasar kriterinin etkisi, dayanım tahminindeki nonlineer kayma davranışı ve pim-yük yer değiştirme eğrisinin belirlenmesi olduğunu belirtmişlerdir.

Önerilen bu model, farklı istifleme dizileri ile kompozit plakaları taşıyan cevabı tahmin etmek için kullanmışlardır. Deneysel sonuçlar ve sayısal tahminler arasında iyi bir uyum olduğunu belirtmişlerdir.

Camanho ve Lambert (2006) tabakalı kompozitlerde mekanik olarak bağlanmış birleştirmelerin son hasar, hasar modu ve hasarın başlangıcını tahmin edebilmek için yeni bir yöntem ortaya koymuşlardır. Her bir kattaki gerilme dağılımını yarı analitik veya nümerik metotlar kullanarak tespit etmişlerdir. Hasar kriterinde gerilme dağılımını ve kat kuvvetlerini kullanarak birleştirmenin elastik limitini tahmin etmişlerdir. Son hasarı ve hasar modunu nokta veya ortalama gerilme modellerini kullanarak tahmin etmişlerdir. Yapmış oldukları tahminleri, pim ve civata ile yapılan birleştirmelerden elde edilen deneysel veriler ile karşılaştırarak önermiş oldukları yöntemin doğruluğunu göstermişlerdir.

Gama vd (2004) Kompozit yapısal zırhın, genellikle asgari ağırlığı, yapısal ve balistik performansını optimum bir dengede sağlamak için polimer Kompozit, lastik ve seramik tabakaların bir araya gelerek oluşturduğu kalın kesitli bir sandviç yapısı üzerinde çalışmışlardır. Kompozit zırhta, tasarım kuralları ve onarım teknikleri için gerekli olan özgün sınıftaki çok fonksiyonlu bir yapıda bulunduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmadaki odak noktası, statik ve dinamik yüklemeye maruz kalın kesitli, alın altına birbirine geçme ile tutturulmuş bileşik destek plakasının onarımı olduğunu ifade etmişlerdir. Kompozit destek plakaları, düz örgü S2 glass kumaş ve SC15 epoksi reçine kullanarak üretilmesini gerçekleştirmişlerdir. Destek plakaları için uygulanmış kasti hasarın onarımı, indüksiyon ısıtma kullanılarak yüksek sıcaklıklarda ve oda sıcaklığında yapılmışlardır. Statik tepki kontrolü ve onarılmış plakalar dört noktalı eğilme testi ile karşılaştırılmışlardır. Üç farklı geçme açısının ve dört onarıcı yapışkanın (ikisi oda sıcaklığı ve ikisi yüksek sıcaklık iyileştirme sistemleri) etkisi ölçülmüşlerdir. Bu onarım teknikleri kullanılarak, yüksek biçimlendirilebilirlik durumu hariç, düşük sertlikte yapışkan ve uzama miktarı çok sünek bir duruma ulaşıldığını ifade etmişlerdir. Onarılmış kirişlerde yenilenen moment kapasitesi yüksek derecede, birbirine yapıştırılarak geçme açısının çeşitliliğine bağlı olduğunu ve maksimum yenilenme miktarı %60 olduğunu belirtmişlerdir. Dinamik yüklemeye ve alından geçme ile yamanmış Kompozit örnekler, bölünmüş Hopkinson çubuğunu kullanarak aksenal basınç direnci testi

yoluyla araştırmışlardır. Dinamik yükleme altındaki eksenel kuvvetin, geçme açısına ve yükleme hızına bağımlı olduğunu bulmuşlardır. Çeşitli malzemeler, geçme açıları ve yükleme koşulları için eksik yerler olduğu bildirilmişlerdir.

2.2 Yapıştırarak Birleştirme İle İlgili alışmalar

Wanga vd (2009) yaptıkları çalışmada yapıştırılarak bağlanmış geçme bağlantılarının tamirlerinde, kompozit yapılar için öncelikli metot olarak, başlıca sınırlı malzeme taşıma miktarı için birleştirmişlerdir. Yüksek dayanımlı iyileştirmeye ek olarak, geçme tamirlerinde hem dış yüzeyi orijinal olarak geri kazanabilmek, hem de aerodinamik ve/veya dış kalıp hattını göz önüne almışlardır. Ancak, geçme onarımları hemen hemen kaçınılmaz olarak, geçme eklemek için hasar vermeden malzeme kaldırılmasına yol açmasıyla sonulanabildiğini tespit etmişlerdir. Bu durum özellikle, kalın yapılar için önemli bir sorun olabildiğini belirtmiştirler. Çünkü geçme uzunluğu, 20 ila 100 kat arasında değişebilen bir esas yapı olduğunu ifade etmiştirler. Yaptıkları bu araştırma, bir optimizasyon yöntemi belli iki eksenli yükleme durumu için en uygun onarım Şekillerini belirlemek için geliştirilmişlerdir. Optimum geçme geometrisi, geçme açısı tarafından yönlendirilen non-lineer diferansiyel denklemin nümerik czm ile belirlemişlerdir. Optimum ve optimuma yakın Őekillerde, sonlu eleman metodu kullanılarak, hesaba dayalı modellenerek göstermişler ve ortaya koymuşlardır.

Brink vd (1999) metal tabakalar arasında sınırlandırılmış iki fiber takviyeli MMC alt unsurlarının mekanik tepkilerini belirleyebilmek için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Fiberler, polikristal ve içine kesintili gömülerek Al-4.5Mg yerleştirilmiş bağlantılar sürekli olarak bağlantı boyunca devam ederek ve tabakalar arası malzemeler Kompozit matrix'de her ikisinden olacak Şekilde teşkil ettirilmişlerdir. Numuneler, basınçlı eritme infiltrasyonu ve tabakalar arası 0° 'den 75°'ye kadar normal düzlemi ile ilişkili fiber eksenlerini içerecek Şekilde üretimini gerçekleştirmişlerdir. Analitik ve sonlu elemanlar modelleri geliştirilmiş olup, deney sonuçları ile karşılaştırıldığında, sırayla tabakalar arası deformasyon davranışını açıklamak için anahtar faktörlerin kontrolüyle bağlantı performansını belirlemişlerdir. İki baskın sistemde bu Şekilde taraflarınca tespit etmişlerdir. Bağlantıların içinde ara aı aralığında (45±15°) limit yk uygulamak, yüksek gerilmeden önce eksiklik gelişimine neden olduğunu sunmuşlardır. Hlbuki

bağlantılar ($\leq 15^\circ$) ve (75°)'den yüksek açılarda sadece uygun bir plastisite gösterdiğini ifade etmişlerdir. Modeller, ancak ikinci gruptaki, geliştirilen yüksek zorlama ve limit yüklemeler prensibi için olup, fakat bu davranış düşük açı bağlantılarında, arasındaki olan kendi eksikliği ile ilişkisini kesmeye engel olduğu belirtilerek ve yüksek açılarda birinde kompozit çatlak oluşmakta olduğunu tespit etmişlerdir. Analizin ilerlemesiyle, tabakalar arasında esas sertleşme ilişkisinin monolitik matris yöntemindeki aynı davranışı esas alarak metaldeki temel davranışını ortaya koyduğunu belirterek bu davranışın nedenlerini tartışmışlardır. Araştırma kapsamında çalışılan bu modeller, gelecekteki tabakalar arası bağlantı konumlarının kırılma kriterinin açıklanması çalışmaları için temel oluşturduğunu belirlemişlerdir.

Sangree vd (2009) yaptıkları çalışmada geleneksel olarak yapılmış, ağır ahşap takviye iskeletlerinde (kafeslerinde) oluşan gerilme kuvvetleri, kiriş elemanları arasından alın alına sıkı geçme bağlantılarına aktarıldığını belirlemişlerdir. Ahşap desteklerin sıkı geçme bağlantılarında darbe altındaki genel rijitlikleri önemli olduğunu ve yapısal davranışları hakkında henüz az bilgi bulunduğunu belirtmişlerdir. Yapılan bu çalışma, son zamanlarda tamamlanan ve yaygın olarak kullanılan durgun-yayvan geçme bağlantısında bir çözüm tanımladığını göstermişlerdir. Pennsylvania'daki ahşapla kaplı köprünün sıkı geçme bağlantıları aynen kopya edilerek deneysel testler uygulanmıştır. Abaqus kullanılarak oluşturulmuş üç boyutlu sonlu elemanlar modeli ile elde edilen tüm nümerik sonuçlar kıyaslanmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmada, geçme bağlantısının davranışında en etkili çözüm olarak, ahşap çizgilere dikey olarak yöneltilen basınç yüklemesinin neden olduğunu tanımlamışlardır. Döner anahtar ile sınır durum incelemesi olmadan, sıkıştırılmış civatalarda önemli olduğu ayrıca deneysel testlerce de ortaya çıkarmışlardır. İki adet yerinde sıkıştırılmış civata ile çizgilere paralel oluşmuş, sınır durumundaki kayma gerilmesi hasarı, daha durgun hasara ve yüksek son dayanımı karşıladığını ortaya koymuşlardır. Yapılan bu çalışmada, geçme bağlantısının teorik gerilme elemanı olarak analiz etmemişler, daha doğrusu elemanda birleşik gerilme ve eğilme kuvvetlerini konu alarak ve düşünerek mühendislere yol gösterici olduğunu belirtmektedirler.

Sangree vd (2009) ahşap çerçeveli binalar ve köprülerde, geleneksel olarak ağır ahşap kafeslerde ve aralarındaki alt kiriş geçme bağlantılarında çeşitli geleneksel

bağlantıların kullanımını üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalarında yarı ve ahşap geçme bağlantılarını, deneysel testler ve sonlu elemanlar analizlerini kullanarak izole bir yapısal bileşen olarak ele almışlardır. Taneli geçme bağlantılarına özgü iki farklı limit durum için deneysel testleri ile kayma hatalarında paralelden taneye ve dik tanelerdeki gerilme kusurlarını tanımlamışlardır. Taneler dik olan gerilmedeki olasılık beklenen eksiklik sonuçları, tane açılarından ve taneye paralel kayma hatasının limit durumlarına kadar, tipik olarak analiz ve tasarımda bağlayıcı olmadığını belirtmişlerdir. Tasarım ve iyileştirme amacıyla, konu olarak geçme bağlantılarındaki elemanın maruz kaldığı birleşik eğilme ve eksenel gerilme kuvvetlerini önermektedirler. Abaqus'te sürekli katı elemanlar kullanılarak yapılan sonlu elemanlar analiz sonuçları, deneysel test sonuçları ile uyum içinde olduğunu belirtmişlerdir. Ek olarak, sonlu eleman modellerinin yanı sıra, çalışmayı yapanlar alt kirişteki geçme bağlantısı ile ilişkili olan iki boyutlu bir model geliştirirlerken, tamir edilebilirliği azaltan bir model ile analitik olarak ortaya çıkan kullanımı düşük modellerin kontrol edilebilir olduğunu göstermişlerdir.

Tzetzis vd (2008) yaptıkları çalışmada modern üretim teknikleri ile üretilen yüksek kaliteli birleştirilmiş olan bileşenlerinin yapısal bütünlüğü açısından karşılaştırılabilir bir gelişme gerektiren, yapıştırma bileşenlerinin onarım prosedürlerinin üretimini belirlemişlerdir. Vakum destekli reçine infüzyon işleme yöntemi, aslında modern bir Kompozit üretim süreci olup, şu anda birçok sanayi üretim hattında uyarlanmış olduğunu göstermişlerdir. Teknik olarak alın alına geçme ile oyuk bir kalıp boşluğu olarak kullanılan bir onarım şekli mevcut olarak tamamen kâğıt gibi düz olarak kabul edildiğini belirtmişlerdir. Geliştirilen bu onarım tekniği, belli alın alına geçme ile birleştirmedeki tasarım kuralları uyarınca inşa edilmiş olan iki çeşit yapılandırmaları incelenerek değerlendirmişlerdir. Çalışmada gerçekleştirilen imalat ve kalite kontrol prosedürleri, vakum destekli reçine ile yamanarak tamir edilmiş ve tanımlamak amacıyla açıklanan deneysel testlerin performansını ölçmek için yürütülmüştür. Onarım yapılandırmaları performansı için sonlu elemanlar analizi ile düzenlenmiş, seçilip tamir edilmiş geometrilerini karşılaştırmak için yapılmıştır. Potansiyel kırık yerleri ve stres dağılımları; Tsai-Wu ve ortalama stres başarısızlık ölçütü kullanılarak, onarım gücünü tahmin etmek için kritik gerilme alanlarının analizlerinde tanımlanarak vurgulanmıştır. analiz sonuçları, deneysel bulguları ile iyi bir uyum içinde olduğu görülmüştür. Onarımı mevcut, yüksek mukavemete yaklaşan

test numuneleri ile yapıştırma hattı içinde sürekli bir başarısızlık sürdürmekte olan yapılandırmaları için konik oranların bu şekilde vakum destekli reçine infüzyon onarım metodolojisini doğruladığını ortaya koymuşlardır.

Yang vd (2010) gerçekleştirdikleri bu çalışmada, yapıştırılarak gömülmüş elemanlar için Abaqus'te bir algoritma önermektedirler ve yarı gevrek malzemelerin 3 boyutlu karmaşık çatlak yayılması modelinin nispeten kolay ve verimli bir şekilde yapılması için bilgisayar kodunu geliştirmişlerdir. Yapıştırılmış elemanlarda, çekme-ayırma ile zayıflatma ilişkileri, hasar başlangıç ve yayılma kurallarının; gömülmüş katı elemanlar arasındaki ağ örgüsü içinde potansiyel çatlağın başlangıcının modellenmesi işlemlerini yapmışlardır. Başlangıç örgüsü tetrahedral (dört yüzlü geometrisi), kama, tuğla veya bu elemanların karışımından meydana getirmişlerdir. Bunun için ne yeniden ağ örgüsü ne de amaçlanan çatlak yayılımı kriteri ihtiyaç olmadığını belirtmişlerdir. Dört tane somut numune ile modelleme ve analiz yapmışlardır. Bunlar; kama yarığı testi, sabitlenmiş kirişin burulmaya maruz bırakılması, çıkarılmış olan test numunesinin sabitlenmiş silindir ile darbeye maruz bırakılması testlerini içermektedir. Simülasyonu yapılmış çatlak yayılımı süreci ve yükleme-yer değiştirme eğrileri; test sonuçları veya diğer sayısal simülasyonlardaki tüm örneklerde kullanılan uygun yoğunluktaki başlangıç ağ örgüleri ile iyi derecede uyduğunu belirlemişlerdir. Abaqus'un zengin önce/sonra süreç fonksiyonları ve güçlü standart/belirgin çözücülerini kullanılırsa, geliştirmiş oldukları bu metot ile, mühendislik analizlerinden karmaşık 3 boyutlu modeldeki kırılma mekaniği problemlerinde pratik bir araç olarak kullanımını önermişlerdir.

Gunnion vd (2006) yapıştırılmış açılı alın veya kademeli alın birleştirmelerinin onarımları, yüksek dayanımlı iyileştirme gerekli olduğu için veya düz bir aerodinamik yüzey ya da sonradan oluşabilecek ihtiyaçlarının karşılanması gerekli olduğu kompozit yapılarda kullanılması üzerine çalışmışlardır. Yapıştırılmış açılı alın birleştirmesi onarımlarının tasarımı ve özellikle kalın yüzeyler için çıkarılması gerekli olan önemli esas yapının karmaşık olduğunu belirtmişlerdir. Parametrik bir sonlu elemanlar modeli, yapıştırılmış açılı alın birleştirmesi performansı üzerinde çeşitli parametrelerin etkileriyle ilgili geniş bir çalışma olanağı sağlamak için geliştirmişlerdir. Yapıştırma hattı boyunca gerilme dağılımı ve uç derecede duyarlı değişiklikleri ile ilgili olarak belirlenen gerilmeler, yapıştırılan açılı alındaki

birleştirme açısına, yapıştırma kalınlığına, tabaka kalınlığına, lamine üstündeki kalınlığa ve toplanmış bölümlerin değişimi ile olan ilgilerini incelemişlerdir. Ayrıca yapıştırılmış olan uyumlu ve uyumsuz laminelerdeki gerilme sonuçlarını da incelemişlerdir. Onarımda 3 boyutlu dairesel bir yamanın kullanımından faydalanarak geçişli yüklemeler demişlerdir. Sonuç olarak yük altındaki kompozit yapıların, yapıştırılmış açılı alın birleştirmesi onarımlarının geliştirilmesi sayesinde, yapı içinde oluşan gerilmelerin daha iyi anlaşılmasının sağlandığını ifade etmişlerdir. Ulaştıkları bu sonuçlardan elde etmiş oldukları bu anlayış, kompozit yapılardaki yapıştırılmış açılı alın birleştirmeleri için geliştirilebilir tasarım ve analiz tekniklerine yol açabileceğini bildirmişlerdir.

Breitzman vd (2009) yaptıkları bu çalışmada gerilme yükleme altındaki kompozit onarım mekaniği ile birlikte ve geleneksel olmayan yama tabakası oryantasyonları için kaplama tabakaları olmaksızın incelemişlerdir. Üç boyutlu nonlineer analizler, onarım hasar tahmini ve açık delikli açılı alın panelleri ve onarılmış paneller için, standart tabaka ile tabaka yer değişimi yama kompozisyonu tarafından gerçekleştirilerek uygulamışlardır. Gerçekleştirdikleri çok boyutlu optimizasyon, onarım yama tabaka oryantasyonlarındaki yapışkanın minimum Von Mises gerilmeleri hesaplanmasında uygulamışlardır. Bu optimum düzenlemelerin sıralamaları, düz ve tekil tabaka kalınlığında tabaka üstünün onarımı için, gerilme seviyesinin önemli lde düşürülmesinde ve dayanımın yeniden yapılandırılmasının tahmini 85% ve 90%'ı sonuçlandırılarak uygulamışlardır. Elde etmiş oldukları bu sonuçlar, ek tasarım değişkenlerinin kullanılabilir olduğunu göstermeye ve verimli kompozit onarım tasarımına yani yama onarım bileşimine yönelik olduğunu belirtmişlerdir.

Altan vd (2010) yaptıkları bu çalışmada, deneysel ve sayısal olarak bir kelebek bağlantı bileşeni tarafından alın-alına birleştirilmış kompozit yapıların yük taşıma kapasiteleri analiz etmişlerdir. Deneysel çalışmaların sonuçlarını, sayısal analiz ile desteklemişlerdir. Buna ek olarak, kelebek bağlantı bileşenini sayısal ve deneysel çalışmalar sonucunda geometrik olarak geliştirmişlerdir. Geliştirilmış kelebek bağlantı elemanlarının yük taşıma kapasitesi içinde değişiklik ile yeni bir sonuç elde etmek için sayısal ve deneysel olarak analiz yapmışlardır. Yarım numuneleri ve kelebek şeklindeki kilit bileşenlerini bir su jeti makinası ile kestirmişlerdir. Numune

genişliğinin kelebek uç genişliğine oranı (w / b), kelebek orta genişliğinin kelebek uç genişliğine oranı (x / w) ve kelebek yarı yüksekliğinin kelebek uç genişliğine oranı (y / b) için birleştirmedeki geometri parametrelerinin etkilerini analiz etmişlerdir. Bu çalışmanın bir sonucu olarak, sabit geometrik oranlar olan (w / b) ve (x / w) 0,4 ve 0,2, temel ve değiştirilmiş modellerde ise deneysel ve sayısal çalışmalara göre, (y / b) oranının 0,4 olduğunu tespit etmişlerdir.

Monteiro vd (2010) Sunmuş oldukları bu çalışmada, aksenal yüklenmiş alüminyum-epoxy alın birleştirmelerindeki yapışkan tabaka kalınlığının mekanik dayanıma olan etkisi üzerine çalışmışlardır. Ana hedef, kopma kuvveti kullanılarak yapılan model eşitliklerinin yeterli bileşimdeki matematiksel sadelikle mühendislik problemlerinde kullanımına izin vermekle birlikte, kompleks nonlineer mekanik davranışı tanımlayabilme yeteneğinin tahmin edilmesidir.(Üç boyutlu gerilme durumu: Yapışkan içerisinde hasar ihtimaline, yapışkan tabakalardaki hasar veya karma hasara, yüzeyler arasındaki etkileşime ve bağlantı geometrisindeki yapışkan dayanımına bağlı olduğunu belirtmişlerdir.) Yapışkan tabakadaki farklı kopma kuvveti değerleri için yapılmış olan tahmin ile deneysel veriler iyi bir uyum gösterdiğini belirtmişlerdir.

Fawzia vd (2010) yaptıkları bu makalede, CFRP ile bağlı çelik plakalardaki çift takviyeli birleştirmelere ait bir dizi gerilme testlerine ait sonuçları ortaya koymuşlardır. Bu araştırmanın ana amacı, gerilme altındaki çift takviyeli birleştirmelerin deneysel ve nümerik analiz kullanılarak bağlantı karakteristiklerini daha detaylı anlamayı sağlamışlardır. Yapışkanın maksimum zorlaması ve yapışkan tabaka kalınlığı, değişken CFRP bağlantı uzunlukları, sayısal modelleme ile birlikte parametrik bir çalışma olarak uygulamışlardır. Sonuç olarak, yapıştırma-çözülme modelleri, üç farklı tip için parametrik çalışmayı sırasıyla önermişlerdir.

Fawzia vd (2006) dıştan bağlanmış karbon fiber, güçlendirilmiş çelik yapılarda kullanılarak takviye edilmiş CFRP polimerleri hızlı üretim tekniğine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bu yazı, aksenal yüklenmiş düz çelik plakaların karbon fiberlerle takviye edilmiş polimer katmanlar kullanarak güçlendirilmiş özelliklerini tanımlamışlardır. İki çelik plaka yapıştırılarak birlikte bağlanmış olup ve ardından farklı bağlantı uzunlukları ile karbon fiber plaka çift takviyeli olarak uygulanmasını takip etmişlerdir. Numunelerin davranışı, nonlinear sonlu eleman analizi kullanılarak

hasar modları ve yükleme kapasitesinin tahmini daha fazla araştırılmıştır. Bu çalışma, bağlantı hasarındaki bulunan baskın hasar modu için, CFRP bağlantısındaki normal modul değeri, sonlu elemanlar sonuçları ile tamamen eşleştiğini belirtmişlerdir. Son yüklemelerdeki tahmin edilen sonlu eleman analizleri ile deneysel değerlerin uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Chalkley vd (2001) yaptıkları bu çalışmada çatlak yapısının, birleştirilmiş kompozit onarımlarının tasarımında sadece doğru gerilme analizi gerektirdiğini ama aynı zamanda kullanılmış olan tasarım formülüne olan güvene gerçekten bağlı kalınmış olduğunu bildirmişlerdir. Bu yazılarında, ortogonal çatlama kompozit tabakalar için, çift takviyeli bağlantıdaki gerilme analizini, değiştirilmiş Hashin Çeşitlendirme metodunu temel alarak ve minimum tamamlayıcı enerji prensibini kullanmış olarak tanımlamışlardır. Bu değişiklikler, aslında yapışkan ve isotropik tabakayı tanıtmışlardır ve hem de ortotropik malzemenin onarım birleştirmesine tipik olarak dayanmakta olduğunu belirtmişlerdir. Basit analitik ifade, bağlantı için eşdeğer esneklik sabiti kurulmuştur ki, parametreler yamanmış çatlak için gerilme yoğunluk faktörünün hesaplanmasında kullanışlı olduğunu belirtmişlerdir. Bu ifade, eşdeğer esneklik sabiti için, düşük sınırlı durum içerisinde bağlı değerlendirilmede gerçekten sağladığını göstermişlerdir.

Dvorak vd (2001) yeni bir yaklaşımla, E-glass/vinly-ester Kompozit tabakaları veya çelik, birlikte dokunarak, savaş gemilerinin yapılarında uygulanmasının keşfi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yapıştırma uygulamaları süresince, kalın olan şeklin arayüzü boyunca yiv ve oluk geometrisini kullanmışlardır. Deneysel ve sonlu elemanla modellenmesiyle her ikisinin de sonuçları ortaya verilerle konulmuştur. Bu veriler göstermiştir ki, yapıştırılarak bağlanmış yivli ve uzantılı bağlantılar arasında çelik ve Kompozit plaka konularak, geleneksel kayışlı bağlantılarda bile nispeten ince plakalar tek düze çoğalan boyuna gerilmelerden daha güçlü olduğunu göstermişlerdir. Özellikle, 0.5 inç kalınlığında, 0.25 inç genişliğinde, 8 ya da 12 inç uzunluğunda, Dexter-Hysol 9339 ile bağlanmış çelik uzantı, 20000 lbs çekme kuvvetini destekleyebildiğini ortaya koymuşlardır. Bu kuvvetin, levha kalınlığıyla orantılı olarak artış göstereceğini ifade etmişlerdir. Basit tasarım kuralları göstermektedir ki, birleşimin yapıştırma bağlantıları ile aktararak, yivli ve uzantılı yapıştırma daha güçlü yapılabilir olduğunu göstermişlerdir.

Chuan Her (1999) yaptığı bu çalışmada, yapıştırılmış bindirme bağlantıları araştırması tekli bindirme ve ikili bindirme bağlantısını içerecek şekilde dikkate almıştır. Klasik elastisite teorisi temel alınarak basitleştirilmiş bir boyutlu model ortaya koymuştur. Yapıştırıcı içerisindeki kayma deformasyonu, yapıştırma kalınlığı boyunca sabit kaldığını farz etmiştir. Yapışkandaki kayma gerilmeleri ve boylamasına gerilmeler için analitik çözümleri elde etmiş olup, iki boyutlu sonlu eleman metodu ile nümerik çözümleri karşılaştırmıştır.

Kradinov vd (2005) yapmış oldukları bu çalışmada tekli ve ikili bindirme bağlantılarındaki civata yük dağılımının analiz metodu tanımını ortaya koymuşlardır. Bağlantılar, tüm tabakalar içerisinde bulunan tabakalarda değişik kalınlıkta toplanmış halde bulunan ve metalik eklerle desteklenen civata deliklerinden yapıldığını belirtmişlerdir. Kullanmış oldukları çözüm metodu, tam olarak birleşik kompleks potansiyel ve çeşitli formüllerin kararlı cevaplarına dayanmaktadır. Sınır koşulları ve sınırlamalar toplam potansiyel tarafından azaltılarak cevaplandırılmıştır. Yaygın yükleme koşulları altında bu metod, çoklu civata konumlandırılmaları olmaksızın simetrik sınırlar gerektiriyorken, açıkca civatalar arasındaki etkileşim ve bağlantı durumları için açıklanmasında uygulanmış olduğunu ifade etmişlerdir.

Xiao vd (2004) yapmış oldukları bu çalışmada, geliştirme araçlarıyla birlikte yapıştırılarak birleştirilmiş yapılar, yapışma bağlantılarında sonlu eleman analizi performansına ihtiyaç duyabilmekte olduğunu ifade etmişlerdir. Geçerli yapısal analiz uygulamasında, yapıştırma bağlantıları rijit bağlantı, yarı rijit yay veya diğer eşdeğer temsilleri ile modellemişlerdir. Yaptıkları çalışmaya ait olan bu yazıda modelleme metodlarını belirlemeyi hedeflemişlerdir. Birleştirilmiş bağlantılar için mantıklı olarak tam tahminler yapmışlardır. Ancak modelleme seviyeleri, bileşen veya araç olarak kullanılması yeterince pratik olmadığını belirtmişlerdir. İkili bindirme bağlantılarındaki kayma başlamasıyla ilgili, çeşitli sonlu eleman modellemeleri metodlarını araştırmışlardır. Simulasyon sonuçları, bölüm 1 içinde bulunan yazıdaki ikili bindirme kayma bağlantısı için yapılan rijitlik tahminine ait analitik çözümler ile birlikte test sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Uygun modelleme metodları Abaqus ve LS-DYNA için önermişlerdir.

Kim vd (2004) yaptıkları çalışmada üst üste kademeli bağlantı için, kompozit yapı üreterek ve statik olarak yorulma gerilmesi yüklemesi altında test etmişlerdir. Test

sonuçlarında, yapıştırılmış kompozitin dairesel süreksizlik bölgesi boyunca çatlak başlamış ve çoğalarak tüm bölgeye yayıldığını tespit etmişlerdir. Max. Kayma gerilmeleri bağlantı sonunda azalırken, bağlantıdaki ortalama gerilme yüklemesi artırıldığında, kademe sayısı ve bağlantı kenar açısının arttığını göstermişlerdir. Ancak ortalama gerilme yükü arttırılmadığında ve bağlantıdaki tekrar değer oranındaki kademe sayısı 6'dan az olduğunda birleşmenin oluşturulabileceğini belirtmişlerdir. Numunelerin kademeli bağlantılarında yorulma dayanım sınırı statik gerilme yüklemelerinde 30% olarak bulunmuştur. Ama yorulma ömrü, her bir yüklem seviyesi önemli bir şekilde arttırıldığında kademe sayısı 6'yı aştığını ortaya koymuşlardır. Yorulma ömrü önemli bir şekilde düşerken, bağlantı uzunluğundaki tekrarlanan kademe sayısının oran değeri, 6'dan daha az bir oranda olmuştur. Statik gerilme yüklemesinin etkin biçimde arttırılmasıyla birlikte her bir bağlantı uzunluğunda kademe sayısının arttırılması için 6 oranı kritik bir değer olduğunu belirtmişlerdir. Kritik çatlak ilerleme mesafesi, örtüşmenin sonunda 5-7 mm olduğu gözlemlenmiştir.

Fredrickson vd (2008) yaptıkları bu araştırmanın amacı, ticari olamayan şerit tabanlı (B-spline analiz yöntemi) bilgisayar program modeli ile iki kompozitin alın altına ve üst üste basamaklı bağlantılarındaki statik gerilme yüklemeleri ile oluşan gerilme alanlarını belirleyebilmek olmuştur. Alın altına ve üst üste kademeli olarak üretilen test numunelerinin 16 kat yarı izotropik panel kullanılarak pregreg yatırma yöntemi ile yapılmışlardır. Hareli interferometri kullanılarak, bir yüzey üzerinde yer değiştirmeleri ölçmek için kullanılan yüksek çözünürlüklü tam alan optik tekniği ile, deneysel gerilme verilerini belirlemek için kullanmışlardır. Tüm alan gerilmeleri boyunca, deneysel gerilme verilerine göre serbest kenarın tahmini ve karşılaştırmasını yapmışlardır. Onarım genişliği boyunca birkaç noktada çıkarılan çizgi grafiklerinden karşılaştırma sağlamak için deneysel verileri tahmin etmişlerdir. Genel olarak, her ikisinde de, tüm alandaki gerilme görüntüleri ve çizgi grafiklerinde, analiz ve deneysel verileri arasında iyi bir uyum gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

Dvorak ve Bahei-El-Din (2001) çok tabakalı kalın kompozit plakaların yapıştırılması için yeni birleşme tasarımları önermişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada, bindirme birleştirmelerinde sıkça gözlenen en üst tabakaların kayma veya çekme hasarlarının

oluşturduğu hasar tiplerini azaltmayı veya yok etmeyi amaçlamışlardır. Bazı tasarımlar, yapışkan tabakalardaki normal gerilmelerden kayma oranlarının seçiminin mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Gerilme yoğunluğu esasında çoğunlukla, yapışkan yüzey tabakalarının içinde ve yapışkan hattın önemli kenarlarına indirgenmiş olduğunu göstermişlerdir.

Boyd vd (2006) yaptıkları çalışmalarında, ön şekillendirilmiş kompozit bileşenler; gemi yapılarının üretimi için geleneksel konstrüksiyon tekniklerinin ekonomik alternatifine potansiyel olarak sahip olduğunu belirterek pultre edilmiş GRP parçalarda parmak birleştirmelerini değerlendirmişlerdir. Yük-yer değiştirme davranışlarını tespit etmişler ve termoelastik gerilme analizi (TSA) birleştirmelerinde yer alan gerilme dağılımlarını elde etmek için kullanmışlardır. Parmak birleştirme tipinde, parmak uç açısının artmasıyla gerilme konsantrasyon faktöründe bir artışın olduğunu, kayma gerilmesinde ise bir azalma olduğunu ve yük taşıma kapasitesinde de bir azalma olduğunu tespit etmişlerdir.

Feiha vd (2005) yapmış oldukları bu makalede, soyulan tekil L bağlantısının eğilme deformasyonu altında incelenmesini yapmışlardır. Kompozit dairesel süreksizlik bölgesindeki hasara ilişkin açılı L parçası kritik bir bileşen olduğunu belirtmişlerdir. Hasar yükü ve konumu, sayısal olarak kararlı hasar modeli tarafından tahmin edilmiştir ve deneysel sonuçlar tarafından onaylanmıştır. Hasar dayanımının, moment kolu ve uygulanma uzaklığına dayanması incelenmiş olup, bunlara bağlı olduğunu belirlemişlerdir. Sayısal optimizasyon, L parçasındaki yığılmaya ve geometriye ilişkin olarak uygulamışlardır. Ayrıca hasar eğilme ve yer değiştirme gerilmesi bileşimi altında sayısal olarak incelemişlerdir. Bu metot, deney sonuçlarının tahmininde çok yönlü ve başarılı olduğunu belirtmişlerdir.

Zhao vd (2010) yapısal birleştirmeler için tüm kompozit P bağlantıları uygulamalarının, entegre uçak yapılarında potansiyel olarak hem ağırlık ve montaj maliyeti avantajları açısından fayda sağlayabilirken hem de iyi yük taşıma kapasitesini koruması üzerine çalışmışlardır. Yapmış oldukları bu makale, bir statik çekme yükü altındaki tüm kompozit p bağlantılarının ortak davranışı ile ilgilenmişlerdir. Kompozit P bağlantısındaki hasar başlangıcı, yayılması ve en son oluşan çökme; ilerleyen hasar metodu ile simule etmişlerdir. İlerleyen hasar modeli; üç adet görüş içerdiğini belirtmişlerdir. Bunlar; kompozit P bağlantısının gerilme

analizi için üç boyutlu sonlu elemanlar modelinin oluşturulmasını; oluşan hata ve hasar değerlendirilmesi için değiştirilmiş bir maksimum gerilme hata kriterini ve yapısal sertlik düşümüne göre bir malzemenin bozulma modeli simulasyonunun kompozit P bağlantılarındaki dayanım tahmini olarak sunmuşlardır. Gerilme dağılımları karakterize edilmiş olup ve yük aktarma yolu, bağlantı içerisinde belirtmişlerdir. Hata mekanizmaları tanımlanmış olup hata ilerleyişi ilk ve son hatalar arasında kompozit P bağlantıları için ana hatlarıyla belirlenmişlerdir. Deney sonuçları, nümerik modellerdeki elde edilen sonuçlarla iyi bir uyum göstermekte olduğunu belirtmişlerdir.

Ouyang vd (2009) yaptıkları bu çalışmada yapıştırılarak birleştirilmiş boru bağlantılarının, yaygın olarak boru hatlarında kullanılmakta olduğunu belirtmişlerdir. Sunmuş oldukları bu çalışmanın içinde, yapışkan bölge modeli temel alınmış olup, burulma altındaki bağlanmış boru birleştirmeleri için analitik çözümler türetmişlerdir. Arayüze bağlı minimum dönme Φ_m kavramını tanıtmışlardır ve temel değişken olarak kullanılan diğer tüm parametreleri, örneğin dış burulma yükü, ara yüzey kayma gerilmesi, elastik bölge ve yumuşama bölgesi uzunluğu dağılımı vs. ifade etmişlerdir. Boru birleştirmesinin bağlantı uzunluğu belli bir değerden daha uzun olduğu zaman, birleştirme uzunluğunun daha da arttırılmasının burulma yükü kapasitesinde önemli bir artış getiremeyeceğini bulmuşlardır. Verilen boru birleştirmesinin bağlantı uzunluğu yeterince uzun ve burulma yükü kapasitesi aslında birleştirme uzunluğu ve yapıştırma şeklinden bağımsız olduğunu ifade etmişlerdir. Sonuç olarak, burulma yükleme kapasitesi için basitleştirilmiş ifadeler, ara yüz kırılma enerjisi, borunun burulma rijitliği ve boru bağlantılarının geometrik özelliklerini bir fonksiyon olarak türetmişlerdir. Bağlama kolu ve borudaki burulma rijitlik oranına bağlı olarak; yüzeyden ayrılmalar gözle görülebilir bir şekilde sağ uçta, sol uçta veya her iki uçta aynı anda başlayabilir olduğunu göstermişlerdir. Boru burulma rijitliği ve bağlama kolu aynı olduğunda, maksimum burulma yükleme kapasitesinin elde edilmesine dikkat çekmişlerdir. Sonlu eleman analizi sonucu ile iyi bir uyum göstermesi, geçerli modelin doğruluğunu kanıtlar olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada, doğrudan yapıştırılarak bağlanmış boru birleştirmelerinin tasarımında kullanılabilir olduğunu ve kırılma enerjisine dayanan formüllerden burulma yük kapasitesinin türetilmiş olduğunu ifade etmişlerdir.

Chen vd (2009) yaptıkları çalışmaya ait olan bu makalelerinde, yapışkan model kullanarak bağlanmış kompozit T parça numunesinde dairesel süreksizlik bölgesi tahmini yaklaşımını ortaya koymuşlardır. T parça numuneleri içinde bulunan dairesel süreksizlik bölgesinin simülasyon incelemesinin belli bir kısmı, yapışkan modelin şekillendirilmesindeki ilerleyen dairesel süreksizlik bölgesi çalışmalarının yapışkan elemanlarının Abaqus tarafından kullanılmasını gerçekleştirmişlerdir. Tekil dairesel süreksizlik bölgesi, yapılan tahminler tarafında verilmiş olmakla birlikte deneysel sonuçlarla birlikte ortaya koymuşlardır. Elde etmiş oldukları sonuçlarla, ilerleyen dairesel süreksizlik bölgesinin tahmininde yapışkan modellerin uygulanabilir olduğunu göstermişlerdir. Son olarak bu yazı, gelecek çalışmalar için bağlanmış kompozit T-parça numunelerindeki dairesel süreksizlik bölgesinin tam tahmini olarak önermişlerdir.

Cheng vd (2007) yapmış oldukları bu çalışmada, şekil hafızalı alaşımların, akıllı malzemeler alanında giderek artarak bir araştırma konusu haline geldiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmalarında, hafıza etkili takviyeli bağlantının, yapışkan tabaka içindeki gerilme yoğunluğunun düşürülmesinde aktif kompozit tabakanın tasarım ve analizini ortaya koymuşlardır. Hafıza etkili malzemelerin temel termomekanik özelliklerini, mikro mekanik yoluyla elde etmişlerdir. Bağlantı kenarlarındaki kuvvetler ve momentler, bağlantı içindeki aktif kompozit tabakanın termomekanik etkilerinin birleştirilmesiyle elde etmişlerdir. Ayrıca, analitik modeli, ilk kayma deformasyonu teorisindeki bağlantı sistemi için gerilme analizlerinin yönlendirilmesini kullanarak temel almışlardır. Uzay durumu metodu, son analitik çözümler için, yapışkan tabakalar içindeki soyulma ve kayma gerilmelerini kapsayacak şekilde kullanmışlardır. Detaylı sayısal analizlerini yapmışlardır. Elde etmiş oldukları sonuçlar, aktif kompozit tabakaların bağlantı kenarlarındaki gerilmeleri önemli ölçüde düşürmesini doğrulamışlardır.

Chishti vd (2010) yaptıkları bu çalışmada, havşa açılmış ve tork ile sıkılmış civatalı tekli bindirme kompozit bağlantısındaki hata ilerlemesi etkilerinin deneysel ve sayısal hesaplamalı araştırmasını konu almışlardır. Sırasıyla yapışkan elemanlar; yaklaşımsal ve bütünsel süreçteki hasarın mekanik metodu kullanılarak, dairesel süreksizlik bölgesindeki hasar ve tabaka çatlağı Abaqus yazılımı kullanılarak modellenmesini yapmışlardır. Yeniden doldurulmuş deliğin gerilme testine göre

kompozit hasar modelini öncelikle onaylamışlardır. Bağlantı dayanımı ve hasar ilerleyişi süreci tam olarak sayısal hesaplamalı modelin tahmin edilen sonuçları ile deneysel sonuçlardaki göstergelerini karşılaştırmışlardır.

Aktaş vd (2010) ortaya koymuş oldukları bu çalışmada, cam-fiber takviye edilmiş kompozitler için birleştirilmiş cam-fiber arası kullanarak, pim benzeri kompozit birleştirme geçmesinde yeni bir takviye metodunu incelemişlerdir. İki tip bağlantı arası şekli kullanmışlardır. Fiberlerden birisini pim olarak kullanmışlardır ve diğer fiber pim ise yapıştırılarak birleştirilmiş yüzey üzerinde bükülerek saplanmış kenarlarda kullanmışlardır. Statik gerilme testi, yapıştırılarak birleştirilmiş fiberler arası haricindeki her iki bağlantı için uygulamışlardır. Deneyleri, farklı üst üste gelme uzunlukları için ASTM standartlarına uygun olarak yapmışlardır. Sonuçlar, tekli bindirme bağlantılarının son statik dayanımı için, fiberler arasının yapıştırılarak birleştirilme sayısının artırılmasının önemli olduğunu ifade etmişlerdir. Bir de, tip A durumu, hata için kötü bir durum olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte, tip B ve C durumları için bağlantı kötü sonuçlanmadığını göstermişlerdir.

Yang vd (2004) yapmış oldukları bu çalışmalarında, yapıştırılmış tekli bindirme kompozit birleştirmelerinde, yapışkan gerilme dağılımlarını belirlemek için analitik bir model üretmişlerdir. Modeli oluştururken, yapışkanı Von Mises akma kriterine göre elastik-tam plastik kabul ederlerken, kompozit numuneleri ise lineer elastik kabul etmişlerdir. Tabakalanmış anizotropik plaka teorisini yapıştırılmış kompozit plakaların genel denklemlerinin türetilmesinde uygulamışlardır. Tüm sistemi kontrol eden denklemler uygun sınır koşulları ile analitik olarak çözülmüştür. Geliştirdikleri gerilme modelinin yapışkan gerilme dağılımlarını Abaqus sonlu elemanlar analizi ile karşılaştırıp doğru olduğunu göstermişlerdir.

3. KOMPOZİT MALZEMELER VE BİRLEŞTİRME TÜRLERİ

3.1 Kompozit Malzemeler ve Özellikleri

İnsanlar yaşamlarında fayda sağlamaya yönelik olarak araç ve gereç yapmaya başlamalarından itibaren farklı malzemelemelere olan ihtiyaçları her geçen gün daha çok artmıştır. Farklı türlerde malzemelere ihtiyaç duymalarının en önemli nedeni ise gerçekleştirdikleri farklı türdeki faaliyetlerde, ihtiyaç duydukları yüksek dayanıklılık ve kullanım ömrünün daha uzun olması gerekliliğinin farkında olmalarından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle kompozit malzemeler, bu alanda bilinen ilk malzeme türü olarak varlık göstermektedir. İnsanlar, kompozit malzemeleri doğadan model alarak, kendi uygulamalarında ilk olarak çamur ve samanı karıştırmak suretiyle evlerinin yapımında kullanmışlardır. Bu şekilde dayanımı yüksek ve kullanımının daha uzun ömürlü olduğu yapılar elde etmişlerdir.

Çağımızda ise kompozit malzemeler denildiğinde akla ilk, üst düzey mühendislik anlayışıyla üretilmiş ileri teknoloji ürünleri olarak gelmektedir. Kompozit malzemeler; esas olarak iki veya daha fazla malzemenin makro düzeyde, kullanım alanında istenilen üstün özellikleri tek bir malzeme olarak bünyesinde toplamasıyla ortaya çıkarılan yeni tür bir malzemelerdir.

Kompozit malzemeler, matris ve fiber bileşenlerinden meydana gelmişlerdir. Kompozit malzeme içerisinde yer alan matris, takviye elemanı olarak kullanılan fiberleri bir arada ve birbirinden ayrı tutarak malzemenin bütününe destek sağlar. Ayrıca matris bileşeni malzeme üzerine gelen kuvveti fiberlere iletir ve malzemenin dayanımını arttırmakla beraber fiberleri çevresel etkilerden de korumaktadırlar. Kompozit malzeme içerisinde yer alan diğer bir temel bileşen olan fiberler ise malzeme üzerine gelen kuvveti taşıyarak malzemenin işlevselliğini korumasını sağlamakla beraber kalıcı şekil değişimi meydana gelmesiyle beraber oluşabilecek çatlaklara ve ilerlemelerine karşı da dayanım gösterirler. Geniş bir kullanıma sahip olan matris malzemeleri polyeesterler, vinilesterler ve epoksiler; fiber malzemeleri ise aramid, cam ve karbondur.

3.2 Kompozit Malzemelerin Olumlu ve Olumsuz Yönleri

Kompozit malzemeler kullanılacağı yerlere ve kullanım amaçlarına göre bünyesinde bulundurduğu matris ve fiber bileşenlerinin istenilen olumlu özelliklerini ortaya çıkaracak şekilde farklı miktarlarda birleştirilebilmektedir. Ancak tüm bu oluşum sürecine karşın bazı olumsuzluklarla da karşılaşılabilir.

Kompozit malzemelerin olumlu yönleri olarak; yüksek mukavemet, kolay şekillendirilebilirlik, estetik görünüm, tasarım esnekliği, yanma ve yüksek ısıya karşı dayanım, yüksek dielektrik dayanımı, radar dalgalarına karşı manyetik görünmezlik davranışları, korozyon ve kimyasal etkilere karşı dayanımı gösterilebilir.

Kompozit malzemelerin olumsuz yönleri olarak ise; kompozit bileşenlerinin pahalı olması, üretim sürecinde yaşanan teknik zorluklar ile kalitenin hassaslığının üretim sürecinde etki eden faktörlerden çabuk etkilenmesi, doğaya duyarlı bir şekilde geri dönüşüm zorluğu, diğer tür malzemelerle karşılaştırıldığında işleme sorunlarının olması şeklinde belirtilebilir.

3.3 Kompozit Malzemelerin Uygulama Alanları

Kompozit malzemelerin diğer malzemelere göre daha üst düzey niteliklerinin var olması, kullanım alanlarının çok geniş olmasını sağlamıştır.

Kompozit malzemeler, havacılık-savunma sanayinde uçak ve helikopter gövdelerinde, motor muhafazasında, pervane ve kanat gibi daha birçok fonksiyonel birimlerde kullanılmaktadırlar.

Askeri teçhizat ve donanım alanında; balistik amaçlı panel ve zırhlarda, deniz üstü ve altı donanma birimlerinde, kara unsurlarında kullanılan miğfer, kurşun geçirmez kıyafetlerde ve çeşitli silahların bileşimlerinde kullanılmaktadırlar.

Denizcilik sektöründe; motorlu-motorsuz teknelerde, filika, kano, can simidi, su kayağı, sal ve sörf tahtası yapımında kullanılırlar.

Otomotiv sektöründe; tampon, kaporta, kabin, araç kapıları, fren ve debriyaj balataları, tır ve kamyon kasaları gibi yerlerde kullanılırlar.

Tarım ve gıda sektöründe; depolama tankları, silolar, modern tarımda kullanılan çeşitli araç ve gereçler, sulama borularında kullanılırlar.

İş ekipmanları ve ev aletleri yapımında; cihazların gövdeleri, küçük ev aletleri, buzdolabı, soğutucu gibi ürünlerde kullanılırlar.

Yapı sektöründe; beton kalıpları, taşıyıcı profiller, borular, yalıtım malzemeleri, prefabrik binalarda kullanılırlar.

Elektrik-elektronik sektöründe, antenler, devre kesiciler, kablo taşıyıcılar, aydınlatma sistemlerinin taşıyıcıları, panolarda kullanılırlar.

Korozyona dayanımlı ürünler olarak; pompa gövdeleri, kimyasal-biyolojik tepkime tankları, boru ve bileşenleri başta olmak üzere çeşitli kullanım alanları mevcuttur.

Kompozit malzemelerin uygulama alanları Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Kompozit malzemelerin uygulama alanları (Url-1)

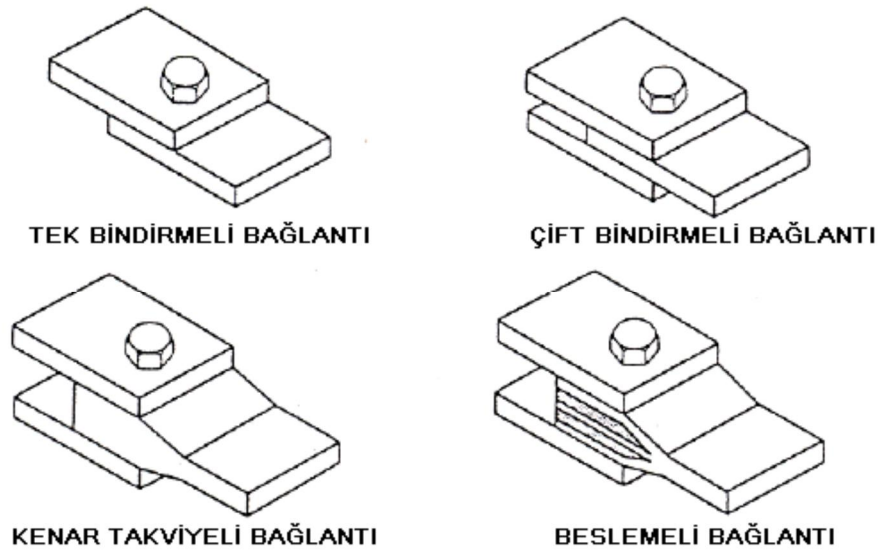
3.4 Kompozit Yapılar ve Birleştirme Türleri

Yapılardaki mevcut bağlantılar, tüm mühendislik tasarımlarındaki en önemli ve hayati yapısal bileşeni oluşturular. Yapıyı oluşturan bileşenler arasındaki birleştirmeler, yapılar için üretim sorunlarına, yapı için fazladan bir yük oluşturmaya ve yapının dayanımı üzerinde bir hasar oluşum potansiyeline neden olabilmektedirler. Tasarımı gerçekleştirilen bir birleştirmenin ana hedefi, yapıyı oluşturan bileşenler arasında etkileşimi sağlayarak yük iletimini gerçekleştirmektir. Yük iletimi esnasında, birleşme bölgelerinde oluşan gerilme yığılmalarından dolayı çeşitli hasarlar meydana gelmektedir. Bu nedenle dayanım gücü yüksek ve sağlam yapılar oluşturabilmenin yolu, birleştirme tasarımının gerilme yığılmalarını en alt seviyede tutacak şekilde gerçekleştirilmesini gerekli kılmaktadır. (Koruvatan,2008)

Kompozit malzemeler kullanılarak oluşturulan yapılarda genel olarak mekanik yani çözülebilen ve yapıştırarak yani çözülemeyen birleştirme türleri olmak üzere iki ana birleştirme yöntemi bulunmaktadır. Tasarımcı tarafından tercih edildiği takdirde her iki birleştirme türü de uygulanabilmektedir.

3.4.1 Mekanik birleştirme türleri

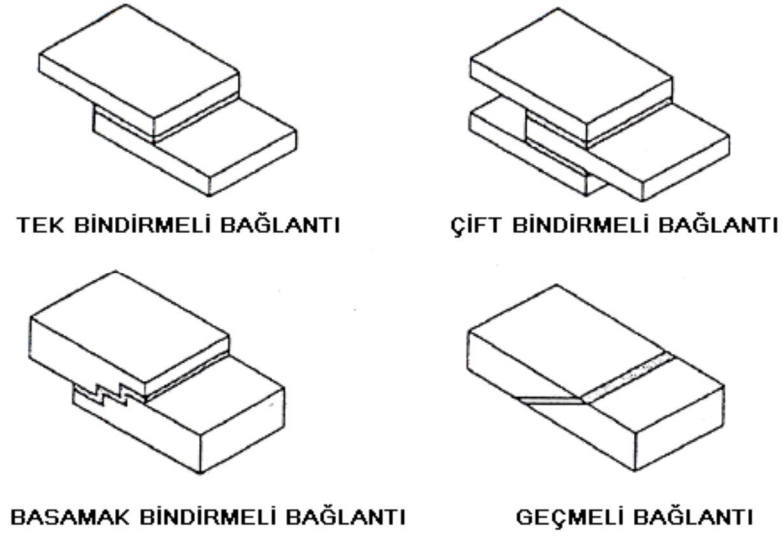
Kompozit yapılardaki yapı bileşenlerinin birleştirilmesinde genel olarak kullanılan birleştirme türleri Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2 : Mekanik birleştirme türleri (Jones,2009)

3.4.2 Yapıştırarak birleştirme türleri

Kompozit yapılardaki yapı bileşenlerinin birleştirilmesinde genel olarak kullanılan birleştirme türleri Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3 : Yapıştırarak birleştirme türleri (Jones,2009)

Tüm birleştirme türlerinin amaçları aynı olmasına karşın yük iletim sistemleri birbirlerinden farklı olmakla beraber hepsinde gerilme dağılımları karmaşıktır. Mekanik birleştirmelerde yük iletimi, sürtünme nedeniyle yapı bileşenlerinin dış yüzeyleri üzerinde oluşan küçük kayma bileşeni ile bağlantı deliklerinin iç yüzeyleri yardımıyla diğer yapı bileşenine iletilir. Yapıştırarak birleştirmelerde yük iletimi, bileşenlerin yüzeyleri yardımıyla kayma şeklinde gerçekleşir. (Jones,2009)

3.4.3 Birleştirme türlerinin olumlu ve olumsuz yönleri

Mekanik birleştirme ile yapıştırarak birleştirme türleri, üretimi gerçekleştirilen yapının tasarım şartları belirlenerek seçimi yapılmaktadır. Yapı dayanımının yüksek olması ile yapıyı oluşturan ana bileşenlerin hasarı yerine birleşme elemanlarının hasar görmesinin istenmesi ile hem uzun ömürlü hem de ekonomiklik olması gerekliliği birleştirme türlerinin olumlu ve olumsuz yönlerinin tespitini gerekli kılmaktadır. Bu karşılaştırmalar aşağıda detaylı olarak verilmiştir.(Kedward,2002)

Mekanik birleştirmelerin olumlu yönleri:

- Birleştirilen parçalarda hasar oluşturmadan birleştirme ve çözme işlemleri yapılabilir.
- Önemli olabilecek artık gerilme sorunu bulunmamaktadır.
- Yapının sağlamlaştırılması kalınlık artımıyla sağlanmaktadır.
- Birleştirilen yapı bileşenlerinde kalınlık sınırlandırılması yoktur.
- Basit birleştirme çeşitlendirilmeleri mevcuttur.

Mekanik birleştirmelerin olumsuz yönleri:

- Yapıda deliğin bulunması ana yapıya hasar verebilmektedir.
- Önemli gerilme yığılmaları oluşturabilmektedir.
- Birleşme elemanı olarak kullanılan metalik parçalarda yorulma çatlıklarına dayanımı düşük olmaktadır.

Yapıştırarak birleştirmelerin olumlu yönleri:

- Hafif bir birleştirme türü olup, sert birleşme karakterine sahiptirler.
- Çok düşük miktarda gerilme yığılmaları oluştururlar.
- Korozyona ve yorulmaya karşı çok iyi bir dayanıma sahiptirler.
- Düzgün geometrik yüzeylere sahip bileşenler arası kullanılabilir.
- Gerilme dağılımı düzgün olup, yüksek titreşim ve darbe sönümleme yeteneğine sahiptirler.
- Çözülebilir birleştirme türü olan mekanik birleştirmelere göre daha ekonomiktirler.

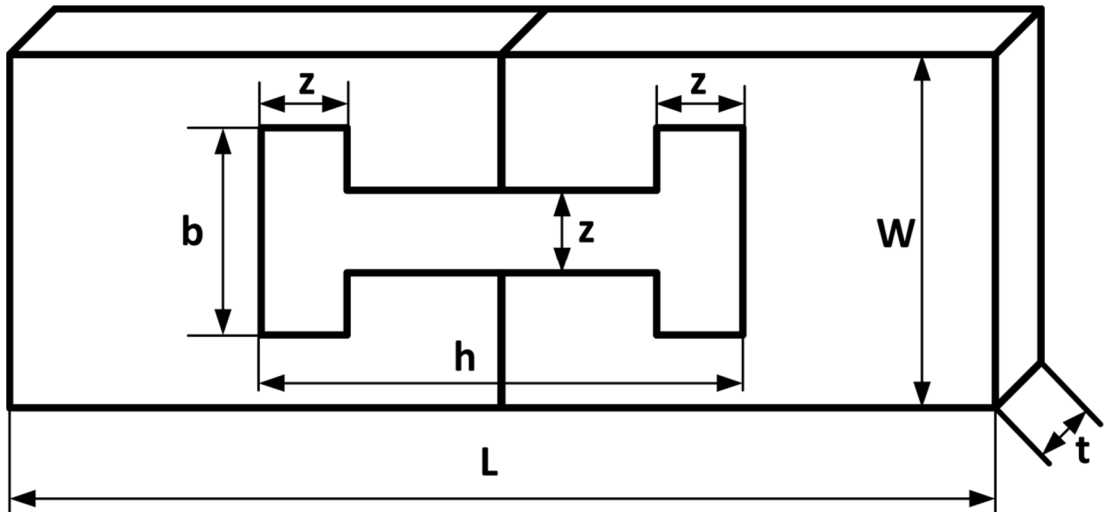
Yapıştırarak birleştirmelerin olumsuz yönleri:

- Ayrılmaları esnasında ana yapı hasar görebilmektedir.
- Uygulama araç ve gereçleri ile maliyet yüksekliği bulunmaktadır.
- Yapının çalıştığı ortamdaki çevresel etkilere karşı hassas davranış göstermektedir.
- Uygulanacak parçaların kalınlıkları sınırlı olmaktadır.
- Düşük darbe dayanımına sahiptir.

4. I PROFİLLİ ALIN BİRLEŞTİRİLMİŞ KOMPOZİT PLAKALARIN MEKANİK DAVRANIŞLARININ SAYISAL ANALİZİ

4.1 Giriş

Bu bölümde, I profilli bağlantı elemanı ile alın altına birleştirilmiş kompozit yapıların çeki gerilmesi altındaki yük taşıma kapasiteleri sonlu elemanlar metodu ile incelenmiştir. Sonlu elemanlar metodu karmaşık fiziksel problemlerin daha basitleştirilmiş alt problemler olarak modellenip çözülmesi esasına dayanan ve bir bilgisayar yazılımı yardımıyla gerçekleştirilen sayısal çözümleme analizidir. Sonlu elemanlar metodu ile gerçekleştirilen sayısal çözümleme için Abaqus 6.11 yazılımı kullanılmıştır. Şekil 4.1’de gösterilen sonlu elemanlar metodu ile analizi yapılacak I profilli alın birleştirilmiş numuneye ait modelin şematik görünümü ve modellenmesi için belirlenen boyutsal parametreler gösterilmiştir. Bu boyutların oluşturulmasında esas alınan oransal değerler Tablo 4.1’de verilmiştir. I profilli bağlantı elemanı yarı numunelerin alın altına birleştirilmesini sağladığı için kompozit yapıda bir kilit görevi görmektedir. Bu nedenle I profilli geçme şekil elemanı *kilit* olarak adlandırılmıştır. Kompozit plakaları alın altına birleştirmek için sıkı geçme yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 4.1 : Sonlu Elemanlar Metodu ile analizi yapılacak I profilli alın birleştirilmiş numuneye ait modelin şematik görünümü.

Şekil 4.1’de gösterilmiş olan boyutsal parametreler;

b: Kilit uç genişliği (mm)

h: Kilit uzunluğu (mm)

z: Kilit et kalınlığı (mm)

W: Numune genişliği (mm) (Her numune için $W=40$ mm alındı.)

L: Toplam uzunluk (mm) (Her numune için $L=100 \times 2=200$ mm alındı.)

t: Toplam derinlik (mm) (Her numune için $t=3,2$ mm alındı.)

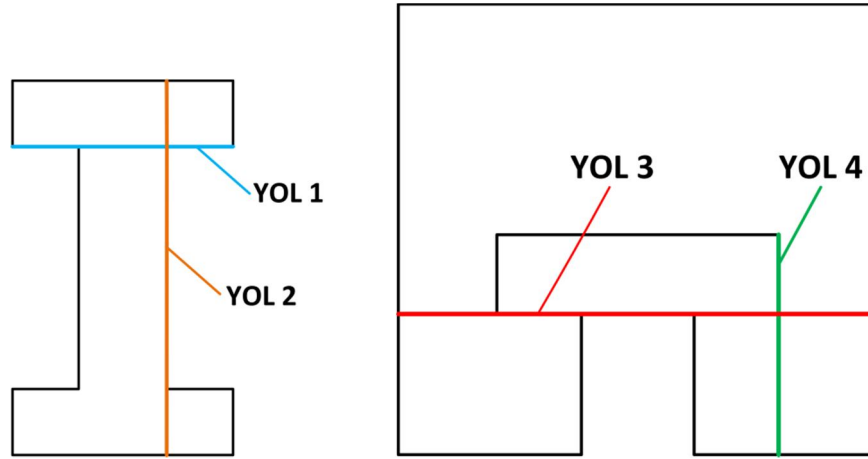
olarak tanımlanmıştır.

Tablo 4.1 : Boyut tasarımlarının gerçekleştirildiği geçme şekil elemanlarının geometrik parametreleri

Boyut Oranları		b/W					Boyut (mm)
		0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	
		12	16	20	24	28	b
z/b	0,3	3,6	4,8	6	7,2	8,4	z
	0,4	4,8	6,4	8	9,6	11,2	
	0,5	6	8	10	12	14	
	0,6	7,2	9,6	12	14,4	16,8	
	0,7	8,4	11,2	14	16,8	19,6	
h/2W	0,3	24					h
	0,5	40					
	0,7	56					

Geliştirilen kilit elemanlarının ve kilit elemanlarına uygun olarak tasarlanan yarı numunelerinin yük taşıma kapasitelerindeki değişimlerini ve gerilme dağılımlarını birbirleriyle karşılaştırarak inceleyebilmek için; Şekil 4.2’de gösterilen şematik kilit üzerinde belirlenen Yol 1-Yol 2 ve şematik yarı numune üzerinde belirlenen Yol 3-Yol 4 hatları üzerinde oluşan gerilmeler ele alınmıştır. Şekil 4.2’de şematik kilit üzerinde oluşan gerilme dağılımlarının incelendiği Yol 1 ve Yol 2 belirlenirken, yük altındaki kompozit yapının kilit üzerinde oluşturduğu gerilme ve yük iletimi davranışını karakterize etmesi dikkate alınmıştır. Aynı yaklaşım Şekil 4.2’de gösterilen şematik yarı numune üzerinde oluşan gerilme dağılımlarının incelendiği Yol 3 ve Yol 4 belirlenirken de uygulanmıştır. Ayrıca Tablo 4.1’den görüldüğü üzere

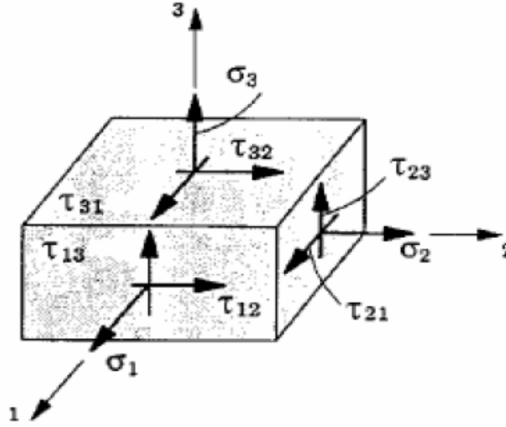
en fazla oransal parametreler z/b altında toplanmış olup, b ve h parametrelerine dayalı değişim az sayıda gerçekleşmiştir. Bu durumdan faydalanılarak, oluşturulmuş olan tüm numunelerin ve üzerlerinde oluşan gerilmelerin incelemesini sağlamak amacıyla belirlenmiş olan gerilme yollarının birlikte sistematik olarak değerlendirilmesi sağlanmıştır. Kilit ve kilide uygun olarak tasarlanan yarı numune üzerinde belirlenen b ve h geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan kompozit yapılarıyla ve her biri üzerindeki gerilme yolunun kendi uzunluğuna oranlanarak normalleştirilmesiyle elde edilen *gerilme-normalleştirilmiş gerilme yolu* grafikleri oluşturulmuştur. Böylelikle kompozit yapıyı oluşturan alt bileşenlerin statik yük altındaki davranışlarının belirlenmesini sağlayan analitik bir yaklaşım uygulanmıştır.



Şekil 4.2 : Yapı bileşenleri üzerinde oluşan gerilme dağılımlarının incelendiği Yol 1, Yol 2, Yol 3 ve Yol 4.

Gerçekleşebilecek hasar şekillerini belirleyebilmek için Hashin hasar teorisi kullanılmıştır. Eşlenik gerilmelerin her bir fiber takviye doğrultusunu ve kayma durumunu göz önüne alarak ayrı ayrı incelemektedir. Bu hasar teorisinde probleme esas teşkil eden yaklaşım şekli fiber takviye doğrultusunda ve fibere dik yöndeki doğrultuların mukavemetlerinin sırası ile fiber mukavemeti ve matris mukavemeti olarak adlandırılmasıdır. Fiber mukavemeti olarak düşünülme sebebi uygulamada takviyeye paralel yönde yapılacak olan yükleme durumunda matris malzemesi hasara uğrasa bile fiberlerin yapının yük taşımaya devam etmesini sağlayacak olmasıdır. Bu durumda fibere paralel yönde yükleme olması durumunda fiberlerin kırılması ile hasar gerçekleşecektir. Aynı yaklaşımla fibere dik doğrultuda yapılacak olan yüklemeleri ancak matris taşıyacaktır. Matrisin hasar görmesi durumunda fiberler sağlam olmasına rağmen yapıyı bir arada tutamazlar ve kırılma gerçekleşir. Bu hasar

teorisi farklı hasar tiplerini ayrı ayrı temsil ettiği için hangi yük değerinde yapıda hangi tür hasar olduğunu tespit etmek mümkün olmaktadır. Şekil 4.3’de kompozit bir tabaka üzerinden alınmış birim elemanın üzerindeki fiber takviye doğrultusuna göre oluşan gerilmeler göstermiştir.



Şekil 4.3 : Kompozit tabakada fiber takviye doğrultusuna göre oluşan gerilmeler (Okutan,2001)

Fiber çekme hasarı: Fiber çekme hasarının oluşabilmesi için fiber doğrultusundaki çekme gerilmelerinin $\sigma_1 > 0$ olması gerekmektedir ve hasarın meydana gelmesi için (4.1) numaralı bağıntının da sağlanması gerekir.

$$\left(\frac{\sigma_1}{X_c}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{S}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{13}}{S}\right)^2 \geq 1 \quad (4.1)$$

Burada, σ_1 Fiber takviye doğrultusunda uygulanan çekme gerilmesini; τ_{12} ve τ_{13} kayma gerilmelerini; X_c takviye doğrultusundaki çekme mukavemetini, S kayma mukavemetini göstermektedir.

Fiber basma hasarı: Fiber basma hasarının oluşabilmesi için fiber doğrultusundaki basma gerilmelerinin $\sigma_1 < 0$ olması gerekmektedir ve hasarın meydana gelmesi için (4.2) numaralı bağıntının da sağlanması gerekir.

$$\left(\frac{\sigma_1}{X_b}\right) \geq 1 \quad (4.2)$$

Burada, σ_1 fiber takviye doğrultusunda uygulanan çekme gerilmesini, X_b takviye doğrultusundaki basma mukavemetini göstermektedir.

Matris çekme hasarı: Matris çekme hasarının oluşabilmesi için fibere dik doğrultudaki y yönündeki çekme gerilmelerinin $\sigma_2 > 0$ olması gerekmektedir ve hasarın meydana gelmesi için (4.3) numaralı bağıntının da sağlanması gerekir.

$$\left(\frac{\sigma_2}{Y_c}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{S}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{23}}{S}\right)^2 \geq 1 \quad (4.3)$$

Burada, σ_2 Fiber takviye doğrultusuna dik doğrultularda uygulanan çekme gerilmesini; τ_{12} ve τ_{13} kayma gerilmelerini; Y_c takviyeye dik doğrultuda y yönündeki çekme mukavemetini, S kayma mukavemetini göstermektedir.

Matris basma hasarı: Matris basma hasarının oluşabilmesi için fibere dik doğrultudaki y yönündeki basma gerilmelerinin $\sigma_2 < 0$ olması gerekmektedir ve hasarın meydana gelmesi için (4.4) numaralı bağıntının da sağlanması gerekir.

$$\left(\frac{\sigma_2}{Y_b}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{S}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{23}}{S}\right)^2 \geq 1 \quad (4.4)$$

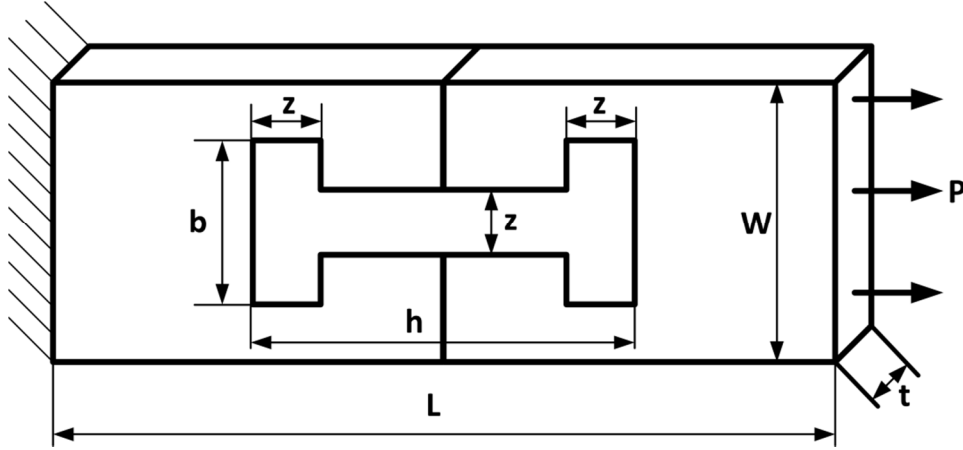
Burada, σ_2 Fiber takviye doğrultusuna dik doğrultularda uygulanan çekme gerilmesini; τ_{12} ve τ_{13} kayma gerilmelerini; Y_c takviyeye dik doğrultuda y yönündeki çekme mukavemetini, S kayma mukavemetini göstermektedir.

Sonlu elemanlar metodu kullanılarak gerçekleştirilen çözümlmeye ait gerilme sonuçları Von Mises akma kriterine göre tüm kompozit yapı üzerinde sayısal değer ve renksel dağılım olarak elde edilmiş olup, gerilme-normalleştirilmiş gerilme yolu grafikleri oluşturularak alın altına birleştirilmiş kompozit plaka numunelerinin en yüksek gerilme değerleri ve gerilme değişimlerinin incelenmesi sağlanmıştır. İncelemenin bundan sonraki aşamalarında, elde edilen gerilme dağılımları ve oluşturulan grafikler analiz edilerek en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip en uygun numunenin hangisi olduğunun belirlenmesi hedeflenmiştir.

4.2 Fiziksel Problemin Modellenmesi

Bu çalışmada, Şekil 4.4'de şematik olarak gösterilmekte olan mekanik alın birleştirilmiş kompozit plakaların çeki gerilmesi altındaki modelleme çözümlemesine örnek olarak seçilen $b=12 \text{ mm}$, $z=3,6 \text{ mm}$ ve $h= 56 \text{ mm}$ yapısal birleştirilmesi için gerçekleştirilecektir. Her numune için $W=40 \text{ mm}$, $L=200 \text{ mm}$ ve $t=3,2 \text{ mm}$ olarak

sabit değerlerinde alınmıştır. Bu modelin ABAQUS/CAE 6.11 Sonlu elemanlar yazılımı ile modelin hazırlanmasına yönelik gerekli analiz adımları hakkında bilgi verilmesi ile birlikte ayrıca model üzerinde gerilme ve Hashin hasar kriterine göre hasar analizinin yapılması amaçlanmıştır.



şekil 4.4 : Analizi yapılacak modelin şematik görünümü

Bu modele ait aşağıdaki analiz adımları kullanılacak olup, ayrıca açıklamaları da verilmiştir.

- Parça oluşturma ve malzeme özelliklerini tanımlama
- Kesit özelliklerini tanımlama ve parçaya atama
- Modele parça oluşturma
- zm adımıının tanımlanması
- Sınır koşullarının ve yüklemelerinin tanımlanması
- Parçalar arası etkileşiminin sağlanması
- Modelin zm ağının oluşturulması
- Bir iş oluşturularak çözüme verilmesi ve elde edilen sonuçların görüntülenmesidir.

4.2.1 Parça oluşturma ve malzeme özelliklerini tanımlama

Modelin oluşturulmasının bu ilk adımıında, model kesiti iki boyutta çizilip üçüncü boyuta girilen bir derinlik değeri kadar ötelenerek oluşturulması sağlanacaktır. Modelde bulunan toplam parça adedi  olup, tasarlanacak olan parça adedi ikidir. Bunun sebebi bağlantı kilidinin birleştirmiş olduğu numune plakalarının simetrik olmasıdır. Bir adet numune ve bir adet bağlantı kilidi oluşturulup, montaj yapım

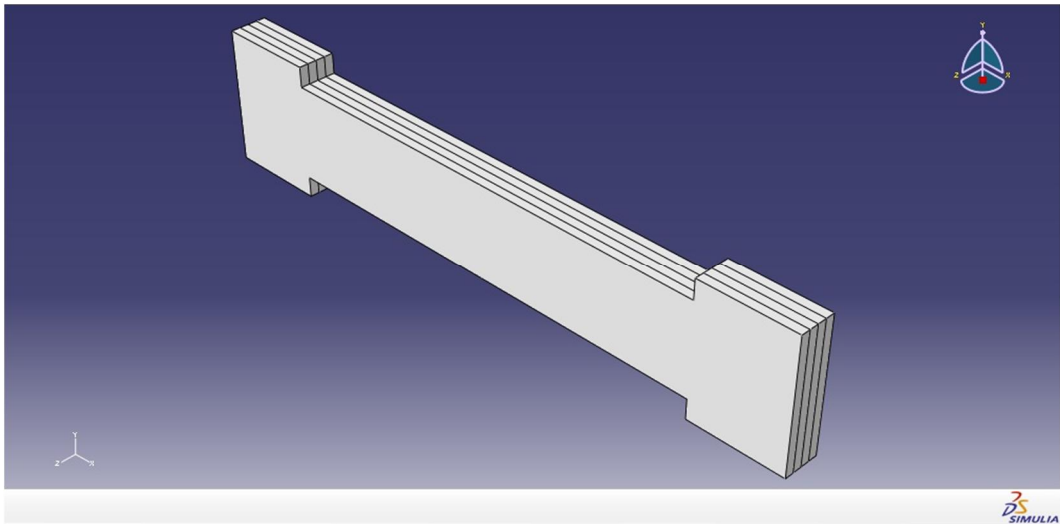
adımı sırasında diğere numune simetrik olarak konumlandırılarak model tamamlanmış olacaktır.

Create Part komutu kullanılarak Bağlantı Kilidi oluşturulmasına başlanır. Parça oluşturma iletişim penceresinde yapacağımız parçanın modelleme ortamı 3D, modelleme tipi Deforme olacak şekilde ve temel özelliği Katı ve ötelenebilir olmasına yönelik gerekli seçimler gerçekleştirilir.

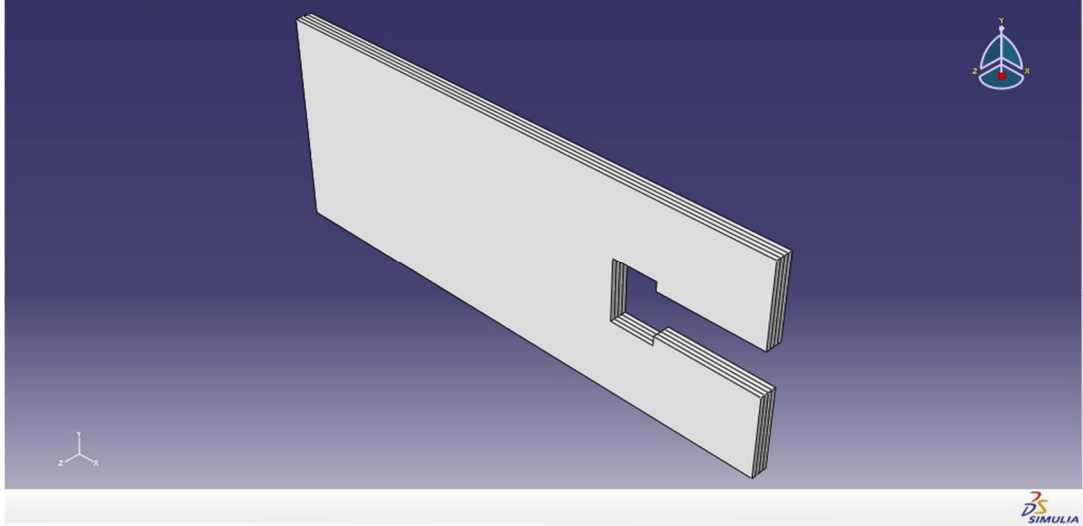
Bağlantı kilidi ve birleştirilecek olan numunelerin boyut oluşturmunda, tez kapsamında yapımı planlanmış olan tüm modellerin boyutlandırılmasına yönelik hazırlanan aşağıda verilen tablo kullanılmış olup, bu örnek model uygulaması için, yazılım arayüzünde bulunan eskiz çizimi bölümünde gerek duyulacak ölçülerin elde edilmesinde belirtilmiş boyut oranlarından faydalanılmıştır.

Tablo 4.1'den faydalanarak seçilen yapının ekran görüntüleri ayrıntılı olarak verilmiştir (Şekil 4.5), (Şekil 4.6).

Bu boyut oranlarından faydalanılarak tasarımı yapılan parçaların ekran görüntüleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.5 : Tasarımı yapılan bağlantı kilidinin üç boyutlu model görünümü



Şekil 4.6 : Tasarımı yapılan birleşme numunesini üç boyutlu model görünümü

Modelin alt parçalarına yönelik yapılan tasarımların analiz içerisinde mekanik özelliklerinin anlamlı olabilmesi için model bileşenlerinin teknik malzeme özelliklerinin oluşturulması gerekmektedir. Model içerisinde bulunan tüm alt bileşenlerin tamamı Tabakalı Kompozit Malzeme olduğu için gerekli malzeme özellikleri şu şekilde ABAQUS/CAE Sonlu elemanlar yazılımının içerisinde girilmiştir.

Malzeme tanımlaması için, Modül *Property* olarak ayarlanır. Girilecek özelliklere sahip malzeme için gerekli ayarlamalar yapılır ve gerekli mekanik değerler girilir. Malzemeye ait mekanik değerler ile Hashin Hasar Kriteri için gerekli değerler aşağıda verilmiş olmakla beraber ilgili değerleri sonlu elemanlar analizlerinin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla literatürde yer alan ve kaynak olarak gösterilmiş olan Altan vd (2010) çalışmasından alınarak gerçekleştirilmiştir.

$$E_1=44150 \text{ MPa} \quad \nu_{12}=0.2 \quad G_{12}=4096 \text{ MPa}$$

$$E_2=44150 \text{ MPa} \quad \nu_{13}=0.2 \quad G_{13}=4096 \text{ MPa}$$

$$E_3=44150 \text{ MPa} \quad \nu_{23}=0.2 \quad G_{23}=4096 \text{ MPa}$$

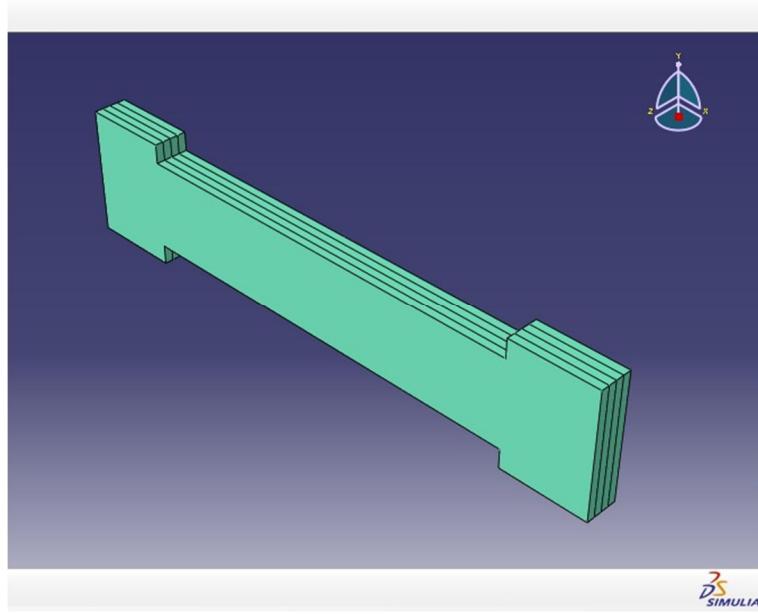
Hashin Hasarı için gerekli mekanik değerler şunlardır.

$$X_t=775 \text{ MPa} \quad X_c=305 \text{ MPa} \quad S=95 \text{ MPa}$$

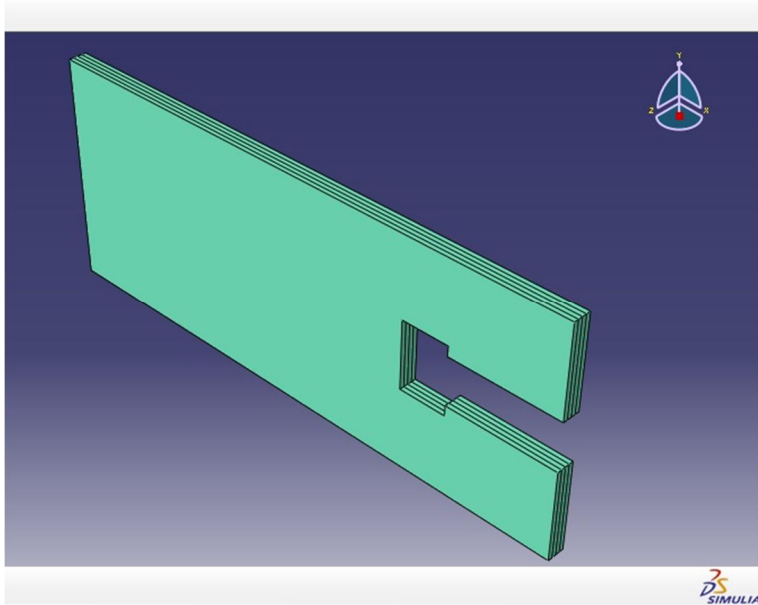
$$Y_t=130 \text{ MPa} \quad Y_c=775 \text{ MPa}$$

4.2.2 Kesit özelliklerini tanımlama ve parçaya atama

Bundan sonraki analiz adımında yukarıda tanımlanmış olan malzeme özelliklerinin model alt bileşenlerine kesit özellikleri dâhilinde olarak atanması işlemi gerçekleştirilmiştir. Ataması yapılan özelliklerin model bileşenleri üzerindeki görünümü aşağıda verilmiştir (Şekil 4.7), (Şekil 4.8).



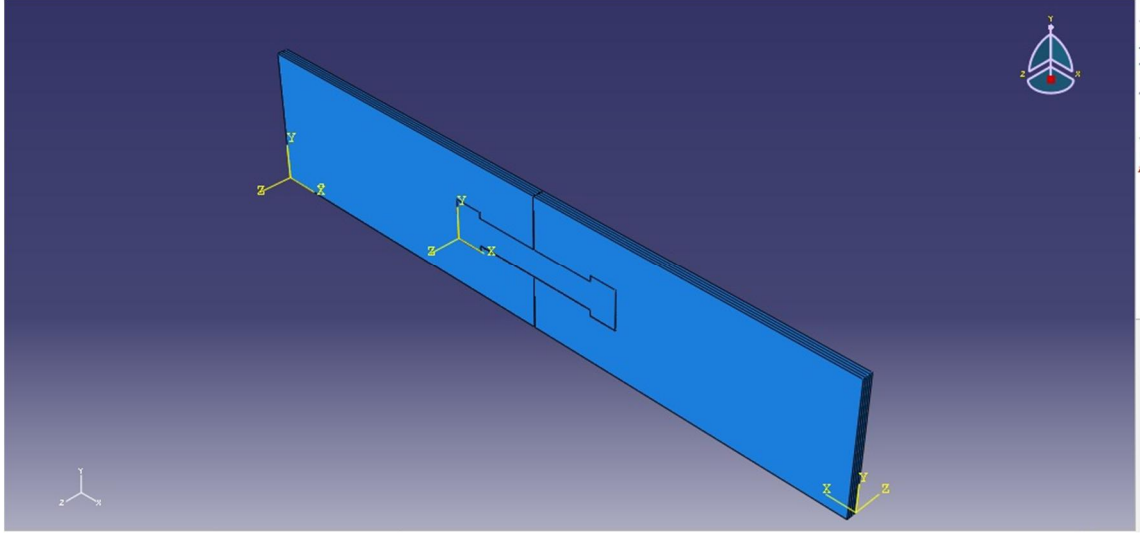
Şekil 4.7 : Bağlantı Kilidi Üzerine Kesit Atanması



Şekil 4.8 : Birleşme Numunesi Üzerine Kesit Atanması

4.2.3 Modele parça oluşturma

Bu model iki adet birleşme numunesi ve bir adet bağlantı kilidinden oluşmaktadır. Bu alt bileşenlerin montaj yapılabilmesi için Modül *Assembly* olarak ayarlanır. Ardından *Create Instance* komutu kullanılarak parçalar üç boyutlu çalışma ortamı içerisine dâhil edilerek ve gerekli konumlandırmaların sağlanması ile montaj işlemi gerçekleştirilmiş olur (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 : Model bileşenlerinin çalışma ortamı içinde birleştirilmesi

4.2.4 Çözüm adımının tanımlanması

Bu model uygulamasında katı olarak modellenmiş, bir ucu ankastre olan modelin uygulanacak çeki kuvvetine karşı statik cevabı incelenecektir. Bu nedenle modelin analizine yönelik tek bir çözüm adımının gerçekleştirilmesi uygundur. Sonuç itibariyle analizi yapılacak modelin toplamda iki çözüm adımına sahip olacaktır.

- Başlangıç Çözüm Adımı: Sınır şartları içerir.
- Genel Statik Çözüm Adımı: Çeki Yükünün tanımlamasını içerir.

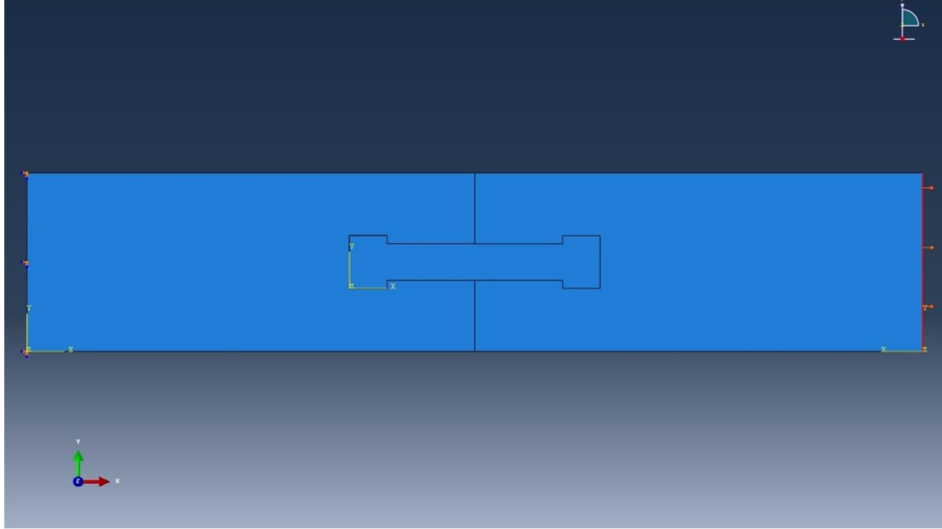
ABAQUS/CAE yazılımının Modül ayarlaması Step olarak ayarlanır ve gerekli tanımlamalar yukarıda anlatılanlar dâhilinde gerçekleştirilmiştir.

4.2.5 Sınır koşullarının ve yüklemelerinin tanımlanması

Sınır koşulu olarak modelin alt bileşeni olan birleşme numunesinin uzun kenarına dik olan yüzey alanı üzerinden ankastre sabitlenmesi gerçekleştirilmiş olup, diğer

simetrik birleşme numunesinin uzun kenarına dik olan yüzey alanı üzerinden çeki yükünün uygulanması sağlanmıştır.

Bunların yapılabilmesi amacıyla Modül *Load* olarak ayarlanır ve yukarıda tanımlaması yapılmış özellikler sonlu elemanlar yazılımına tanıtılır (Şekil 4.10).



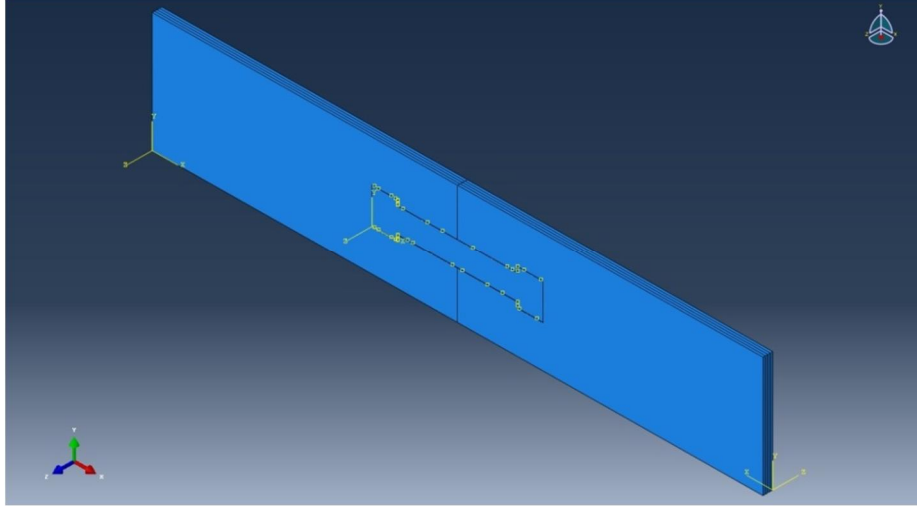
Şekil 4.10 : Model bileşenlerinin çalışma ortamı içinde sınır koşullarının ve yüklemelerinin tanımlanması

Sayısal analizi gerçekleştirilecek olan tüm numunelerde uygulanacak olan kuvvet miktarının, kompozit yapıların hasar oluşturmadığı yani kompozit yapıların işlevsel halde olmasını sağlayacak en uygun yük değerinin tespiti yapılmıştır. Bu kuvvet değerinin belirlenebilmesi için bütün numuneleri kapsayacak şekilde çeşitli analizler yapılmış olup, bu analizler içerisinde en uygun değer 5 N/mm olduğu belirlenmiştir. Tez kapsamında sayısal analizi yapılan tüm numuneler için aynı yük altında en iyi yük iletimini yapıya en az hasarı verecek olan yapısal numunenin belirleme hedefi doğrultusunda uygulanan bu yükleme değeri kullanılabilir bir değer olduğu görülmüştür.

4.2.6 Parçalar arası etkileşiminin sağlanması

Tez kapsamında analizi yapılacak olan bu modelin birden çok alt parça bileşenin bulunması, ABAQUS/CAE 6.11 Sonlu elemanlar yazılımı içerisinde, analize girecek olan bu alt parçaların birbirlerine tanıtılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle parçalar arasında temas özelliği ve temas tanımlanmalıdır. Temas özelliği olan parçalar arasındaki sürtünme katsayısı 0.1 alınmıştır. Temas tanımlamasının

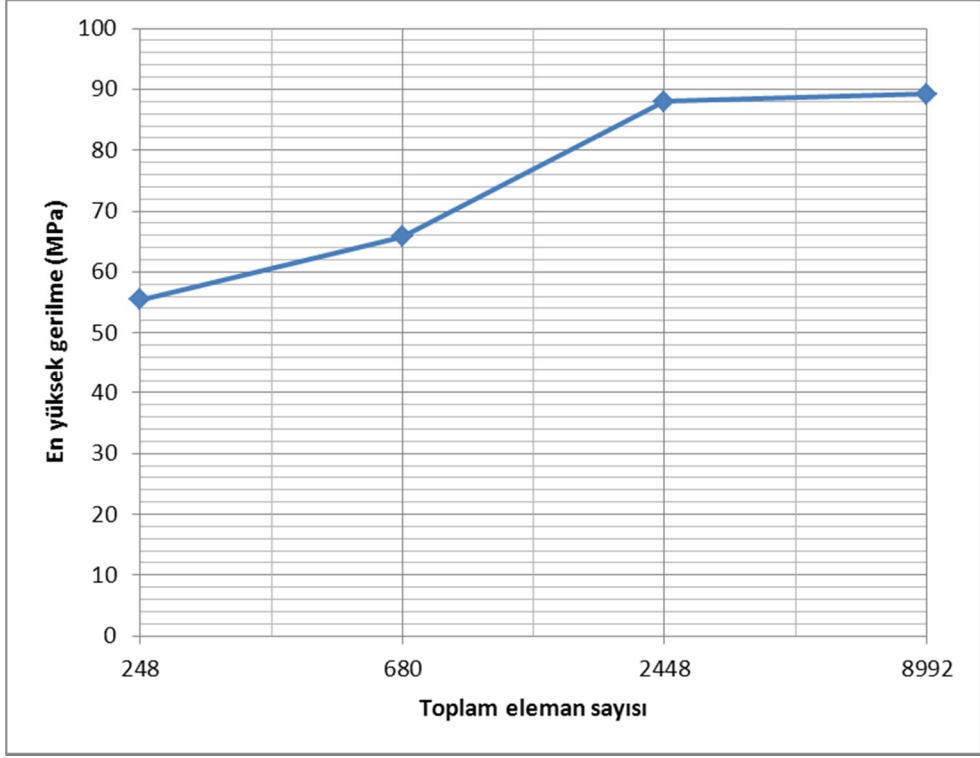
yapılabilmesi için Modül *Interaction* olarak ayarlanmıştır. Temas edeceği öngörülen yüzeyler seçilerek ilgili mekanik özellikler yazılıma aşağıda verilmiş olan Şekil 4.11’de gösterildiği gibi tanımlanmıştır.



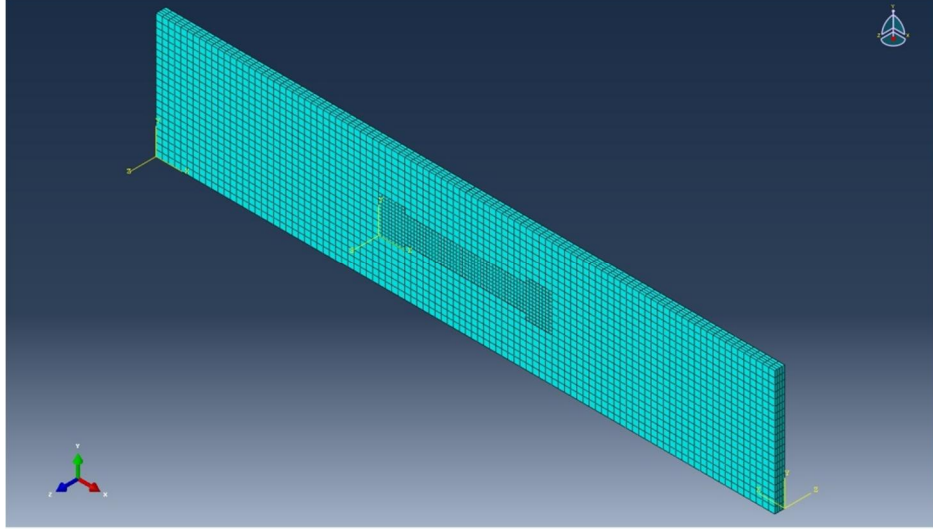
Şekil 4.11 : Model bileşenlerinin arasında temas tanımlamasının gerçekleştirilmesi

4.2.7 Modelin çözüm ağının oluşturulması

Modelin analizine ait bu bölümünde çözüm ağı oluşturulacaktır. Çözüm ağının oluşturulabilmesi için öncelikle temel çözüm ağı kontrol parametrelerinin yapılacak analize uygun olup olmadığını belirleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca alın altına birleştirilmiş kompozit plakalara uygulanan gerilme analizlerinde, yük taşıma kapasitelerini ve gerçekleşebilecek hasar şekillerini en iyi bir şekilde belirleyebilmek için bir tür yakınsama testi yapılarak, çözüm ağı elemanının boyutları çeşitli değerlerde uygulanmıştır. Böylece en uygun eleman boyutlarının tespiti yapılmıştır. Örnek olarak alınan bu numuneye ait en yüksek yapısal gerilme değerinin, oluşturulan eleman sayısı arasındaki ilişkisi Şekil 4.12’de belirtilmiştir. Elde edilen toplam eleman sayılarına bağlı olarak çözüm ağı elemanları; yarı numune için eleman boyutu 2 mm, kilit için 1 mm olarak uygulandığında en iyi bir yakınsama ile boyutlandırma sağlanmıştır. Uygulama sonucunda oluşan çözüm ağı Şekil 4.13’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12 : Eleman sayısına karşılık en yüksek yapısal gerilme değerleri

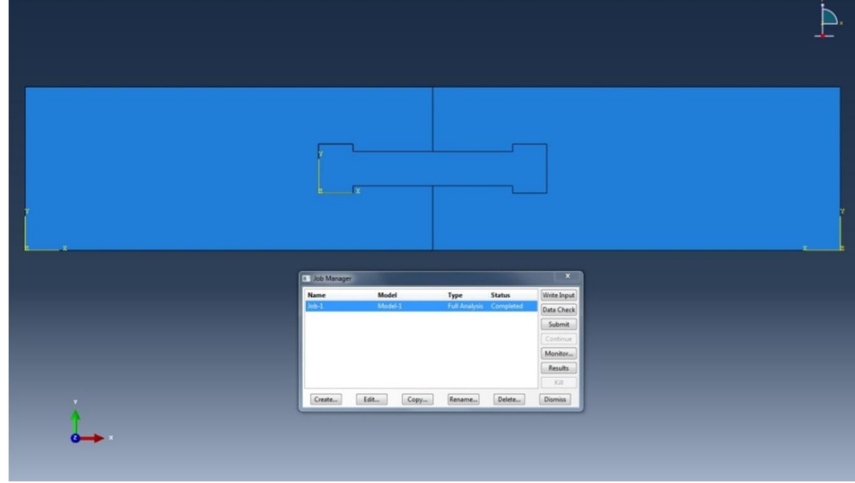


Şekil 4.13 : Modelin çözüm ağının gerçekleştirilmesi

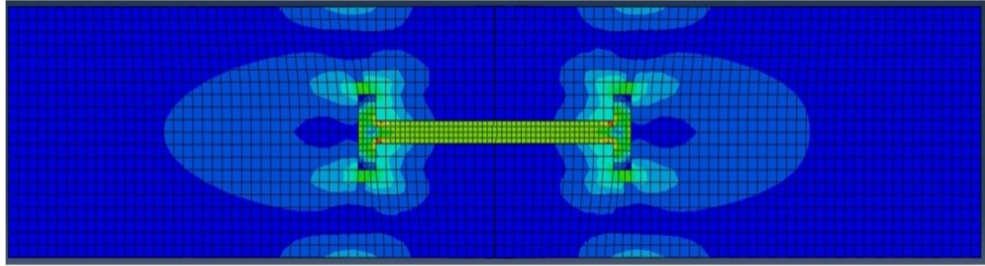
4.2.8 Bir iş oluşturularak çözüme verilmesi ve sonuçların elde edilmesi

Analizi yapılacak modele ait oluşturulan adımlar, sonlu elemanlar modelinde bu bölüme kadar hazırlanmıştır. Artık hazırlanan model çözüme verilebilir. Bunun için yani bir iş oluşturmak için Modül *Job* olarak ayarlanarak çözüm bölümü oluşturulur. Çözüm *Submit* komutu kullanılarak başlatılır (Şekil 4.14).

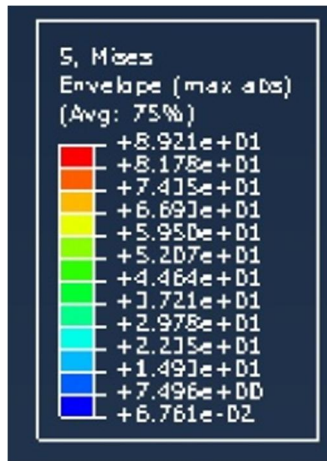
Analiz adımlarının dahil edilerek oluşturulan işin başarılı bir şekilde çözümü tamamlanmasının ardından model üzerinde uygulanan çeki kuvveti sonucunda oluşan vonMises gerilme dağılımı ile Fiber ve Matris üzerinde oluşan hasar sonuçları Hashin Hasar Kriterine göre elde edilmiş olup Şekil 4.15’de görsel, sayısal ve gerilme yolları ile beraber olarak ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.



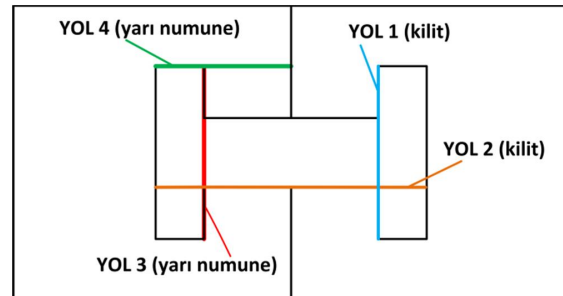
Şekil 4.14 : Modelin çözüme verilmesi



(I) VonMises gerilme dağılımı

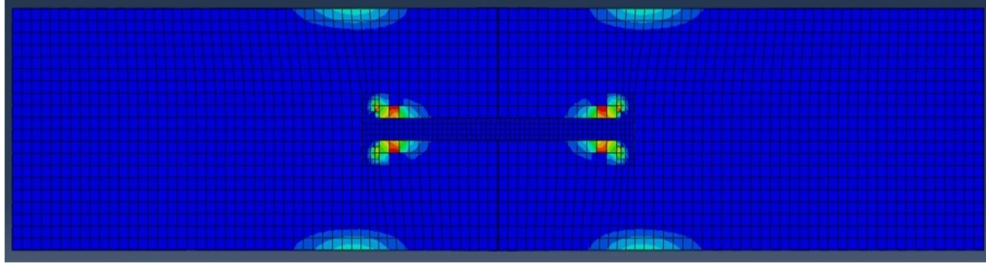


(II) VonMises gerilme değerleri

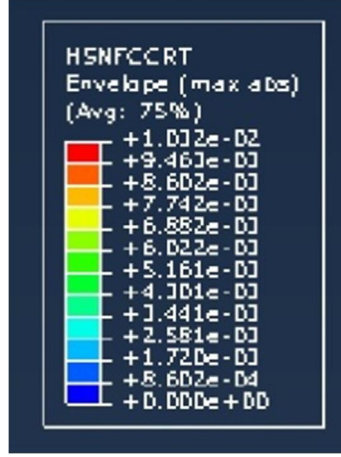


(III) Belirlenen gerilmeyolları

Şekil 4.15(a) : Elde edilen analiz sonuçlarının görüntülenmesi

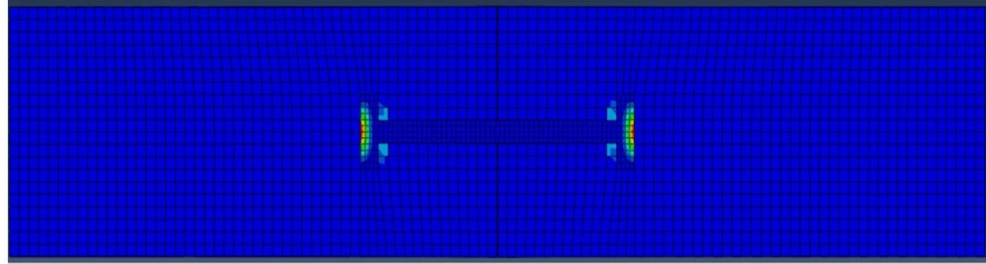


(I) Hashin bası fiber hasarı dağılımı

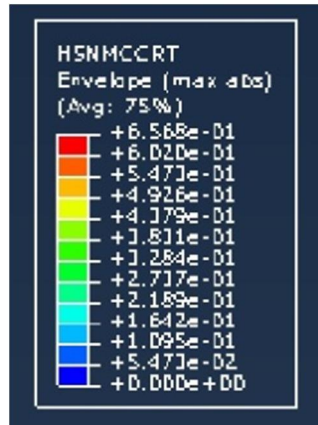


(II) Hasar indeksleri

Şekil 4.15(b) :Elde edilen analiz sonuçlarının görüntülenmesi

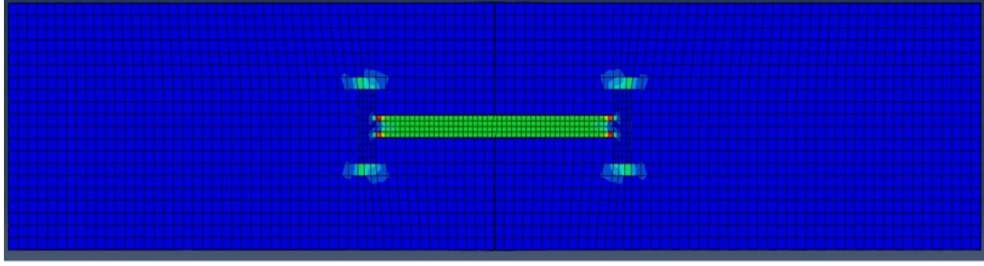


(I) Hashin bası matris hasarı dağılımı

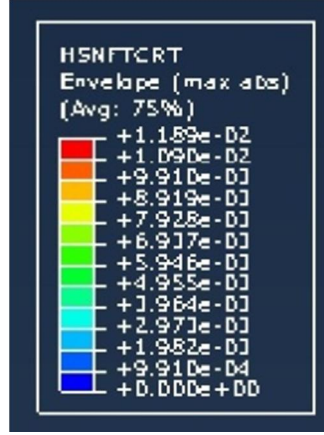


(II) Hasar indeksleri

Şekil 4.15(c) :Elde edilen analiz sonuçlarının görüntülenmesi

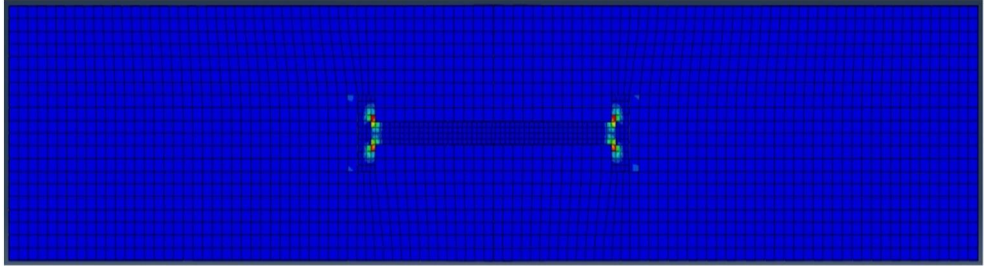


(I) Hashin çeki fiber hasarı dağılımı

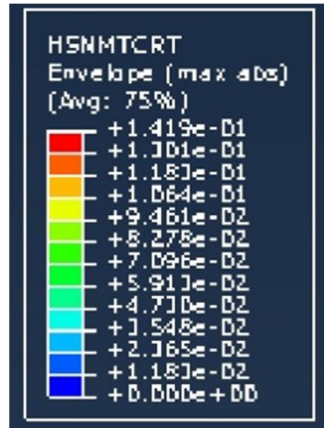


(II)Hasar indeksleri

Şekil 4.15(d) :Elde edilen analiz sonuçlarının görüntülenmesi



(I) Hashin çeki matris hasarı dağılımı

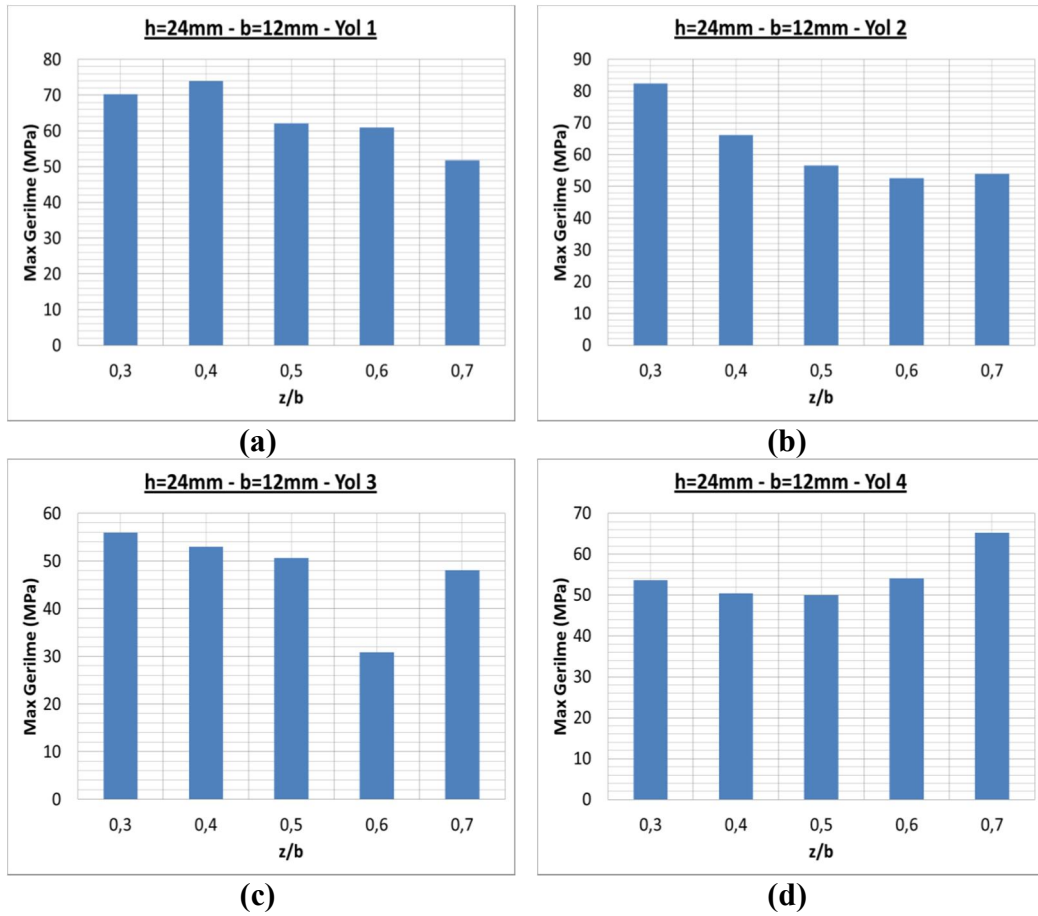


(II)Hasar indeksleri

Şekil 4.15(e) :Elde edilen analiz sonuçlarının görüntülenmesi

4.3 Birleştirilmiş Kompozit Yapıların Gerilme Analizi

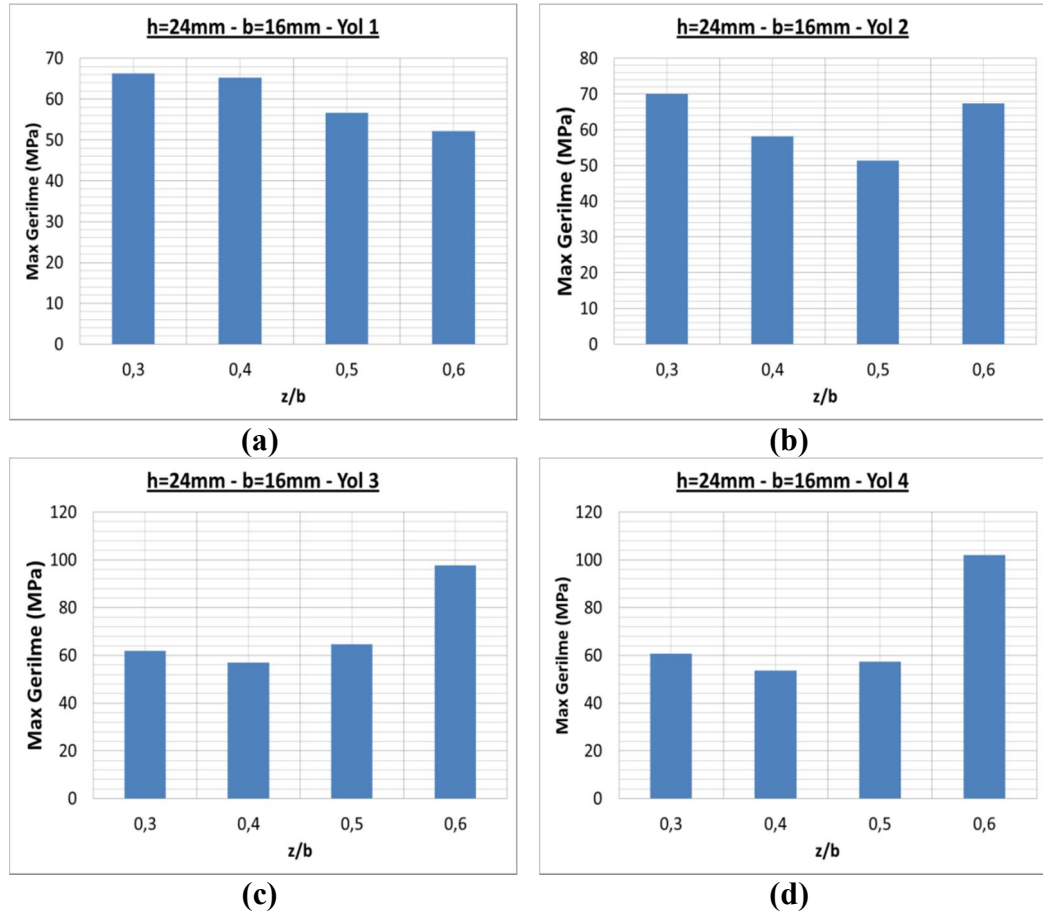
Tez kapsamında seçilen, $h=24$ mm ve $b=12$ mm sabit geometrik parametrelerinin değişik (z/b) oranlarında olan I profilli kilit birleştirmelerine ait numunelerin sayısal analizi yapılmış olup, belirlenen gerilme yollarından elde edilen en yüksek gerilme değerleri Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Kompozit yapı içerisindeki kilidin üzerinde belirlenen Yol 1 ve Yol 2 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri ile yarı numune üzerinde belirlenen Yol 3 ve Yol 4 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri incelenerek, en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip numuneler araştırılmıştır.



Şekil 4.16 : $h=24$ mm ve $b=12$ mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.

$h=24$ mm ve $b=16$ mm sabit geometrik parametrelerinin değişik (z/b) oranlarında olan I profilli kilit birleştirmelerine ait numunelerin sayısal analizi yapılmış olup, belirlenen gerilme yollarından elde edilen en yüksek gerilme değerleri Şekil 4.17'de gösterilmiştir. En yüksek gerilme değerleri, analizi yapılan tüm kompozit yapıların

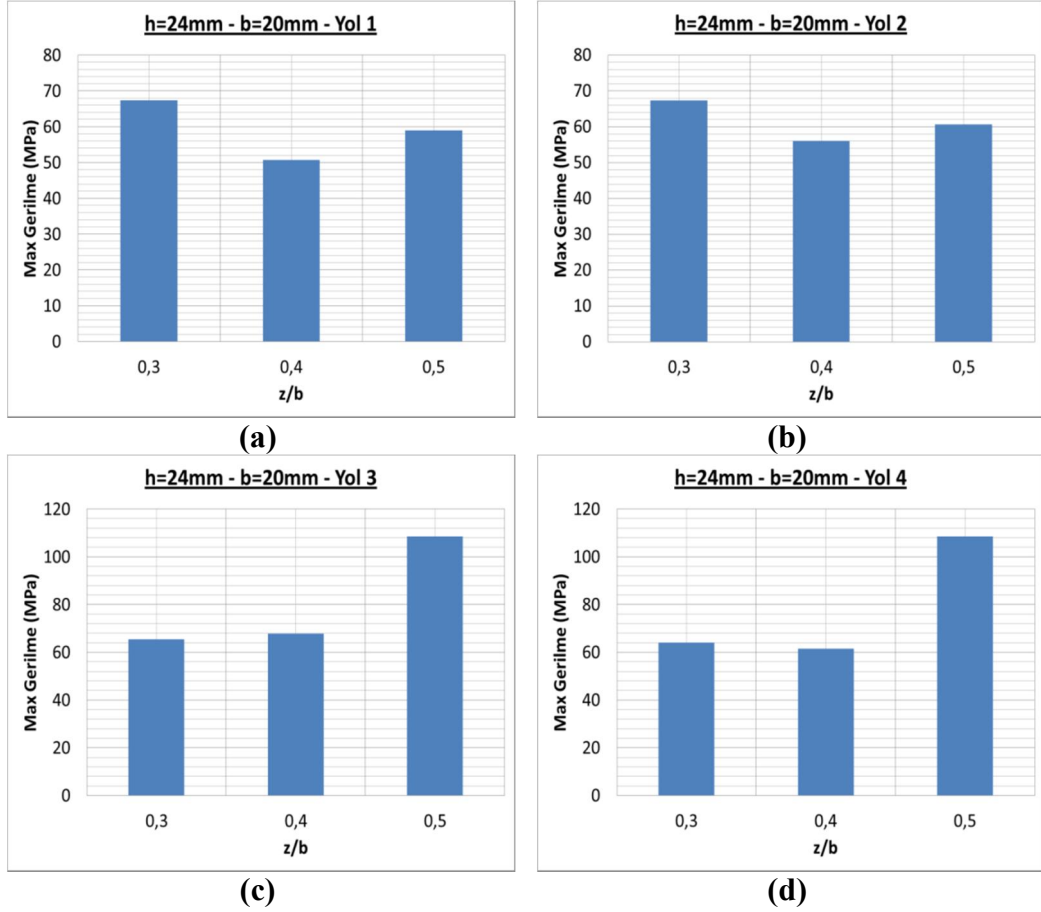
birleşim bölgeleri olan kilitlerin üzerinde ve yük iletiminin gerçekleştiği I profilli birleştirimin temas ettiği yarı numunelerinin uç bölgelerinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Hasar yükleri altında gerçekleşebilecek hasarın, en yüksek gerilmelerin olduğu yerlerde ortaya çıkması beklenmektedir. Kompozit yapı içerisindeki kilidin üzerinde belirlenen Yol 1 ve Yol 2 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri ile yarı numune üzerinde belirlenen Yol 3 ve Yol 4 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri incelenerek, en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip numuneler araştırılmıştır.



Şekil 4.17 : h=24 mm ve b=16 mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.

h=24 mm ve b=20 mm sabit geometrik parametrelerinin değişik (z/b) oranlarında olan I profilli kilit birleştirmelerine ait numunelerin sayısal analizi yapılmış olup, belirlenen gerilme yollarından elde edilen en yüksek gerilme değerleri Şekil 4.18’de gösterilmiştir. En yüksek gerilme değerleri, analizi yapılan tüm kompozit yapıların birleşim bölgeleri olan kilitlerin üzerinde ve yük iletiminin gerçekleştiği I profilli birleştirimin temas ettiği yarı numunelerinin uç bölgelerinde meydana geldiği tespit

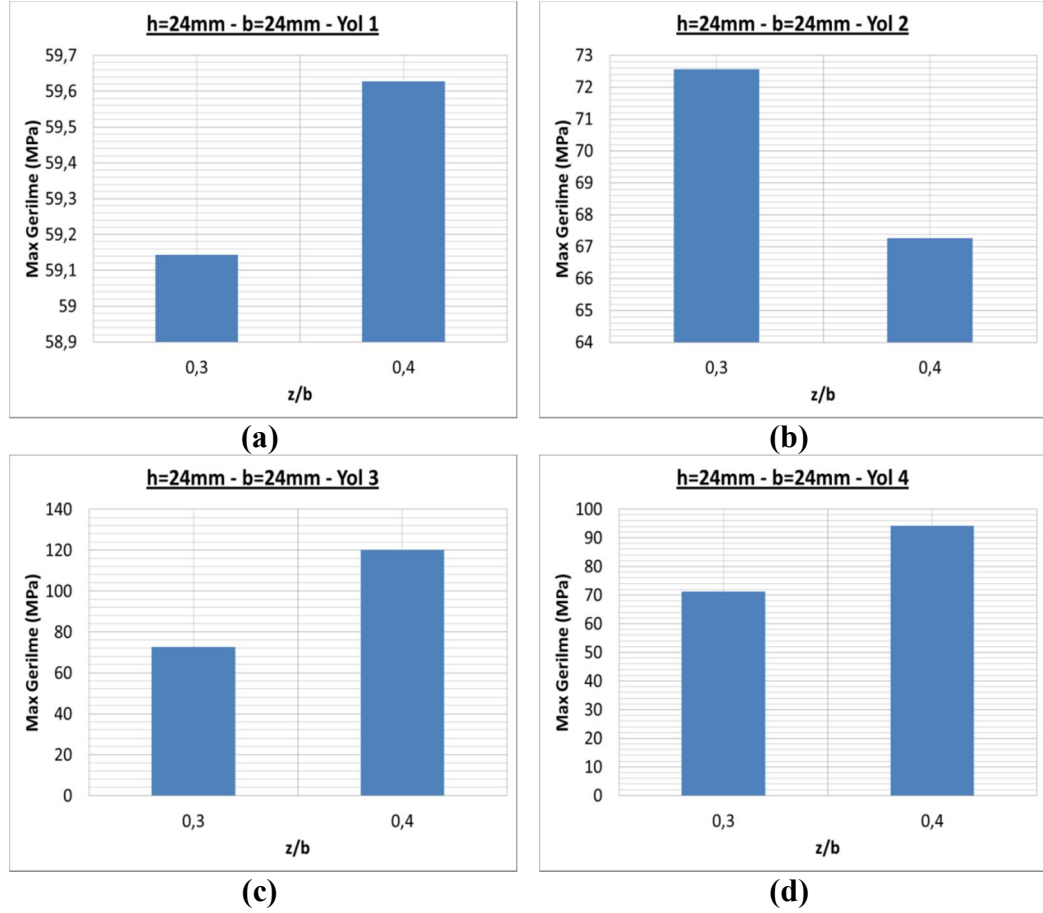
edilmiştir. Hasar yükleri altında gerçekleşebilecek hasarın, en yüksek gerilmelerin olduğu yerlerde ortaya çıkması beklenmektedir. Kompozit yapı içerisindeki kilidin üzerinde belirlenen Yol 1 ve Yol 2 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri ile yarı numune üzerinde belirlenen Yol 3 ve Yol 4 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri incelenerek, en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip numuneler araştırılmıştır.



Şekil 4.18 : h=24 mm ve b=20 mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.

h=24 mm ve b=24 mm sabit geometrik parametrelerinin değişik (z/b) oranlarında olan I profilli kilit birleştirmelerine ait numunelerin sayısal analizi yapılmış olup, belirlenen gerilme yollarından elde edilen en yüksek gerilme değerleri Şekil 4.19'da gösterilmiştir. En yüksek gerilme değerleri, analizi yapılan tüm kompozit yapıların birleşim bölgeleri olan kilitlerin üzerinde ve yük iletiminin gerçekleştiği I profilli birleştirmenin temas ettiği yarı numunelerinin uç bölgelerinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Hasar yükleri altında gerçekleşebilecek hasarın, en yüksek gerilmelerin olduğu yerlerde ortaya çıkması beklenmektedir. Kompozit yapı içerisindeki kilidin

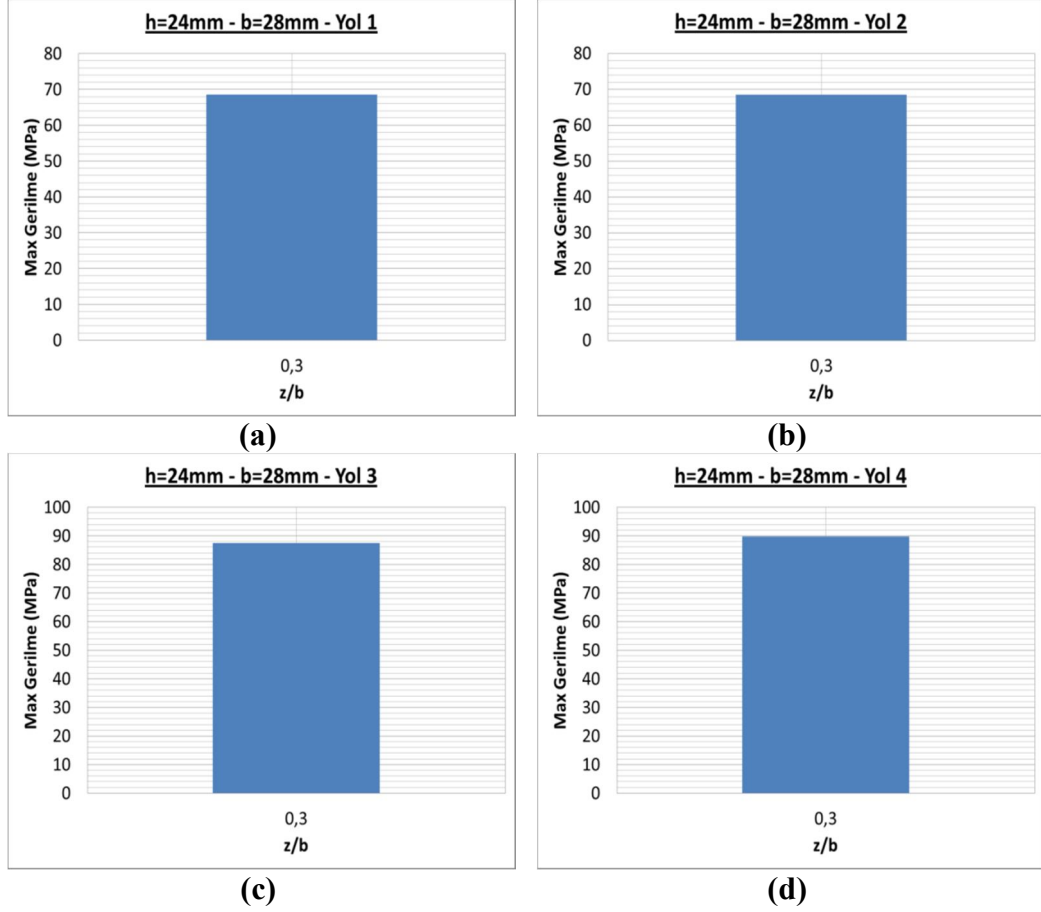
üzerinde belirlenen Yol 1 ve Yol 2 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri ile yarı numune üzerinde belirlenen Yol 3 ve Yol 4 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri incelenerek, en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip numuneler araştırılmıştır.



Şekil 4.19 : $h=24\text{ mm}$ ve $b=24\text{ mm}$ sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.

$h=24\text{ mm}$ ve $b=28\text{ mm}$ sabit geometrik parametrelerinin değişik (z/b) oranlarında olan I profilli kilit birleştirmelerine ait numunelerin sayısal analizi yapılmış olup, belirlenen gerilme yollarından elde edilen en yüksek gerilme değerleri Şekil 4.20'de gösterilmiştir. En yüksek gerilme değerleri, analizi yapılan tüm kompozit yapıların birleşim bölgeleri olan kilitlerin üzerinde ve yük iletiminin gerçekleştiği I profilli birleştirmenin temas ettiği yarı numunelerinin uç bölgelerinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Hasar yükleri altında gerçekleşebilecek hasarın, en yüksek gerilmelerin olduğu yerlerde ortaya çıkması beklenmektedir. Kompozit yapı içerisindeki kilidin üzerinde belirlenen Yol 1 ve Yol 2 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri ile yarı numune üzerinde belirlenen Yol 3 ve Yol 4 hatlarında oluşan en yüksek gerilme

değerleri incelenerek, en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip numuneler araştırılmıştır. Tablo 4.1’de belirtilen oranlara göre tasarımı yapılan kompozit yapı sistemlerinin oluşumu $h=24$ mm ve $b=28$ mm değerlerinde sadece (z/b) oranının 0,3’e eşit olduğu durumda uygun I profiline sahip olduğu görülmüştür. Bu nedenle bu bölümde tek bir numune üzerinde oluşan gerilme değerleri incelenmiştir.



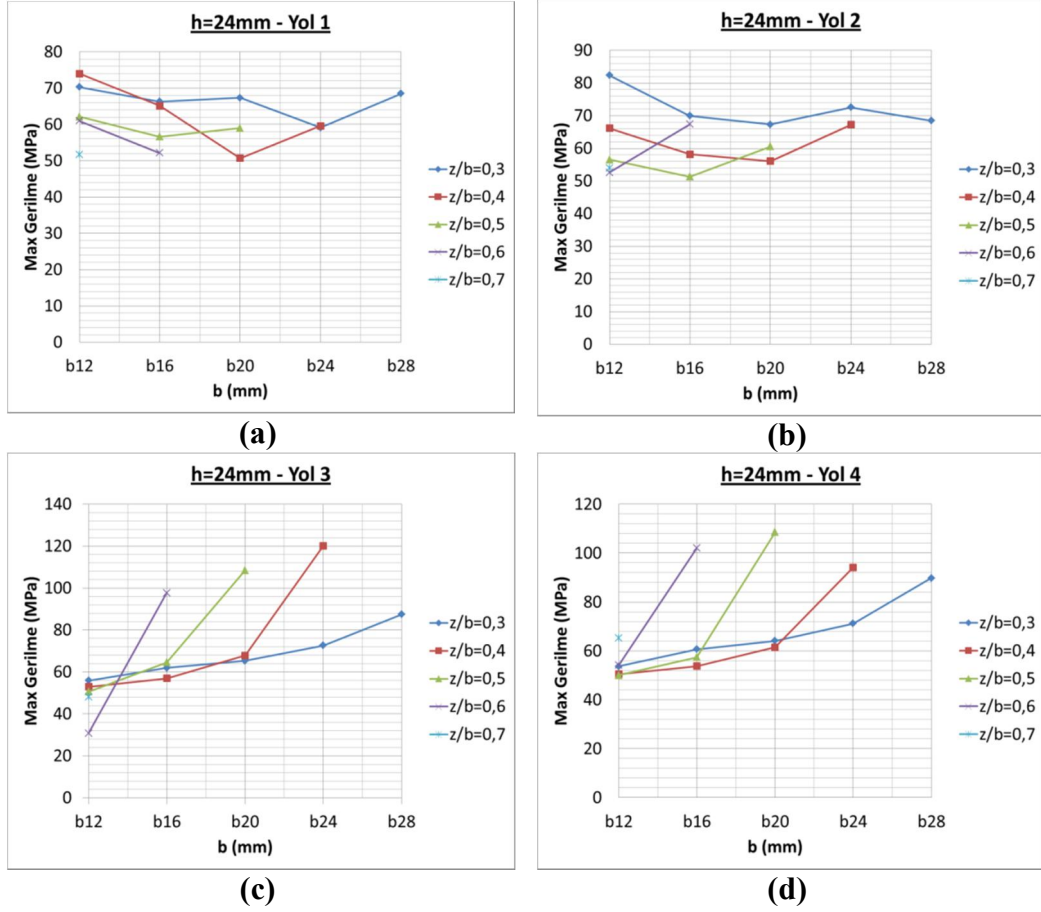
Şekil 4.20 : $h=24$ mm ve $b=28$ mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.

Uygulanan statik yük karşısında, belirlenen en uygun kompozit birleştirmeye ait yarı numunelerin olabildiğince az hasara uğrayarak servis ömürlerinin uzatılması hedeflenmiştir. Böylelikle yarı numunelerin yerine, yük iletiminin gerçekleştiği I profilli kilit üzerinde hasarın oluşması istenmiştir. Bu nedenle yarı numuneler üzerlerinde belirlenen gerilme yollarından elde edilen en yüksek değerlerin en düşükleri ile kilitlerin üzerlerinde belirlenen gerilme yollarından elde edilen en yüksek değerlerin en yüksekleri ve bu yollar üzerlerindeki gerilme değerlerinin ani değişimlerinin olabildiğince az olması ile tüm yolların birbirleriyle olan gerilme uyumunun paralellik göstermesi gerekmektedir. Bu yaklaşım, $h=24$ mm ve farklı b

ve (z/b) geometrik parametrelerine ait olan I profilli kilit birleştirmelerine ait numunelerin sayısal analiz sonuçları içerisinden en uygun numunenin hangisi olduğunu belirlememizi sağlayacaktır.

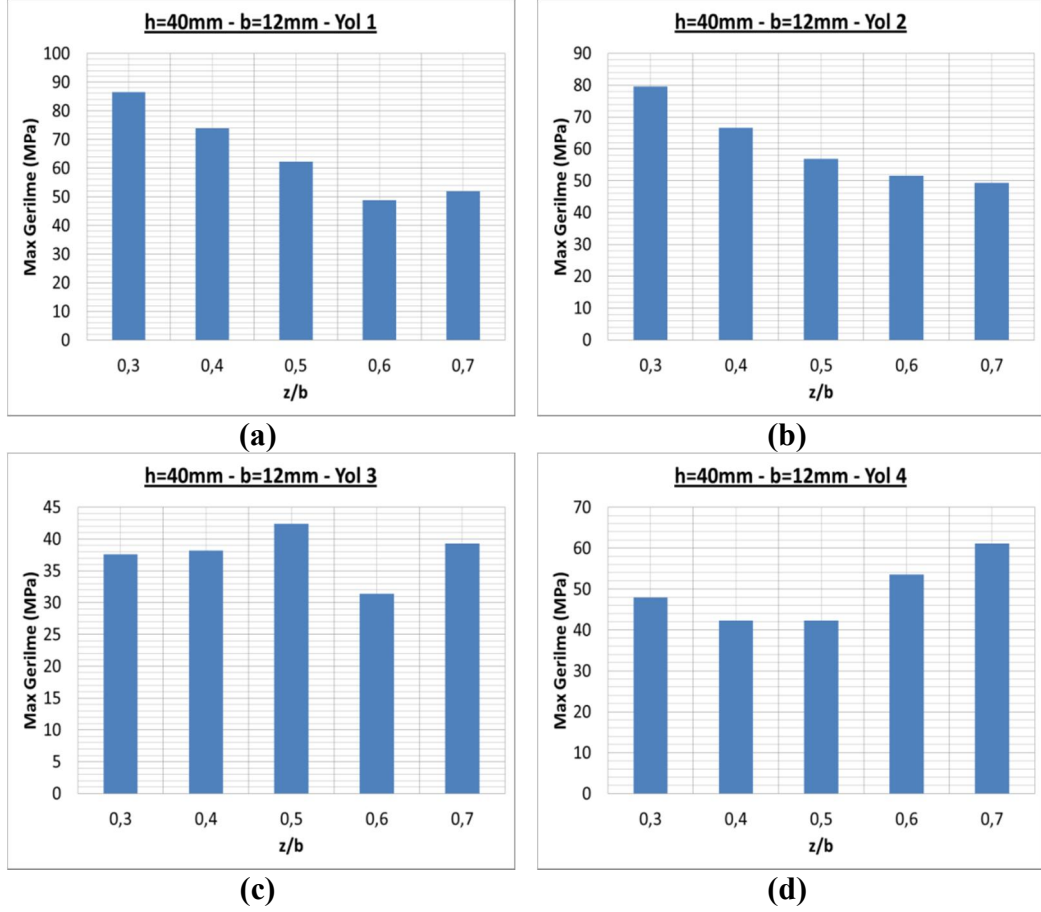
I profilin oluşumunda kullanılan h parametresinin 24 mm değerinde sabit tutularak farklı b ve z/b geometrik parametreleri kullanılarak sistematik değişimiyle elde edilen numuneler üzerinde belirlenen gerilme yollarında sahip oldukları en yüksek gerilmeler Şekil 4.21'de verilmiştir. Şekil 4.21.a'da Yol 1 gerilme hattı boyunca en yüksek gerilme değeri $b=12$ mm değerinde ve (z/b) oranı 0,4 olduğunda elde edilmiştir. Şekil 4.21.b'da Yol 2 gerilme hattı boyunca en yüksek gerilme değeri $b=12$ mm değerinde ve (z/b) oranı 0,3 olduğunda elde edilmiştir. Şekil 4.21.c'de Yol 3 gerilme hattı boyunca en düşük gerilme değeri $b=12$ mm değerinde ve (z/b) oranı 0,6 olduğunda elde edilmiştir. Şekil 4.21.d'de Yol 4 gerilme hattı boyunca en düşük gerilme değeri $b=12$ mm değerinde ve (z/b) oranı 0,5 olduğunda elde edilmiştir. Ayrıca Şekil 4.21.c ve Şekil 4.21.d'den de görüldüğü üzere, Yol 3 ve Yol 4 gerilme hatlarındaki değerler b geometrik parametresinin artmasıyla birlikte artma eğilimi göstermiştir. Önceden belirlenen yaklaşım çerçevesinde yapılan bu tespitlerden I profilli birleştirme için $h=24$ mm olduğunda en uygun b geometrik parametresi değerinin 12 mm olduğu görülmüştür.

Oluşturulan kompozit yapıların içerisindeki en uygun numunenin belirlenmesinde kullanılan, numuneler üzerlerinde belirlenen tüm yolların birbirleriyle olan gerilme uyumu göz önüne alınarak değerlendirilmesi esnasında bulunan en yüksek ve en düşük gerilmelerinin ara değerlerinde, yollar arası uyumsal paralelliğin bulunduğu ve bu uyumunda sadece (z/b) oranı 0,3 değerindeyken gerçekleştiği görülmüştür. Diğer bir ifade ile $h=24$ mm, $b=12$ mm ve (z/b) oranı 0,3 değerindeyken numuneler en iyi Şekilde kilitlenerek, tüm gerilme yollarıyla da bütünleşerek kapsayacak bir Şekilde en yüksek yük iletimini gerçekleştirmektedir.



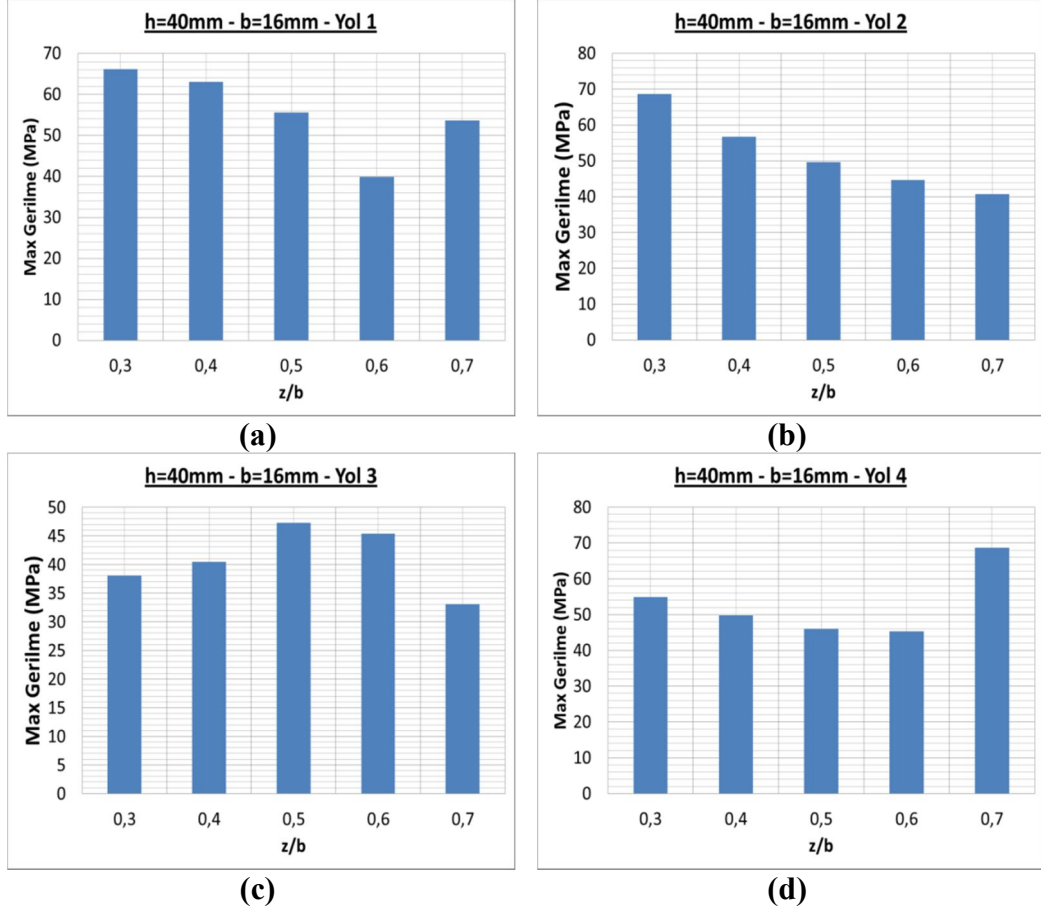
Şekil 4.21 : $h=24$ mm sabit geometrik parametresinin değişik b değerleri ve z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.

$h=40$ mm ve $b=12$ mm sabit geometrik parametrelerinin değişik (z/b) oranlarında olan I profilli kilit birleştirmelerine ait numunelerin sayısal analizi yapılmış olup, belirlenen gerilme yollarından elde edilen en yüksek gerilme değerleri Şekil 4.22’de gösterilmiştir. En yüksek gerilme değerleri, analizi yapılan tüm kompozit yapıların birleşim bölgeleri olan kilitlerin üzerinde ve yük iletiminin gerçekleştiği I profilli birleştirmenin temas ettiği yarı numunelerinin uç bölgelerinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Hasar yükleri altında gerçekleşebilecek hasarın, en yüksek gerilmelerin olduğu yerlerde ortaya çıkması beklenmektedir. Kompozit yapı içerisindeki kilidin üzerinde belirlenen Yol 1 ve Yol 2 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri ile yarı numune üzerinde belirlenen Yol 3 ve Yol 4 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri incelenerek, en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip numuneler araştırılmıştır.



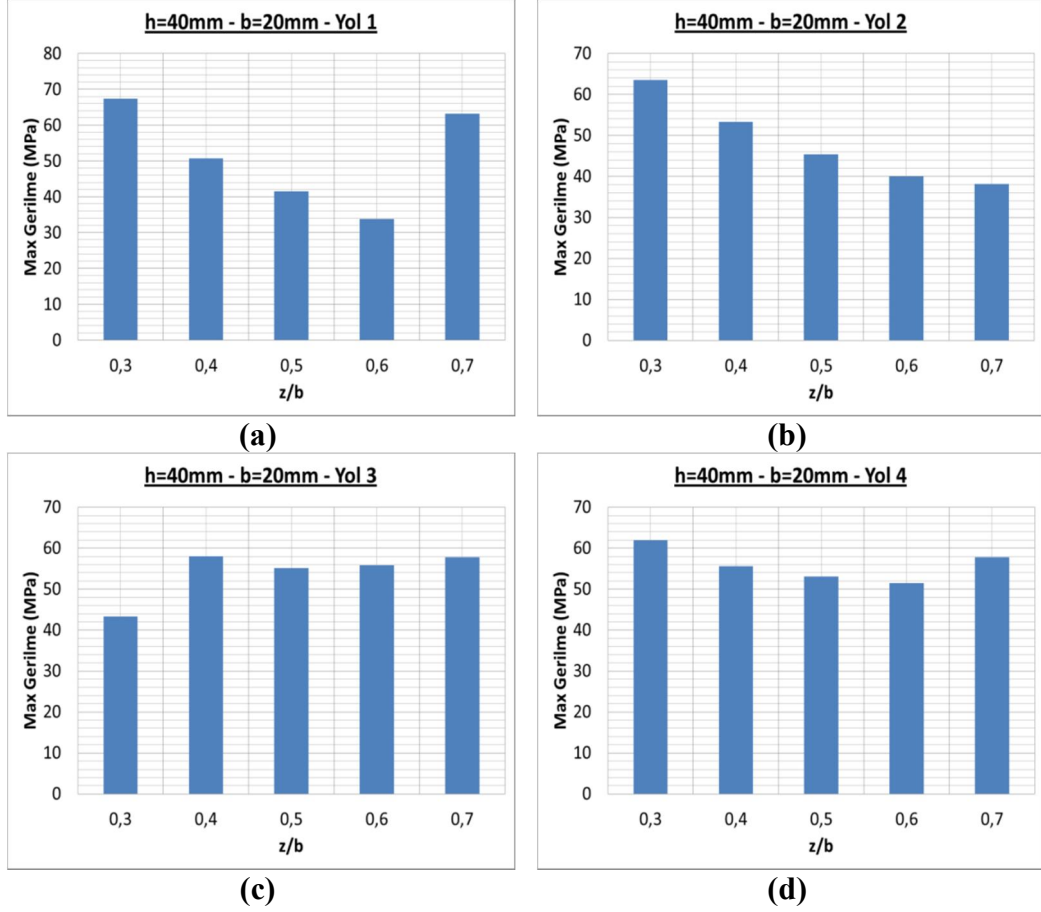
Şekil 4.22 : $h=40$ mm ve $b=12$ mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.

$h=40$ mm ve $b=16$ mm sabit geometrik parametrelerinin değişik (z/b) oranlarında olan I profilli kilit birleştirmelerine ait numunelerin sayısal analizi yapılmış olup, belirlenen gerilme yollarından elde edilen en yüksek gerilme değerleri Şekil 4.23’de gösterilmiştir. En yüksek gerilme değerleri, analizi yapılan tüm kompozit yapıların birleşim bölgeleri olan kilitlerin üzerinde ve yük iletiminin gerçekleştiği I profilli birleştirmenin temas ettiği yarı numunelerinin uç bölgelerinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Hasar yükleri altında gerçekleşebilecek hasarın, en yüksek gerilmelerin olduğu yerlerde ortaya çıkması beklenmektedir. Kompozit yapı içerisindeki kilidin üzerinde belirlenen Yol 1 ve Yol 2 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri ile yarı numune üzerinde belirlenen Yol 3 ve Yol 4 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri incelenerek, en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip numuneler araştırılmıştır.



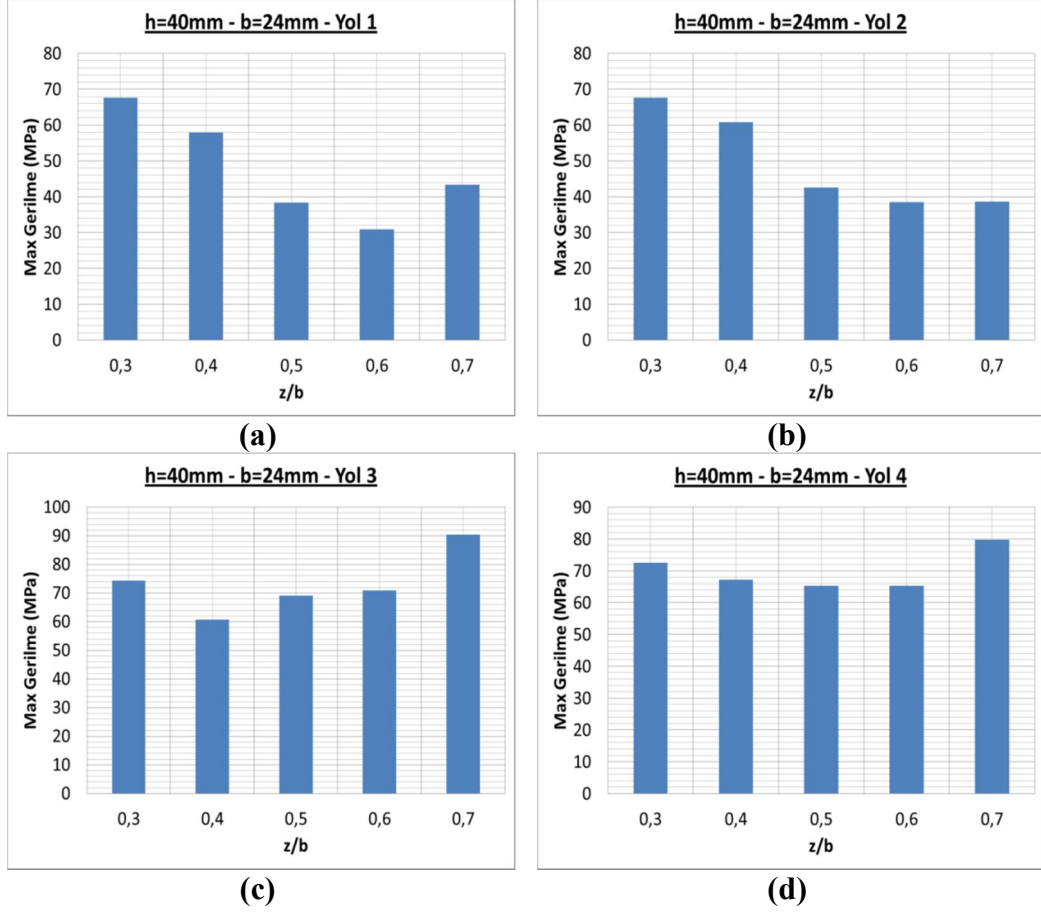
Şekil 4.23 : $h=40$ mm ve $b=16$ mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.

$h=40$ mm ve $b=20$ mm sabit geometrik parametrelerinin değişik (z/b) oranlarında olan I profilli kilit birleştirmelerine ait numunelerin sayısal analizi yapılmış olup, belirlenen gerilme yollarından elde edilen en yüksek gerilme değerleri Şekil 4.24'de gösterilmiştir. En yüksek gerilme değerleri, analizi yapılan tüm kompozit yapıların birleşim bölgeleri olan kilitlerin üzerinde ve yük iletiminin gerçekleştiği I profilli birleştirmenin temas ettiği yarı numunelerinin uç bölgelerinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Hasar yükleri altında gerçekleşebilecek hasarın, en yüksek gerilmelerin olduğu yerlerde ortaya çıkması beklenmektedir. Kompozit yapı içerisindeki kilidin üzerinde belirlenen Yol 1 ve Yol 2 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri ile yarı numune üzerinde belirlenen Yol 3 ve Yol 4 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri incelenerek, en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip numuneler araştırılmıştır



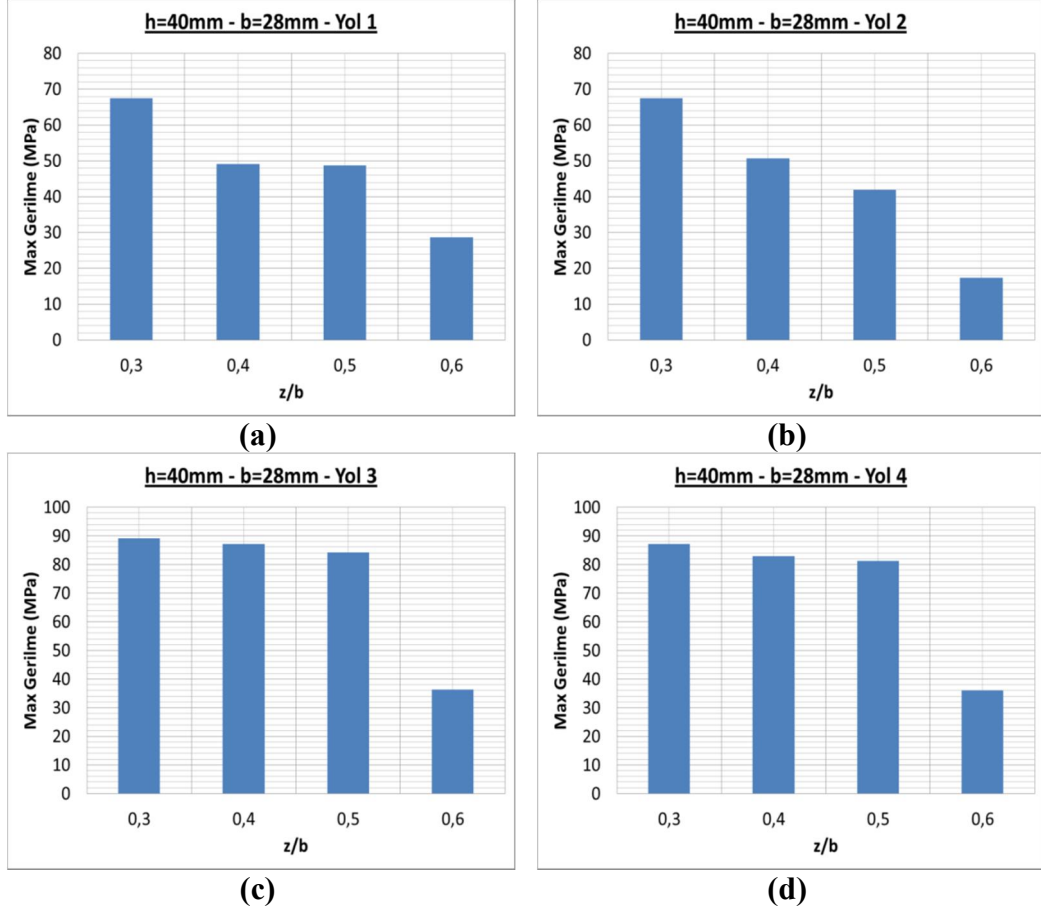
Şekil 4.24 : $h=40$ mm ve $b=20$ mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.

$h=40$ mm ve $b=24$ mm sabit geometrik parametrelerinin değişik (z/b) oranlarında olan I profilli kilit birleştirmelerine ait numunelerin sayısal analizi yapılmış olup, belirlenen gerilme yollarından elde edilen en yüksek gerilme değerleri Şekil 4.25’de gösterilmiştir. En yüksek gerilme değerleri, analizi yapılan tüm kompozit yapıların birleşim bölgeleri olan kilitlerin üzerinde ve yük iletiminin gerçekleştiği I profilli birleştirmenin temas ettiği yarı numunelerinin uç bölgelerinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Hasar yükleri altında gerçekleşebilecek hasarın, en yüksek gerilmelerin olduğu yerlerde ortaya çıkması beklenmektedir. Kompozit yapı içerisindeki kilidin üzerinde belirlenen Yol 1 ve Yol 2 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri ile yarı numune üzerinde belirlenen Yol 3 ve Yol 4 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri incelenerek, en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip numuneler araştırılmıştır.



Şekil 4.25 : $h=40$ mm ve $b=24$ mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.

$h=40$ mm ve $b=28$ mm sabit geometrik parametrelerinin değişik (z/b) oranlarında olan I profilli kilit birleştirmelerine ait numunelerin sayısal analizi yapılmış olup, belirlenen gerilme yollarından elde edilen en yüksek gerilme değerleri Şekil 4.26'da gösterilmiştir. En yüksek gerilme değerleri, analizi yapılan tüm kompozit yapıların birleşim bölgeleri olan kilitlerin üzerinde ve yük iletiminin gerçekleştiği I profilli birleştirmenin temas ettiği yarı numunelerinin uç bölgelerinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Kompozit yapı içerisindeki kilidin üzerinde belirlenen Yol 1 ve Yol 2 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri ile yarı numune üzerinde belirlenen Yol 3 ve Yol 4 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri incelenerek, en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip numuneler araştırılmıştır. Tablo 4.1'de belirtilen oranlara göre tasarımı yapılan kompozit yapı sistemlerinin oluşumu $h=24$ mm ve $b=28$ mm değerlerinde sadece (z/b) oranının 0,7'ye eşit olduğu durumda uygun I profiline sahip olmadığı görülmüştür.



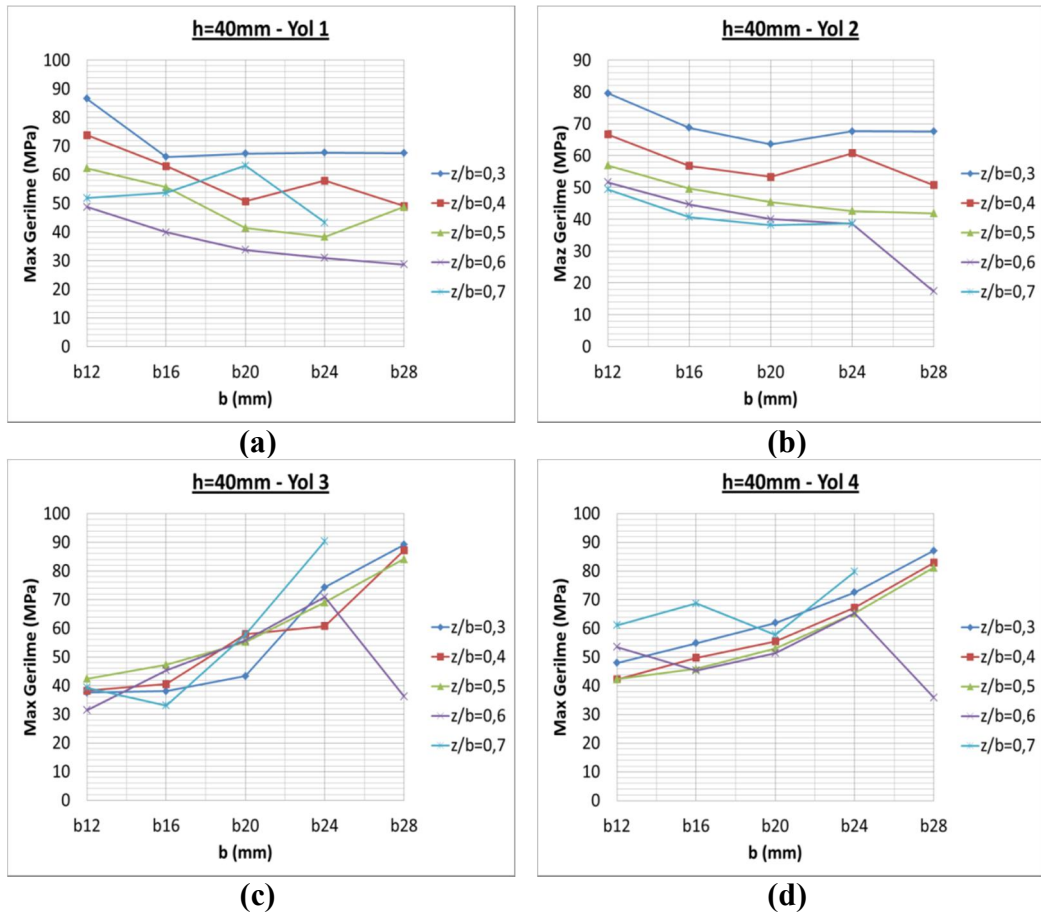
Şekil 4.26 : $h=40$ mm ve $b=28$ mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.

Uygulanan statik yük karşısında, belirlenen en uygun kompozit birleştirmeye ait yarı numunelerin olabildiğince az hasara uğrayarak servis ömürlerinin uzatılması hedeflenmiştir. Böylelikle yarı numunelerin yerine, yük iletiminin gerçekleştiği I profilli kilit üzerinde hasarın oluşması istenmiştir. Bu nedenle yarı numuneler üzerlerinde belirlenen gerilme yollarından elde edilen en yüksek değerlerin en düşükleri ile kilitlerin üzerlerinde belirlenen gerilme yollarından elde edilen en yüksek değerlerin en yüksekleri ve bu yollar üzerlerindeki gerilme değerlerinin ani değişimlerinin olabildiğince az olması ile tüm yolların birbirleriyle olan gerilme uyumunun paralellik göstermesi gerekmektedir. Bu yaklaşım, $h=24$ mm ve farklı b ve (z/b) geometrik parametrelerine ait olan I profilli kilit birleştirmelerine ait numunelerin sayısal analiz sonuçları içerisinde en uygun numunenin hangisi olduğunu belirlememizi sağlayacaktır.

I profilin oluşumunda kullanılan h parametresinin 40 mm değerinde sabit tutularak farklı b ve z/b geometrik parametreleri kullanılarak sistematik değişimiyle elde

edilen numuneler üzerinde belirlenen gerilme yollarında sahip oldukları en yüksek gerilmeler Şekil 4.27'de verilmiştir. Önceden belirlenen yaklaşım çerçevesinde yapılan bu tespitlerden I profilli birleştirme için $h=40$ mm olduğunda en uygun b geometrik parametresi değerinin 12 mm olduğu görülmüştür.

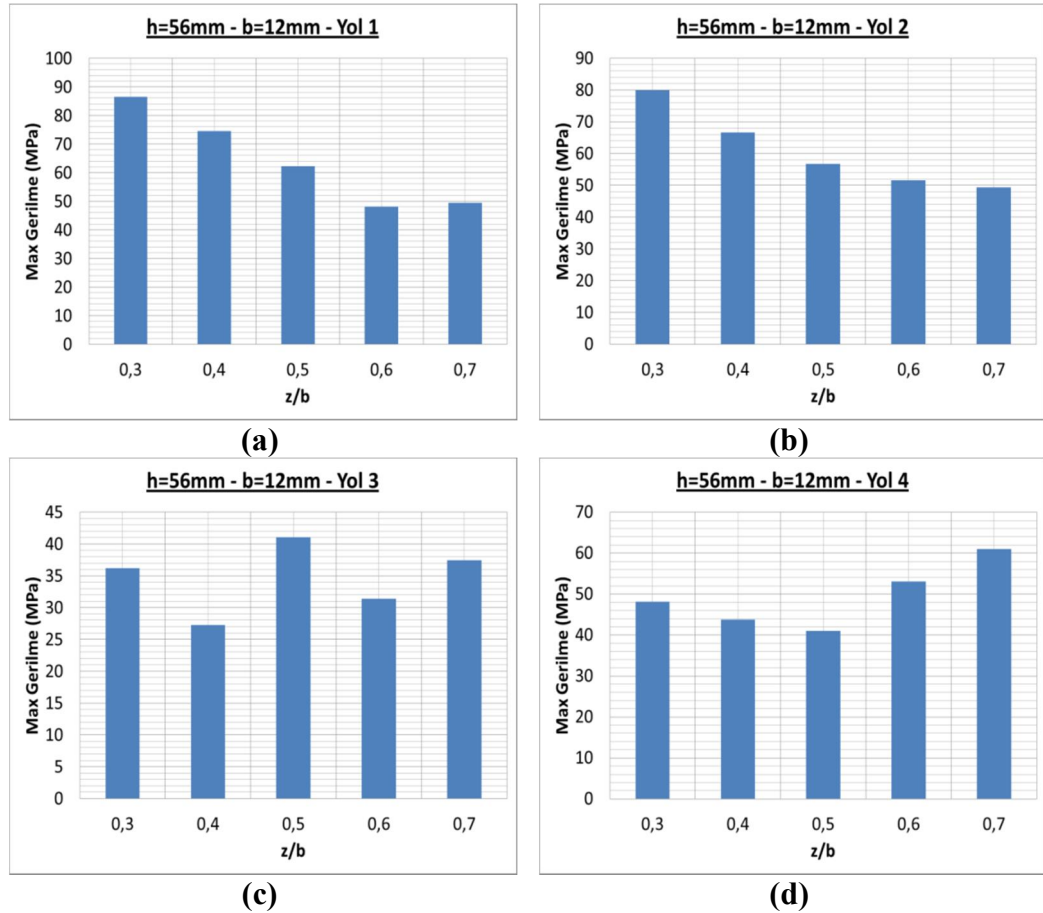
Oluşturulan kompozit yapıların içerisindeki en uygun numunenin belirlenmesinde kullanılan, numuneler üzerlerinde belirlenen tüm yolların birbirleriyle olan gerilme uyumu göz önüne alınarak değerlendirilmesi esnasında bulunan en yüksek ve en düşük gerilmelerinin ara değerlerinde, yollar arası uyumsal paralelliğin bulunduğu ve bu uyumunda sadece (z/b) oranı 0,3 değerindeyken gerçekleştiği görülmüştür



Şekil 4.27 : $h=40$ mm sabit geometrik parametresinin değişik b değerleri ve z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.

$h=56$ mm ve $b=12$ mm sabit geometrik parametrelerinin değişik (z/b) oranlarında olan I profilli kilit birleştirmelerine ait numunelerin sayısal analizi yapılmış olup, belirlenen gerilme yollarından elde edilen en yüksek gerilme değerleri Şekil 4.28'de gösterilmiştir. En yüksek gerilme değerleri, analizi yapılan tüm kompozit yapıların

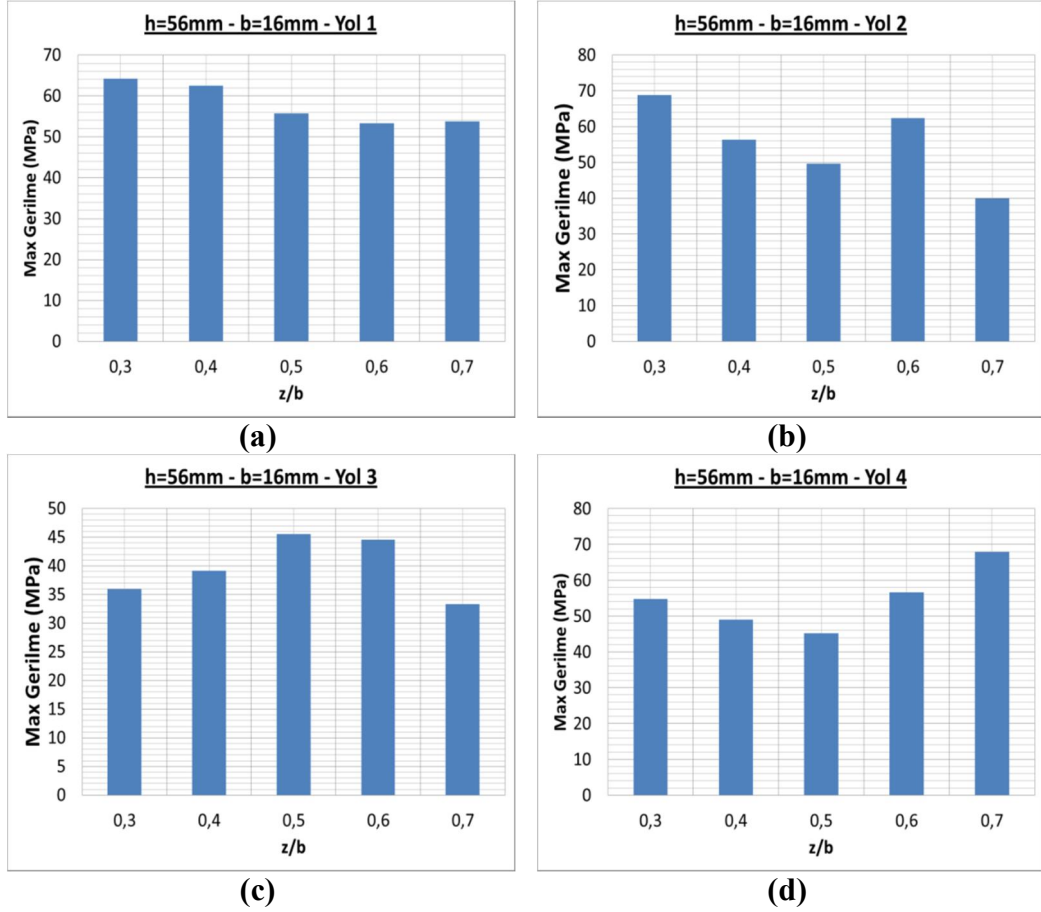
birleşim bölgeleri olan kilitlerin üzerinde ve yük iletiminin gerçekleştiği I profilli birleştirmenin temas ettiği yarı numunelerinin uç bölgelerinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Hasar yükleri altında gerçekleşebilecek hasarın, en yüksek gerilmelerin olduğu yerlerde ortaya çıkması beklenmektedir. Kompozit yapı içerisindeki kilidin üzerinde belirlenen Yol 1 ve Yol 2 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri ile yarı numune üzerinde belirlenen Yol 3 ve Yol 4 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri incelenerek, en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip numuneler araştırılmıştır.



Şekil 4.28 : h=56 mm ve b=12 mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.

h=56 mm ve b=16 mm sabit geometrik parametrelerinin değişik (z/b) oranlarında olan I profilli kilit birleştirmelerine ait numunelerin sayısal analizi yapılmış olup, belirlenen gerilme yollarından elde edilen en yüksek gerilme değerleri Şekil 4.29'da gösterilmiştir. En yüksek gerilme değerleri, analizi yapılan tüm kompozit yapıların birleşim bölgeleri olan kilitlerin üzerinde ve yük iletiminin gerçekleştiği I profilli birleştirmenin temas ettiği yarı numunelerinin uç bölgelerinde meydana geldiği tespit

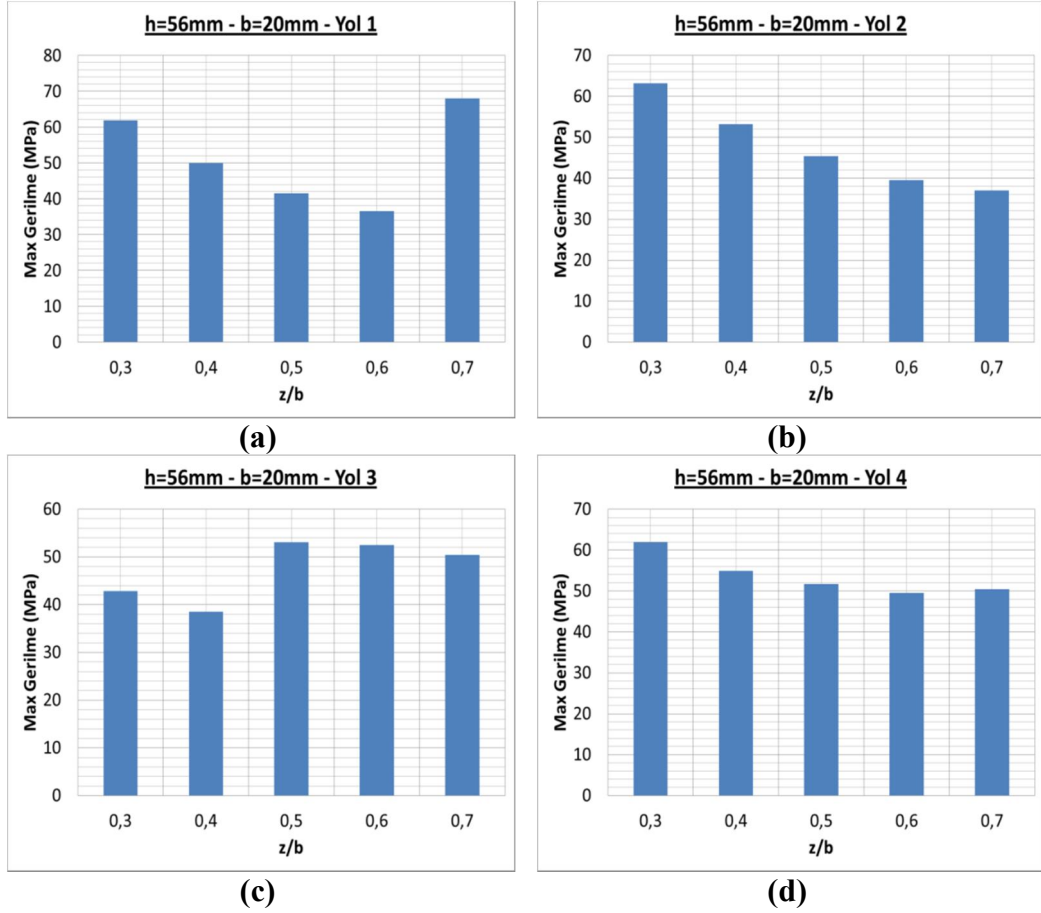
edilmiştir. Hasar yükleri altında gerçekleşebilecek hasarın, en yüksek gerilmelerin olduğu yerlerde ortaya çıkması beklenmektedir. Kompozit yapı içerisindeki kilidin üzerinde belirlenen Yol 1 ve Yol 2 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri ile yarı numune üzerinde belirlenen Yol 3 ve Yol 4 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri incelenerek, en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip numuneler araştırılmıştır.



Şekil 4.29 : $h=56$ mm ve $b=16$ mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.

$h=56$ mm ve $b=20$ mm sabit geometrik parametrelerinin değişik (z/b) oranlarında olan I profilli kilit birleştirmelerine ait numunelerin sayısal analizi yapılmış olup, belirlenen gerilme yollarından elde edilen en yüksek gerilme değerleri Şekil 4.30'da gösterilmiştir. En yüksek gerilme değerleri, analizi yapılan tüm kompozit yapıların birleşim bölgeleri olan kilitlerin üzerinde ve yük iletiminin gerçekleştiği I profilli birleştirmenin temas ettiği yarı numunelerinin uç bölgelerinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Hasar yükleri altında gerçekleşebilecek hasarın, en yüksek gerilmelerin olduğu yerlerde ortaya çıkması beklenmektedir. Kompozit yapı içerisindeki kilidin

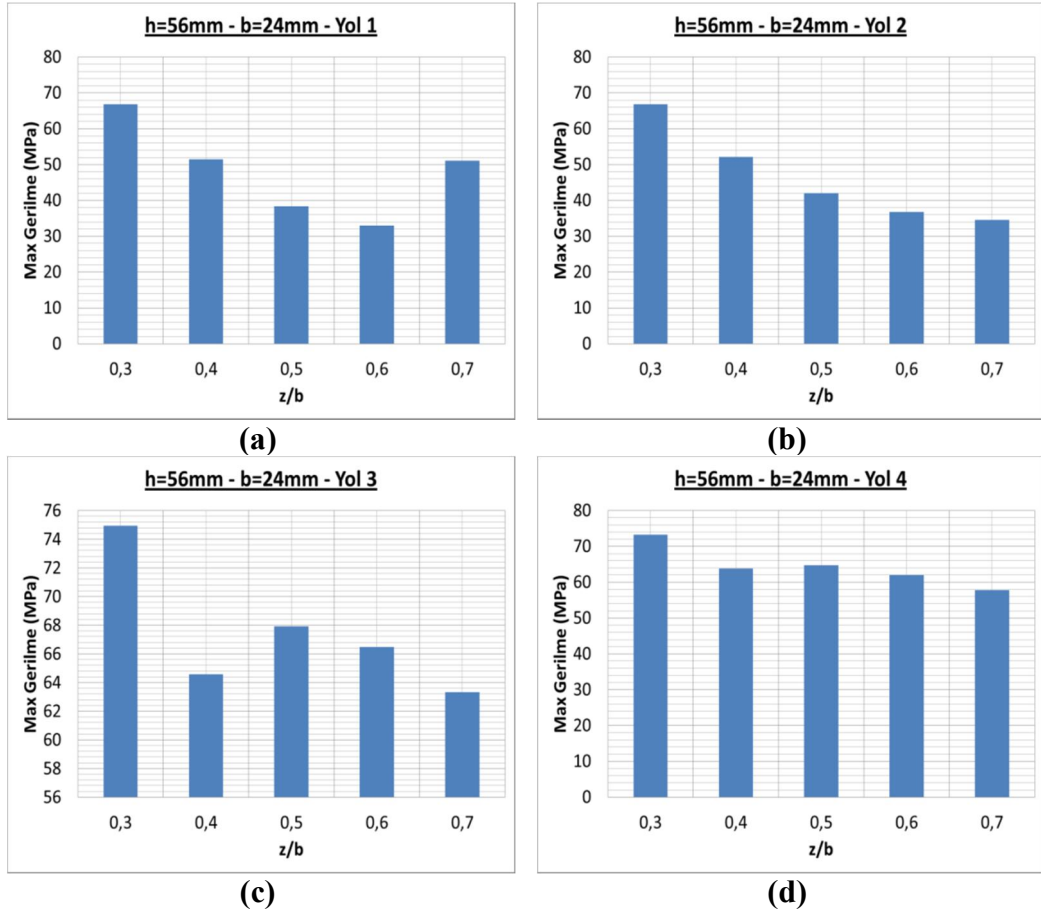
üzerinde belirlenen Yol 1 ve Yol 2 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri ile yarı numune üzerinde belirlenen Yol 3 ve Yol 4 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri incelenerek, en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip numuneler araştırılmıştır.



Şekil 4.30 : $h=56\text{ mm}$ ve $b=20\text{ mm}$ sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.

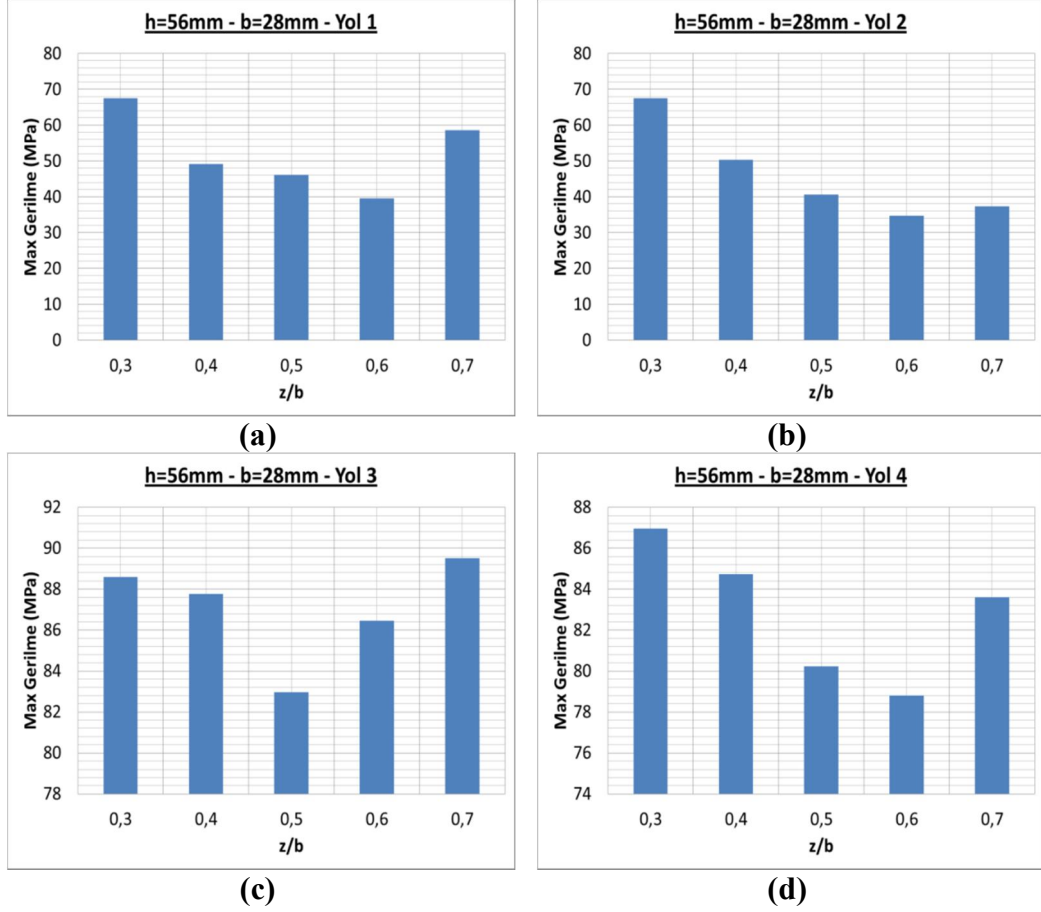
$h=56\text{ mm}$ ve $b=24\text{ mm}$ sabit geometrik parametrelerinin değişik (z/b) oranlarında olan I profilli kilit birleştirmelerine ait numunelerin sayısal analizi yapılmış olup, belirlenen gerilme yollarından elde edilen en yüksek gerilme değerleri Şekil 4.31’de gösterilmiştir. En yüksek gerilme değerleri, analizi yapılan tüm kompozit yapıların birleşim bölgeleri olan kilitlerin üzerinde ve yük iletiminin gerçekleştiği I profilli birleştirmenin temas ettiği yarı numunelerinin uç bölgelerinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Hasar yükleri altında gerçekleşebilecek hasarın, en yüksek gerilmelerin olduğu yerlerde ortaya çıkması beklenmektedir. Kompozit yapı içerisindeki kilidin üzerinde belirlenen Yol 1 ve Yol 2 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri ile yarı numune üzerinde belirlenen Yol 3 ve Yol 4 hatlarında oluşan en yüksek gerilme

değerleri incelenerek, en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip numuneler araştırılmıştır.



Şekil 4.31 : h=56 mm ve b=24 mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.

h=56 mm ve b=28 mm sabit geometrik parametrelerinin değişik (z/b) oranlarında olan I profilli kilit birleştirmelerine ait numunelerin sayısal analizi yapılmış olup, belirlenen gerilme yollarından elde edilen en yüksek gerilme değerleri Şekil 4.32’de gösterilmiştir. En yüksek gerilme değerleri, analizi yapılan tüm kompozit yapıların birleşim bölgeleri olan kilitlerin üzerinde ve yük iletiminin gerçekleştiği I profilli birleştirmenin temas ettiği yarı numunelerinin uç bölgelerinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Hasar yükleri altında gerçekleşebilecek hasarın, en yüksek gerilmelerin olduğu yerlerde ortaya çıkması beklenmektedir. Kompozit yapı içerisindeki kilidin üzerinde belirlenen Yol 1 ve Yol 2 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri ile yarı numune üzerinde belirlenen Yol 3 ve Yol 4 hatlarında oluşan en yüksek gerilme değerleri incelenerek, en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip numuneler araştırılmıştır.



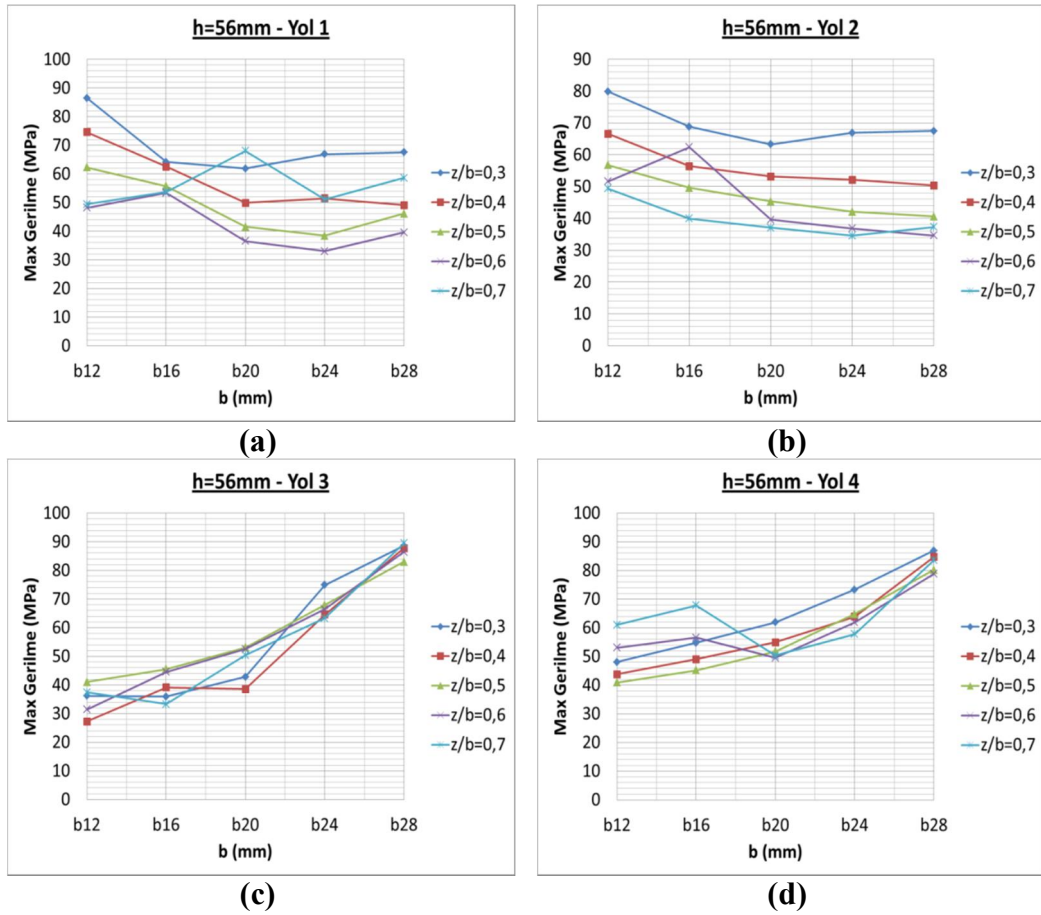
Şekil 4.32 : $h=56$ mm ve $b=28$ mm sabit geometrik parametrelerinin değişik z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.

Uygulanan statik yük karşısında, belirlenen en uygun kompozit birleştirmeye ait yarı numunelerin olabildiğince az hasara uğrayarak servis ömürlerinin uzatılması hedeflenmiştir. Böylelikle yarı numunelerin yerine, yük iletiminin gerçekleştiği I profilli kilit üzerinde hasarın oluşması istenmiştir. Bu nedenle yarı numuneler üzerlerinde belirlenen gerilme yollarından elde edilen en yüksek değerlerin en düşükleri ile kilitlerin üzerlerinde belirlenen gerilme yollarından elde edilen en yüksek değerlerin en yüksekleri ve bu yollar üzerlerindeki gerilme değerlerinin ani değişimlerinin olabildiğince az olması ile tüm yolların birbirleriyle olan gerilme uyumunun paralellik göstermesi gerekmektedir. Bu yaklaşım, $h=24$ mm ve farklı b ve (z/b) geometrik parametrelerine ait olan I profilli kilit birleştirmelerine ait numunelerin sayısal analiz sonuçları içerisinde en uygun numunenin hangisi olduğunu belirlememizi sağlayacaktır.

I profilin oluşumunda kullanılan h parametresinin 56 mm değerinde sabit tutularak farklı b ve z/b geometrik parametreleri kullanılarak sistematik değişimiyle elde

edilen numuneler üzerinde belirlenen gerilme yollarında sahip oldukları en yüksek gerilmeler Şekil 4.33'de verilmiştir. Önceden belirlenen yaklaşım çerçevesinde yapılan bu tespitlerden I profilli birleştirme için $h=24$ mm olduğunda en uygun b geometrik parametresi değerinin 12 mm olduğu görülmüştür.

Oluşturulan kompozit yapıların içerisindeki en uygun numunenin belirlenmesinde kullanılan, numuneler üzerlerinde belirlenen tüm yolların birbirleriyle olan gerilme uyumu göz önüne alınarak değerlendirilmesi esnasında bulunan en yüksek ve en düşük gerilmelerinin ara değerlerinde, yollar arası uyumsal paralelliğin bulunduğu ve bu uyumunda sadece (z/b) oranı 0,3 değerindeyken gerçekleştiği görülmüştür. Diğer bir ifade ile $h=56$ mm, $b=12$ mm ve (z/b) oranı 0,3 değerindeyken numuneler en iyi şekilde kilitlenerek, tüm gerilme yollarıyla da bütünleşerek kapsayacak bir şekilde en yüksek yük iletimini gerçekleştirmektedir.



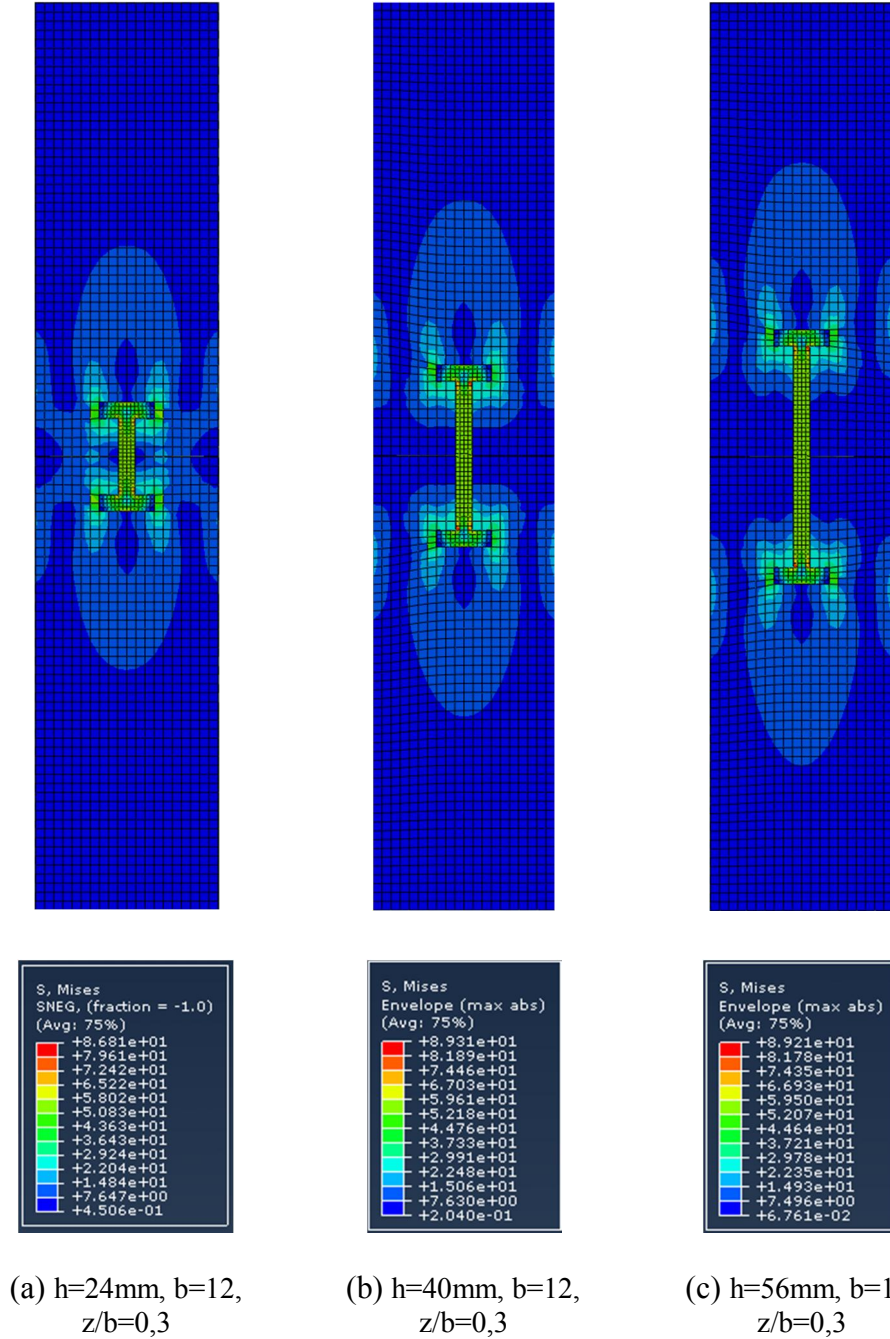
Şekil 4.33 : $h=56$ mm sabit geometrik parametresinin değişik b değerleri ve z/b oranlarına göre oluşturulan tüm gerilme yollarına ait elde edilen en yüksek gerilme değerleri.

4.4 Optimum Kompozit Yapıların Belirlenmesi

Tablo 4.1'den faydalanılarak oluşturulan I profilli birleştirmelere ait kompozit yapılara sonlu elemanlar metodu uygulanarak elde edilen çözümlerlerin gerilme sonuçları Von Mises akma kriterine göre elde edilmiş olup, bu çözümler içerisinden h geometrik parametresinin 24, 40 ve 56 mm, b geometrik parametresinin 12 mm ve (z/b) oranının 0,3 değerleri içerisinden en iyi yük taşıma kapasitelerine sahip numuneler olduğu belirlenmiştir ve h boyutu 24 mm olan seçilmiştir.

Tüm kompozit yapılar üzerinde gerilmeler, sayısal değer ve renksel dağılım olarak elde edilmiş olup Şekil 4.34'de gösterilmiştir. Belirlenen bu numuneler kendi aralarında tekrar karşılaştırılarak içlerinden en uygun yük taşıma kapasitesine sahip numunenin belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle kompozit yapıların tümü bir sistem olarak ele alınarak gerilme bölgeleri ve bu bölgelerin yapı üzerindeki dağılımları incelenmiştir. Böylelikle yarı numunelerin daha uzun kullanım ömürlerine sahip olmaları göz önünde tutulmuştur. Şekil 4.34.a'da I profilli birleştirmede kullanılan h geometrik parametresi 24 mm, b geometrik parametresi 12 mm ve (z/b) oranı 0,3 değerlerine sahiptir. Tüm yapı göz önüne alındığında gerilme bölgeleri kilit üzerinde ve yük iletiminin gerçekleştiği yarı numune uçlarında yoğunlaşmıştır. Bu gerilme bölgeleri kompozit yapının birleşim bölgesinde dar ve gerilme değerlerinin değişimi homojene yakın bir biçimde meydana gelmiştir. Şekil 4.34.b'de I profilli birleştirmede kullanılan h geometrik parametresi 40 mm, b geometrik parametresi 12 mm ve (z/b) oranı 0,3 değerlerine sahiptir. Tüm yapı göz önüne alındığında gerilme bölgeleri kilit üzerinde ve yük iletiminin gerçekleştiği yarı numune uçlarında yoğunlaşmıştır. Bu gerilme bölgeleri kompozit yapının birleşim bölgesinde biraz daha artarak yarı numunenin orta kısmına kadar ilerlemiş ve gerilme değerlerinin değişimi biraz daha değişken bir biçimde meydana gelmiştir. Şekil 4.34.c'de ise, I profilli birleştirmede kullanılan h geometrik parametresi 56 mm, b geometrik parametresi 12 mm ve (z/b) oranı 0,3 değerlerine sahiptir. Tekrar tüm yapı göz önüne alındığında gerilme bölgeleri kilit üzerinde ve yük iletiminin gerçekleştiği yarı numune uçlarında yoğunlaşmış olup bu gerilme bölgeleri kompozit yapının birleşim bölgesinde daha da çok artarak yarı numunenin geneline kadar ilerlemiş ve gerilme değerlerinin değişimi daha çok değişken bir biçimde meydana gelmiştir.

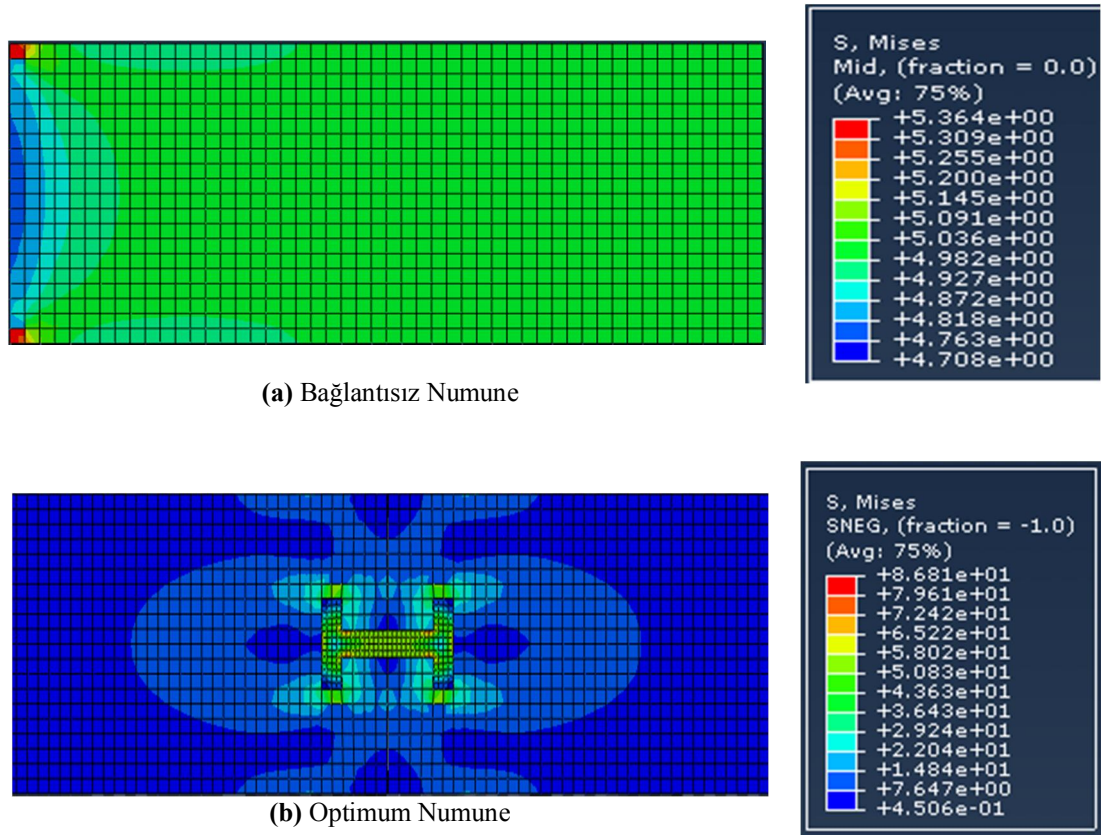
Bu numune üzerinde belirlenen gerilme yolları ve bu gerilme yollarından elde edilen gerilme değerlerinden yararlanarak oluşturulan grafiklere ait analizler aşağıda yeniden verilerek tespiti yapılan kompozit yapının doğruluğu ve yük taşıma uygunluğu gösterilmiştir.



Şekil 4.34 : h değeri 24, 40, 56 mm geometrik parametrelerinin $b=12$ mm ve $z/b=0,3$ oranına göre oluşturulan birleştirmelerine ait Abaqus yazılımı ile yapısal gerilme analizleri.

4.5 Yapısal Modellemenin Doğrulanması

Tez çalışması içerisinde hedeflenen temel unsur en iyi bağlantı şeklinin hangi boyutsal parametreler tarafından sağlandığının belirlenmesi olmuştur. Bu belirlemeyi oluşturan en temel etken ise, kompozit yapının tamamıyla bir bütün olduğu durumdaki gerilme ve yük taşıma değerlerine bağlı olarak ilk hasar oluşumunun en düşük seviyede gerçekleştiği duruma en yakın durumu elde edebilme düşüncesidir. Bu amaçla, I profilli alın birleştirilmiş numuneler içerisinde tespiti gerçekleştirilen optimum yapının, aynı mekanik şartlarda oluşturulan bağlantısız yapının yani bir bütün olduğu haldeki gerilme değerlerinin karşılaştırılması yapılmış olup, numuneler içerisinde optimum olarak belirlenen birleştirmeden elde edilen gerilme değerleri arasındaki fark diğer birleştirmelere göre en düşük seviyede olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.35’de bu karşılaştırma gösterilmiştir.

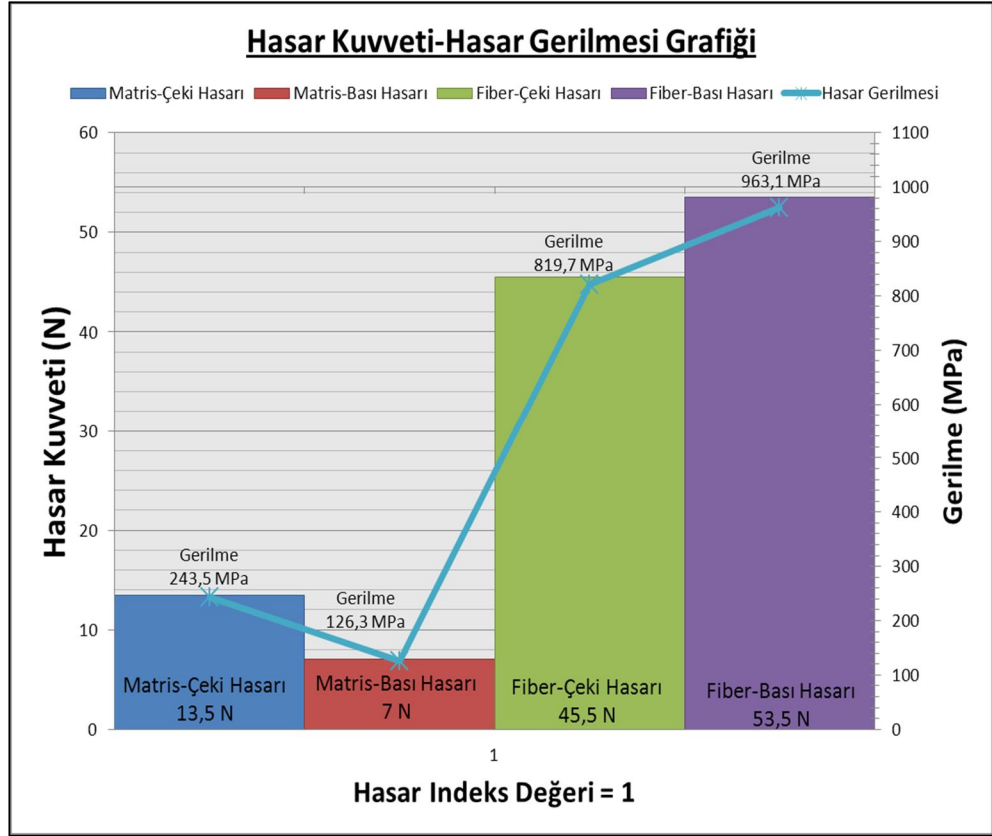


Şekil 4.35 : Bağlantısız ve optimum numunenin gerilmeleri

4.6 Belirlenen Kompozit Yapılarda Hasar Analizleri

Sonlu elemanlar metodu kullanılarak gerçekleştirilen gerilme analizlerinden elde edilen en iyi yük taşıma kapasitesine sahip numunenin hasar analizi, detaylı bir şekilde Hashin Hasar Teorisi kullanılarak $h=24\text{mm}$, $b=12\text{mm}$ ve (z/b) oranı 0,3 değerine sahip olan numune için gerçekleştirilmiştir. Böylece gerilme analizinden elde edilen sonuçlar hasar analizi ile daha net bir şekilde ortaya konulmuş olup, kompozit yapı üzerindeki gerilme değerlerinin yüksek olduğu yerlerde hasar oluşumunun gerçekleştiği yerler olarak tespit edilmiştir. Ayrıca kompozit yapı üzerinde detaylı olarak oluşturulan çözüm ağı içerisinde bulunan her bir çözüm ağı elemanları için ve yapının bileşiminde bulunan matris ve fiberler üzerlerinde oluşabilecek hasarların belirlenmesi Abaqus 6.11 yazılımı ile sağlanmıştır.

Hashin hasar teorisinde problemi oluşturan temel yaklaşım biçimi fiber takviye doğrultusunda ve fibere dik yöndeki doğrultuların dayanımlarının sırası ile fiber mukavemeti ve matris mukavemeti olarak adlandırılmasıdır. Bu nedenle belirlenen kompozit yapıya hasar analizi uygulandığında matris için çeki-bası hasarı ve fiber için çeki-bası hasarı olmak üzere detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca hasarı oluşturan hasar kuvveti değerinin ve bu kuvvetteki hasar gerilme değerinin tespiti hem matris hem de fiber bileşenlerinin çeki ve bası durumları için elde edilmiş olup Şekil 4.36'da gösterilmiştir. Hasar kuvveti değerlerinin bulunması için her bir ara analiz sonucunda elde edilen hasar indeksi değerinin 1 değerine yaklaştırılması esas alınmıştır. Bu nedenle uygulanmış olan kuvvet değerinin çok yavaş bir şekilde artırılması gerekmektedir. Şekil 4.36'dan görüldüğü üzere matris bası hasarı ilk önce ve en düşük kuvvet değerinde başlamakta olup en düşük gerilme değerine sahiptir. Ardından matris çeki hasarı, fiber çeki hasarı ve fiber bası hasarının olduğu değerler görülmektedir.



Şekil 4.36 : $h=24$ mm, $b=12$ mm ve $z/b=0,3$ oranında oluşturulan birleştirmeye ait hasar kuvvetlerinin Hashin Hasar Teorisi kullanılarak Abaqus yazılımı analizleri.

Kompozit yapı için matris çeki hasar indeksi değerinin 1 olmasına neden olan kuvvet değeri 13,5 N olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu kuvvet değerinde diğer hasar türleri ve indeks değerleri de gösterilmiştir. $h=24$ mm ve $b=12$ mm ve (z/b) 0,3 oranında olan I profil kilit birleştirmeli kompozit yapıya ait Hashin hasar analizleri ve matris çeki hasarı başlangıcındaki yapısal gerilme analizi Şekil 4.38’de verilmiştir.

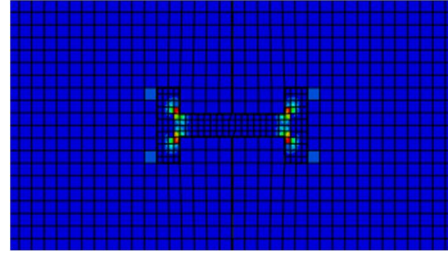
Kompozit yapı için matris bası hasar indeksi değerinin 1 olmasına neden olan kuvvet değeri 7 N olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu kuvvet değerinde diğer hasar türleri ve indeks değerleri de gösterilmiştir. $h=24$ mm ve $b=12$ mm ve (z/b) 0,3 oranında olan I profil kilit birleştirmeli kompozit yapıya ait Hashin hasar analizleri ve matris bası hasarı başlangıcındaki yapısal gerilme analizi Şekil 4.37’de verilmiştir.

Kompozit yapı için fiber çeki hasar indeksi değerinin 1 olmasına neden olan kuvvet değeri 45,5 N olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu kuvvet değerinde diğer hasar türleri ve indeks değerleri de gösterilmiştir. $h=24$ mm ve $b=12$ mm ve (z/b) 0,3 oranında olan I profil kilit birleştirmeli kompozit yapıya ait Hashin hasar analizleri ve fiber çeki hasarı başlangıcındaki yapısal gerilme analizi Şekil 4.39’da verilmiştir.

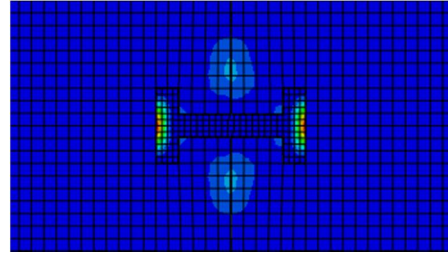
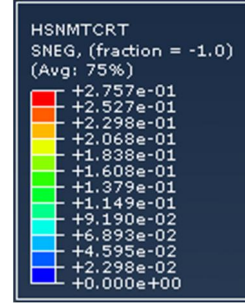
Kompozit yapı için fiber bası hasar indeksi değerinin 1 olmasına neden olan kuvvet değeri 53,5 N olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu kuvvet değerinde diğer hasar turleri ve indeks değerleri de Şekil 4.40'de gösterilmiştir.

Hashin hasar teorisi kullanılarak gerçekleştirilen Abaqus yazılımı analizlerinin sonucunda kompozit yapının uygulanan kuvvete karşı en dşuk dayanımı yani en önce hasar uğrayan bileşeni matris olup bası gerilmesi altında oluşmuştur. Bu kuvvet kompozit yapı için ilk hasar oluşumuna neden olmaktadır. Uygulanan kuvvetin arttırılmasının ardından matris çeki hasarı oluşmaktadır. Uygulanan kuvvete karşı aynı anda tüm hasar mekanizmalarına ait indeks değerleri de elde edilebilmektedir.

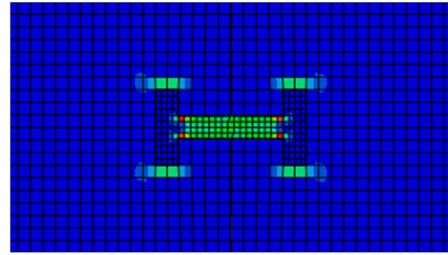
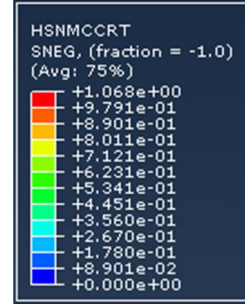
Kompozit yapıyı oluşturan fiberler de ise hasar, matris hasarlarına göre daha yüksek kuvvetlerde elde edilmiştir. Tüm kompozit yapı bir sistem olarak değerlendiğinde yk iletiminin gerçekleştiği bölgeler hem kilit üzerinde hem de kısmi olarak yarı numuneler üzerinde oluştuğu belirlenmiştir.



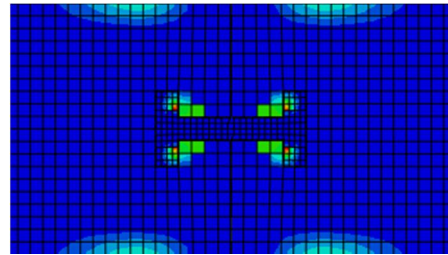
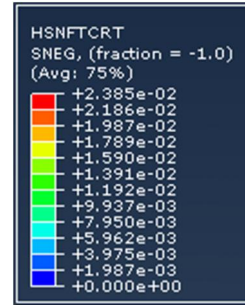
(a) Matris Çeki Hasarı (7 N)



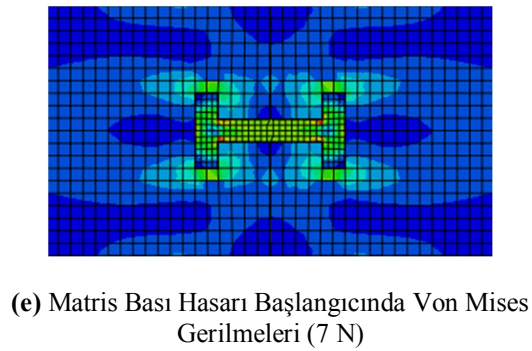
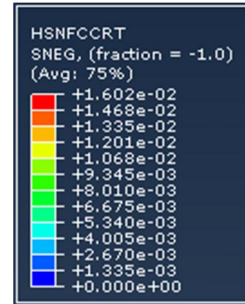
(b) Matris Bası Hasarı (7 N)



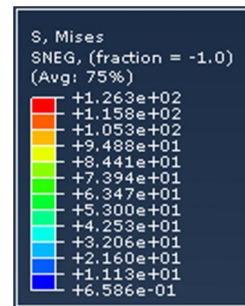
(c) Fiber Çeki Hasarı (7 N)



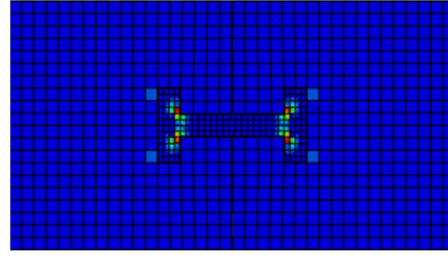
(d) Fiber Bası Hasarı (7 N)



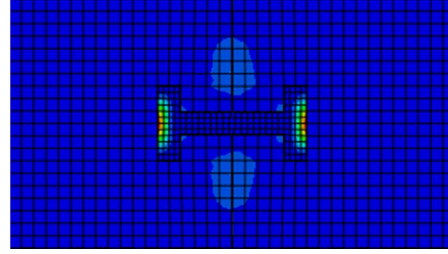
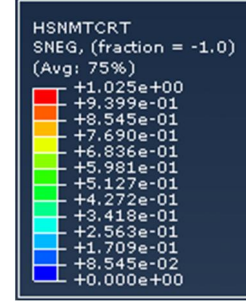
(e) Matris Bası Hasarı Başlangıcında Von Mises Gerilmeleri (7 N)



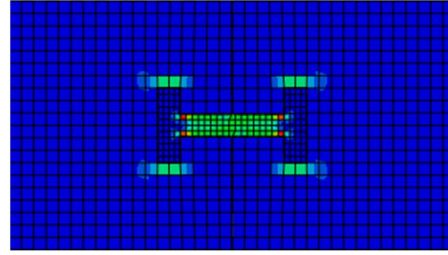
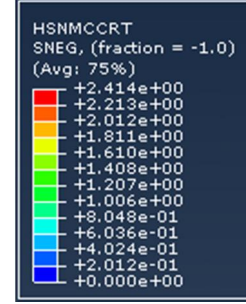
Şekil 4.37 : $h= 24$ mm, $b=12$ mm ve $z/b=0,3$ oranında oluşturulan birleştirmeye ait 7 N kuvvet altında Hashin Hasar Teorisi kullanılarak Abaqus yazılımı analizleri.



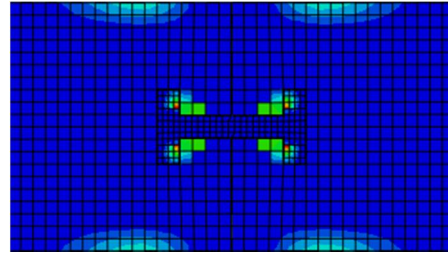
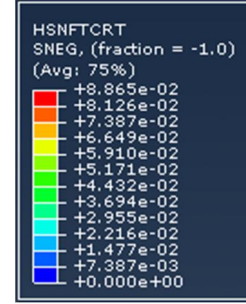
(a) Matris Çeki Hasarı (13,5 N)



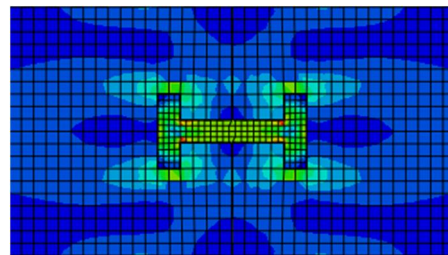
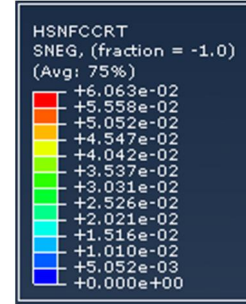
(b) Matris Bası Hasarı (13,5 N)



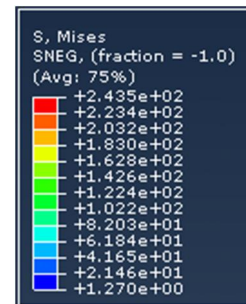
(c) Fiber Çeki Hasarı (13,5 N)



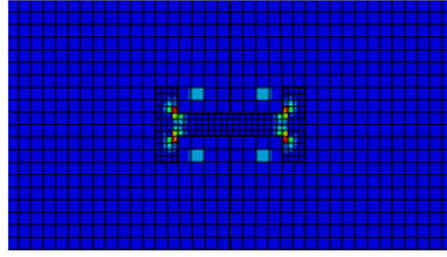
(d) Fiber Bası Hasarı (13,5 N)



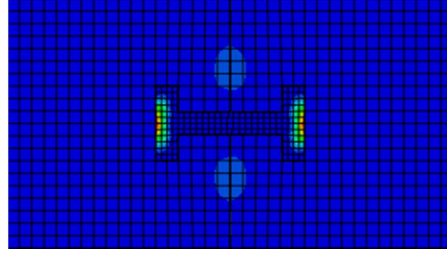
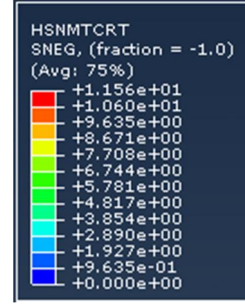
(e) Matris Çeki Hasarı Başlangıcında Von Mises Gerilmeleri (13,5 N)



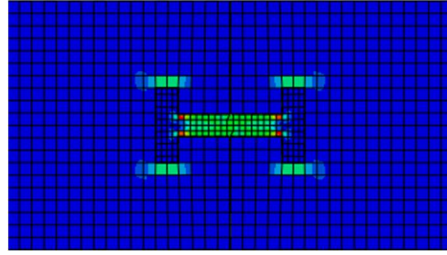
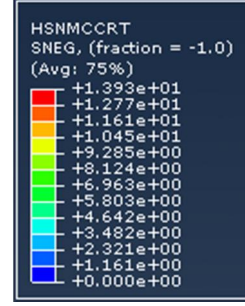
Şekil 4.38 : $h=24$ mm, $b=12$ mm ve $z/b=0,3$ oranında oluşturulan birleştirmeye ait 13,5 N kuvvet altında Hashin Hasar Teorisi kullanılarak Abaqus yazılımı analizleri.



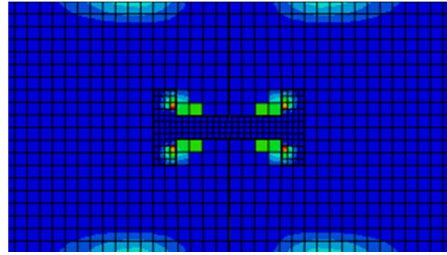
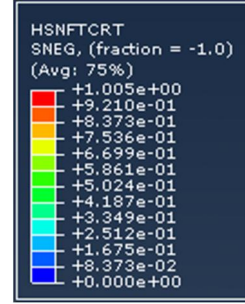
(a) Matris Çeki Hasarı (45,5 N)



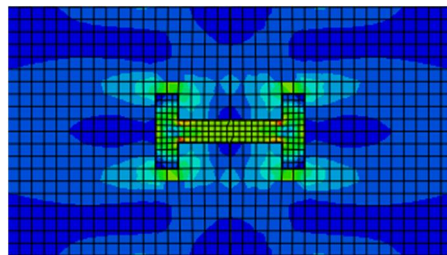
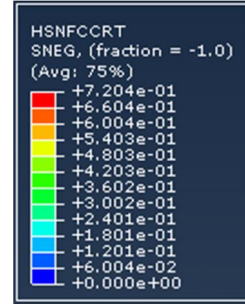
(b) Matris Bası Hasarı (45,5 N)



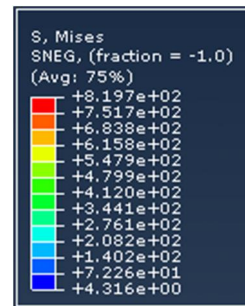
(c) Fiber Çeki Hasarı (45,5 N)



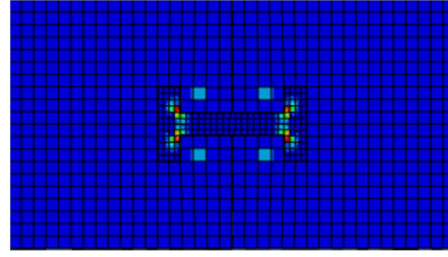
(d) Fiber Bası Hasarı (45,5 N)



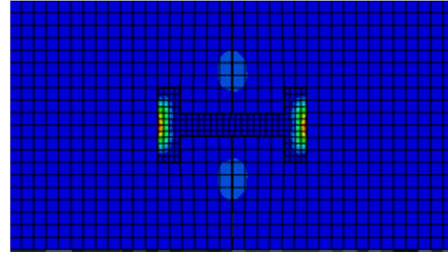
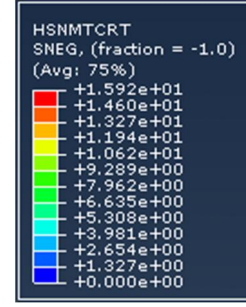
(e) Fiber Çeki Hasarı Başlangıcında Von Mises Gerilmeleri (45,5 N)



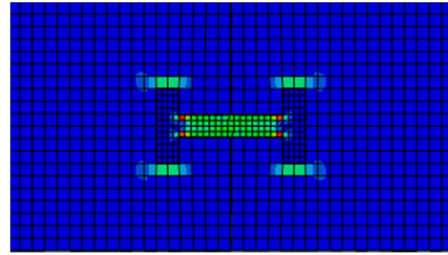
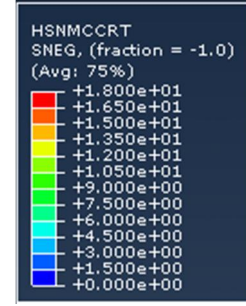
Şekil 4.39 : $h=24$ mm, $b=12$ mm ve $z/b=0,3$ oranında oluşturulan birleştirmeye ait 45,5 N kuvvet altında Hashin Hasar Teorisi kullanılarak Abaqus yazılımı analizleri.



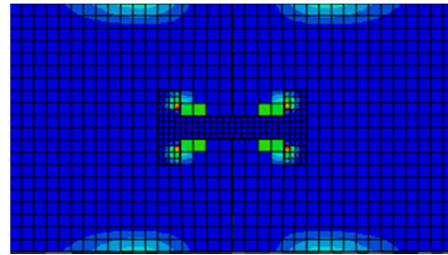
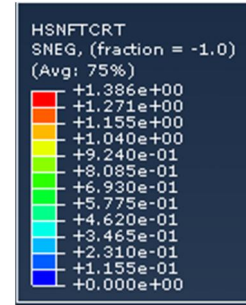
(a) Matris Çeki Hasarı (53,5 N)



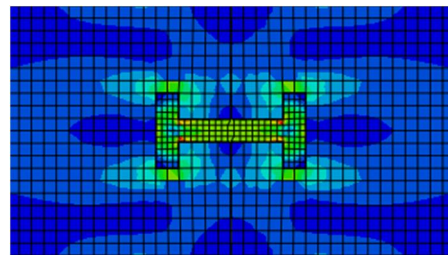
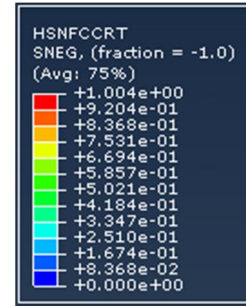
(b) Matris Bası Hasarı (53,5 N)



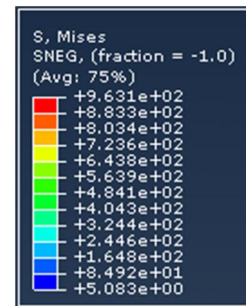
(c) Fiber Çeki Hasarı (53,5 N)



(d) Fiber Bası Hasarı (53,5 N)



(e) Fiber Bası Hasarı Başlangıcında Von Mises Gerilmeleri (53,5 N)



Şekil 4.40 : $h=24$ mm, $b=12$ mm ve $z/b=0,3$ oranında oluşturulan birleştirmeye ait 53,5 N kuvvet altında Hashin Hasar Teorisi kullanılarak Abaqus yazılımı analizleri.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, I profilli alın birleştirilmiş bağlantıların geometrik parametrelerinin (b/w , z/b , $h/2W$) dört tabakalı ve sıfır oryantasyon açısındaki kompozit plakaların birleştirilmesinde, ilk hasar yüklerinin oluşumu üzerindeki etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Bu etkileşimin ortaya konulabilmesi amacıyla, hem bağlantı elemanı olarak kullanılan kilit üzerinde hem de birleştirilmesi yapılan numuneler üzerinde belirlenen yollar üzerlerindeki gerilme değerlerinin incelenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- I profilli kilidin uç genişliğinin numune genişliğine oranının büyük olduğu değerlerde, bağlantı ve numune üzerinde ilk hasarın daha hızlı oluştuğu ile birleştirmenin daha az yük iletebildiği belirlenmiştir.

- I profilli kilidin yarı uzunluğunun numune genişliğine oranının küçük olduğu değerlerde, numunelerin üzerlerindeki gerilme alanları daha dar olmakla beraber daha çok kilit üzerinde oluştuğu tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak mevcut diğer geometrik parametrelerin değerlerinin azaltıldığı numunelerde ise ilk hasar oluşumu geç meydana gelmiş olup önemli bir bölümünün kilit üzerinde bulunduğu tespit edilmiştir. Bu numunelerde I profilli kilitlerin, kompozit yapının kullanım ömrünün daha uzun olmasını sağladığı belirlenmiştir.

I profilli mekanik alın birleştirmelerde en az gerilme alanı ve ilk hasar oluşumunun en geç meydana geldiği numunelerde, kilit uzunluğunun (h) 24 mm, kilit uç genişliğinin (b) 12 mm ve kilit et kalınlığının kilit uç genişliğine oranının (z/b) 0,3 olduğu tespit edilmiştir.

- I profilli birleştirmelerin ilk hasar oluşumları, alın birleştirmelerinden daha geç oluştuğu tespit edilmiştir.

Kullanılan aln birleştirmelerinde oluşabilecek ani hasar gelişimine bağlı olarak kopmalardan dolayı ana yapının tamiri m¼mk¼n olamamaktadır. Aln birleştirmeler, I profilli birleştirmeler ile desteklenecek olursa hasar oluşumu ¼nlenerek yapının kullanım s¼resi arttırılabilir b¼ylece ekonomik olması da sağlanabilir.

5.2 ¼neriler

I profilli aln birleştirmelerin tasarımı s¼recinde kullanılan geometrik parametrelerle oluşturulan birleştirmelerin geometrik Őekillerindeki ani kesit değişimleri nedeniyle, y¼k iletimi esnasındaki gerilme yığılmalarını en aza indirecek Şekilde bağlantı modelinin geometrisi geliştirilebilir. Ek olarak birleştirmenin ¼eřitli yapıştırıcı ve takviyelerle yapılmasıyla da I profilli bağlantı kilidi ile numuneler arasında daha farklı ve y¼ksek mekanik performanslar elde edilebilir. Ayrıca diğer aln birleştirme t¼rleri ile beraber kullanılarak karma bir bağlantı yapısı da oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

- Aktaş, A., Dirikolu M. H.,** 2004: An experimental and numerical investigation of strength characteristics of carbon-epoxy pinned-joint plates. *Composites Science and Technology* 64, 1605–1611.
- Aktaş, A., Polat Z.,** 2010: Improving Strength Performance of Adhesively Bonded Single-lap, *Composite Joints*. DOI: 10.1177/0021998310369594.
- Aktaş, A., Polat Z.,** 2010: Improving Strength Performance of Adhesively Bonded Single-lap, *Composite Joints*. DOI: 10.1177/0021998310369594.
- Altan, G., Topçu, M.,** 2010: Experimental and numerical assessment of the improvement of the load-carrying capacities of butterfly-shaped coupling components in composite structures, *Journal of Mechanical Science and Technology*. DOI 10.1007/s12206-010-0340-5.
- Aymerich, F., Onnis, R., Priolo, P.,** 2006: Analysis of the effect of stitching on the fatigue strength of single-lap composite joints. *Composites Science and Technology* 66, 166–175.
- Baucom, J. N., Thomas, W. R., Qidwai, M. A.,** 2010: Tiled Composite Laminates, *Journal of Composite Materials* 2010 44: 3115, DOI: 10.1177/0021998310373516.
- Brink, D. D., Mailand, J. C., Levi, C. G., Leckie, F. A.,** 2009: Deformation behavior of model MMC scarf joints, *Composites: Part A* 40, 1407–1418.
- Breitzman, T. D., Iarve, E. V., Cook, G. A., Schoeppner, L. R. P.,** 2009: Optimization of a composite scarf repair patch under tensile loading, *Composites: Part A* 40, 1921–1930.
- Boscolo, M., Zhang, X.,** 2010: A modelling technique for calculating stress intensity factors for structures reinforced by bonded straps. Part I: Mechanisms and formulation, *Engineering Fracture Mechanics* 77, 883–895.
- Boyd, S. W., Dulieu Barton, J. M., Rumsey, L.,** 2006: Stress analysis of finger joints in pultruded GRP Materials, *International Journal of Adhesion & Adhesives* 26, 498–510.
- Cagatay, M. B., Anil, O.,** 2010: Anchorages Effects on CFRP-to-concrete Bond Strength DOI: 10.1177/0731684408100259.
- Camanho, P. P., Lambert, M.,** 2006: A design methodology for mechanically fastened joints in laminated composite materials, *Composites Science and Technology* 66, 3004–3020.
- Campilho, R. D. S. G., Moura, M. F. S. F., Domingues, J. J. M. S.,** 2008: Using a cohesive damage model to predict the tensile behaviour of CFRP single-strap repairs, *International Journal of Solids and Structures* 45, 1497–1512.

- Chalkey, P., Rose, F.**, 2001: Stress analysis of double-strap bonded joints using a variational Method, *International Journal of Adhesion & Adhesives* 21, 241–247.
- Chen, J., Ravey, E., Hallett, S., Wisnom, M., Grassi, M.**, 2009: Prediction of delamination in braided composite T-piece specimens, *Composites Science and Technology* 69, 2363–2367.
- Cheng, J., Wu, X., Li, G., Pang, S., Taheri, F.**, 2007: Analysis of an adhesively bonded single-strap joint integrated with shape memory alloy (SMA) reinforced layers, *International Journal of Solids and Structures* 44, 3557–3574.
- Chisti, M., Wang, C. H., Thomson, R. S., Orifici, A.**, 2010: Progressive Damage in Single Lap Countersunk Composite Joints. IOP Conf. Series: *Materials Science and Engineering* 10, 012064 DOI: 10.1088/1757-899X/10/1/012064.
- Chuan, S. H.**, 1999: Stress analysis of adhesively-bonded lap joints, *Composite Structures* 47, 673–678.
- Dano, M. L., Gendron, G., Picard, A.**, 2000: Stress and Failure Analysis of Mechanically Fastened Joints in Composite Laminates, *Composite Structures* 50, 287–296.
- Dvorak, J. G., Zhang, J., Canyurt, O.**, 2001: Adhesive Tongue-and-Groove Joints for Thick Composite Laminates, *Composites Science and Technology* 61, 1123–1142.
- Dvorak, J. G., Bahei, Y. A.**, 2001: New designs of adhesive joints for thick composite laminates, *Composites Science and Technology* 61, 19–40.
- Gunnion, A. J., Herszberg, I.**, 2006: Parametric study of scarf joints in composite structures, *Composite Structures* 75, 364–376.
- Fawzia, S., Zhao, X. L., Mahaidi, R.**, 2010: Bond–slip models for double strap joints strengthened by CFRP, *Composite Structures* 92, 2137–2145.
- Fawzia, S., Zhao, X. L., Mahaidi, R.**, 2006: Experimental and finite element analysis of a double strap joint between steel plates and normal modulus CFRP, *Composite Structures* 75, 156–162.
- Feiha, S., Shercliff, H. R.**, 2005: Composite failure prediction of single-L joint structures under bending, *Composites: Part A* 36, 381–395.
- Fredrickson, B. M., Schoeppner, G. A., Mollenhauer D. H., Palazotto, A. N.**, 2008: Application of three-dimensional spline variational analysis for composite repair, *Composite Structures* 83, 119–130.
- Fu, M., Mallick, P. K.**, 2001: Fatigue of hybrid joints in SRIM composites. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 21, 145–159.
- Gama, B. A., Mahdi, S., Cichanowski, C., Yarlagaadda, S., Gillespie, J. R.**, 2004: Static and Dynamic Strength of Scarf-Repaired Thick-Section Composite Plates, *Joining and Repair of Composite Structures*, ASTM STP 1455, K. T. Kedward and H. Kim, Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA.

- Icten, B. M., Karakuzu, R., Toygar, E. M.,** 2006: Failure analysis of woven kevlar fiber reinforced epoxy composites pinned joints. DOI: 10.1177/002199803038108.
- Jones, R. M.,** 2009. “*Mechanics of composite materials (5th ed.)*”. US: Taylor & Francis Inc.
- Kinloch, A. J., Kodoklan, G. K. A.,** 1992: The Design of Double-Overlap Joints Using Thermoplastic-Fibre Composites, *J. Adhesion*, Vol. 37, pp. 33-45.
- Kradinov, V., Madenci, E., Ambur, D. R.,** 2005: Bolted lap joints of laminates with varying thickness and metallic inserts, *Composite Structures* 68, 75–85.
- Kim, J. H., Park, B. J., Han, Y. W.,** 2004: Evaluation of fatigue characteristics for adhesively bonded composite stepped lap joint, *Composite Structures* 66, 69–75.
- Kedward, K. T., Whitney, J. M.,** 2002. “*Design studies (Volume 5)*”, In L.A. Carlsson and J.W. Gillespie (Eds.), Basic configurations. Lancaster, A technomic Publishing Company.
- Lubineau, G., Ladeveze, P.,** 2008: Construction of a micromechanics-based intralaminar mesomodel, and illustrations in ABAQUS/Standard, *Computational Materials Science* 43, 137–145.
- Mines, R. A. W., Alias, A.,** 2002: Numerical Simulation of the Progressive Collapse of Polymer Composite Sandwich Beams Under Static Loading. *Composites: Part A* 33, 11-26.
- Monteiro, A. H., Sampaio, E. M., Costamattos H. S.,** 2010: Static failure analysis of axially loaded aluminium–epoxybutt joints, *International Journal of Adhesion & Adhesives* 30, 774–780.
- Naik, N. K., Azad, N. M., Prasad P. D.,** 2002: Stress and Failure Analysis of 3D Angle Interlock Woven Composites, *Journal of Composite Materials*, 36: 93, DOI: 10.1177/0021998302036001303.
- Nie, J., Lu, S., Gu B.,** 2006: Fractional Formula Description of Angle-interlock Woven Fabric Construction. DOI: 10.1177/1528083706067690.
- Okutan B.,** 2001. “*Stres and failure analysis of laminated composite pinned joints*”, Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ouyang, Z., Li G.,** 2009: Cohesive zone model based analytical solutions for adhesively bonded pipe joints under torsional loading. *International Journal of Solids and Structures* 46, 1205–1217.
- Sangree, R. H., Schaffer B. W.,** 2009: Experimental and numerical analysis of a halved and tabled traditional timber scarf joint. *Construction and Building Materials* 23, 615–624.
- Sangree, R. H., Schaffer B. W.,** 2009: Experimental and numerical analysis of a stop-splayed traditional timber scarf joint with key. *Construction and Building Materials* 23, 376–385.

- Santiuste, C., Barbero E., Miguelez M. H.,** 2011: Computational analysis of temperature effect in composite bolted joints for aeronautical applications, *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 30: 3, DOI: 10.1177/0731684410385034.
- Soni, S., Das S., Chattopadhyay A.,** 2009: Simulation of Damage-features in a Lug Joint using Guided Waves, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*,20: 1451, DOI: 10.1177/1045389X09103064.
- Starikov, R., Schön, J.,** 2002: Local fatigue behaviour of CFRP bolted joints. *Composites Science and Technology* 62, 243–253.
- Tzetzis, D., Hogg, P. J.,** 2008: Experimental and finite element analysis on the performance of vacuum-assisted resin infused single scarf repairs. *Materials and Design* 29, 436–449.
- Url-1** <<http://www.camelyaf.com>>, alındığı tarih 15.06.2012.
- Xiao, X., Foss, P. H., Schroeder, J. A.,** 2004: Stiffness prediction of the double lap shear joint, Part 2: Finite element modeling, *International Journal of Adhesion & Adhesives* 24, 239–246.
- Wanga, C. H., Gunnion, A. J.,** 2009: Optimum shapes of scarf repairs, *Composites: Part A* 40, 1407–1418.
- Yang, C., Huang, H., Tomblin J. S., Sun, W.,** 2004: Elastic-plastic Model of Adhesive-bonded Single-lap Composite Joints. DOI: 10.1177/0021998304039268.
- Yang, Z., Su, X., Liu, G.,** 2010: Finite Element Modelling Of Complex 3d Static And Dynamic Crack Propagation By Embedding Cohesive Elements In Abaqus, *Acta Mechanica Solida Sinica*, Vol. 23, No. 3, ISSN 0894-9166.
- Zhao, L., Qin, T., Shenoi, R. A., Zhang, J., Liang, X., Huang, H.,** 2010: Strength Prediction of Composite P Joints Under Tensile Load, *Journal of Composite Materials* 44: 2759, DOI: 10.1177/0021998310369593.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Halil Murat Enginsoy
Doğum Yeri ve Tarihi: Afyonkarahisar / 22.06.1987
Adres: İncilipınar Mah. 1219 Sokak No:7 / 2 DENİZLİ
Lisans Üniversite: Pamukkale Üniversitesi