

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOMPOZİT PARÇALARIN ÇEŞİTLİ**  
**YAPIŞTIRMALI BAĞLANTI TASARIMLARININ**  
**KARŞILAŞTIRILMASI**

**Abbas RAZMİ**

**Temmuz, 2011**

**İZMİR**

**KOMPOZİT PARÇALARIN ÇEŞİTLİ  
YAPIŞTIRMALI BAĞLANTI TASARIMLARININ  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Makine Mühendisliği Bölümü, Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı**

**Abbas RAZMi**

**Temmuz, 2011**

**İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ABBAS RAZMİ, tarafından YRD. DOÇ. DR. ÇİÇEK ÖZES yönetiminde hazırlanan “KOMPOZİT PARÇALARIN ÇEŞİTLİ YAPIŞTIRMALI BAĞLANTI TASARIMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



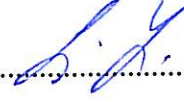
Yrd. Doç. Dr. Çiçek ÖZES

Yönetici



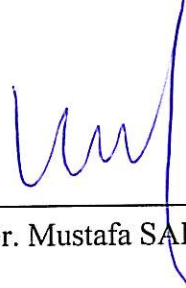
Yrd. Doç. Dr. Serdar KARAOĞLU

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Çınar YENİ

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli zamanlarını bana ayırarak, bilgi, tecrübe ve değerli katkılarıyla beni yönlendiren Sayın Yrd. Doç. Dr. Çiçek ÖZES'e teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Tez çalıőmamda bana yardımcı olan arkadaşım Mustafa ÖZEN'e ve Görkem TOPÇUOđLU'ya teşekkür ederim.

Son olarak bugünlere gelmemi sağlayan, beni her konuda destekleyen, bana güvenen, her zaman yanımda olan canım anneme ve babama sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Abbas RAZMİ



# KOMPOZİT PARÇALARIN ÇEŞİTLİ YAPIŞTIRMALI BAĞLANTI TASARIMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

## ÖZ

Gelişen Teknoloji ile birlikte kompozit kullanımının artması, kompozit bağlantı tasarımlarının önemini de arttırmaktadır. Kompozit malzemeler cıvata, perçin ve yapıştırıcı gibi farklı yöntemler kullanılarak birleştirilebilir. Bu yöntemlerden yapıştırıcı ile birleştirme yöntemi diğer yöntemlere kıyasla daha kolay ve ekonomiktir. Ayrıca bu yöntem ile birleştirilen bağlantılarda daha hafif tasarımlar ve düzgün gerilme dağılımı elde edilebilmektedir. Bu sebeplerden dolayı, kimyasal ve teknolojik alanlardaki gelişmelere paralel olarak yapıştırıcı ile birleştirme yönteminin sanayide kullanımı artmaktadır.

Bu çalışmada kompozit malzemelerde yapıştırıcı ile birleştirme yöntemlerinden olan bindirme bağlantısı, köşe bağlantısı ve T bağlantısının sonlu elemanlar analiz programı ANSYS yardımı ile analiz edilmiştir. Eşit kuvvetlere maruz bırakılmaları durumunda bu bağlantı tasarımlarında oluşacak gerilme değerleri karşılaştırılmıştır ve aralarından en uygun tasarımlar seçilmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Yapıştırıcı, Bindirme Bağlantısı, Köşe bağlantısı, T bağlantısı, ANSYS, Sonlu Elemanlar, Gerilme Analizi.

# COMPARISON OF VARIOUS ADHESIVE JOINT DESIGNS OF COMPOSITE PARTS

## ABSTRACT

With the developing technology, the increase use of composite, also increasing the importance of composite joint designs. Composite materials can be connected by using various methods such as bolts, rivets and adhesive. Among these methods, bonded joint method is easier and more economic in comparison with other methods. Also, in joints connected with this method, lighter constructions and uniform stress distributions can be achieved. Because of these reasons, as the technology and chemical field progress, usage of bonded joints in industry is increasing.

In this study, lap joint, corner joint and T joint which are connecting methods in composite materials have been analysed by ANSYS program which is the analyse program of finite elements. The stress values occurred in these joints designs objected to equal forces have been compared to each other and the most suitable one has been chosen.

**Keywords:** Adhesive, Lap Joints, Corner Joints, T Joints, ANSYS, Finite Element, Stress Analyse.

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
ABSTRACT .....	iv
ÖZ .....	v
<b>BÖLÜM BİR-GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Giriş .....	1
1.2 Literatür Araştırması .....	2
1.3 Amaç ve Kapsam .....	8
<b>BÖLÜM İKİ- KOMPOZİT MALZEMELER .....</b>	<b>9</b>
2.1 Giriş .....	9
2.2 Kompozitin Tanımı .....	9
2.3 Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları .....	10
2.4 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması .....	12
2.4.1 Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler .....	12
2.4.1.1 Sürekli Elyaf Takviyeli Kompozitler .....	12
2.4.1.2 Kısa Elyaf Takviyeli kompozitler .....	13
2.4.1.3 Rastgele Düzlemsel Yönlendirilmiş Kompozitler .....	14
2.4.2 Parçacıklarla Takviyeli Kompozit Malzemeler .....	15
2.4.3 Tabakalı Kompozit Malzemeler .....	16
2.5 Sandviç Malzemeler .....	17
2.5.1 Sandviç Malzemelerin Çeşitleri .....	17
2.5.1.1 Yüzey Çeşitleri .....	17
2.5.1.1.1 Cam Elyafı .....	18
2.5.1.1.2 Aramid Elyafı .....	18
2.5.1.1.3 Karbon Elyafı .....	18
2.5.1.1.4 Boron Elyafı .....	18
2.5.1.1.5 Diğer plastik elyaf .....	18

2.5.1.2 Reçine Çeşitleri .....	19
2.5.1.2.1 Polyesterler .....	19
2.5.1.2.2 Vinylesterler .....	19
2.5.1.2.3 Epoksiler .....	19
2.5.1.3 Çekirdek Çeşitleri .....	19
2.5.1.3.1 PVC Köpükler .....	19
2.5.1.3.2 Balsa .....	20
2.5.1.3.3 Tahta .....	20
2.5.1.3.4 Bal Peteği (Honeycomb) .....	20
2.6 Petekli Yapılar .....	20
2.6.1 Petekli Yapı Üretim Yöntemleri .....	22
2.6.1.1 Uzatarak Şekil Verme Yöntemi .....	22
2.6.1.2 Kıvrırma Yöntemi .....	23

## **BÖLÜM ÜÇ- SONLU ELEMANLAR METODU İLE GERİLME ANALİZİ . 24**

3.1 Giriş .....	24
3.2 Bindirme Bağlantı Tasarımları .....	26
3.2.1 Tek Tesirli Bindirme Bağlantı Tasarımı .....	28
3.2.2 Tek Kademeli Bindirme Bağlantı Tasarımı .....	31
3.2.3 Çift Kademeli Bindirme Bağlantı Tasarımı .....	34
3.2.4 Geçmeli Bağlantı Tasarımı .....	37
3.3 Köşe bağlantı Tasarımları .....	40
3.3.1 Desteksiz Köşe Bağlantı Tasarımı .....	42
3.3.2 L Profil İle Desteklenmiş Köşe Bağlantı Tasarımı .....	45
3.3.3 U Profil İle Desteklenmiş Köşe Bağlantı Tasarımı .....	48
3.4 T bağlantı tasarımları .....	53
3.4.1 Desteksiz T Bağlantı Tasarımı .....	55
3.4.2 L Profil İle Desteklenmiş T Bağlantı Tasarımı .....	58
3.4.3 U Profil İle Desteklenmiş T Bağlantı Tasarımı .....	63
3.4.4 Geçmeli T Bağlantı Tasarımı .....	68

**BÖLÜM DÖRT- SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER ..... 70**

**Kaynaklar ..... 71**

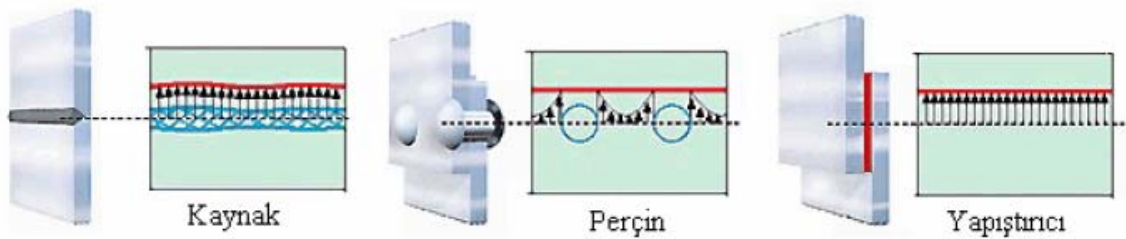
## BÖLÜM BİR

### GİRİŞ

#### 1.1 Giriş

Kompozit malzemeler ve onların üretim yöntemlerinde son yıllarda önemli atılımlar gerçekleştirilmiştir. Bu durum hava taşıtlarının birçok parçasında polimer matris kompozitlerin yeni uygulama alanı bulmasına sebep olmuştur. Kompozit malzemelerde meydana gelen bu hızlı gelişim, taşıyıcı yapı elemanların birleştirme yöntemlerinde etkili ve güvenilir ilerlemelerin ortaya çıkmasını, dolayısıyla mekanik birleştirme yöntemlerinden uzaklaşılmasını zorunlu hale getirmiştir.

Yapısal yapıştırıcılar mühendislik malzemeleridir ve yapıştırıcı ile birleştirme işlemleri üretim mühendisliğinin bir parçası olarak kabul edilmektedir. Modern endüstriyel tasarımcılar ve mühendisler çivileme, cıvatalama, perçinleme, lehimleme, kaynaklama ya da yapıştırma gibi iki parçayı birleştirmek istediklerinde kullanacakları yöntemin avantaj ve dezavantajlarını göz önünde bulundurmaları zorundadırlar. Mekanik olarak birleştiren bağlantılar ile karşılaştırıldıklarında yapıştırıcı birleştirmeli bağlantılar daha az gerilme yığılması, Şekil 1’de görüldüğü gibi daha üniform yük dağılımı, daha fazla tasarım esnekliği ve imalat kolaylığı, hafiflik, sızdırmazlık, korozyon direnci, ısı ve ses yalıtımı, sönümleme ve daha mükemmel yorulma özelliklerine sahiptirler.



Şekil 1.1 Kaynak, perçin ve yapıştırıcılarla birleştirmede oluşan gerilme yığılmaları (Loctite, 1998).

Yapıştırıcılar, yüzeylere sürülüp katılaştıklarında parçaları birbirine bağlama özelliğine sahiptir. Yapıştırıcılar birkaç farklı şekilde sınıflandırılabilir. Tek bileşenli sıvı yapıştırıcılar, iki bileşenli sıvı yapıştırıcılar ve film yapıştırıcılar fiziksel hallerine göre sınıflandırmayı; metal-metal yapıştırıcılar, kâğıt yapıştırıcılar ve ahşap

yapıştırıcılar, esas malzemeye göre sınıflandırmayı göstermektedir. Epoksi yapıştırıcılar, siyanoakrilit yapıştırıcılar ve polikloropen yapıştırıcılar da kimyasal formlarına göre sınıflandırmaya birkaç örnektir. Yapıştırma şartlarına göre sınıflandırmaya ise çözücü ile katılan yapıştırıcılar, soğuk katılan yapıştırıcılar ve erimiş durumda uygulanan ve soğuyup sertleştiğinde yapışma sağlayan (hotmelt) yapıştırıcılar örnek gösterilebilir.

Genel olarak yapıştırıcı birleştirmeli bağlantıların mukavemeti; birleşen parçaların büyüklüğüne, kalınlığına, geometrisine, elastik modülüne, yapıştırıcının kayma modülüne, yapışma uzunluğuna, yapışma yüzeylerinin ön işlemlerine, yapışma işlemine ve yapıştırıcı birleştirmeli bağlantının maruz kalacağı şartlara bağlıdır.

Kompozit yapılar cıvata, perçin ya da yapıştırıcı kullanılarak birleştirilebilir. Bahsedilen bağlantı tiplerinin performansları tabakalı kompozit malzemelerin karakteristikleriyle etkilenmektedir. Fakat yapıştırıcı birleştirmeli bağlantılar mekanik olarak birleştiren bağlantılardan çok daha etkili bir şekilde yük aktarımı sağlamaktadır.

## **1.2 Literatür Araştırması**

Kinloch (1987) tarafından hazırlanan “ Adhezyon ve Yapıştırıcılar” adlı yayında, adhezyon olayının açıklanmasında kullanılan teoriler incelenerek, adhezyon olayını tek bir teori ile açıklamanın yeterli olmadığı sonucuna varılmış, teorilerden birkaçının bir araya gelmesi ile oluştuğu belirtilmiştir. Yapıştırma yüzeylerinin hazırlanması ve yapıştırıcıların sertleşme mekanizmaları hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca yapıştırma bağlantılarının mekanik davranışları ve kırılma mekaniği hakkında açıklamalar yapılmıştır. Yapıştırma bağlantılarının statik ve dinamik yükleme durumları hakkında bilgiler verilerek servis ömürleri açıklanmaya çalışılmıştır.

Kinloch (1997) tarafından hazırlanan “Mühendislikte Yapıştırıcılar” adlı yayında, yapıştırıcıların kullanımlarındaki gelişmeler, otomotiv sanayisindeki ve uçak sanayisindeki kompozit malzeme yapımında kullanılmaları üzerinde durulmuştur. Yapıştırıcıların kullanılma nedenleri ve kullanımını kısıtlayan faktörler

vurgulanmış, konstrüktif olarak dikkat edilmesi gereken kurallar üzerinde durulmuş adhezyon, kohezyon ve curing (sertleşme) olayları açıklanmaya çalışılmıştır. Soyulma kuvvetlerine maruz birleştirmelerdeki geometrinin etkisi teorik olarak incelenmiştir. Çevre şartlarının yapıştırma bağlantısının nihai ömrü üzerindeki etkilerinin önemi açıklanmıştır.

Yapıştırma bağlantılarının mekanik davranışının tespit edildiği farklı deneysel yöntemler olmasına rağmen, basit geometrileri, üretim proseslerinin kolay oluşundan dolayı, yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek taraflı bindirme bağlantılarının deneysel yöntemlerde kullanımı daha yaygındır (ASTM D1002, ISO 4587, ASTM D3165) ve birçok yapıştırma bağlantı modeli tek taraflı bindirme bağlantı geometrisi kullanılarak geliştirilmiştir (Andruet 1998).

Sawa vd (2000), çekme yüküne maruz farklı yapıştırılan malzemelerin yapıştırılması ile oluşturulmuş tek taraflı bindirme bağlantısını iki boyutlu elastisite teorisini kullanarak analiz etmişlerdir. Ara yüzeyde oluşan gerilme dağılımı üzerine, yapıştırılan malzeme kalınlığı, yapıştırıcı tabakasının kalınlığı ve yapıştırılan malzemelerin elastisite modül farklarından oluşan etkileri analiz etmişlerdir. Yapıştırılan malzeme kalınlığı ve elastisite modülünün yapıştırmanın yapıldığı bölgenin serbest uçlarında oluşan gerilme dağılımları üzerine son derece büyük bir etkisinin olduğunu göstermişlerdir.

Özel vd (2003), farklı özelliklere sahip iki farklı yapıştırıcı kullanarak oluşturulmuş ve dört noktadan eğme yüküne maruz tek taraflı bindirme bağlantısında sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analizi yapmışlar ve elde ettikleri sonuçları deneysel verilerle karşılaştırmışlardır. Sayısal analizle, yapıştırılan malzeme kalınlığının bağlantı performansı üzerine son derece önemli bir etkisinin olduğunu göstermişlerdir.

Sawa vd (2002) tarafından yapılan çalışmada, tek taraflı bindirmeli bağlantılarda gerilme dalga ilerlemesi ve gerilme dağılımı elastik 3 boyutlu sonlu elemanlar metodu kullanılarak analiz edilmiştir. Yapıştırılacak malzemenin elastisite modülü, yapıştırma uzunluğu, yapıştırıcı ve yapıştırılacak malzemelerin kalınlıklarının gerilme dalga ilerlemesi ve gerilme dağılımı üzerine etkileri incelenmiştir. Yapılan



analizler sonucunda yapıştırıcının elastisite modülünün artmasıyla maksimum gerilme değeri artmıştır. Yapıştırma uzunluğunun, yapıştırıcı ve yapıştırılan malzemenin kalınlıklarının artmasıyla gerilme değeri azalmıştır.

Higuchi vd (2003) tarafından yapılan bir çalışmada, T şeklindeki alüminyum malzemenin epoksi yapıştırıcı kullanarak alından yapıştırılıp darbe eğilme momenti uygulanarak gerilme dalga ilerlemesi ve gerilme dağılımı deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Ara yüzeydeki maksimum gerilme, malzemenin elastisite modülünün artmasıyla artmıştır. Özel olarak, malzemedeki uygulanan yapıştırma uzunluğu flanş uzunluğuna eşit olduğunda, malzemenin elastisite modülü azaldıkça ara yüzeydeki maksimum gerilme artmıştır. Ayrıca yapıştırma kalınlığının azalmasıyla gerilme değeri artmıştır.

Deneysel ve nümerik olarak yapılan bir çalışmada, küçük şekil değiştirme oranları ile darbe eğilme momenti altında, tek taraflı yapıştırma bağlantılarında gerilme dağılımı ve elastik gerilme dalga ilerlemesi sonlu elemanlar metodu kullanılarak analiz edilmiştir. Bu gerilme değerlerine; yapıştırma uzunluğunun, yapıştırma kalınlığının, yapıştırılan malzemelerin kalınlığının ve elastisite modülünün etkileri incelenmiştir. Yapıştırılan malzemenin elastisite modülü ve yapıştırma uzunluğu artarken maksimum gerilme de artmıştır ama bu sonuçlar statik eğilme momenti sonuçları ile tezat oluşturmaktadır. Yapıştırılan malzeme kalınlığı artarken ve yapıştırıcı kalınlığı azalırken maksimum gerilme değeri artmıştır. Nümerik sonuçlar ile deneysel sonuçlar birbirine yakın değerler olarak bulunmuştur (Higuchi vd 2002).

Kompozitlerin yapıştırma bağlantıları üzerine yapılan bir çalışmada, iki kompozit (SMC) plaka epoksi yapıştırıcı ile birleştirilerek, statik ve yorulma dayanımları deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler sonucunda, statik kopma yükünün yapıştırıcı kalınlığı kadar bindirme uzunluğuna da bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Maksimum kesme kuvveti 0,33mm yapıştırıcı kalınlığında bulunmuştur. Bağlantının  $10^6$  yük tekrarındaki yorulma dayanımının, statik dayanımın %50 ile %54'ü arasında değiştiği bulunmuştur (Mazumdar ve Mallick 1998).

Alüminyum alaşımı plakalar epoksi yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmiş ve bağlantının statik ve yorulma mukavemeti, sonlu elemanlar yöntemi ve deneysel

çalışmalar yardımıyla incelenmiştir. Statik deneylerde 0,3mm yapıştırıcı kalınlığı, 0,1mm kalınlığa nazaran daha yüksek kopma kuvvetleri göstermiştir. Yorulma deneylerinde ise kalınlığın değişmesi, sürekli mukavemet değerlerini çok fazla değiştirmemiştir (Krenk vd 1996).

Aydın (2003) tarafından hazırlanan doktora tezinde, alüminyum alaşımli malzemelerin tek tesirli bindirme bağlantısında kullanılan, FM73 ve SBT 9244 yapıştırıcılarının bağlantıdaki performanslarını değerlendirmek amacıyla, yapıştırılan malzeme kalınlığı ve bindirme uzunluğunun bağlantı dayanımı üzerine etkisi farklı yükleme şartlarında (çekme ve dört noktadan eğme) deneysel olarak incelenmiştir. Her iki yapıştırıcı içinde çekme deneylerinden elde edilen kayma dayanımı ve hasar yükünün yapıştırılan malzeme kalınlığına son derece bağımlı olduğu ve yük taşımada artışın olduğu tespit edilmiştir. Her iki yapıştırıcı için de çekme deneylerinden elde edilen kayma dayanımı ve hasar yükü bindirme uzunluğundaki artışla artmıştır. FM73 kullanılarak hazırlanmış tek tesirli bindirme bağlantılarında yapılan dört noktadan eğme deney sonuçları, bindirme uzunluğunda meydana gelen artışın bağlantının taşıyabildiği yük miktarında dikkate değer bir artış meydana getirmediğini göstermiştir. SBT 9244 kullanılarak hazırlanmış tek tesirli bindirme bağlantılarında yapılan dört noktadan eğme deney sonuçları, bindirme uzunluğunun 12,5mm'den 25 ve 50mm'ye çıkarıldığında bağlantının taşıyabildiği yük miktarında sırasıyla 1,66 ve 2,4 kat artış olduğunu göstermiştir.

Aydın (2003) tarafından hazırlanan doktora tezinde, non-lineer sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, alüminyum alaşımli malzemelerin tek tesirli bindirme bağlantısında, yapıştırıcılar ve yapıştırılan malzemelerin gerilme-şekil değiştirme davranışları dikkate alınarak, iki farklı yükleme durumu için (çekme ve dört noktadan eğme) davranışları incelenmiştir. Her iki yükleme durumu için sonlu eleman analiziyle tahmin edilen hasar yükleri, deneysel çalışmalardan elde edilenlerle karşılaştırıldığında sonuçlar arasında oldukça iyi bir uyumun olduğu sonucuna varılmıştır.

Pandey vd (1999), yapıştırma bağlantılarında, yapıştırıcı tabakasının elastoviskoplastik davranışını dikkate alarak sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analizi yapmışlardır. Analizlerde yapıştırılan malzemelerin elastik davranış

sergilediklerini varsayarken, yapıştırıcı tabakasının akma davranışında modifiye edilmiş Von-Mises akma kriterlerini kullanmışlardır. Sonuçta, bindirme uzunluğundaki artışla maksimum soyulma ve kayma gerilmelerinde azalmanın olduğunu ve gerilme dağılımları üzerinde sınır şartlarının son derece önemli etkisinin bulunduğunu ifade etmişlerdir.

Yapıştırma bağlantılarında, bindirme uzunluğu boyunca, gerilmenin üniform olarak kalması yapıştırıcı kalınlığının kontrol altında tutulması ile sağlanabileceği, fakat dayanım değerlerinin optimum olabilmesi için yapıştırma boşluğunun sınırlandırılması gerektiği belirtilmiştir. Anaerobik yapıştırıcılar için yapıştırma boşluğu olarak 0,05–0,15mm aralığı önerilmektedir (Romanos 1999).

Yapıştırma alanının, bağlantı mukavemeti üzerine etkisini araştırmak için yapılan deneysel bir çalışmada, yapıştırma alanı artırıldığında bağlantının kesme mukavemetinin önemli oranda azaldığı belirtilmiştir. Buna neden olarak da, küçük alanlarda olan deformasyon direncinin, büyük alanlarda olan deformasyon direncinden daha fazla olduğu ileri sürülmüştür (Pfeiffer ve Shakal 1998).

Kesme mukavemeti, yapıştırıcı kalınlığı arttıkça azalmaktadır. Yapıştırıcı ile malzeme arasındaki bağ kuvveti (adhezyon kuvvetleri), yapıştırıcının kendi içerisindeki bağ kuvvetlerinden (kohezyon kuvvetleri) daha fazladır. Sıcak yapıştırıcı olarak kullanılan epoksi ile yapılan deneysel bir çalışmada 0,1–0,5mm yapıştırma boşluğu aralığında kesme mukavemetinde düşme gözlenmiştir. Optimum yapıştırma kalınlığı 0,05–0,15mm aralığı olarak elde edilmiştir. Çok ince yapıştırma kalınlıklarında ise yapıştırıcının bütün yüzeylere teması mümkün olmayabilir. Bunun için yapıştırma bağlantılarında yapıştırma alanının bütünüyle kullanılıp kullanılmadığı gözden kaçırılmamalıdır (Ciba 1999).

Liu ve Sawa (2000), eğilme momentine maruz yapıştırma bağlantılarında elastisite teorisini kullanarak gerilme analizi yapan bir formülasyon geliştirmişler ve bağlantının dayanımını tam olarak tahmin edebilmek için sonlu elemanlar yöntemiyle elasto-plastik gerilme analizi yapmışlardır. Sonuçta yapıştırılan malzemelerin elastisite modülü arttıkça bağlantı dayanımının arttığı gözlemlenmiştir.

Yapıştırma bağlantısı hazırlanırken uygulanan yüzey hazırlama yöntemi, ısıtma ve soğutma oranı, birleştirme işlemi süresince uygulanan basınç, erime ve yeniden kristalleşme sıcaklığında kalma süresi bağlantının dayanımı üzerinde büyük etkiye sahiptir. Yapıştırıcı ve yapıştırılan malzemelerin mekanik özellikleri arasındaki fark yukarıda bahsedilen özelliklerle birleşince yapıştırıcı-yapıştırılan malzeme ara yüzeylerinde artık gerilme oluşumuna neden olur. Ara yüzeydeki iç gerilmelerin varlığı yapıştırma bağlantısının performansı üzerinde farklı etkiler oluşturabilir (Ramani ve Zhao 1997).

Lee ve Lee (1997) tarafından yapılan bir çalışmada yüzey pürüzlülüğü  $Ra=2\mu m$  olan çelik/kompozit bağlantısında yapıştırıcı olarak epoksi reçinesi kullanılmış, yapıştırma boşluğu 0,1–0,2mm olan bağlantılarda maksimum yük taşıma kapasitesi elde edilmiştir.

George vd (1998) tarafından anaerobik yapıştırıcı kullanılarak üç farklı malzeme yapıştırılmış, sertleşme prosesleri ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Alüminyum malzemenin yapıştırılmasındaki sertleşme süresi, paslanmaz çelik ve bakır malzemelerinkinden daha yüksek bulunmuştur. En reaktif yüzeyin bakır olduğu belirtilmiştir. En yüksek mukavemet değeri de bakırda bulunmuştur. Ayrıca reaksiyon hızının çok fazla olması durumunda, yapıştırıcının gevrek bir yapı alabileceği özellikle vurgulanarak, sıcaklıkla birlikte kontrol altında tutulması gerektiği ifade edilmiştir.

Bagheri ve Marouf (2007) tarafından yapılan araştırmada; alüminyum tabakalar epoksi yapıştırıcılar kullanılarak birbirleri ile birleştirilmiştir. Kullanılan bu yapıştırıcılar farklı kimyasal maddeler kullanılarak modifiye edilmiş ve bu yapıştırıcı kompozisyonunun ara yüzey kırılma enerjisi üzerine etkisi DCB (double cantilever beam) testi ile ölçülmüştür. Yapıştırıcının mekanik davranışları darbe testi ile belirlenmiştir. DCB testinin sonucunda; plastik parçacıklarının eklenmesi ile epoksinin ara yüzey kırılma enerjisi artmaktadır. Bu parametreleri SiC parçacıkları azaltmaktadır.

### 1.3 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada aynı sınır şartları ve kuvvet etkisindeki, üç farklı bağlantı için bağlantı bölgesindeki gerilme değerleri ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen gerilme değerleri karşılaştırılarak en uygun bağlantı şekline karar verilmiştir.

Analiz esnasında aşağıdaki yol izlenmiştir:

- Parçaların geometrilerinin oluşturulması
- Malzeme özellikleri ve eleman tipinin belirlenmesi
- Parçaların ağ yapısının oluşturulması
- Sınır şartlarının ve kuvvetlerin tanımlanması
- Çözüm
- Gerilme grafiklerinin çıkartılması

## **BÖLÜM İKİ**

### **KOMPOZİT MALZEMELER**

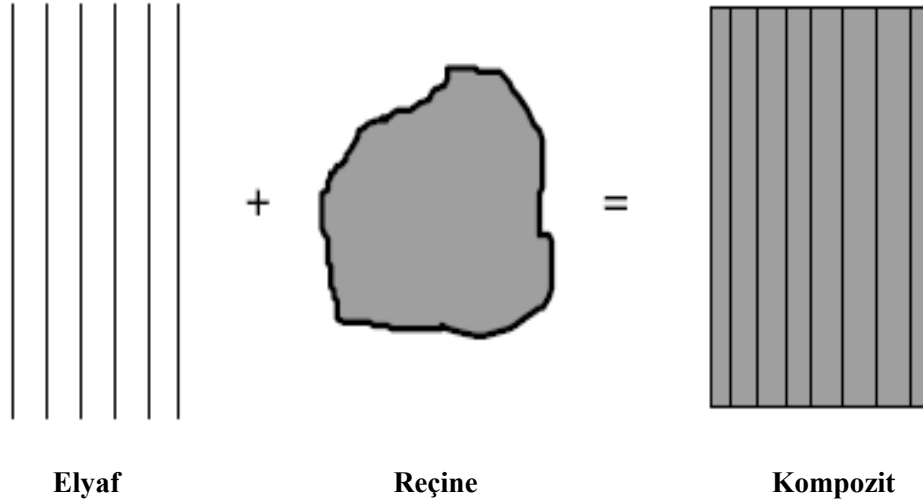
#### **2.1 Giriş**

Kompozit malzeme kullanımı, II. dünya savaşı esnasında mevcut konvansiyonel malzemeler tek başlarına teknoloji karşısında belli ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmesi ile başlamış olup, bu malzemeler üzerine yapılan araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin artması ile genişleyerek devam etmektedir. Bu gelişmeler için tahrik edici güç malzemelerde yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastik modülü/yoğunluk oranı elde etmek olmuştur. Bu nedenle de özel uygulama alanlarında kullanımları hızla artmaktadır. Bu malzemeler, belirli uygulama alanları için üstün mekanik ve fiziksel özellikler elde etmek amacıyla belli konfigürasyonda değişik fazdaki malzemelerin bir araya getirilmesi ile oluşan malzemeler olduklarında çok fazlı malzeme olarak da adlandırılırlar.

#### **2.2 Kompozitin Tanımı**

Kompozit malzeme; iki ya da daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemedeki toplamak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemeler olarak adlandırılırlar. Bir kompozit malzeme, genelde düşük modül ve dayanıma sahip reçine veya metalik matris ana fazı ile bunun içinde dağılmış daha zor anda kullanılan tali fazı olan takviye elemanından oluşmaktadır. Ancak, molekül ve atomik düzeyde birleştirilen malzemeler veya alaşımlar mikroskobik olarak homojen olduklarından kompozit malzeme olarak sınıflandırılmaz. Örnek; çelikteki krom ve vanadyum bir karışım oluşturur ve bir kompozit değildir. Çünkü yapı mikroskobik olarak homojendir. Bir kompozit malzeme bünyesinde, çekirdek olarak adlandırılan takviye elemanı ve bunun etrafını çevreleyen matris malzemesinin bulunduğu bilinmektedir. Takviye elemanı olarak değişik morfolojiye sahip kısa ve uzun elyaflar, whiskerler (kılcal kristaller), kırılmış veya parçacıklı seramikler kullanılmaktadır. Bunların temel fonksiyonu, gelen yükü taşımak ve matrisin rijitlik ve dayanımını artırmaktır. Matrisin fonksiyonu ise elyaflara yük ve gerilim transferi sağlayabilmek için elyafla matrisi bir arada tutmak yanında çoğu takviye elemanları çok gevrek ve kırılğan

olduğundan onların yüzeylerini dış ve çevresel etkilere karşı korumaktır. Ayrıca plastiklik ve süneklik üstünlüğü ile elyaflarda kırılğan çatlakların yayılmasını önler. Plastik deformasyonlar ve çatlaklar varsa elyaflara paralel olarak yönlerini değıştirir.



Şekil.2.1 Kompozit bir yapının temel elemanları

### 2.3 Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

Kompozit malzemelerde; genellikle kendi başlarına elde edilmeyen, bileşenlerinin en iyi özelliklerinin bir malzemede toplanması önemli avantaj meydana getirir. Kompozit malzeme üretilmesi ile aşağıdaki bazı özellikler sağlanabilmektedir. Bunlar genel olarak şöyle sıralanabilir:

- Yüksek dayanım,
- Yüksek rijitlik,
- Yüksek yorulma dayanımı,
- Mükemmel aşınma direnci,
- Yüksek sıcaklık kapasitesi,
- İyi korozyon direnci,
- İyi termal ve ısı iletkenliği,

- Düşük ağırlık,
- Çekicilik ve estetik görünüm.

Bütün bu özellikler aynı zamanda oluşmaz ve her hangi bir uygulama için böyle bir gereksinime ihtiyaç da yoktur. Özellikleri bilinen bileşenlerden yararlanılarak bir kompozit malzemenin bazı özellikleri, örneğin, yoğunluk, elastik modülleri ve çekme dayanımları gibi özellikler hesaplanabilir.

Fakat belirtilen bu özellikler için gerekli şartlar; uygun matris ve takviye eleman çifti, üretim tekniği, optimizasyonu, bileşenlerin mukavemet özellikleri ve diğer faktörler göz önüne alınarak üretim yapılırsa istenilen özelliği elde etmek mümkündür. Uygun matris/takviye elemanı seçiminin, sistemin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi büyüktür. Çünkü kompozit içerisinde matris tarafından yükün takviye elemanına iletilmesinde matris ile takviye elemanı arasındaki ara yüzey bağının da kuvvetli olması gerekmektedir.

Ara yüzey bağının kuvvetli olması ise bileşenlerin uyumuna ve matrisin ıslatabilirlik özelliğine bağlıdır. Bunun yanında, üretim tekniği seçimi dışında takviye elemanlarının matris içerisinde homojen dağılımı da matris almasını ve takviye elemanı çiftlerinin uygun seçimine bağlıdır. Kompozitler, karma malzeme olduklarından bu şartları sağlamak ve elde etmek için en iyi matris ve elyaf çifti seçilmelidir.

Bu avantajlar yanında bazı dezavantajları da mevcut olup bunlar da;

- Üretim güçlüğü,
- Pahalı olması,
- İşlenmesinin güç olması yanında maliyetin yüksek oluşu ve gerekli yüzey kalitesinin elde edilmeyişi,
- Diğer malzemeler gibi geri dönüşümün olmayışı,
- Kırılma uzamasının az oluşu, gibi faktörler sayılabilir.



## **2.4 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması**

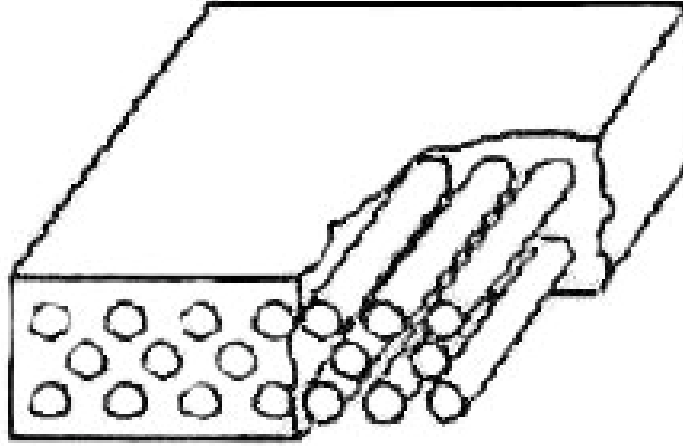
Kompozit malzemeleri değişik şekilde sınıflandırmak mümkündür. Matris malzemesinin türüne göre; metal esaslı kompozitler, polimer esaslı kompozitler ve seramik esaslı kompozitler; takviye malzemesine göre; elyaf takviyeli kompozitler, parçacık takviyeli kompozitler ve tabakalı kompozit malzemeler olarak sınıflandırılır. Burada kompozit malzemelerin takviye malzemesine göre sınıflandırılması yapılmaktadır.

### **2.4.1 Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler**

Elyaf takviyeli kompozitler; yumuşak ve sünek matris içine sert, dayanıklı ve elastikliği yüksek elyaflar ilave edildiğinde çekme dayanımı, yorulma dayanımı, özgül modül ve özgül dayanım özellikleri iyileştirilir. Matris malzemesi kuvveti elyaflara transfer ederek yumuşaklık ve tokluk özelliği sağlarken elyafa uygulanan yükün çoğunu taşımaktadır. Elyaf takviyeli kompozitlerde oldukça değişik takviye elemanları kullanılmaktadır. Elyaf, örme veya şerit fitil şeklinde olabilmekle beraber tabakalar halinde yönlü elyaflar da kullanılır.

#### **2.4.1.1 Sürekli Elyaf Takviyeli Kompozitler**

Bu tip kompozitlerde takviye fazı %80 hacim oranına kadar sürekli elyafların en küçük çapları 10-20 µm iken en büyük çapları ise 100-200 µm çaplarında üretilir ancak kullanıldığı yere göre tek filamentler halinde kullanılırlar. İlk üretilen sürekli elyaflar boron ve SiC olmasına rağmen daha sonra karbon, alumina esaslı elyaflar da uzun olarak üretilmektedir. Elyaf takviyeli kompozitin mikro yapısal özelliği, elyafların uzun ve tek boyutlu olmasıdır. Bunlarda elyaf kuvvetleri taşırken matrisde kuvvetleri elyafa iletir. Genelde elyaf yönlendirildiği için mekanik özellikleri anizotropiktir. Sürekli elyaflar yönlendirilme özelliğinden dolayı diğer takviye elemanlarına göre daha üstün özelliklere sahiptirler. Kompozitin kullanıldığı yer ve üzerine gelen yüklemeye, çekme, basma ve eğilme gerilmeleri için istenilen dayanıma ulaşılabilir.

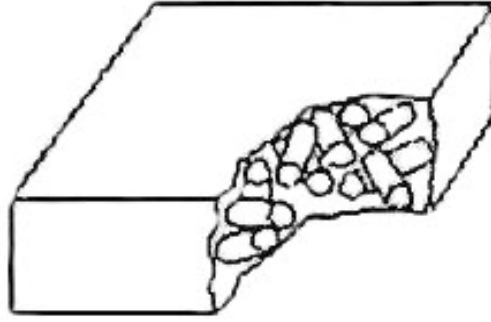


Şekil 2.2 Sürekli elyaf takviyeli kompozit (Şahin,2006).

Tek yönde çekme dayanımına maruz kalan bölgelerde yönlendirilmiş uzun elyaflar nedeniyle elyaf doğrultusunda maksimum performans gösterirler. Ancak elyaf eksenine dik doğrultuda düşük özellikler elde edilir çünkü bu durumda matris dayanımı esas olmaktadır. bu mahsuru gidermek için hem elyaf eksenine dik hem de elyaf eksenine paralel kuvvet uygulandığında mekanik özellikleri iyileştirmek için ise değişik açılarda takviyelendirme yapılmak suretiyle bu doğrultularda daha yüksek özelliklerin elde edilmesi mümkün olabilmektedir.

#### 2.4.1.2 Kısa Elyaf Takviyeli kompozitler

Kısa elyaf olarak adlandırılan elyaflar yaklaşık 3-5  $\mu\text{m}$  çapında ve 0.5-6 mm uzunluğunda üretilir. Bu elyafla takviyelendirilen kompozitler, takviye elemanının eriyik içinde malzeme ile birleştirilmesi için sıkıştırılmalı döküm yöntemi ile preformlara(ön biçim verilmiş şekil) basınçlı olarak eriyik emdirilir. Eriyik içinde takviye elemanının hacim oranı, aslında sıvının viskozitesinin yükselmesi ile sınırlı kalmaktadır. Preform halindeki elyaflara sıvı metal emdirilirken hacim oranları önem arzettiğinden elyaf oranı yaklaşık %33 civarında olup bu değer üzerine çıktığında istenilen özellikleri elde etmek zorlaşmaktadır. Bu tip kısa elyafla takviyeli kompozit örneği, şekil 2.3'de gösterildiği gibi, genellikle rastgele yönlendirilir.

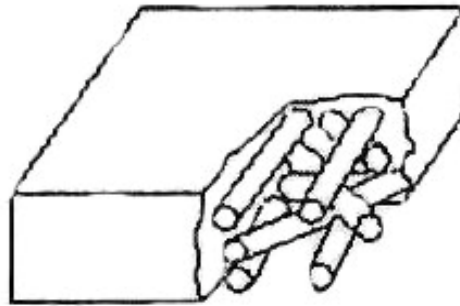


Şekil 2.3 Kısa elyaf takviyeli kompozit(Şahin,2006).

Kısa elyafli kompozitleri üretmek için en uygun olan metod sıkıştırırmalı döküm tekniği kullanılmaktadır. Toz metalurjisi ve plazma püskürtmeli çökeltme metotları aracılığı ile kısa elyafli kompozitler de üretilmektedir. Toz metalurji metodunda mekanik kuvvetlerden dolayı elyaflar hasar görebilmekte iken plazma püskürtme metodunda ise şekil ve ölçü faktörlerinin sınırlı olması sebebiyle üretilen kompozitin özelliği düşük olabilmektedir. Ancak sürekli elyaflara göre kısa elyafli kompozitlerde üretim işleminin hızlı ve maliyetinin düşük oluşu ve şekil verme yeteneğinin yüksek olması nedeni ile tercih edilirler.

#### *2.4.1.3 Rastgele Düzlemsel Yönlendirilmiş Kompozitler*

Bu kompozitler kısa elyaflardan oluşur fakat elyaflar matris içinde şekil 2.4'de gösterildiği gibi rastgele iki boyutlu olarak yönlendirilmektedir. Bu tip yönlendirilmiş bazı kompozitler sodyum silis'den oluşan orta sululukta bir bağlayıcı ile tutularak katı preform haline getirilir. Bu işlemden sonra preslenir veya santrifüj sistemi ile iyice sıkıştırılıp kurutularak fırınlanır.

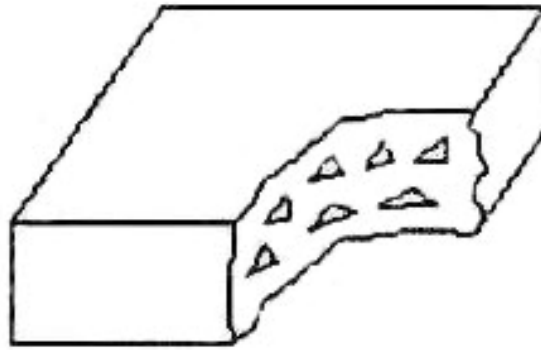


Şekil 2.4 Rastgele düzlemsel yönlendirilmiş kompozit(Şahin,2006).

Ön biçimlenmiş elyaflar genellikle gelişigüzel veya iki boyutlu yerleştirilerek yönlendirilir. Bu tür üretim yöntemlerinde preformların dar alanlar ve küçük oyuklar gibi belli kısımlara yerleştirilip emdirilmesine müsaade etmesi ile üretim maliyetini düşürür. Bundan dolayı bu sıvı metal emdirilme tekniği diğer tekniklerle karşılaştırıldığında daha cazip görünmektedir. Ancak yönlendirme açısı, yer değiştirme, akış alanına, işlem durumuna ve bunlarla birlikte elyafların boyuna, hacim oranına ve kalıbın şekline bağlıdır. Elyafların kompozit içerisinde gelişigüzel yerleştirilmeleri ne kadar düzenli olursa elyaf hacim oranı o kadar artar. Kompozitin tüm yönlerdeki mekanik özellikleri elyafların yerleştirilmesine bağlı olarak değişir. İşlem düzgün yapılırsa tüm yönlerde aynı mekanik özellikler elde edilebilir.

#### **2.4.2 Parçacıklarla Takviyeli Kompozit Malzemeler**

Bu tip kompozitler; tek veya iki boyutlu makroskopik partiküllerin veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen mikroskobik partiküllerin matris ile oluşturdukları malzemeler olup ortalama gömülen parçacık boyutu  $1\ \mu\text{m}$ 'den büyük ve elyaf hacim oranı %25'den fazla kullanılmaktadır. En çok kullanılan parçacıklar ise  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{SiC}$ 'den oluşan seramiklerdir. Burada yük, elyaf ve matris tarafından birlikte taşınır ve özellikler yine izotropiktir. Bu kompozitler; dayanımı iyileştirilmekten ziyade beklenilmeyen alışılmışın dışında birleştirilmiş özellikler elde etmek için tasarlanmaktadır. Şekil 2.5'de gösterildiği gibi, bunlar büyük parçacık içerdiklerinden kaymayı etkili olarak yapamazlar. Bu kompozitler; metal, seramik ve polimerlerin birleşiminden oluşabilirler. Sert metal uçlar ve beton da örnek olarak verilebilir.



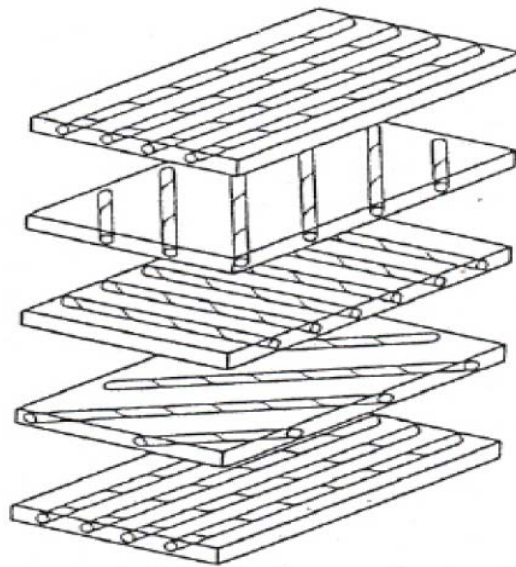
Şekil 2.5. Parçacık takviyeli kompozit (Şahin,2006).

Bu tip kompozitlerde artan takviye elemanı ilavesi ile birlikte yapı içerisinde porozite vb. hatalar artmaktadır. Dolayısı ile haddeleme gibi ikinci bir işlemde uygulanabilmektedir. Bütün bunlara rağmen döküm metodu ile yapılan bir kompozitin dayanımı, takviye elemanının matris içerisinde homojen dağılamaması ve tane büyüklüğü etkisi nedeniyle toz metalurji metodu ile yapılan kompozitten daha düşüktür. Parçacık takviyeli kompozitin özellikleri, kompoziti oluşturan bileşenlerin özelliklerine ve oranlarına bağlıdır.

### 2.4.3 Tabakalı Kompozit Malzemeler

Tabakalı kompozit, şekil 2.6'da gösterildiği gibi, temel malzeme eksenleri doğrultusunda değişik yönlerdeki tabaka ve katmanların üst üste konularak bir araya getirilmesi ile tabakalı (lamine) kompozitlerin elde edilmesi mümkün olmaktadır. Laminetler, matris içerisine rastgele yönelmiş elyaflar, tek yönlü elyaflar veya farklı elyaf takviyeli tabakadan oluşabilir.

Lamine kompozit için esas sebep, bu kompozitin maruz kalacağı yüklere uyum sağlaması için dayanım ve rijitliğin doğrusal bağımlılığından avantaj sağlamaktır. Bu nedenle, laminetler sadece bu amaç için uygundur. Çünkü her tabakanın esas malzeme yönleri istenilen doğrultuda yapılabilir. Örneğin, 10 tabakadan 6 tanesi 1 doğrultuda ve diğer 4 tanesi bu yöne dik  $90^\circ$ 'lik doğrultuda yönlenebilir.



Şekil 2.6 Tabakalı kompozitler (Şahin,2006).

Sonuçta bir doğrultuda yönlenmiş tabakalı kompozitin dayanım ve rijitliği yaklaşık %50'den daha büyük olacaktır. Her iki doğrultuda uzama rijitlik oranı yaklaşık 6/4'dür fakat eğilme rijitliği orta yüzey için belli değildir.

## **2.5 Sandviç Malzemeler**

Kompozit bir ürün sandviç ve monolitik (tek parça) olmak üzere ikiye ayrılır. Monolitik yapılar sadece Karbon, Aramid ve cam olmak üzere sadece elyaf ve reçine katlarından oluşurlar. Sandviç kompozitte ise iç ve dış elyaf katmanları arasında sandviç malzemesi bulunur. Sandviç malzemenin avantajı kompozitin kalınlığı artırılarak form direncinin kullanılmasıdır.

Sandviç kompozitler monolitik yapılara göre aynı mukavemet değerlerinde daha hafif, rijit ve darbe anında delinmeye daha mukavimdir. Sandviç malzemelerde uygulama tipine, ürünün kullanımına, kullanılan diğer malzemelere göre farklılık gösterirler. Sandviç yapılar çok çeşitli materyellerle farklı kombinasyonlarla uygulanabilirler.

### **2.5.1 Sandviç Malzemelerin Çeşitleri**

Sandviç konstrüksiyonları bir bütün olarak sınıflandırmaya tutmak mümkün değildir. sandviç yapı çekirdek ve yüzey olmak üzere iki temel elemandan oluşmaktadır. işte bu yüzden, sandviç bir yapıyı tam bir birim olarak sınıflandıramadığımız için bahsi geçen elemanları sınıflandırmaya tabi tutmak daha doğru olacaktır. Burada sandviç malzemelerde kullanılan yapılar özellikle denizcilik teknolojilerine yönelik bir sınıflandırılmaya tabi tutulacaktır.

#### **2.5.1.1 Yüzey Çeşitleri**

Yüzey çeşitleri olarak geleneksel malzemelerden olan çelik, paslanmaz çelik ve alüminyum sandviç yapılarda çok fazla kullanılmazlar, bunlar yerine uygun koşullarda fiber veya cam takviyeli özel plastikleri kullanmak daha sağlıklıdır. Ana matrisin içerisinde özel mukavemet sağlanması istenen yerlerde bu amaçla kuvvetlendirici elyaflar kullanılır. Kuvvetlendirici elyafları şu şekilde sınıflandırabiliriz

*2.5.1.1.1 Cam Elyafı.* İlk kompozit panellerin yapımında kullanılan elyaf cam elyafı idi. Günümüzde çeşitli mukavemet özelliklerine sahip E, S ve R tipi cam elyafları üretilmekte ve kullanılmaktadır. Cam elyafları reçineyi oldukça iyi özümseyebilen ve kullanımı nispeten kolay elyaflardır.

*2.5.1.1.2 Aramid Elyafı.* 1960'lı yılların sonlarında DuPont de Nemours tarafından piyasaya sürülen Kevlar aramidlerin en bilinenidir. Son yıllarda çeşitli imalatçılar değişik ticari isimlerle piyasaya aramid elyaflar sürmüşlerdir. Aramid elyafın spesifik çekme mukavemeti çelikten yaklaşık 5 kat daha fazladır. ( Yani 1 m boyunda 1 kg ağırlığında bir aramid halat, aynı boy ve ağırlıkta bir çelik halattan 5 kat daha fazla yük taşıyabilir. Bu üstün çekme mukavemeti özelliği aramidlerin balistik koruma amaçlarıyla da kullanılmasına imkan tanımıştır. Sürtünme ve aşınmaya da çok dayanıklı olan bu tip elyaflar basmada aynı performansa sahip değillerdir. Düşük yoğunlukları ve naylon temelli hidrofob yapıları kullanılan plastik matrisin aramid elyaflarını oldukça problemli yapmaktadır.

Aramidlerde, çok ileri reçine sistemlerinde bile, yapıdaki elyaf oranında %50'den iyisini elde etmek mümkün olamamaktadır. Ayrıca depolamada rutubet almaları bu ıslanmayı çok daha zor hale getirdiğinden yapısal bütünlük için bir tehlike oluşturur.

*2.5.1.1.3 Karbon Elyafı.* Mukavemet olarak cam ve aramid elyaflarından çok daha üstün özellikler taşırlar. Darbelerin yutulması için ve çok düşük ağırlıkla rijitlik sağlamak amacıyla kullanılırlar. Düşük uzama seviyeleri ve kırılmalıkları başlarda problem olmuşsa da günümüzdeki yüksek uzamalı karbon elyaflarının bulunmasıyla bu problemler ortadan kalkmıştır. Plastik matris içerisinde ıslanabilme özellikleri oldukça iyidir.

*2.5.1.1.4 Boron Elyafı.* Metal takviyeli metal (MRM) kompozitlerde boron elyaflar kullanılır. Gaz türbini kanatları gibi yüksek ısıda üstün mukavemet gerektiren yerlerde alüminyum oksit matris içerisinde boron elyafları kullanılır.

*2.5.1.1.5 Diğer plastik elyaflar.* Kompozit yapılarda, az miktarda olsa da amaca uygun olarak naylon (Nomex) ve polyethylen elyaflar da kullanılmaktadır.

### 2.5.1.2 Reçine Çeşitleri

*2.5.1.2.1 Polyesterler.* Reçine matrislerin bilinen en eskilerinden ve en çok kullanılanlardandır. Islak yatırma için uygundur. Sertleşmesi egzoterm kimyasal bir polimerizasyon sonucu olur. Bu arada solventi styrenmonomer açığa çıkar. Genelde ortoftalik ve izoftalik olarak iki tip polyester kullanılır. Polyesterin saf halde korozif elementlere ve suya mukavemeti çok iyi değildir. İmalatta çalışma süresi 30-40 dakika ile sınırlıdır. Bu süreyi uzatmak için çeşitli inhibitörler kullanılabilir. Ancak reaksiyonun egzoterm özelliği ve hızının güç kontrol edilebilmesi vakum altında imalatta çok büyük zorluklar getirir.

*2.5.1.2.2 Vinylesterler.* Polyesterlerden sonra bulunmuş bir matris tipidir. Vinylester reçine ıslak yatırma için uygundur. Sertleşmesi egzoterm kimyasal bir polimerizasyon sonucu olur. Bu arada solventi styrenmonomer açığa çıkar. Vinylesterler su ve koroziflere karşı yüksek dirence sahiptirler. Polimerizasyon çeşitli ajanlar vasıtası ile 10-12 saate kadar uzatılabilir, bu sayede büyük yüzeylerde vakum tatbikatı yapılabilir.

*2.5.1.2.3 Epoksiler.* Epoksi reçineler de polyester ve vinylesterler gibi kimyasal polimerizasyon sonucu sertleşir. Ancak yapılarında açığa çıkan bir solvent yoktur. İmalatta çalışma süresi oda sıcaklığında 15 saat civarında olabilir. Epoksi reçineler karışımı yapılmış halde, soğuk ortamlarda (0 C altında) iki aya kadar muhafaza edilebilir.

### 2.5.1.3 Çekirdek Çeşitleri

*2.5.1.3.1 PVC Köpükler.* PVC köpükler çok kullanılan bir çekirdek malzemesidir. Rutubet/su absorpsiyonu direnci iyidir. 40-300 kg/m<sup>3</sup> yoğunluklarda bulunabilir. Yapılarına göre:

- Çapraz bağlı PVC köpük: nispeten kırılğan
- Doğrusal PVC köpük: mukavemet özellikleri bozulmadan deformasyon kabul edebilen
- Yüksek ısı dirençli tipleri vardır.



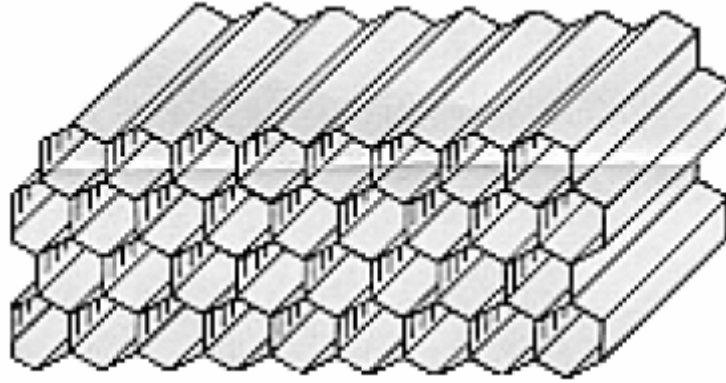
2.5.1.3.2 *Balsa*. Hafif balsa ağacı, elyafları deriye dik gelecek şekilde (end grain) kesilerek çekirdek olarak kullanılır. Balsa çekirdekli sandviçler çok iyi bir rijitlik sağlarlar. Ancak, kırılmaları ani ve büyük boyutlu olur. Bunun yanı sıra, tabii kaynaklı malzemenin standardizasyonu imkansız denecek kadar zordur. Nispeten yüksek yoğunluğu ise, PVC köpük gibi geniş bir seçim şansı vermez.

2.5.1.3.3 *Tahta*. Balsa dışında tahta da, bilhassa iyi ezilme mukavemeti beklenen yerlerde çekirdek malzemesi olarak kullanılabilir. Genelde kontrplak veya lamine şeklindedir. Standardizasyonu balsadan daha iyi kontrol edilebilir. Ağırlığı önemli bir dezavantajdır.

2.5.1.3.4 *Bal Peteği (Honeycomb)*. Bal peteği metalik veya kompozit esaslı olabilir. Metalik bal peteği çok ince alüminyumdan, kompozit bal peteği ise kağıt veya naylon/aramid elyafları ve epoksi veya fenolik bir reçineden yapılırlar. Ateşe dayanıklı Nomex en popüler bal petek sistemlerinden biridir. Bal petek sistemleri dış derilere yapıştırılması oldukça zor, ama üstün mukavemet/ağırlık oranları sağlayan çekirdek yapıları oluştururlar. Ayrıca, eğimli yüzeyleri bal peteği ile kaplamak için özel bir teknik gerekmektedir. (Kaan N.Z.Onuk 2003)

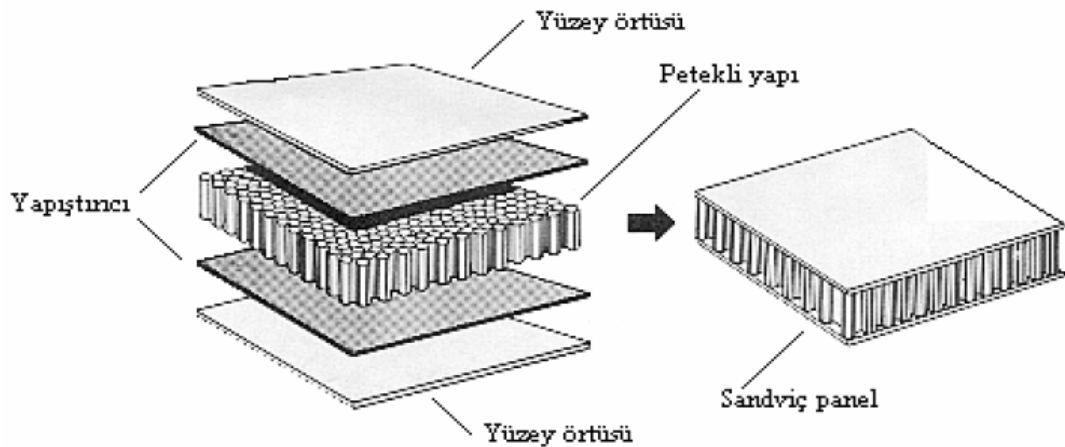
## 2.6 Petekli Yapılar

Kompozit imalatında kullanılan petekli yapı, çok ince tabakaların şekillendirilmesi sonucu elde edilen hücrelerin birleştirilmesi ile oluşturulur. Bu tür yapılar bal arılarının doğal olarak yaptıkları bal petekleri ile birebir benzerlik göstermektedir. Petekli kompozit yapılar yaklaşık olarak 1940 yılından sonra havacılık sektöründe, uçakların gövde panellerinde kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde kullanılan petekli yapıların büyük bir çoğunluğu bir yapıştırıcı sayesinde hücrelerin birbirleri ile yapıştırılması sonucu oluşurlar. (Şekil 2.7) .



Şekil 2.7 Altıgen hücreli petekli yapı (Peters,1998).

Petekli yapılar genellikle sandviç yapılarda dolgu elemanı olarak kullanılırlar. Buradan hareketle sandviç panellerden söz etmek yerinde olacaktır. Bir sandviç panel, petekli yapının alt ve üst yüzeylerine yapıştırıcı kullanarak yüzey örtüleri ile yapıştırılması sonucu elde edilir. (Şekil 2.8) Çelik, titanyum ve nikel alaşımlı metal hücre yapılı petekli yapılar yapıştırıcı yerine daha çok kaynak ve lehimleme ile birleştirilirler. Bu tür hücreler öncelikle yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılır. Yüksek rijitlik ve dayanım/ağırlık oranına sahip olan sandviç yapılar son derece hafif konstrüksiyonlardır. Petek yapıli kompozitler, diğer sandviç konstrüksiyon ara malzemelerine oranla daha pahalıdır ve sandviç yapı haline dönüştürülmesi daha özel işçilik gerektirmektedir. Bu nedenle, genellikle denizcilik, havacılık ve uzay sektöründe yüksek mekanik dayanım sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.



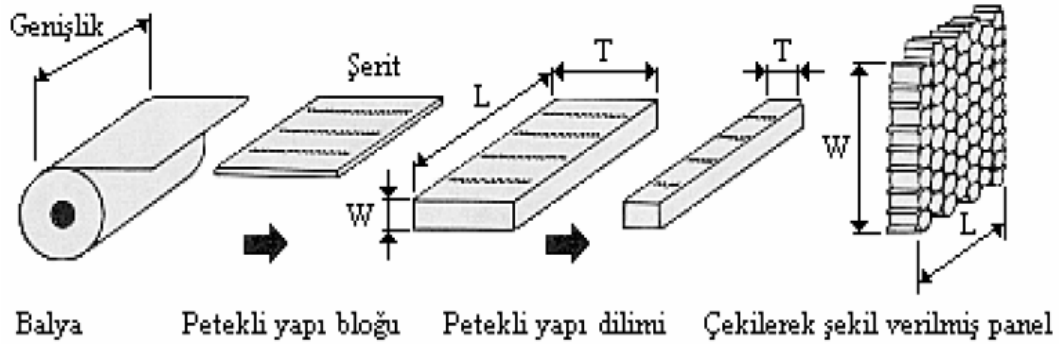
Şekil 2.8 Sandviç panelin yapıştırılarak elde edilmesi (Peters,1998).

### 2.6.1 Petekli Yapı Üretim Yöntemleri

Petekli yapıların üretiminde uzatma ve kıvrılarak şekil verme olmak üzere genellikle iki temel teknik kullanılır. Diğer teknikler yaygın olarak kullanılmadığından burada bahsedilmemiştir.

#### 2.6.1.1 Uzatarak Şekil Verme Yöntemi

Bu yöntem metal ve metal olmayan hücre imalatında kullanılır. Petek yapılı hücrelerin büyük bir çoğunluğu bu yöntemle üretilir. Bu yöntem genel olarak; şerit halinde levhaların kesilmesi ve yapıştırıcının sürülmesi, levhaların üst üste dizilmesi ve petekli yapı bloğun seçilen sıcaklıkta pres içerisinde işlenmesi aşamalarını içerir. Alüminyum blokları çekme işleminden önce genellikle istenilen kalınlıkta dilimlere ayrılırlar. Dilimler kalıpta çekilirken, her bir şerit halindeki plaka, komşu hücrelerle birleşmenin olmadığı noktalarda akma gösterir ve böylece levhalara şekil verilmiş olur. Aynı yöntem diğer metalik malzemeler içinde rahatlıkla kullanılabilir.



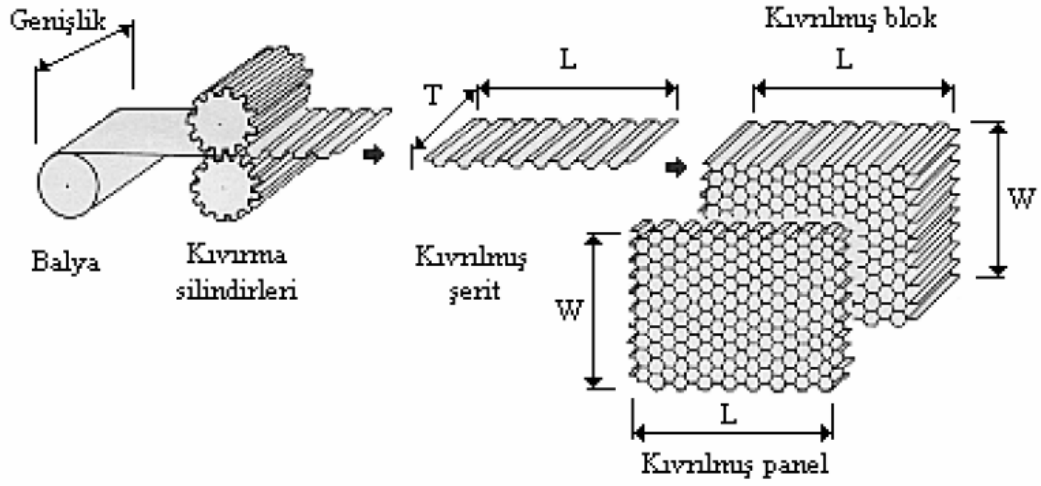
Şekil 2.9 Uzatarak şekil verme yöntemi ile petek hücre üretimi (Peters,1998).

Metal olmayan şerit levhalar da benzer biçimde hazırlanmasına rağmen bazı önemli farklar söz konusudur. Metal dışı malzemeler yapıştırıcı sürme işlemi öncesi korozyona karşı direnç artırıcı işlemler gerektirmez. Ancak bazı malzemelerin reçineye iyice doyurulması için bir ilave ön işlem gerekebilir. Metalik malzemelerin aksine metal dışı petekli yapı malzemeleri kalıp içerisinde kalıbın şeklini alması için gerekli çekme işlemi sonunda kendi şekillerini koruyamazlar. Bu malzemelerde kalıplama daha fazla sürede yapılmalı ve şekil alma işlemi gerçekleşene kadar bir fırın içerisinde ısıtılmalıdır. Daha sonra çekilmiş ve ısıtılmış blok sıvı reçineye daldırılır ve hücrelerin oluşumu tamamlanana kadar ısıtma işlemi sürdürülür.

Daldırma süreci blokların istenilen yoğunluğa ulaşmaya kadar tekrarlanır. Petekli yapı imalatı bu bloklardan istenilen kalınlıkta dilimlerin kesilmesi ile tamamlanmış olur.

### 2.6.1.2 Kıvrırma Yöntemi

Bu yöntem yüksek sıcaklık altında çalışan, et kalınlığı ve yoğunluğu oldukça fazla olan petekli yapıların imalatında tercih edilir. Bu yöntemde şerit levhalar istenilen biçimde kıvrılarak düğüm noktalarına yapıştırıcı tatbik edilir. Ardından şekil verilmiş şerit levhalar üst üste konur ve kıvrılmış blok seçilen sıcaklıkta bekletilir. İstenilen kalınlıkta dilimler bloktan kesilerek elde edilir.



Şekil 2.10 Kıvrırma yöntemi ile petekli yapı hücre üretimi (Peters,1998).

Üretimi gerçekleştirilen petekli yapılar kullanılacak yerin özellikleri de dikkate alınarak; temizleme (kenar traşlama), kesme ve gerekirse şekil verme ve ekleme işlemlerine de maruz bırakılır.

## BÖLÜM ÜÇ

### SONLU ELEMANLAR METODU İLE GERİLME ANALİZİ

#### 3.1 Giriş

Sonlu elemanlar metodu; karmaşık olan problemlerin daha basit alt yapılara ayrılarak her birinin kendi içinde çözümlenmesiyle tam çözümün bulunduğu bir çözüm şeklidir. Metodun üç temel niteliği vardır: ilk olarak, geometrik olarak karmaşık olan çözüm bölgesi sonlu elemanlar olarak adlandırılan geometrik olarak basit alt bölgelere ayrılır. İkincisi her elemandaki, sürekli fonksiyonlar, cebirsel polinomların lineer kombinasyonu olarak tanımlanabileceği kabul edilir. Üçüncü kabul ise, aranan değerlerin her eleman içinde sürekli olan tanım denklemlerinin belirli noktalardaki (düğüm noktaları) değerleri elde edilmesinin problem çözümünde yeterli olmasıdır. Kullanılan yaklaşım fonksiyonları interpolasyon teorisinin çözümünde yeterli olmasıdır. Kullanılan yaklaşım fonksiyonları interpolasyon teorisinin genel kavramlarını kullanarak polinomlardan seçilir. Seçilen polinomların derecesi çözülecek problemin tanım denkleminin derecesine ve çözüm yapılacak elemandaki düğüm sayısına bağlıdır.

Sürekli bir ortamda alan değişkenleri (gerilme, yer değiştirme, basınç, sıcaklık vs.) sonsuz sayıda farklı değere sahiptir. Eğer sürekli bir ortamın belirli bir bölgesinin de aynı şekilde sürekli ortam özelliği gösterdiği biliniyorsa, bu alt bölgede olan değişkenlerinin değişimi sonlu sayıda bilinmeyen olan bir fonksiyon ile tanımlanabilir. Bilinmeyen sayısının az ya da çok olmasına göre seçilen fonksiyon lineer ya da yüksek mertebeden olabilir. Sürekli ortamında alt bölgeleri de aynı karakteristik özellikleri gösteren bölgeler olduğundan, bu bölgelere ait olan denklem takımları birleştirildiğinde bütün sistemi ifade eden denklem takımı elde edilir. Denklem takımının çözümü ile sürekli ortamdaki alan değişkenleri sayısal olarak elde edilir.

Sonlu elemanlar metodunun kullanılması ve bilgisayarın sanayiye girmesi ile bugüne kadar ancak pahalı deneysel yöntemlerle incelenebilen bir çok makine elemanının (motor blokları, pistonlar vs.) kolayca incelenebilmesi, hatta çizim

esnasında mukavemet analizlerinin kısa bir sürede yapılarak optimum dizaynın gerçekleştirilmesi mümkün olabilmektedir.

Sonlu elemanlar metodunu diğer nümerik metotlardan üstün kılan başlıca unsurlar şöyle sıralanabilir:

- Kullanılan sonlu eleman boyutlarının ve şekillerinin değişkenliği nedeniyle ele alınan cismin geometrisi tam olarak temsil edilebilir.
- Bir veya birden çok delik ve köşeleri olan bölgeler kolaylıkla incelenebilir.
- Değişik malzeme ve geometrik özellikleri bulunan cisimler kolaylıkla incelenebilir.
- Sebep sonuç ilişkisine ait problemler, genel direngenlik matrisi ile birbirine bağlanan genelleştirilmiş kuvvetler ve yer değiştirmeler cinsinden formüle edilebilir. Sonlu elemanlar metodunun bu özelliği problemlerin anlaşılmasını ve çözülmesini hem mümkün kılar hem de basitleştirir.
- Sınır şartları kolayca uygulanabilir.

Bu faydaları nedeni ile sonlu eleman analizi gerçekleştirmek bazı paket programlar geliştirilmiştir. Bunlara Ansys, Nastran, Franc gibi programlar verilebilir. Bu programlar sayesinde elde edilen sonuçlara göre dizayn ve düzeltme işleri daha sağlıklı bir şekilde yapılır hale gelmiştir.(Topçu M. ve Taşgetiren S. 1998).

Bu bölümde kompozit malzemelerde yapıştırıcı ile birleştirme yöntemlerinden olan bindirme bağlantısı, köşe bağlantısı ve T bağlantısının farklı bağlantı tasarımları ANSYS programı yardımı ile tasarımların birbirine eşit gerilmelere maruz bırakılmaları durumunda oluşacak gerilme değerleri karşılaştırılmıştır ve aralarından en uygun bağlantı tasarımı şekline karar verilmiştir.

Farklı bağlantı tasarımlarda yapıştırma bölgesinde meydana gelen şekil değişikliklerini daha rahat izlenmesi ve oluşan gerilme dağılımlarını sayısal olarak ortaya konulması amacıyla, ANSYS programı bünyesinde seçilen her hangi bir modelin tümünden, sadece yapıştırıcı bölümünün seçilmesi ile bu bölüme tekabül

eden gerilmeleri daha yakından ve hassas olarak ölçmemiz mümkündür. Bu işlem tüm bağlantı tasarımları için geçerlidir.

### 3.2 Bindirme Bağlantı Tasarımları

Bu bölümde,  $10 \text{ N/mm}^2$  çekme gerilmesine maruz yayılı yük değeri sırasıyla tek tesirli bindirme, tek kademeli bindirme, çift kademeli bindirme ve geçmeli bağlantı tasarımlarına uygulanarak gerilme dağılımları elde edilmiştir ve bu gerilme dağılımları karşılaştırılarak en uygun bağlantı tasarımına karar verilmiştir. Dört farklı bağlantı tasarımlarında kullanılan malzemelerin (kompozit ve yapıştırıcı) malzeme özellikleri ve boyutları aynı alınmıştır ve eleman tipi olarak kompozit parçalar için tabakalı parçalar için uygun olan solid 46 ve yapıştırıcı malzeme için solid 45 olarak girilmiştir. Bu malzemelerin mekanik özellikleri tablo 3.1 ve 3.2 de verilmiştir.

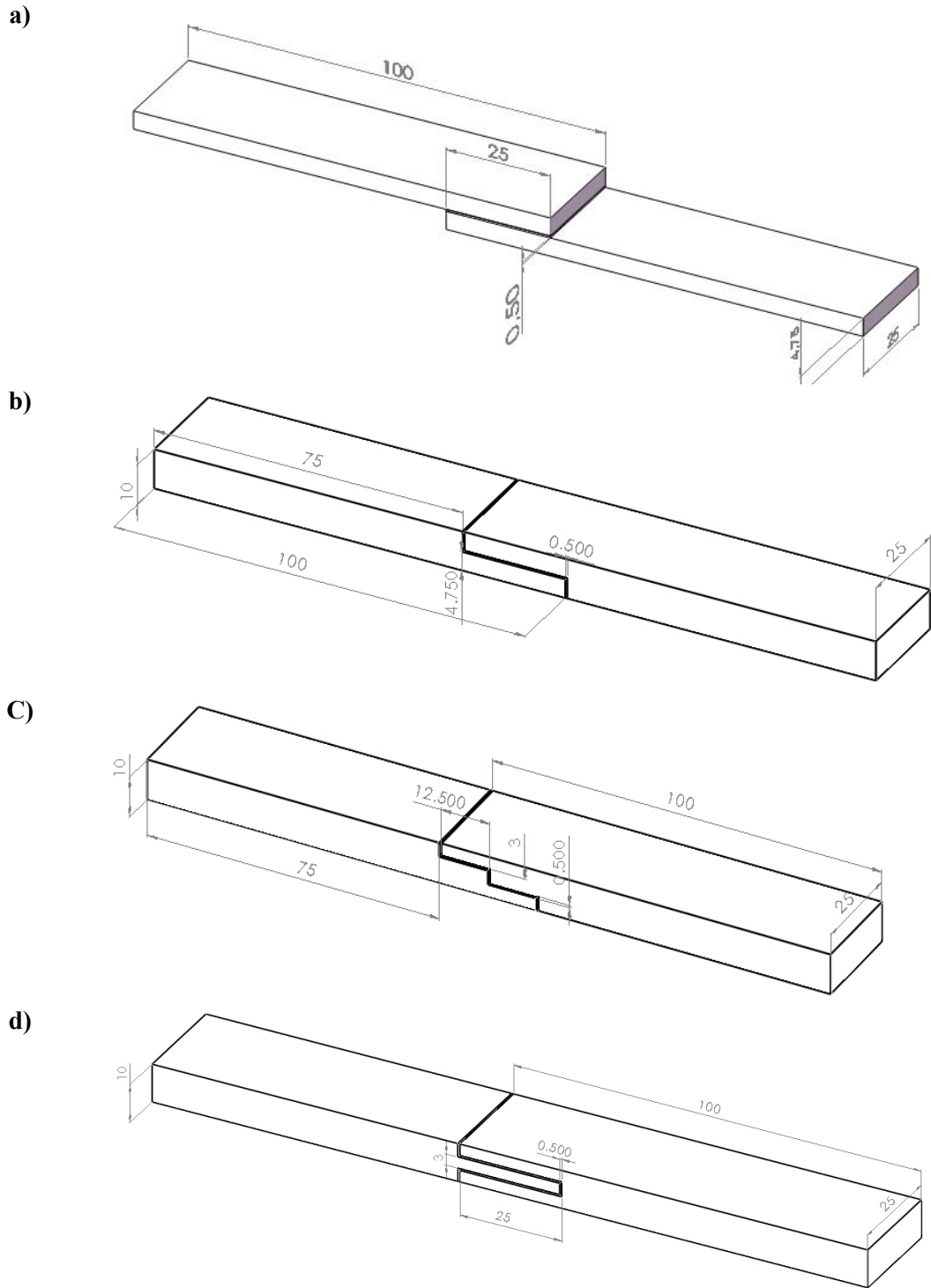
Tablo 3.1 Bindirme yapıştırma bağlantı tasarımlarında kompozit malzemeye ait mekanik özellikleri

<b>E<sub>1</sub></b> <b>(MPa)</b>	<b>E<sub>2</sub></b> <b>(MPa)</b>	<b>E<sub>3</sub></b> <b>(MPa)</b>	<b>ν<sub>12</sub></b>	<b>ν<sub>23</sub></b>	<b>ν<sub>13</sub></b>	<b>G<sub>12</sub></b> <b>(MPa)</b>	<b>G<sub>23</sub></b> <b>(MPa)</b>	<b>G<sub>13</sub></b> <b>(MPa)</b>
127500	9000	4800	0,28	0,41	0,28	4800	2550	2800

Tablo 3.2 İzotropik yapıştırıcı malzemesine ait malzeme özellikleri

<b>Malzeme</b>	<b>E</b> <b>(MPa)</b>	<b>ν</b>
<b>Yapıştırıcı</b>	2800	0,4

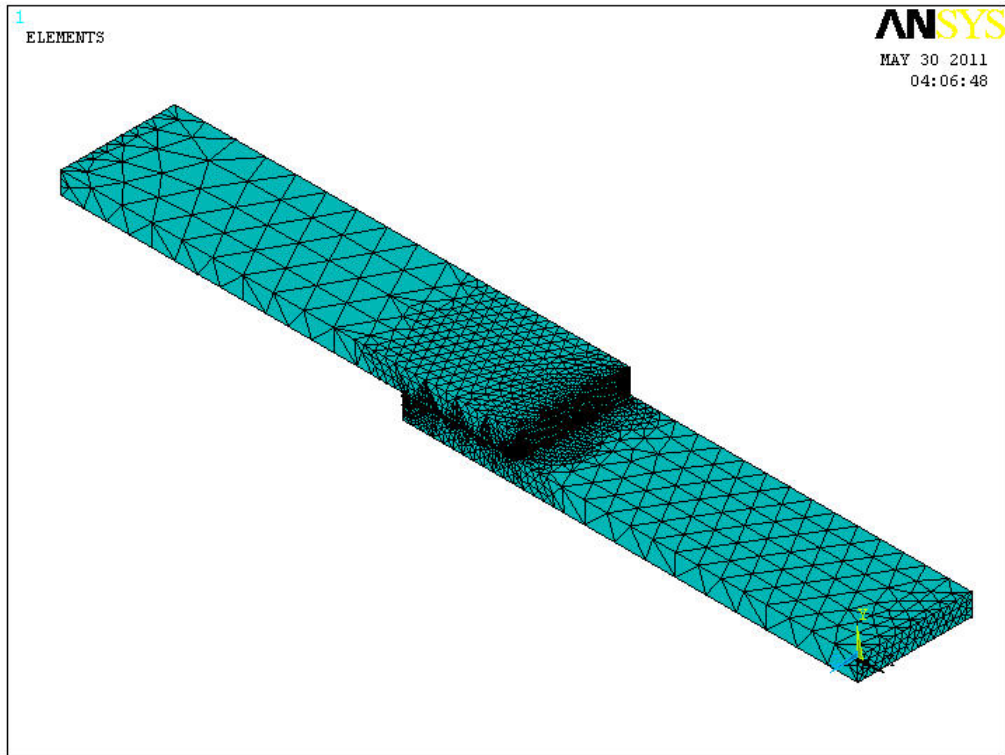
$[0^\circ/90^\circ]$  oryantasyona sahip 18 tabakalı kompozit parçaların analizi ANSYS paket program yardımı ile yapılmıştır. Daha gerçeğe yakın sonuçları yakalayabilmek için, üç ayrı birbirine yapıştırılmış olarak programa tanımlanan alt levha, üst levha ve yapıştırıcı bölgelerinde, yapıştırıcı ile levhalar arası mesh elamanların sayıları diğer bölgelere kıyasla iki katına artırılarak daha hassas sonuçlar elde edilmiştir.



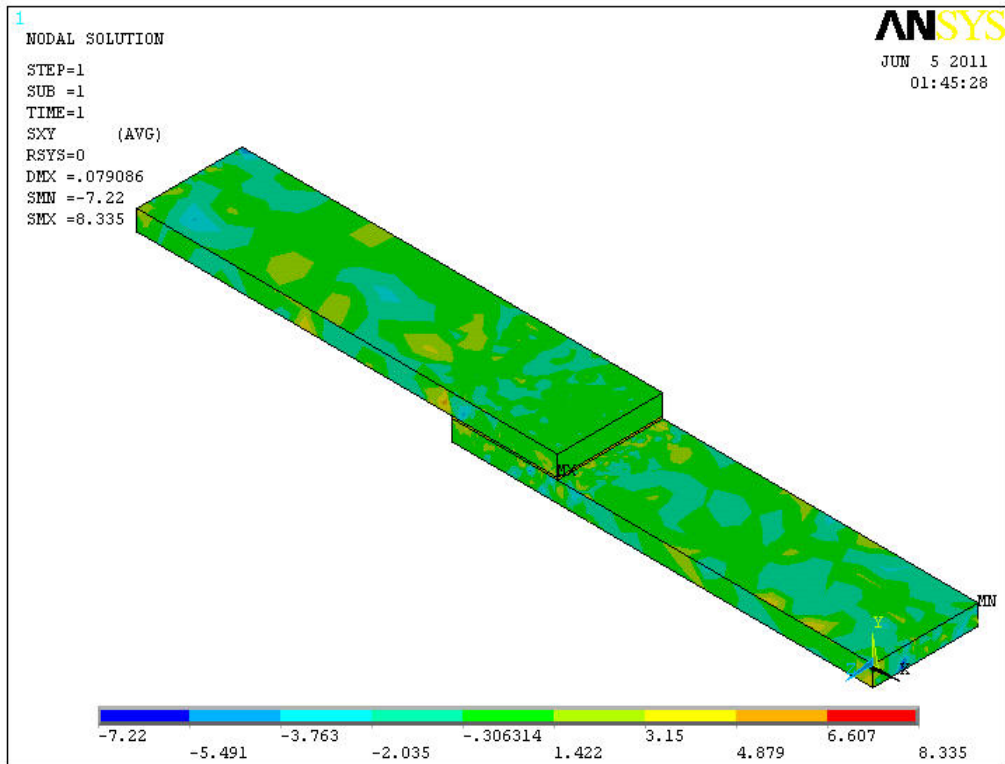
Şekil 3.1 Bindirme bağlantı tasarımlarının boyutlandırılması a) Tek tesirli bindirme bağlantı tasarımı b) Tek kademeli bindirme bağlantı tasarımı c) Çift kademeli bindirme bağlantı tasarımı d) Geçmeli bağlantı tasarımı



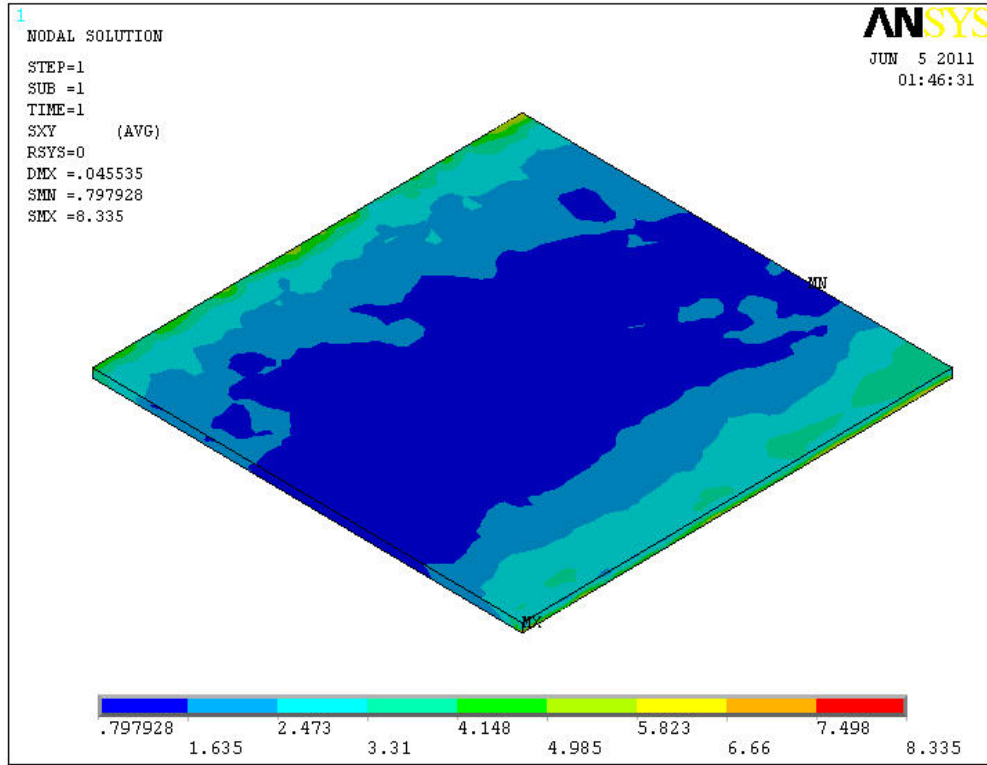
### 3.2.1 Tek Tesirli Bindirme Bağlantı Tasarımı



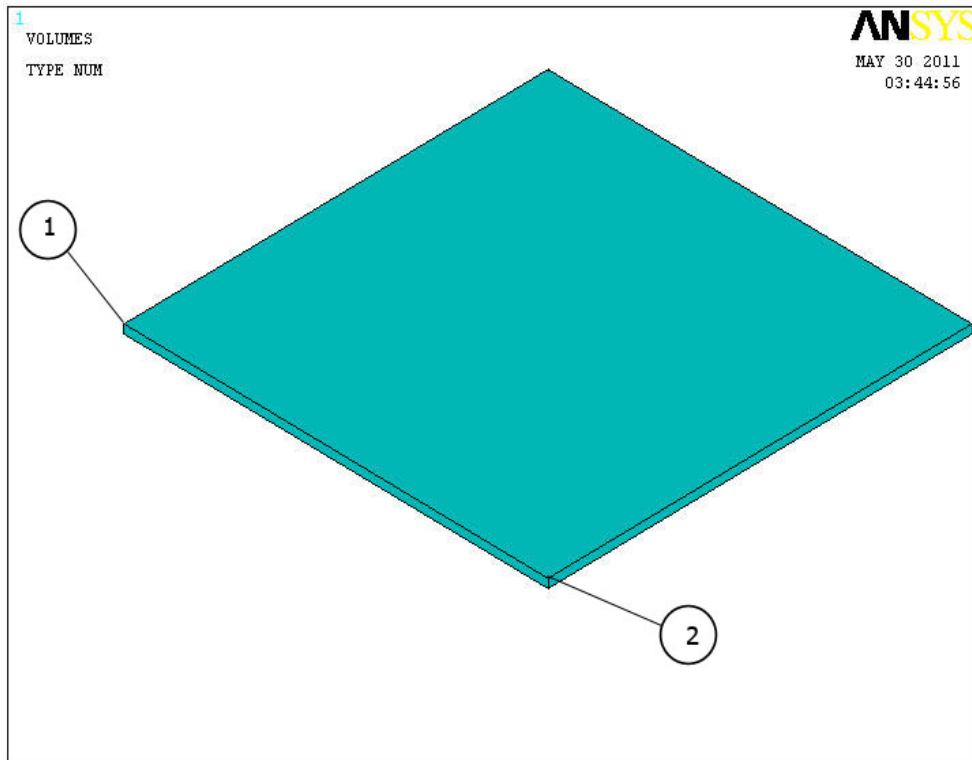
Şekil 3.2 Tek tesirli bindirme bağlantı tasarımının sonlu eleman modeli



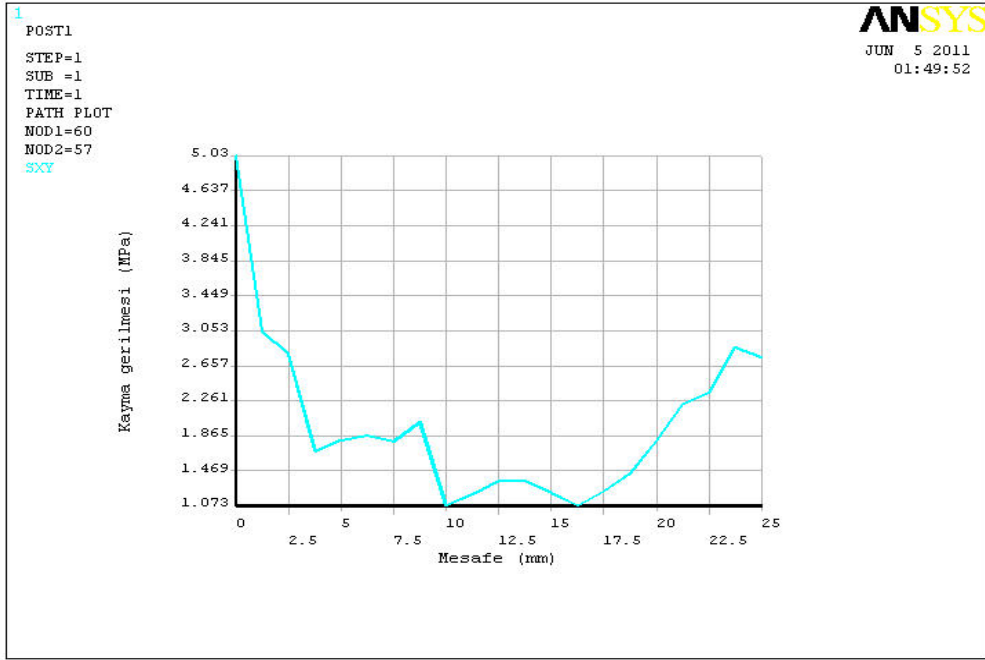
Şekil 3.3 Tek tesirli bindirme bağlantı tasarımının kayma gerilmesi



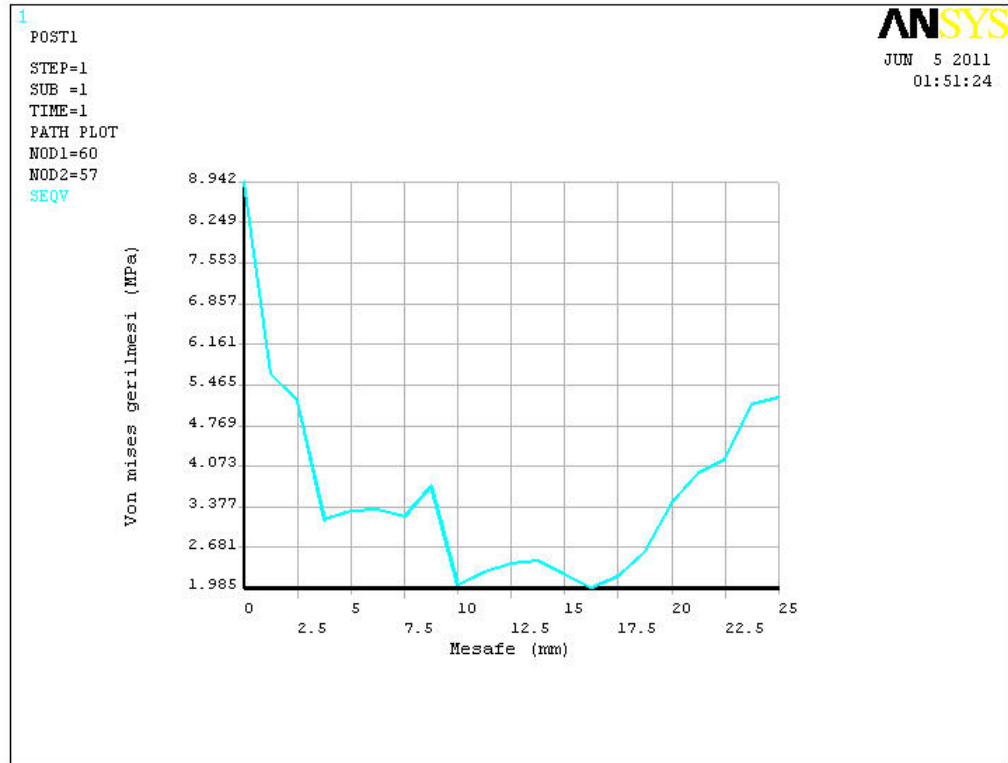
Şekil 3.4 Tek tesirli bindirme bağlantı tasarımında kullanılan yapıştırıcı malzemenin kayma gerilmesi



Şekil 3.5 Tek tesirli bindirme bağlantı tasarımında yapıştırıcı üzerinde göz önüne alınan yol

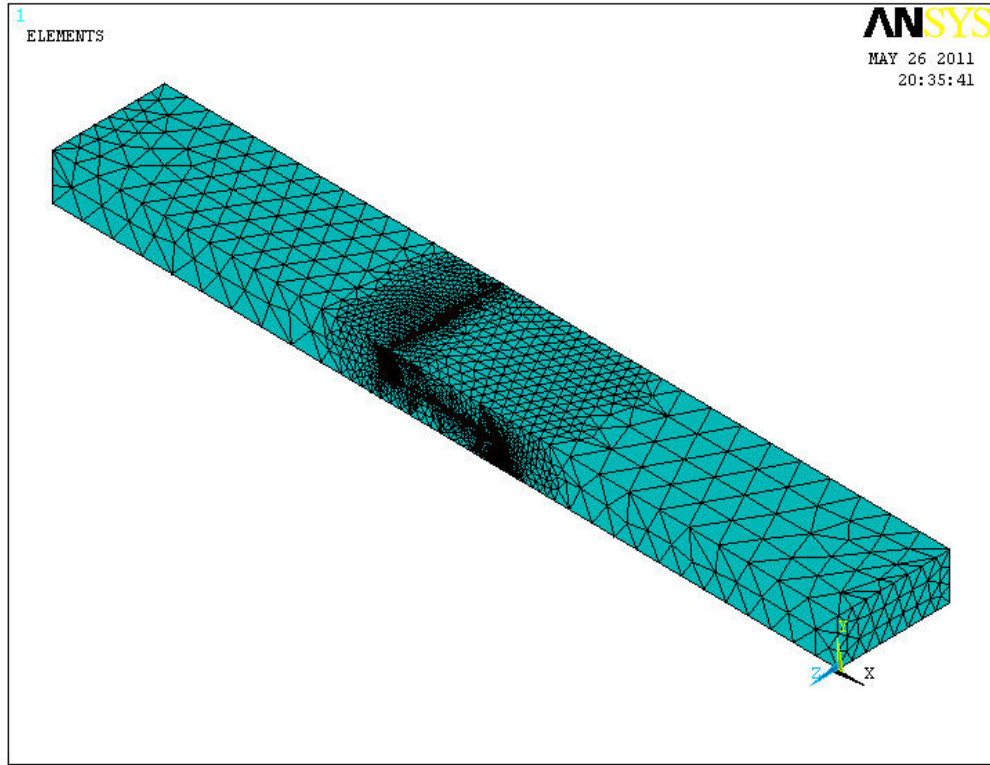


Şekil 3.6 Tek tesirli bindirme bağlantı tasarımının kayma gerilme grafiği

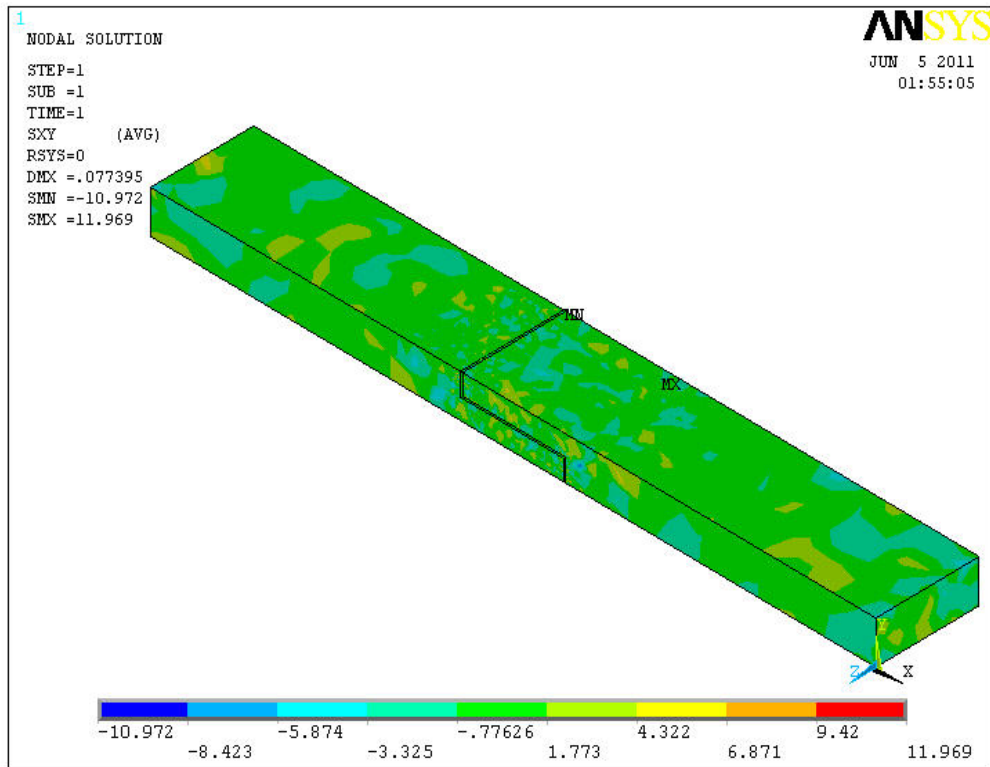


Şekil 3.7 Tek tesirli bindirme bağlantı tasarımının von mises gerilme grafiği

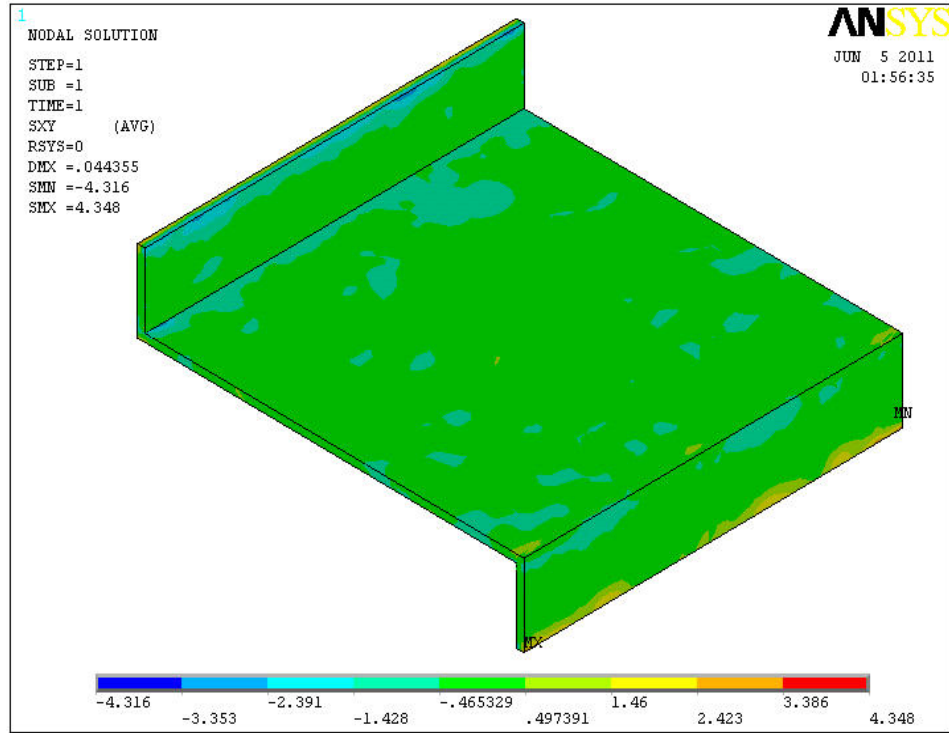
### 3.2.2 Tek Kademeli Bindirme Bağlantı Tasarımı



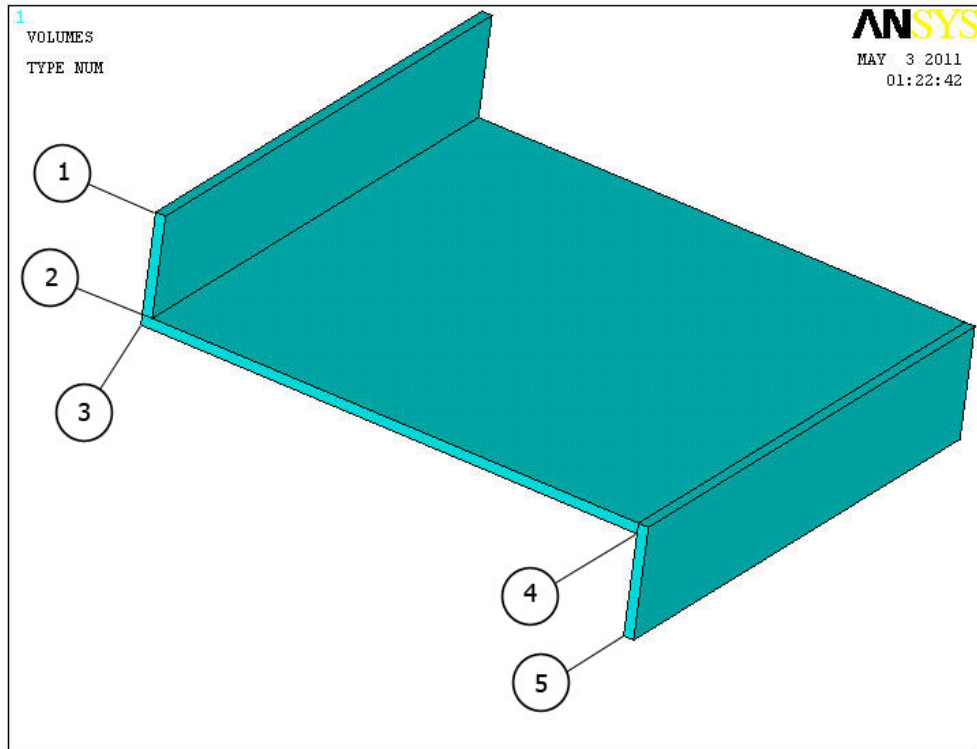
Şekil 3.8 Tek kademeli bindirme bağlantı tasarımının sonlu eleman modeli



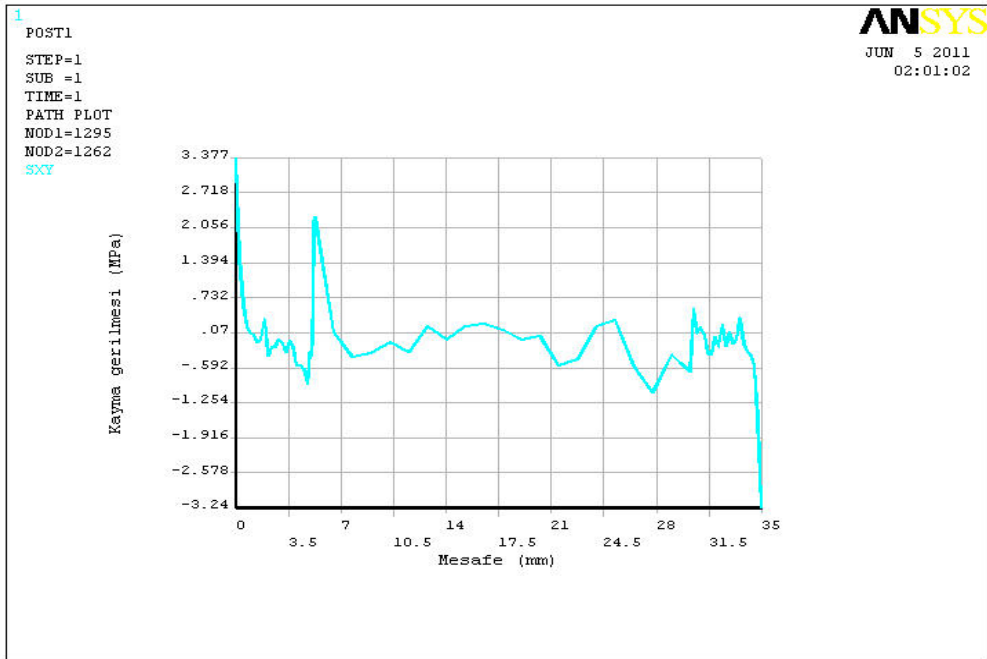
Şekil 3.9 Tek kademeli bindirme bağlantı tasarımının kayma gerilmesi



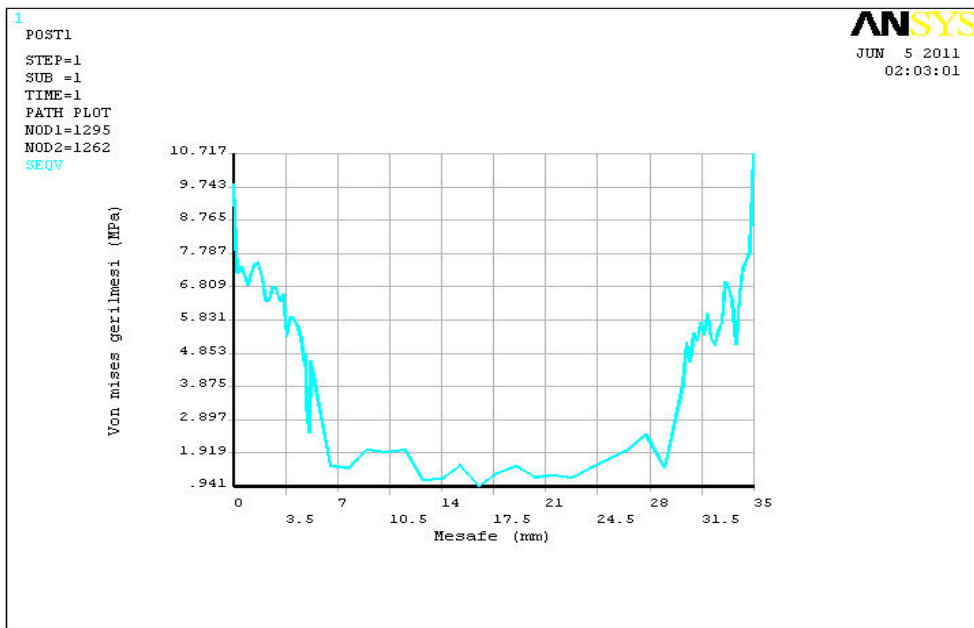
Şekil 3.10 Tek kademeli bindirme bağlantı tasarımında kullanılan yapıştırıcı malzemenin kayma gerilmesi



Şekil 3.11 Tek kademeli bindirme bağlantı tasarımında yapıştırıcı üzerinde göz önüne alınan yol

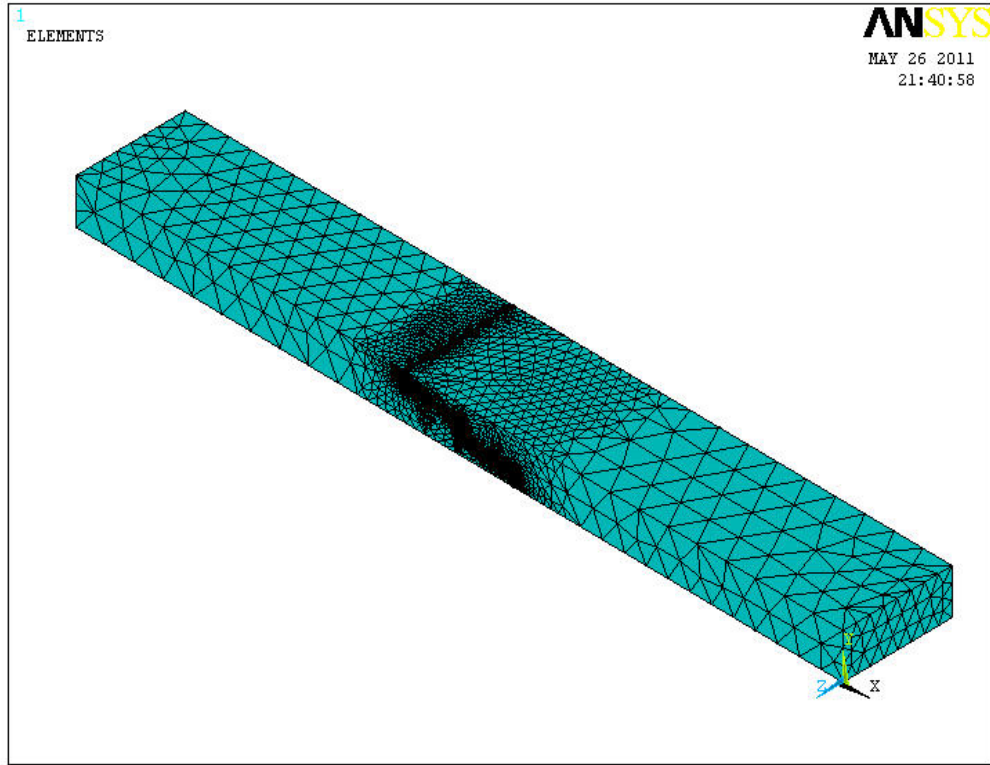


Şekil 3.12 Tek kademeli bindirme bağlantı tasarımının kayma gerilme grafiği

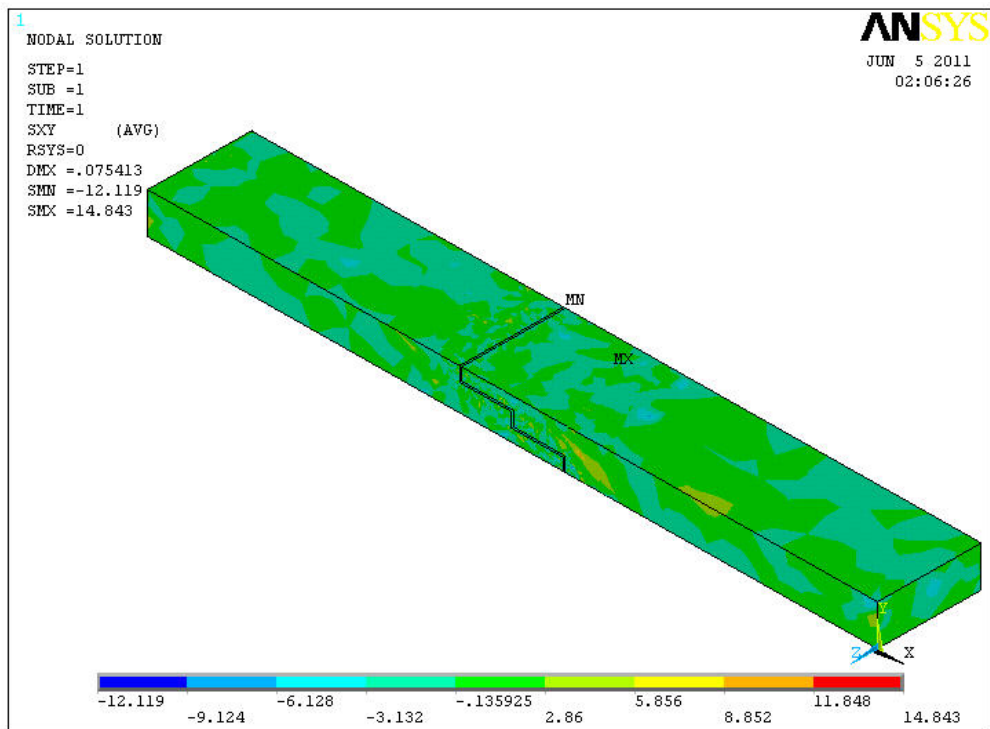


Şekil 3.13 Tek kademeli bindirme bağlantı tasarımının von mises gerilme grafiği

### 3.2.3 Çift Kademeli Bindirme Bağlantı Tasarımı

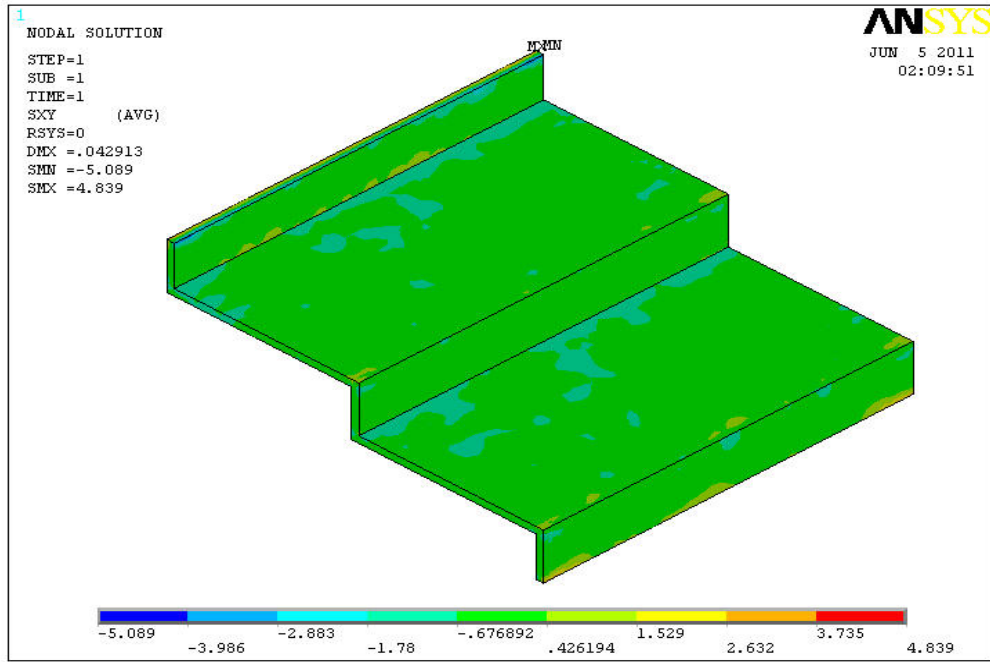


Şekil 3.14 Çift kademeli bindirme bağlantı tasarımının sonlu eleman modeli

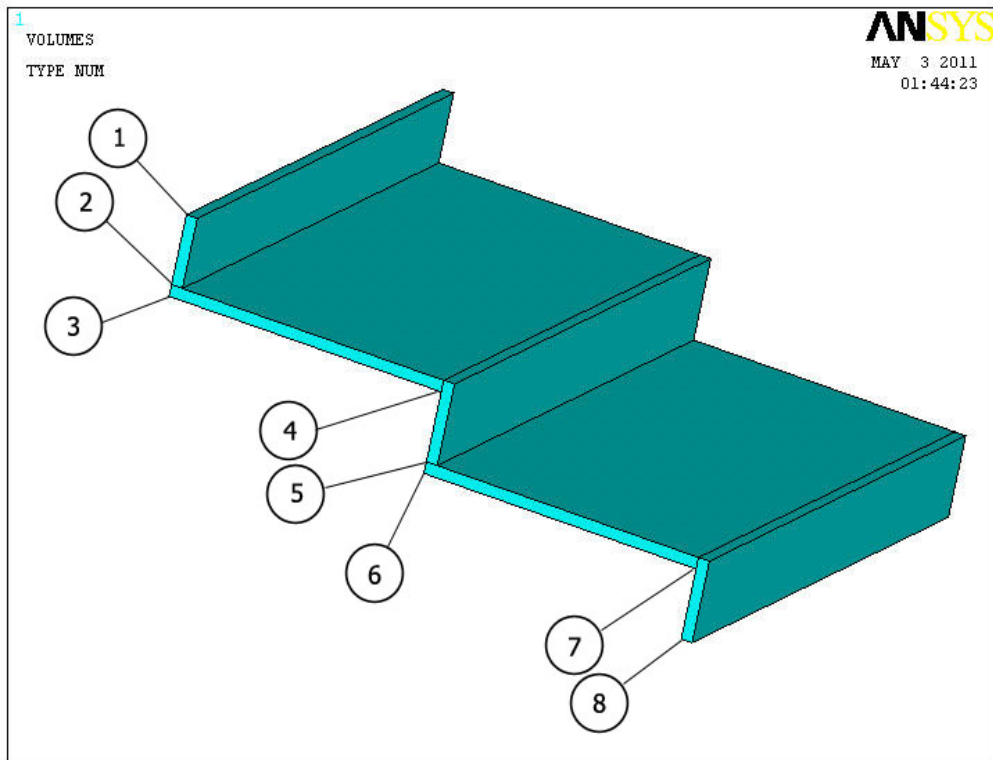


Şekil 3.15 Çift kademeli bindirme bağlantı tasarımının kayma gerilmesi



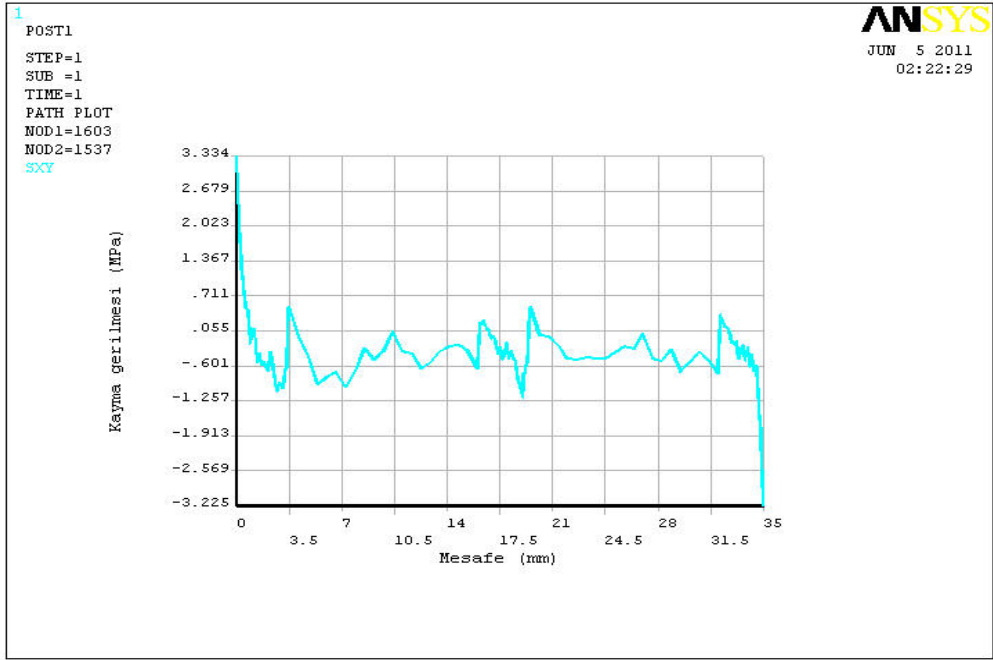


3.16 Çift kademeli bindirme bağlantı tasarımında kullanılan yapıştırıcı malzemenin kayma gerilmesi

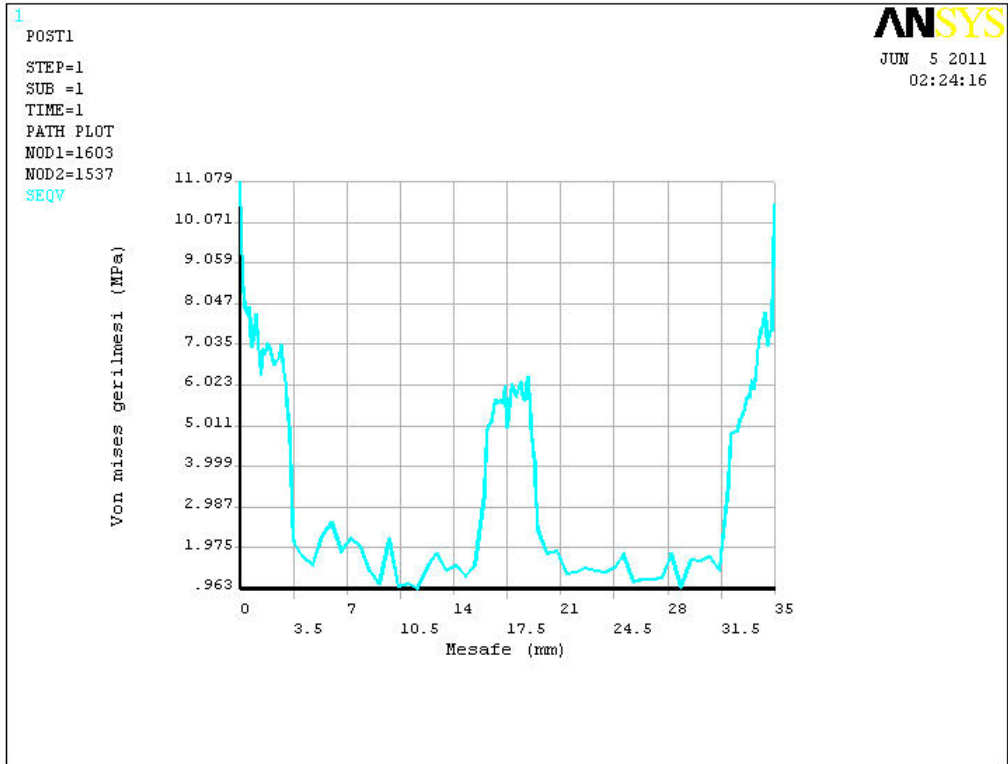


Şekil 3.17 Çift kademeli bindirme bağlantı tasarımında yapıştırıcı üzerinde göz önüne alınan yol



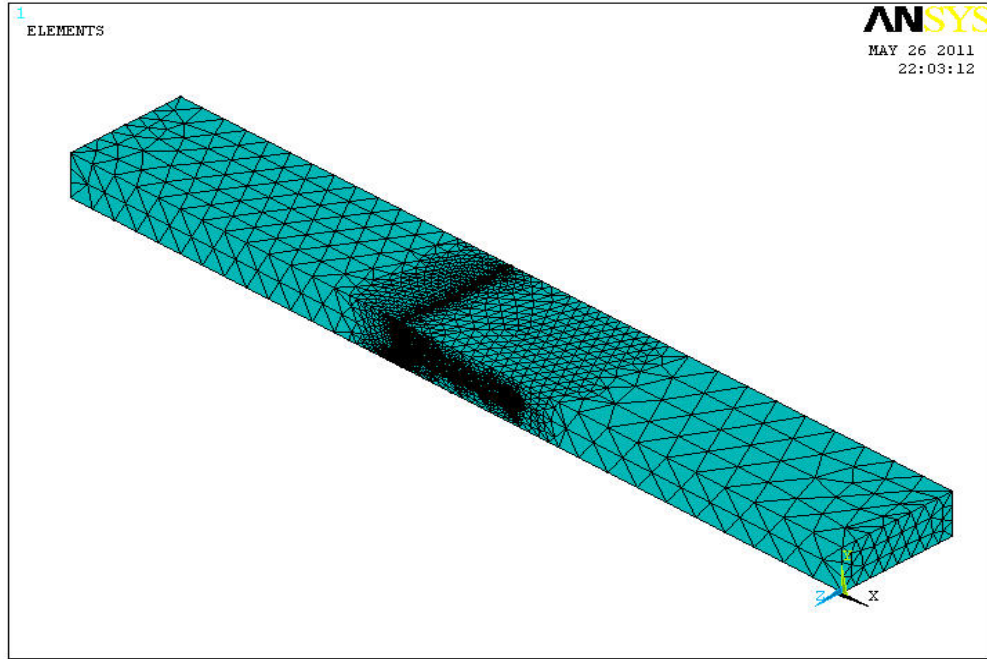


Şekil 3.18 Çift kademeli bindirme bağlantı tasarımının kayma gerilme grafiği

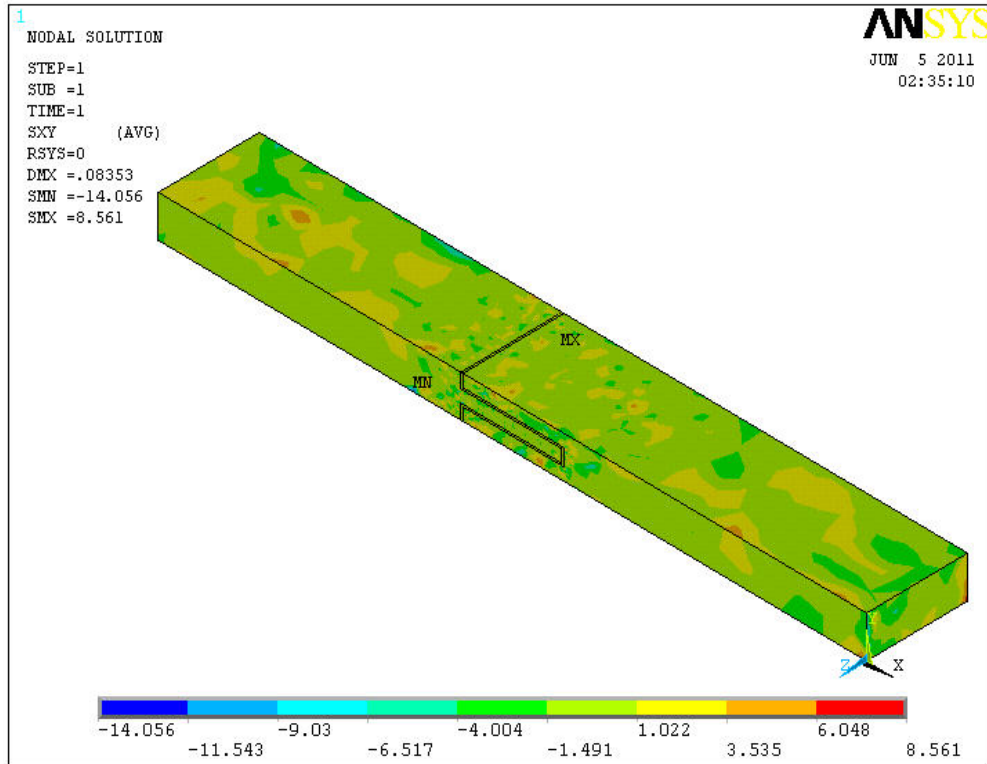


Şekil 3.19 Çift kademeli bindirme bağlantı tasarımının von mises gerilme grafiği

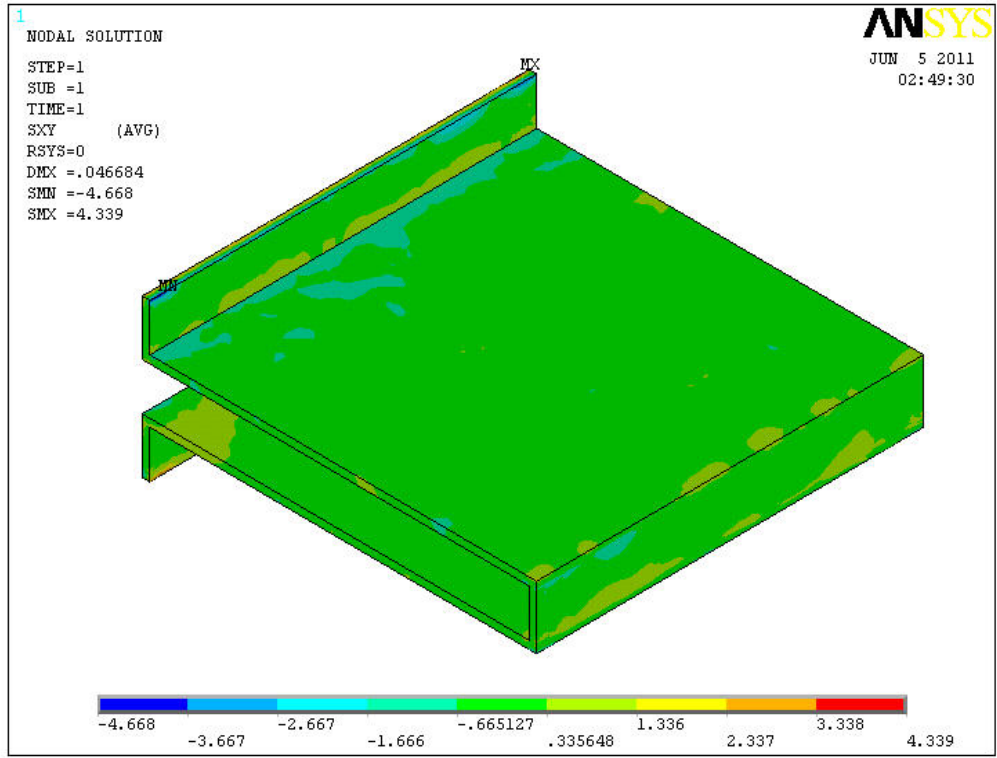
### 3.2.4 Geçmeli Bağlantı Tasarımı



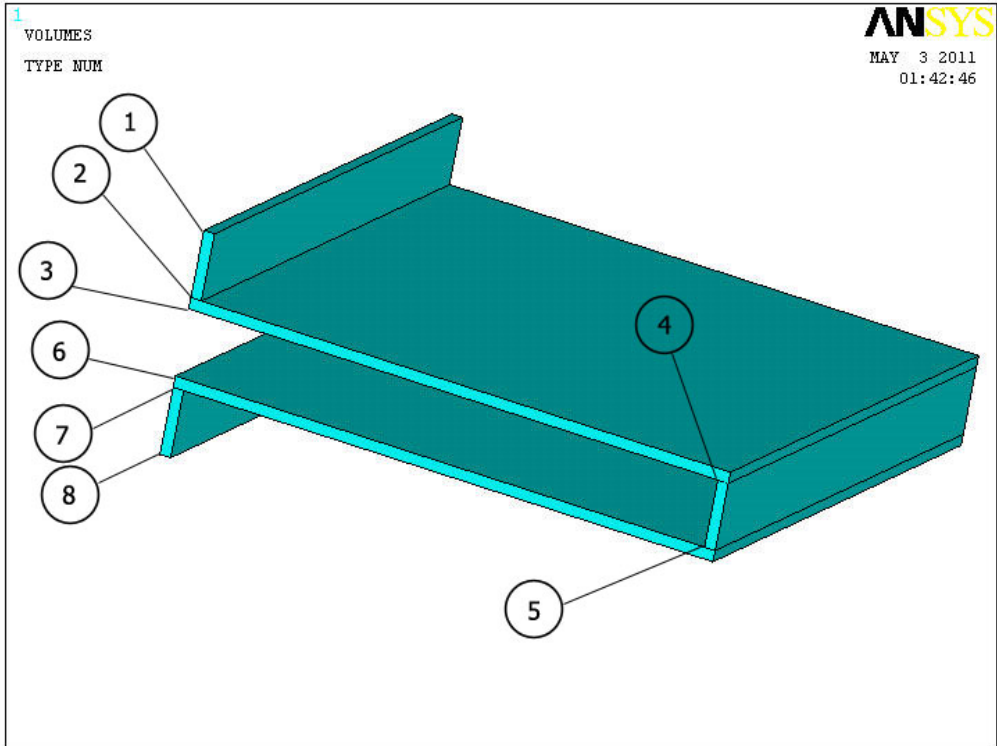
Şekil 3.20 Geçmeli bağlantı tasarımının sonlu eleman modeli



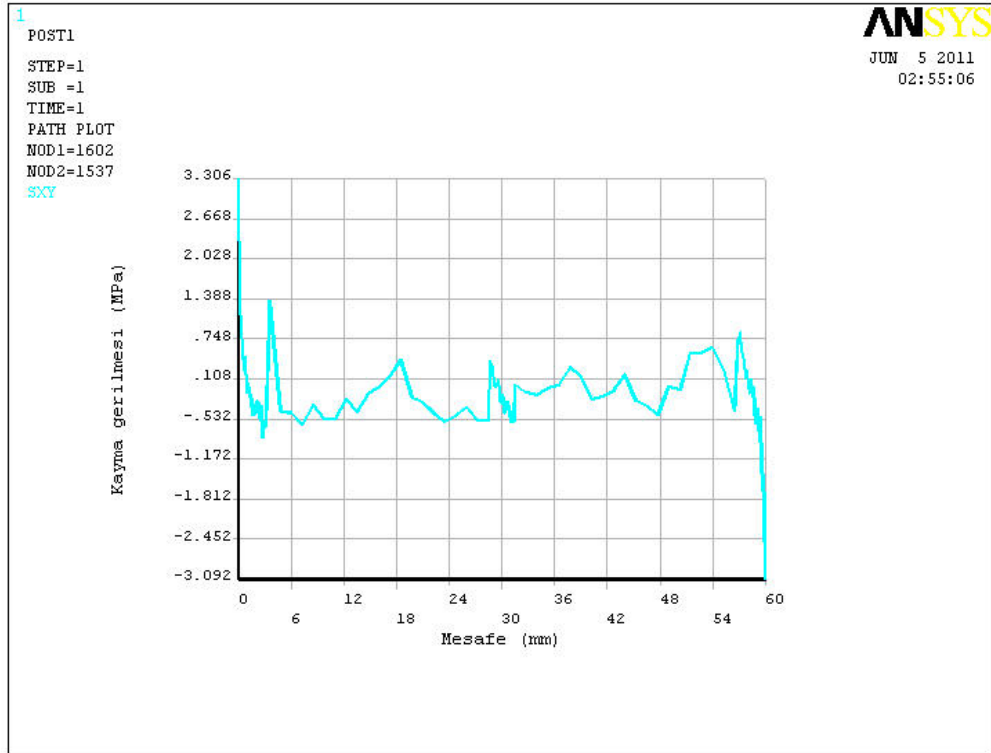
Şekil 3.21 Geçmeli bağlantı tasarımının kayma gerilmesi



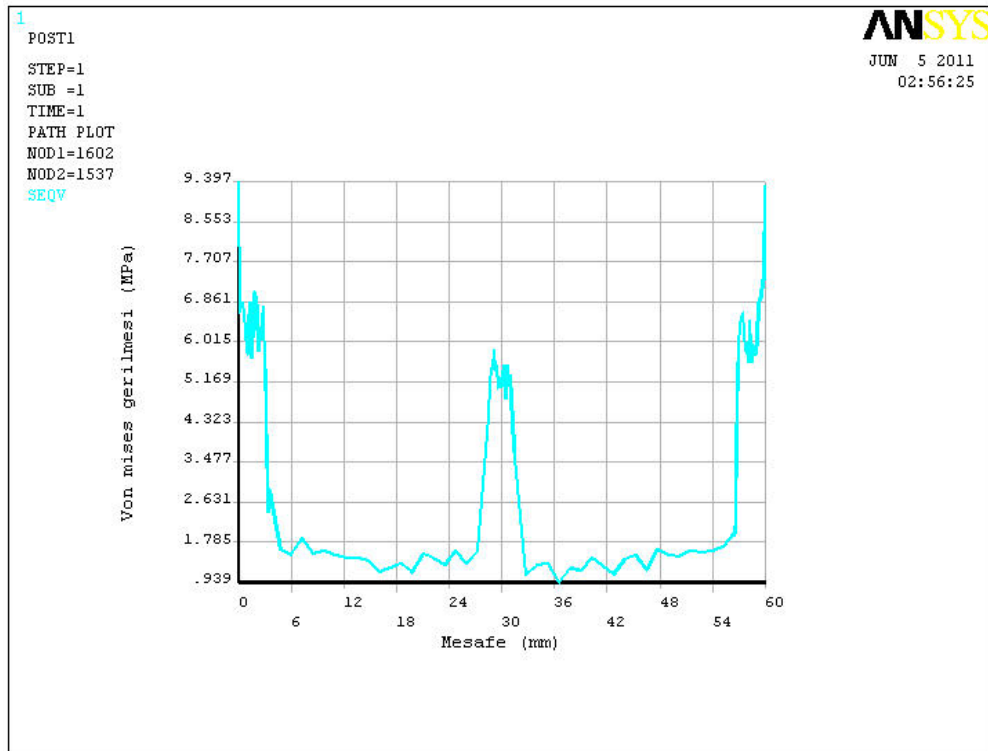
3.22 Geçmeli bağlantı tasarımında kullanılan yapıştırıcı malzemenin kayma gerilmesi



Şekil 3.23 Geçmeli bağlantı tasarımında yapıştırıcı üzerinde göz önüne alınan yol



Şekil 3.24 Geçmeli bağlantı tasarımının kayma gerilme grafiği



Şekil 3.25 Geçmeli bağlantı tasarımının von mises gerilme grafiği

Tek tesirli bindirme bağlantı tasarımında yapıştırıcının uç bölgelerinde maksimum kayma ve eşdeğer (von mises) gerilme değerleri görülmüştür. Kuvvet akımı ani dönüşten dolayı yapıştırıcının serbest uçlarında büyük gerilme yığılmaları meydana getirir. En düşük gerilmeleri ise yapıştırıcının orta kısımlarında meydana gelmiştir.

Tek kademeli, çift kademeli ve geçme bağlantı tasarımlarında yükleme ve yapıştırıcının geometrisine bağlı olarak yapıştırıcının uç noktalarındaki kayma gerilmelerinin yönünün değiştiği görülmektedir. Ayrıca bu değerlerin mutlak değerce birbirine yaklaşık olarak eşit olduğu görülmektedir ve bu uçlardaki kayma gerilme değerlerinin maksimum değerlere ulaştığı görülmektedir. En düşük kayma gerilme değerleri ise yapıştırıcının orta kısmında meydana gelmiştir. Aynı nedenlerden dolayı yapıştırıcının uç bölgelerinde eşdeğer gerilme değerleri eşit çıkmıştır ve maksimum değerlere ulaşmıştır. En düşük von mises gerilme değerleri ise çeki yönüne paralel olan yüzeylerde görülmüştür.

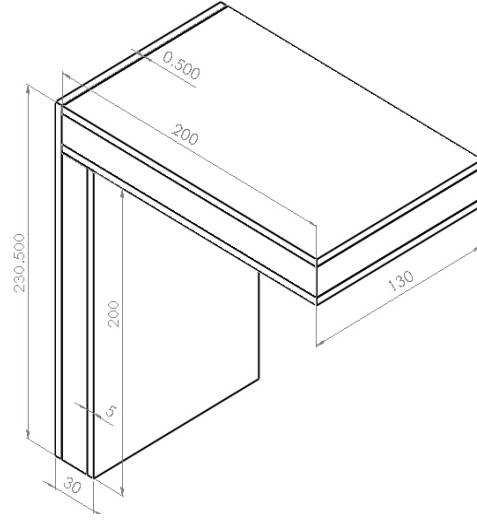
### 3.3 Köşe bağlantı Tasarımları

Bu bölümde, desteksiz yapıştırılmış, L Profil ile desteklenmiş ve U Profil ile desteklenmiş köşe bağlantı tasarımları üst kısımdan uygulanan  $0,5 \text{ N/mm}^2$  yük ile eğilmeye maruz bırakılmıştır. Elde edilen gerilme dağılımları karşılaştırılarak en uygun bağlantı tasarımına karar verilmiştir. eleman tipi tüm malzemeler için solid 45 olarak girilmiştir Üç farklı bağlantı tasarımında kullanılan malzemelerin özellikleri Tablo3.3 de verilmiştir.

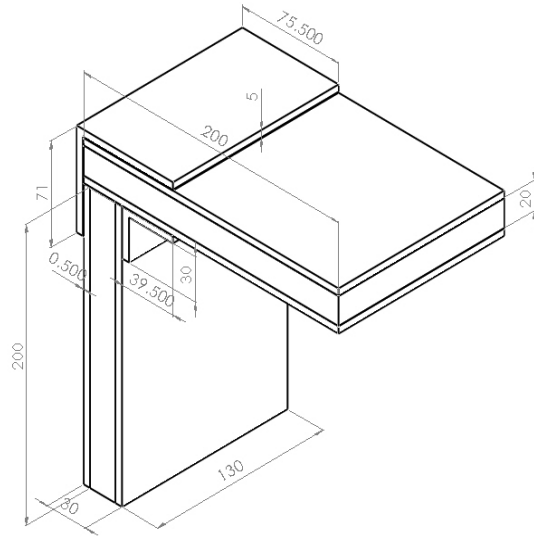
Tablo 3.3 Köşe bağlantı tasarımlarında kullanılan malzemelere ait mekanik özellikleri

Malzemeler	E (MPa)	$\nu$
Kabuk(CTP)	11000	0,37
Çekirdek (Köpük)	7500	0,32
Yapıştırıcı	2800	0,4
Çelik	200000	0,3

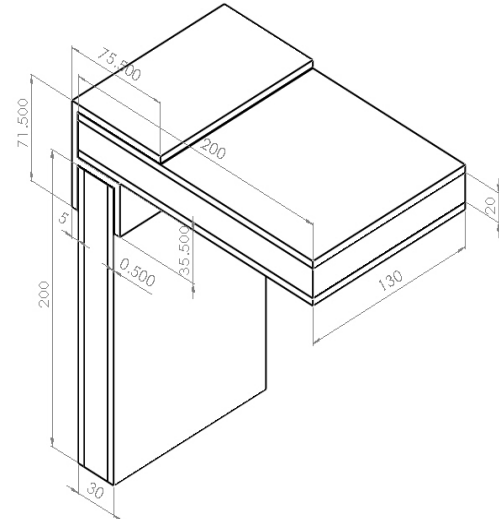
a)



b)

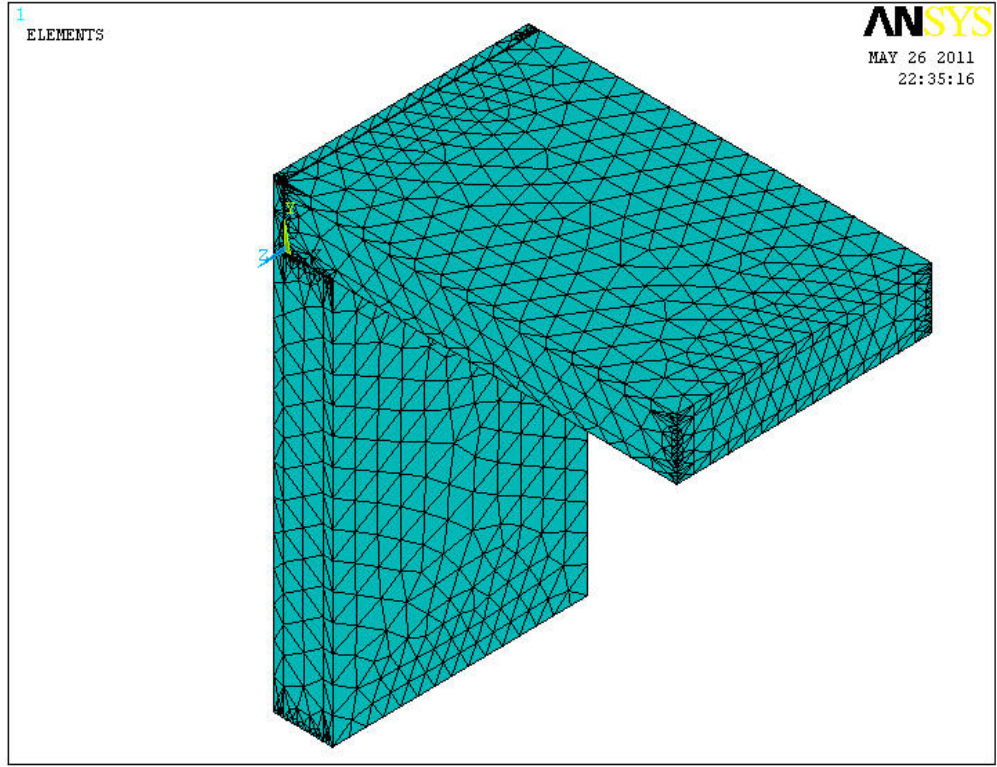


c)

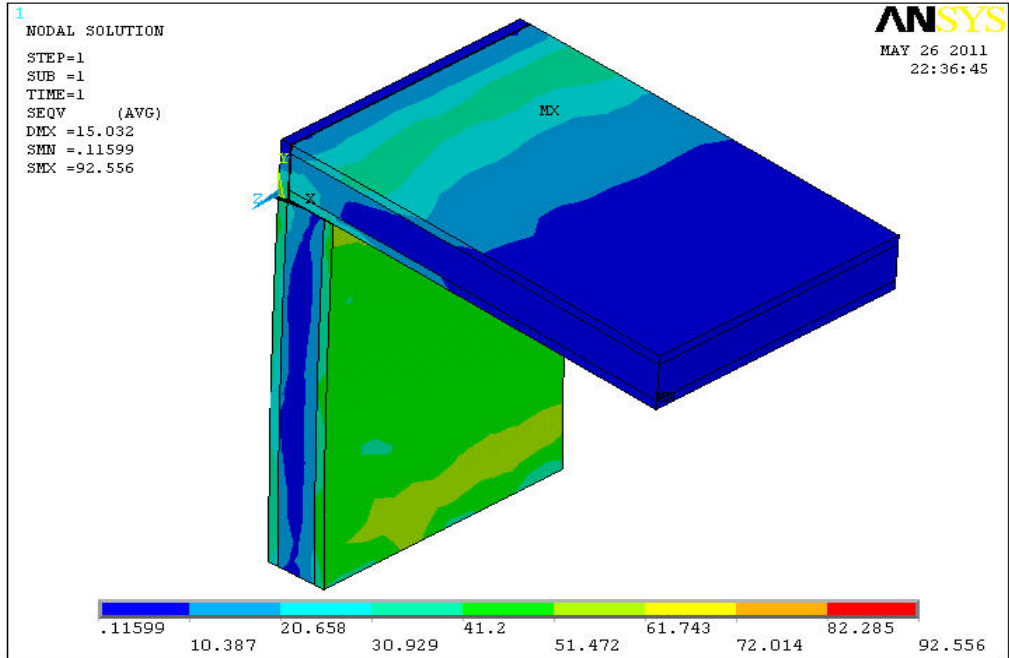


Şekil 3.26 Köşe bağlantı tasarımlarının boyutlandırılması a) Desteksiz yapıştırılmış köşe bağlantı tasarımı b) L profil ile desteklenmiş köşe bağlantı tasarımı c) U profil ile desteklenmiş köşe bağlantı tasarımı

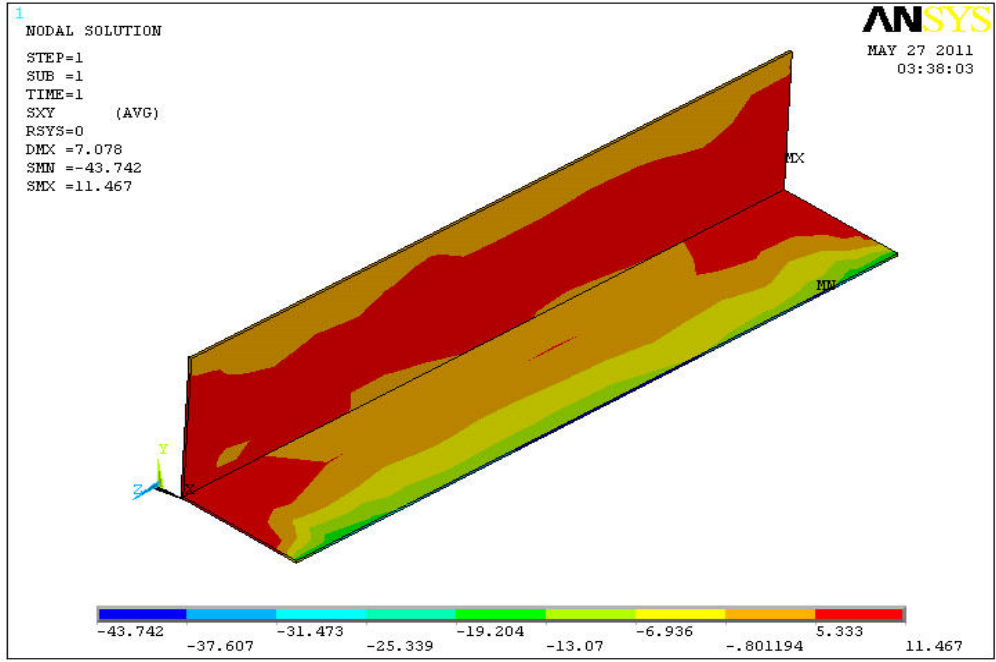
### 3.3.1 Desteksiz Yapıştırılmış Köşe Bağlantı Tasarımı



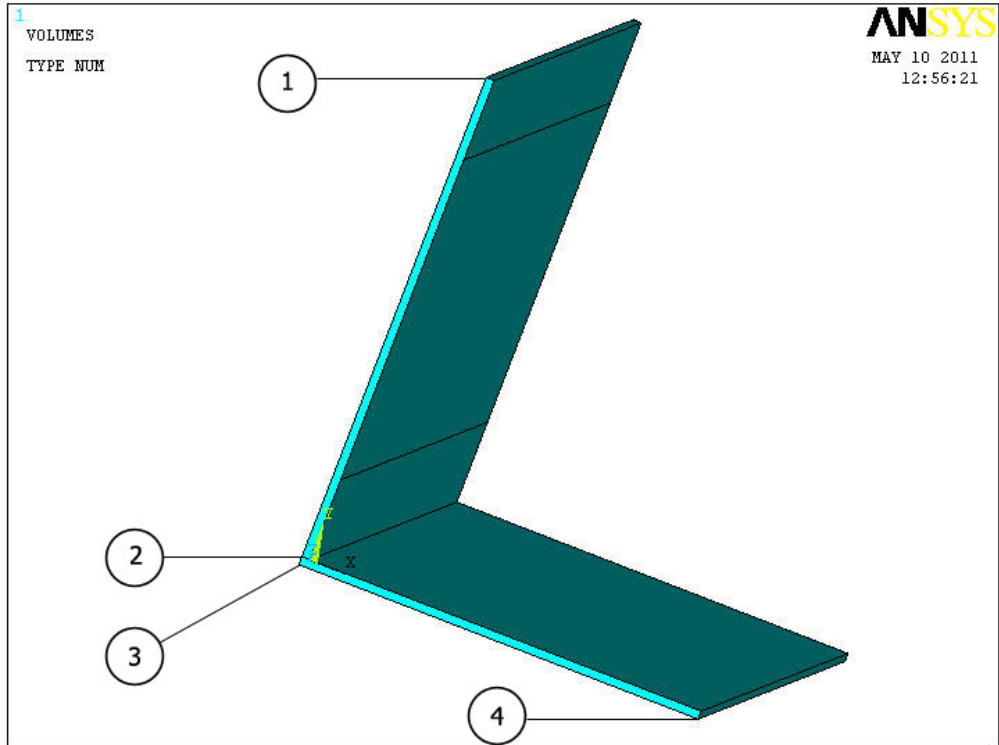
Şekil 3.27 Desteksiz yapıştırılmış köşe bağlantı tasarımının sonlu eleman modeli



Şekil 3.28 Desteksiz yapıştırılmış köşe bağlantı tasarımının von mises gerilmesi

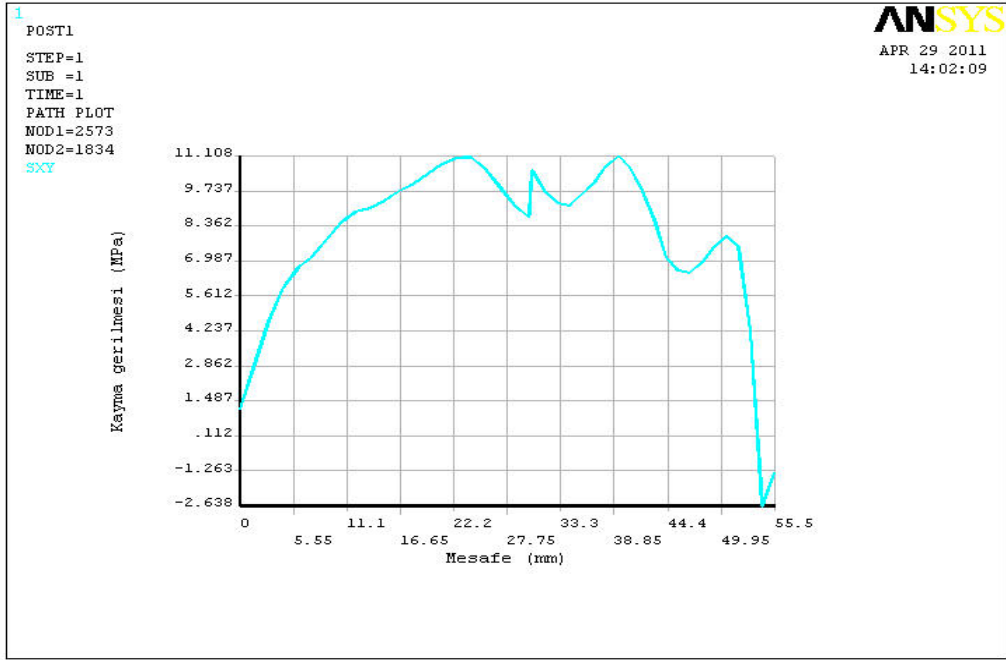


3.29 Desteksiz yapıştırılmış bağlantı tasarımında yapıştırıcı malzemenin kayma gerilmesi

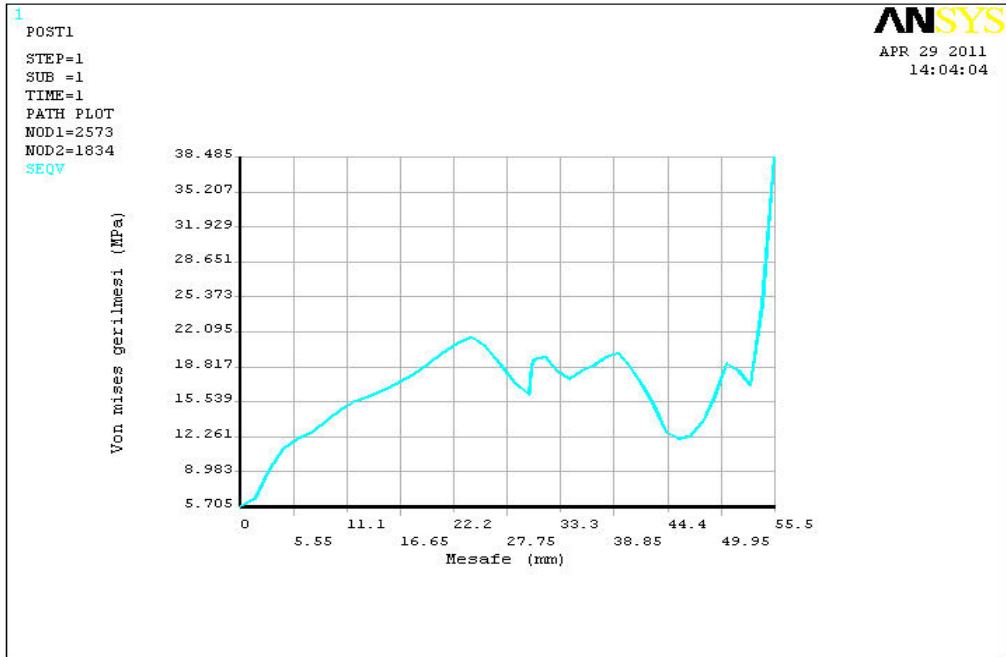


Şekil 3.30 Desteksiz yapıştırılmış köşe bağlantı tasarımında yapıştırıcı üzerinde göz önüne alınan yol



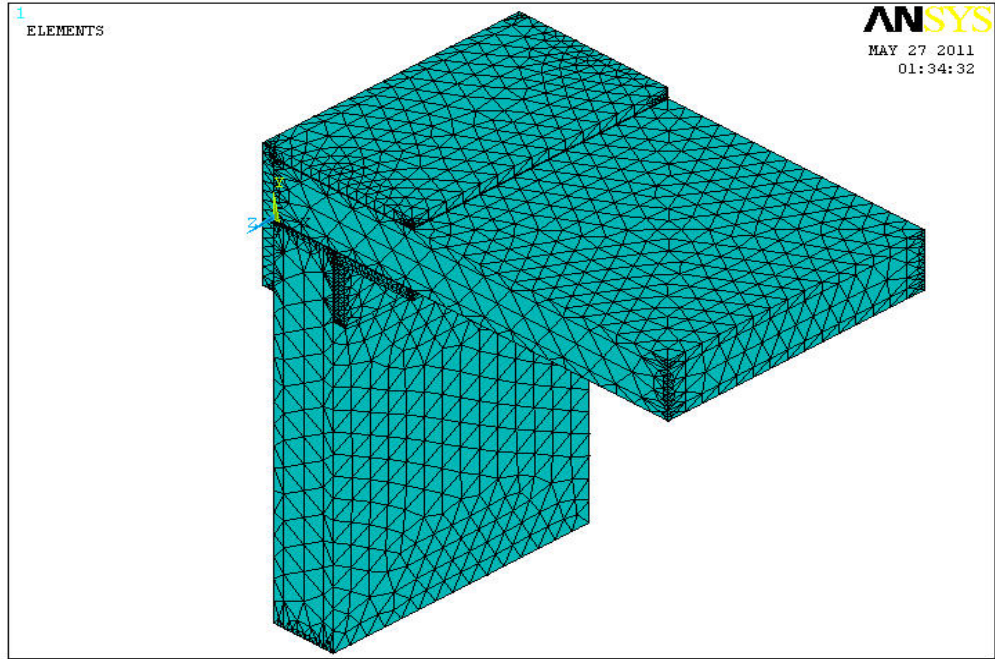


Şekil 3.31 Desteksiz yapılandırılmış köşe bağlantı tasarımının kayma gerilme grafiği

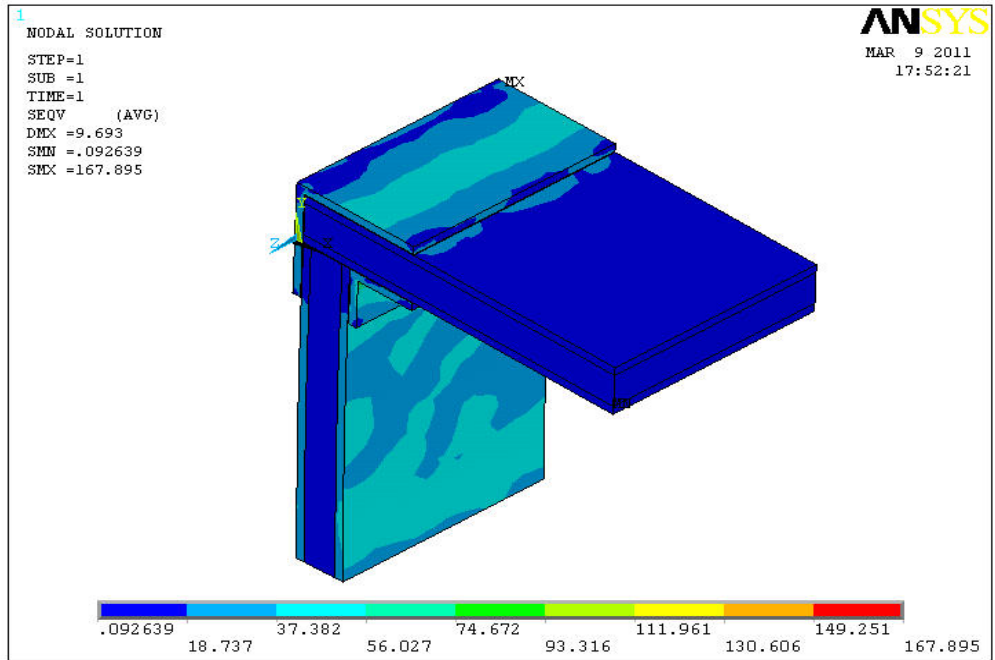


Şekil 3.32 Desteksiz yapılandırılmış köşe bağlantı tasarımının von mises gerilme grafiği

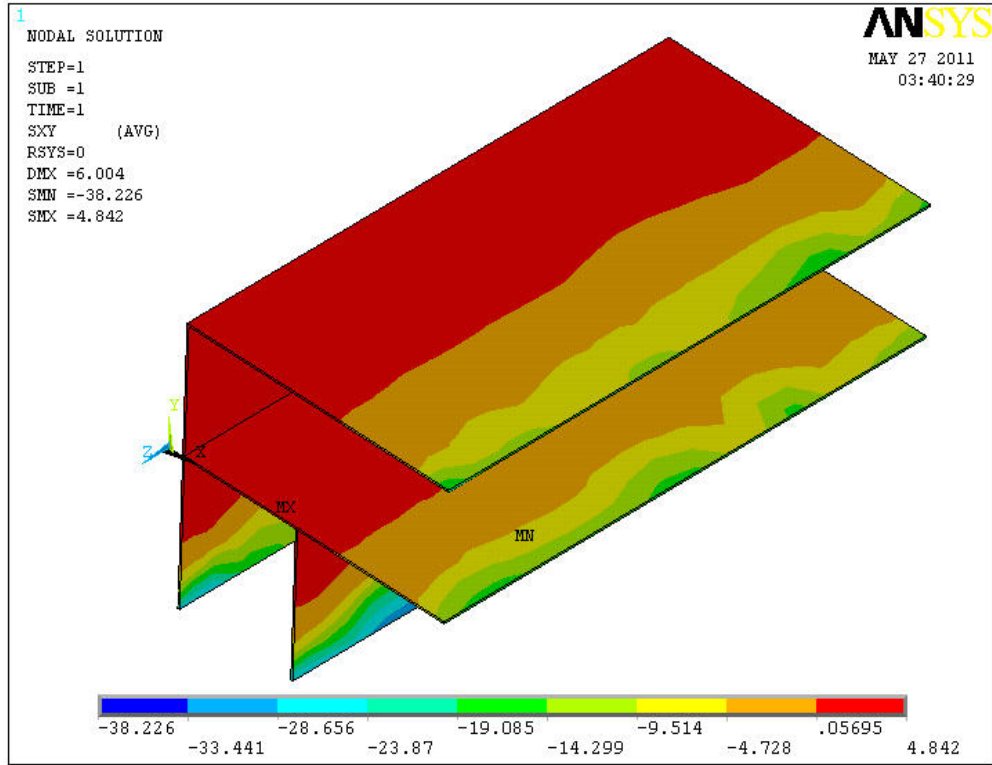
### 3.3.2 L Profil İle Desteklenmiş Köşe Bağlantı Tasarımı



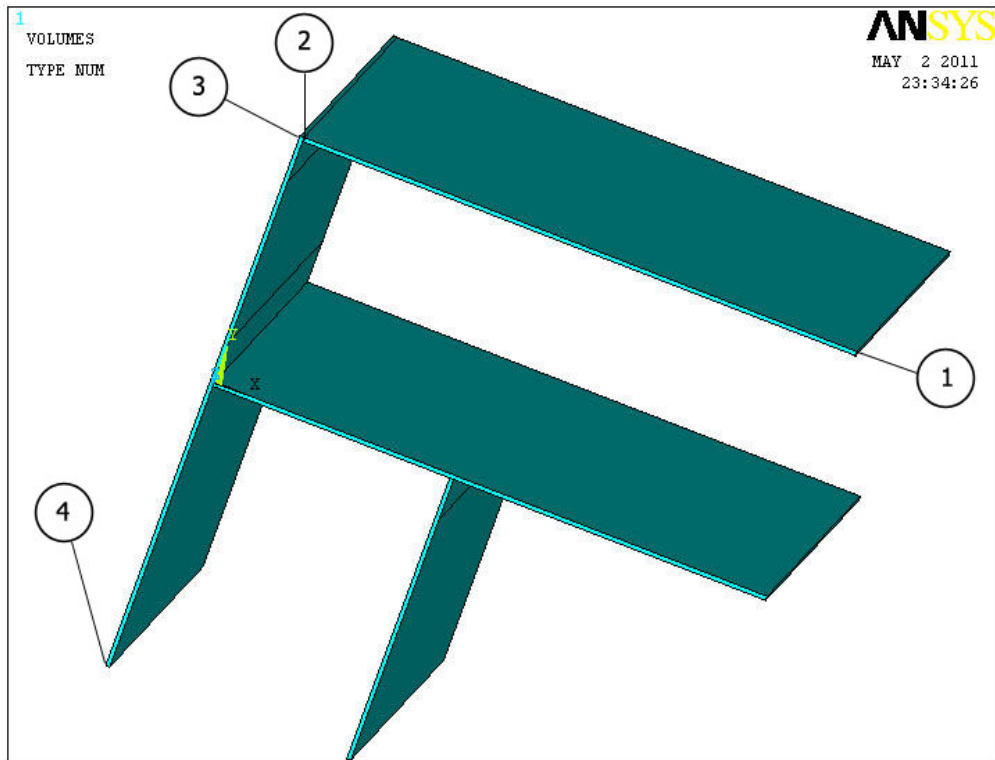
Şekil 3.33 L Profil ile desteklenmiş köşe bağlantı tasarımının sonlu eleman modeli



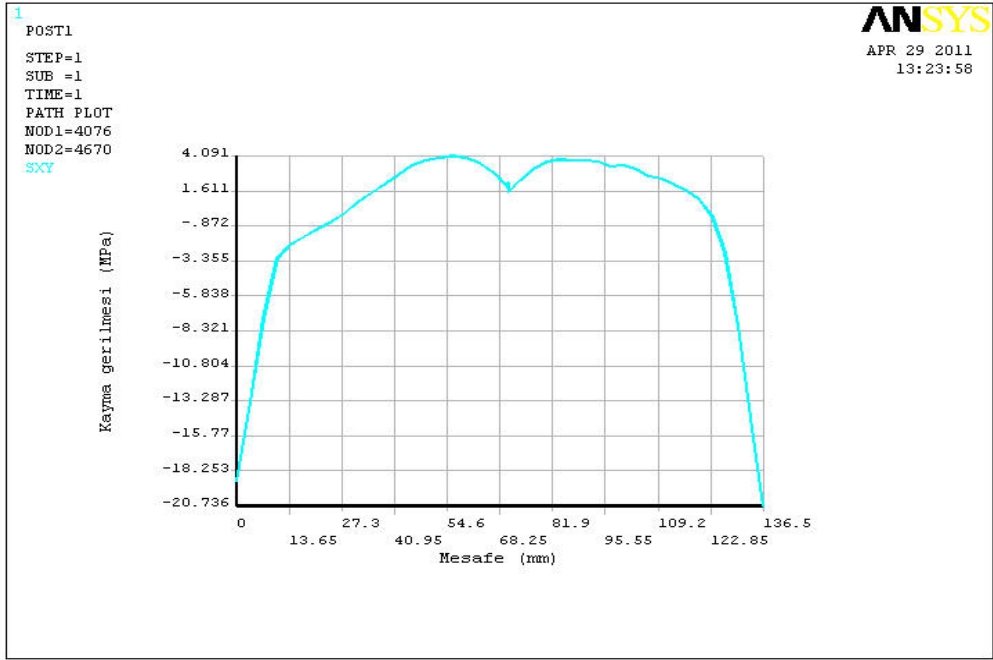
Şekil 3.34 L Profil ile desteklenmiş köşe bağlantı tasarımının von mises gerilmesi



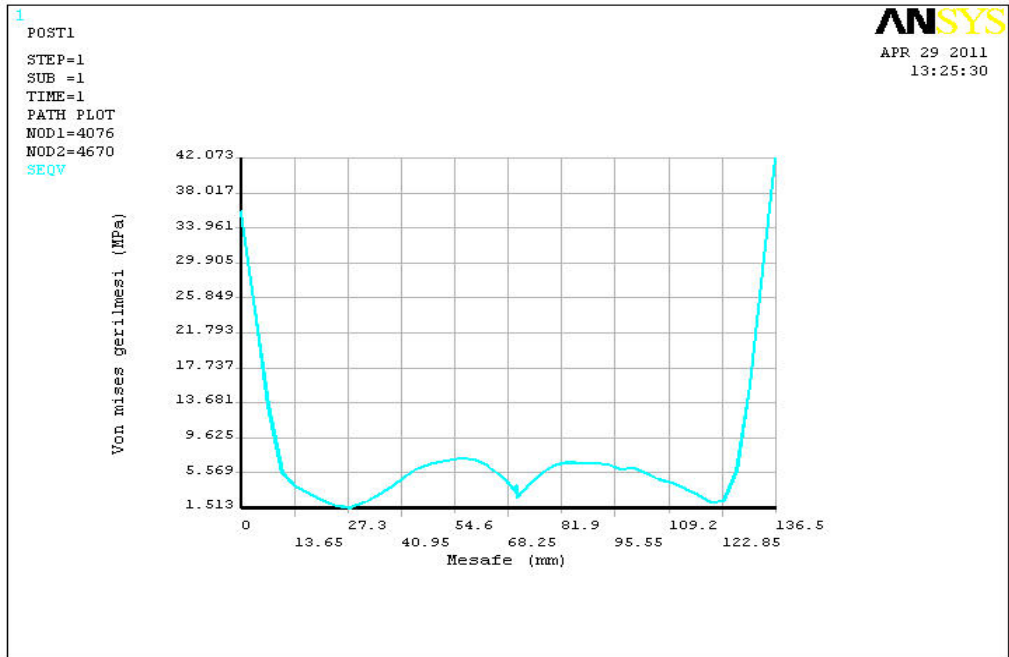
3.35 L Profil ile desteklenmiş bağlantı tasarımında yapıştırıcı malzemenin kayma gerilmesi



Şekil 3.36 L Profil ile desteklenmiş köşe bağlantı tasarımında yapıştırıcı üzerinde göz önüne alınan yol

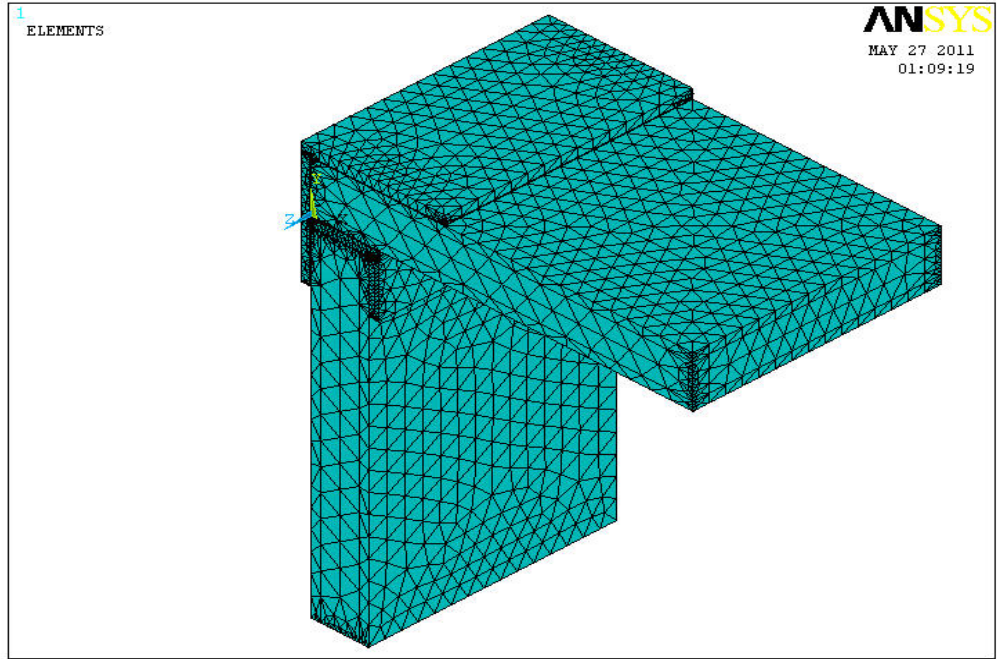


Şekil 3.37 L Profil ile desteklenmiş köşe bağlantı tasarımının kayma gerilme grafiği

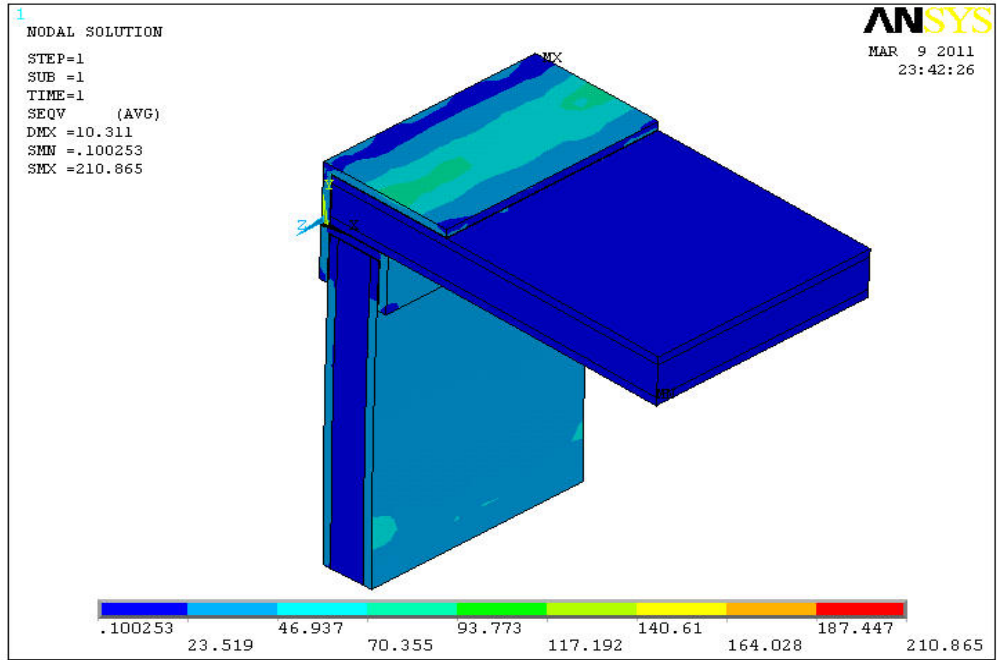


Şekil 3.38 L Profil ile desteklenmiş köşe bağlantı tasarımının von mises gerilme grafiği

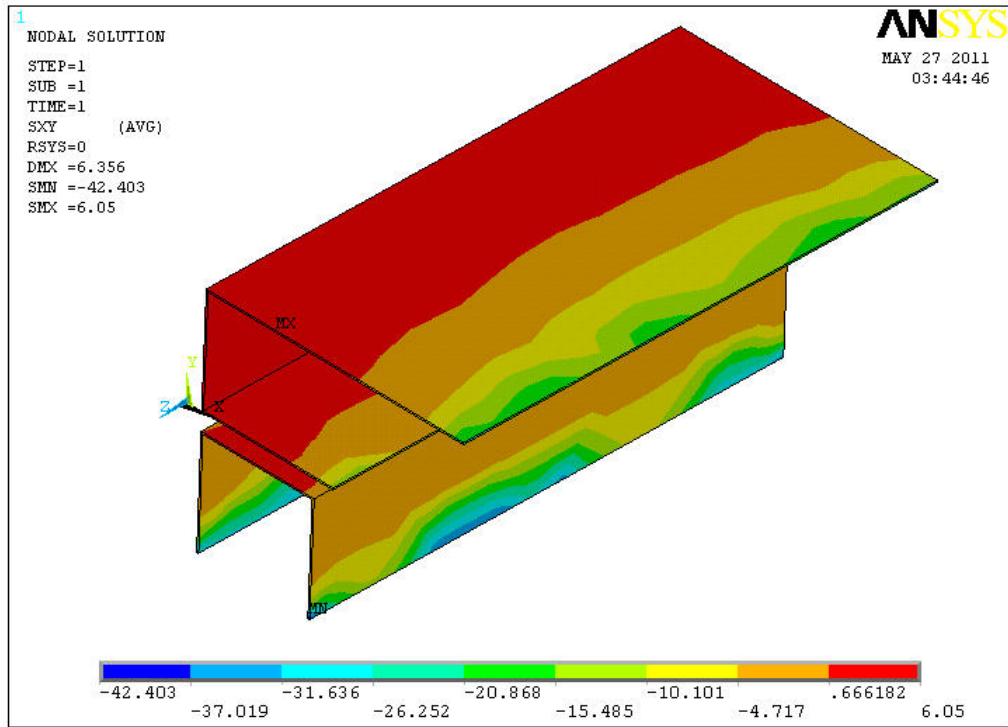
### 3.3.3 U Profil İle Desteklenmiş Köşe Bağlantı Tasarımı



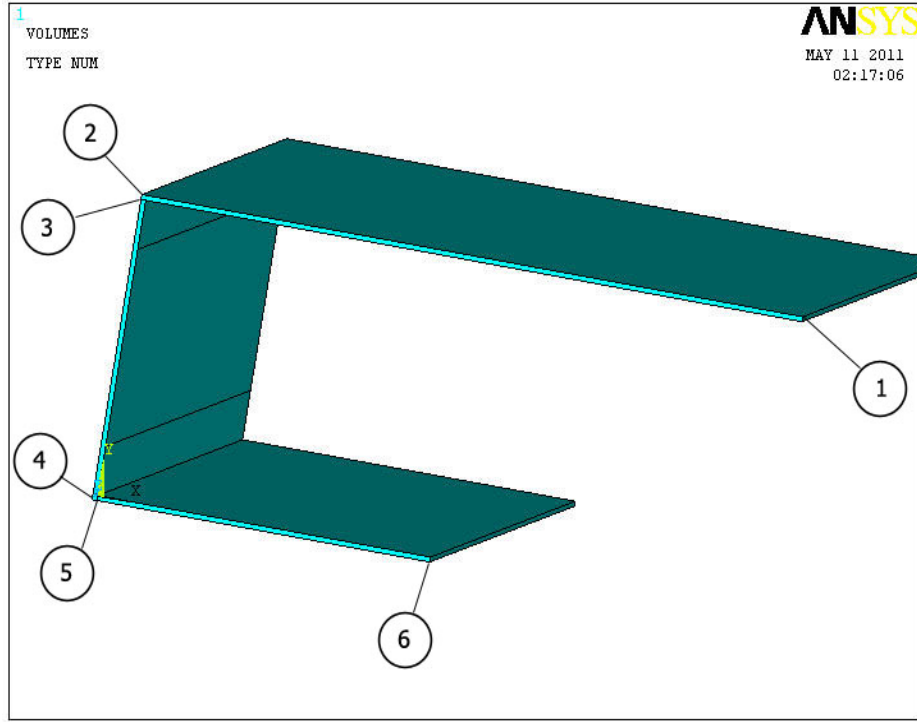
Şekil 3.39 U Profil ile desteklenmiş köşe bağlantı tasarımının sonlu eleman modeli



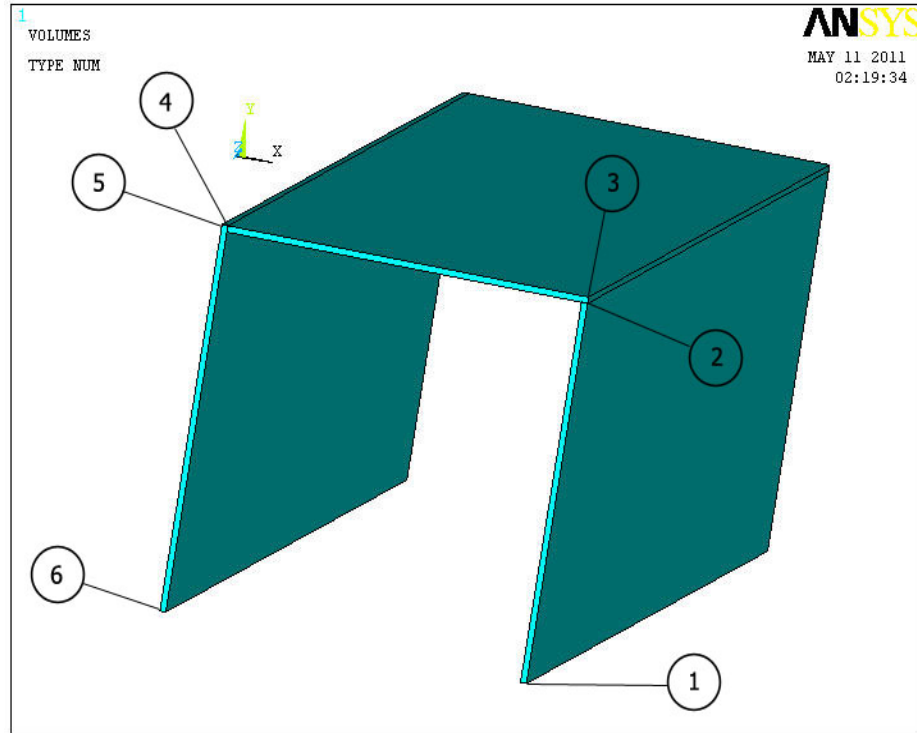
Şekil 3.40 U Profil ile desteklenmiş köşe bağlantı tasarımının von mises gerilmesi



3.41 U Profil ile desteklenmiş bağlantı tasarımında yapıştırıcı malzemenin kayma gerilmesi

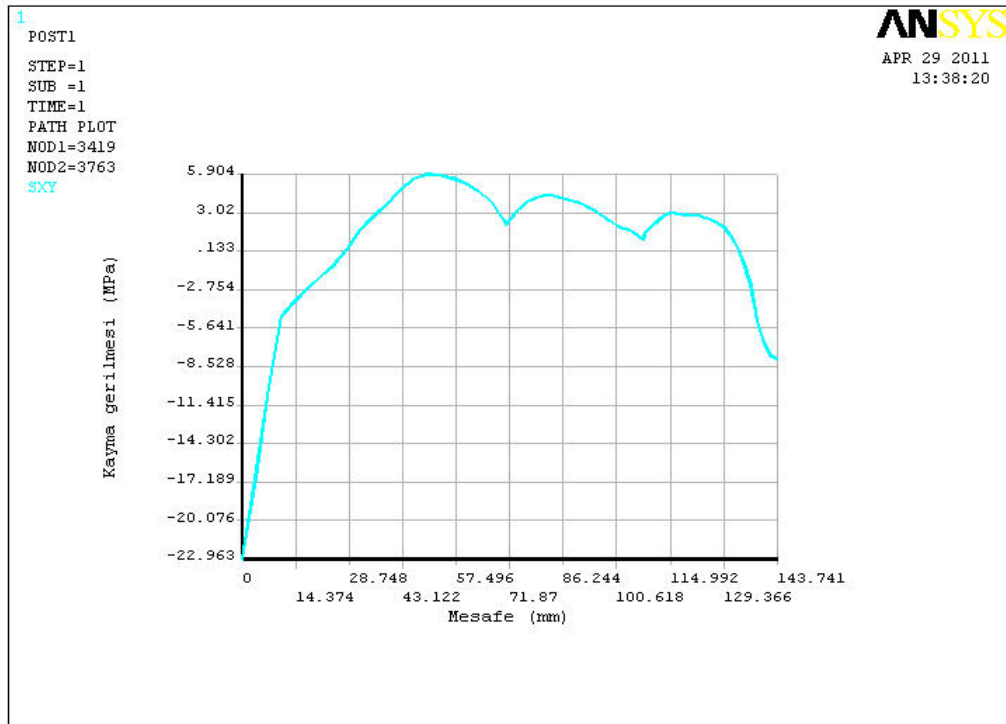


(a)

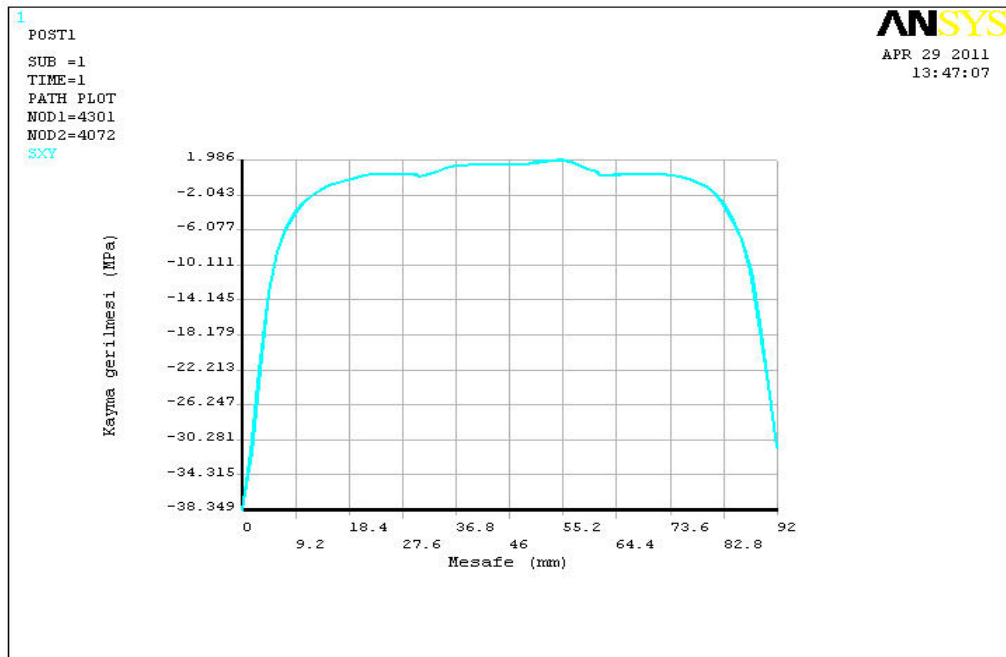


(b)

Şekil 3.42 U Profil ile desteklenmiş köşe bağlantı tasarımında yapıştırıcı üzerinde göz önüne alınan yol a) birinci yol b) ikinci yol



(a)

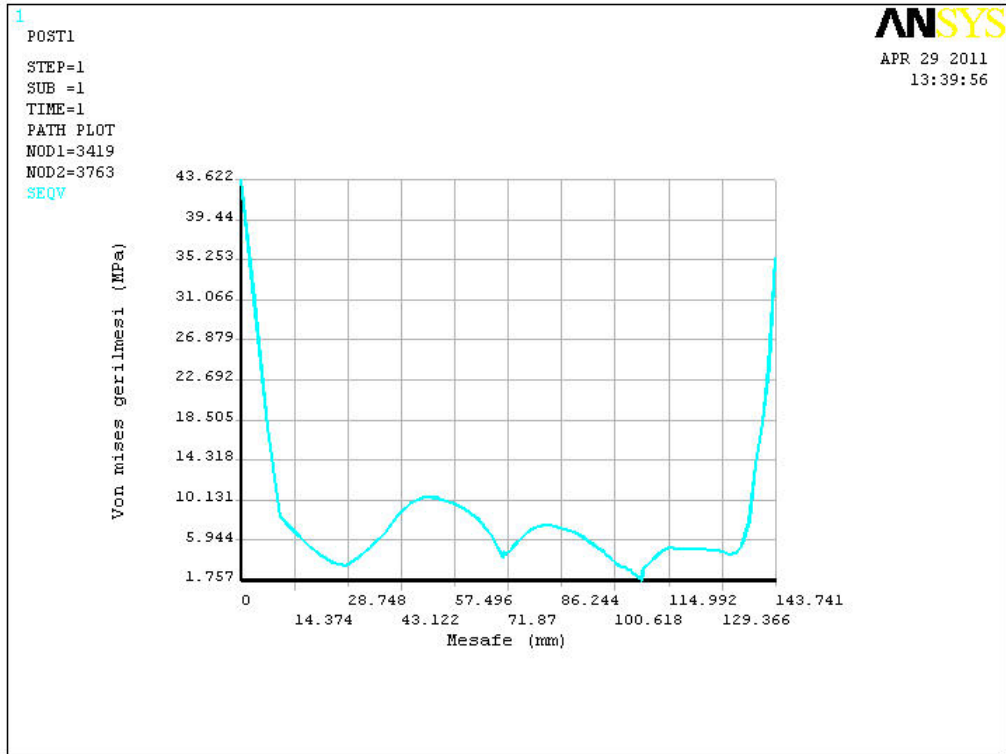


(b)

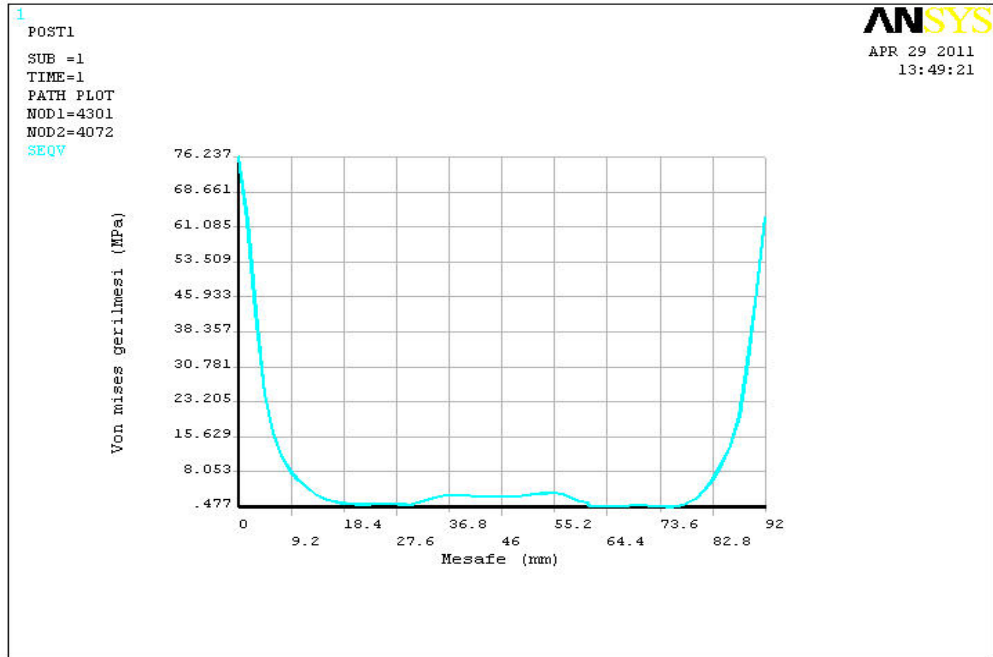
Şekil 3.43 U Profil ile desteklenmiş köşe bağlantı tasarımına ait kayma gerilme grafikleri

a) İzlenen birinci yol b) izlenen ikinci yol





(a)



(b)

Şekil 3.44 U Profil ile desteklenmiş köşe bağlantı tasarımına ait von mises gerilme grafikleri

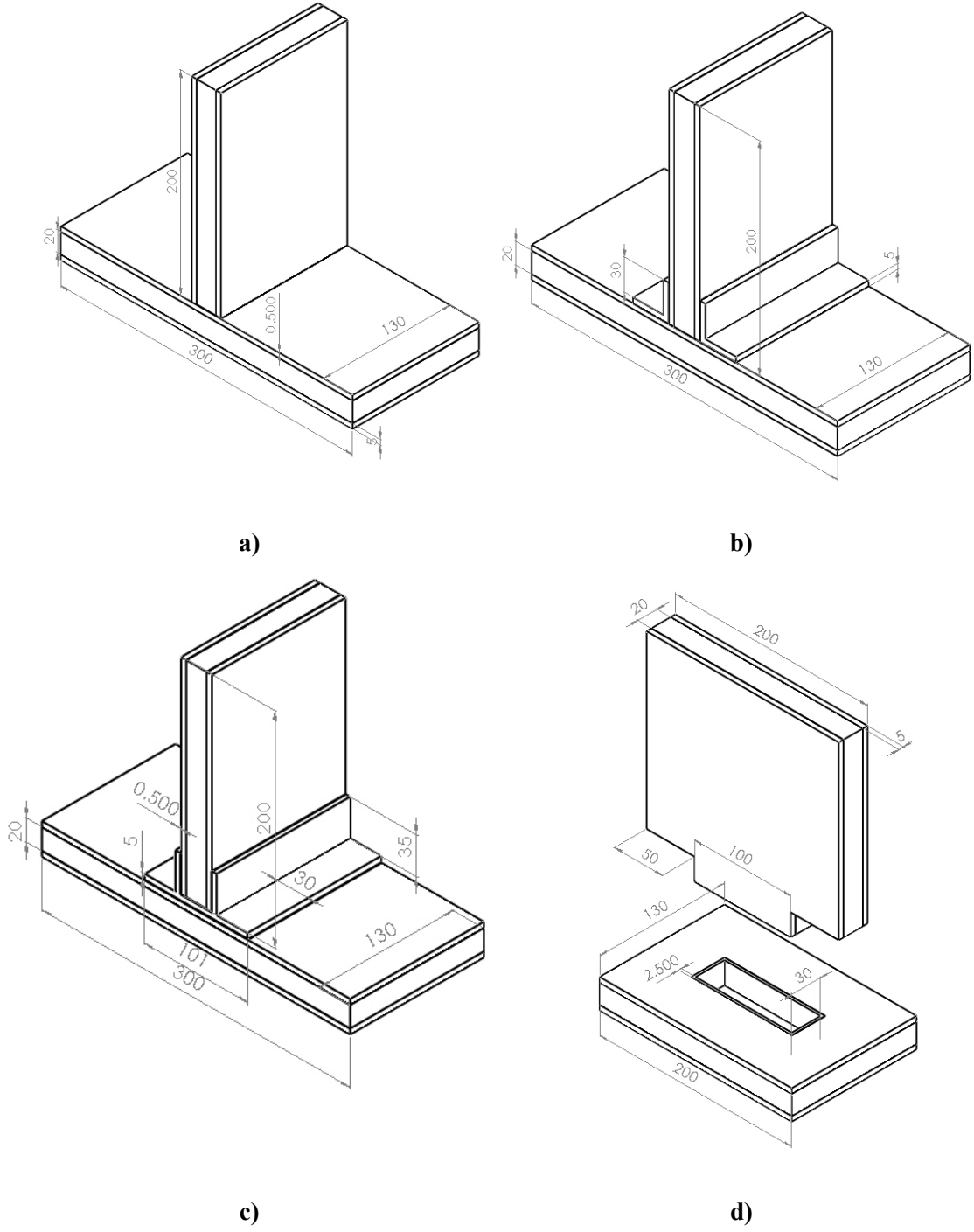
a) izlenen birinci yol b) izlenen ikinci yol

### 3.4 T bağlantı tasarımları

Bu bölümde,  $0,5 \text{ N/mm}^2$  bası gerilmesine maruz yayılı yük değeri sırasıyla desteksiz yapıştırılmış, L Profil ile desteklenmiş, U Profil ile desteklenmiş ve geçmeli T bağlantı tasarımlarına uygulanarak gerilme dağılımları elde edilmiştir ve bu gerilme dağılımları karşılaştırılarak en uygun bağlantı tasarımına karar verilmiştir. eleman tipi tüm malzemeler için solid 45 olarak girilmiştir Dört farklı bağlantı tasarımında kullanılan malzeme özellikleri Tablo 3.4 de gösterilmiştir.

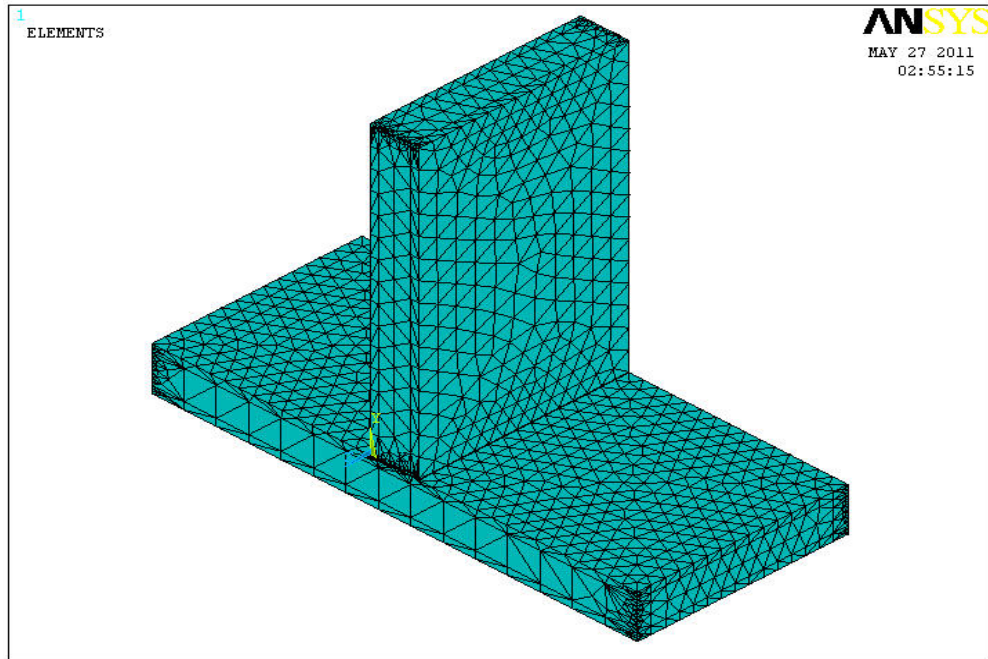
Tablo 3.4 T bağlantı tasarımlarında kullanılan malzemelere ait mekanik özellikleri

<b>Malzemeler</b>	<b>E (MPa)</b>	<b><math>\nu</math></b>
<b>Kabuk(CTP)</b>	11000	0,37
<b>Çekirdek (Köpük)</b>	7500	0,32
<b>Yapıştırıcı</b>	2800	0,4
<b>Çelik</b>	200000	0,3

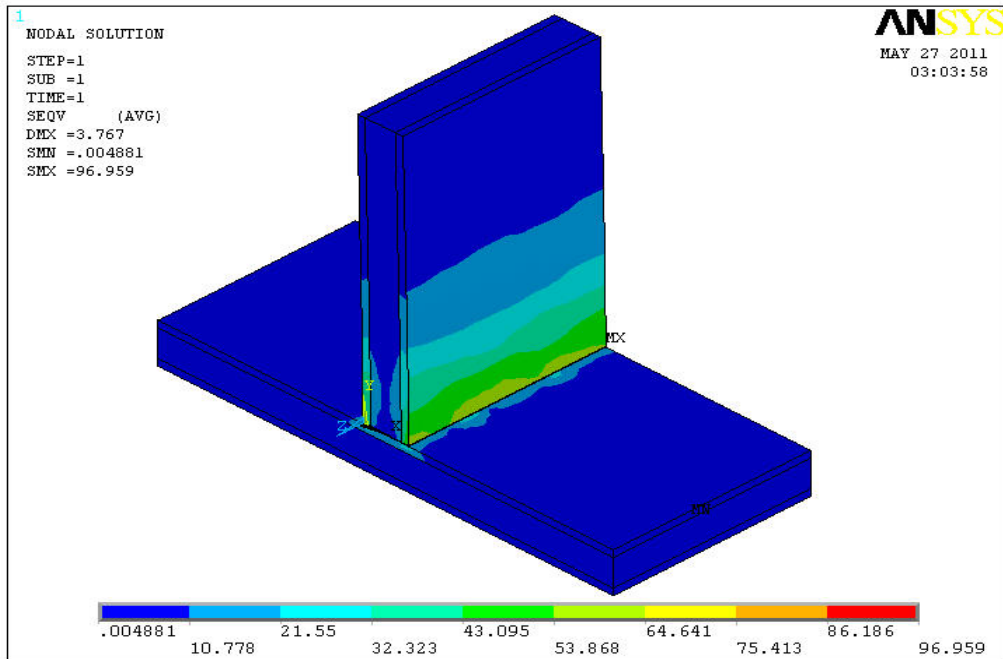


Şekil 3.45 T bağlantı tasarımların boyutlandırılması a) Desteksiz yapıştırılmış T bağlantı tasarımı b) L Profil ile desteklenmiş T bağlantı tasarımı c) U Profil ile desteklenmiş T bağlantı tasarımı d) Geçmeli T bağlantı tasarımı

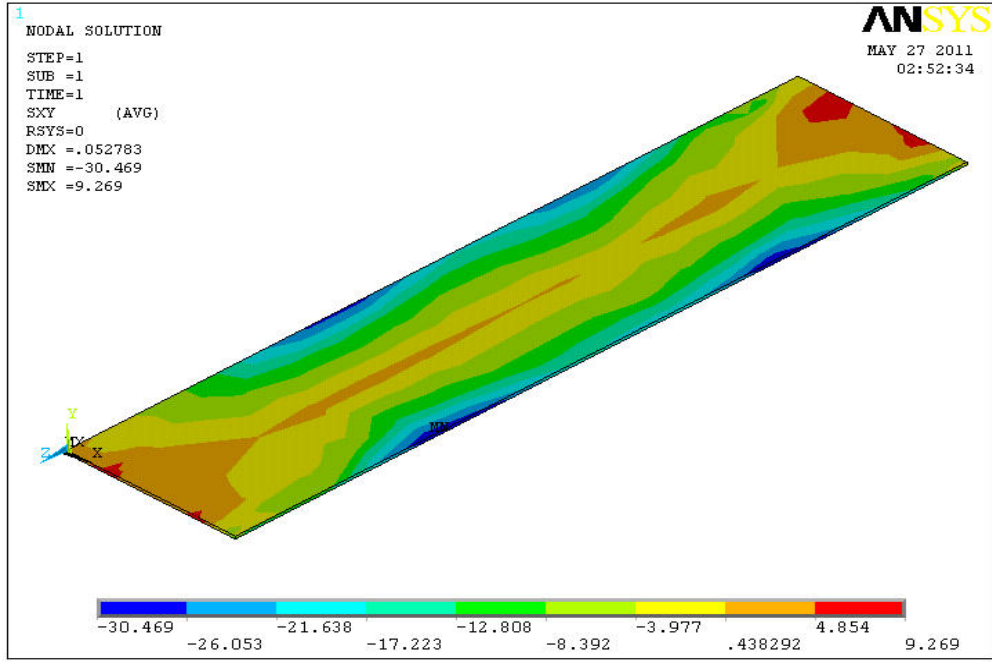
### 3.4.1 Desteksiz Yapıştırılmış T Bağlantı Tasarımı



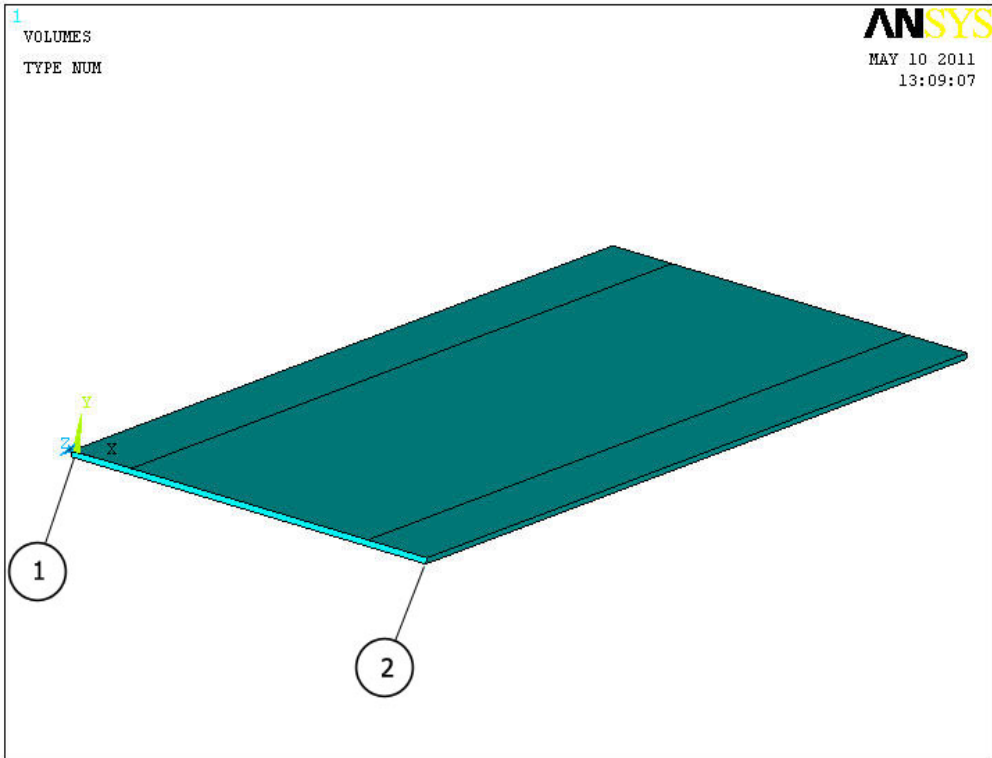
Şekil 3.46 Desteksiz yapıştırılmış T bağlantı tasarımının sonlu eleman modeli



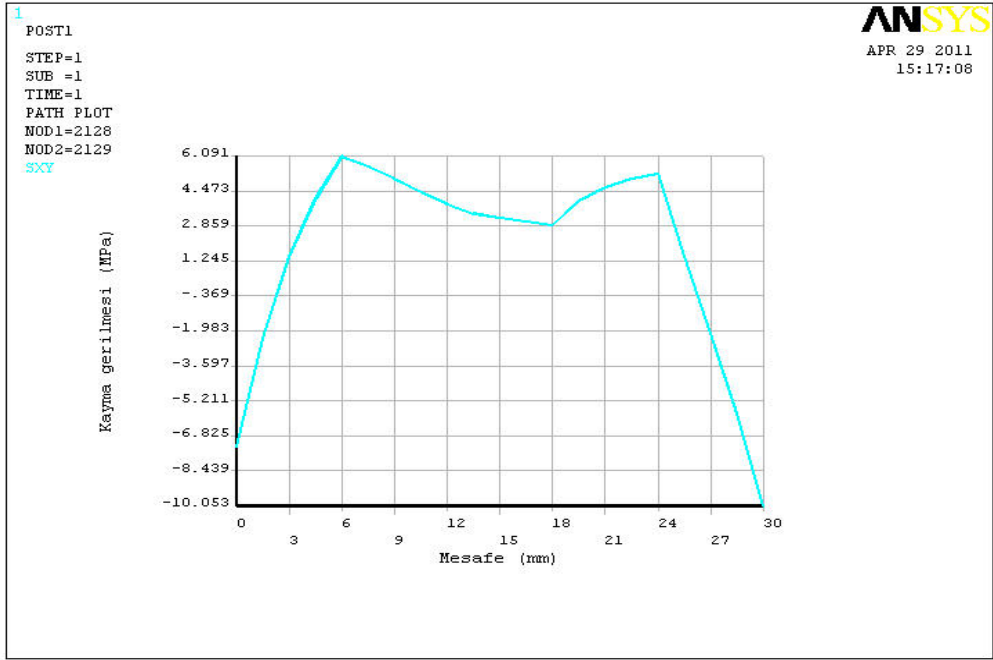
Şekil 3.47 Desteksiz yapıştırılmış T bağlantı tasarımının von mises gerilmesi



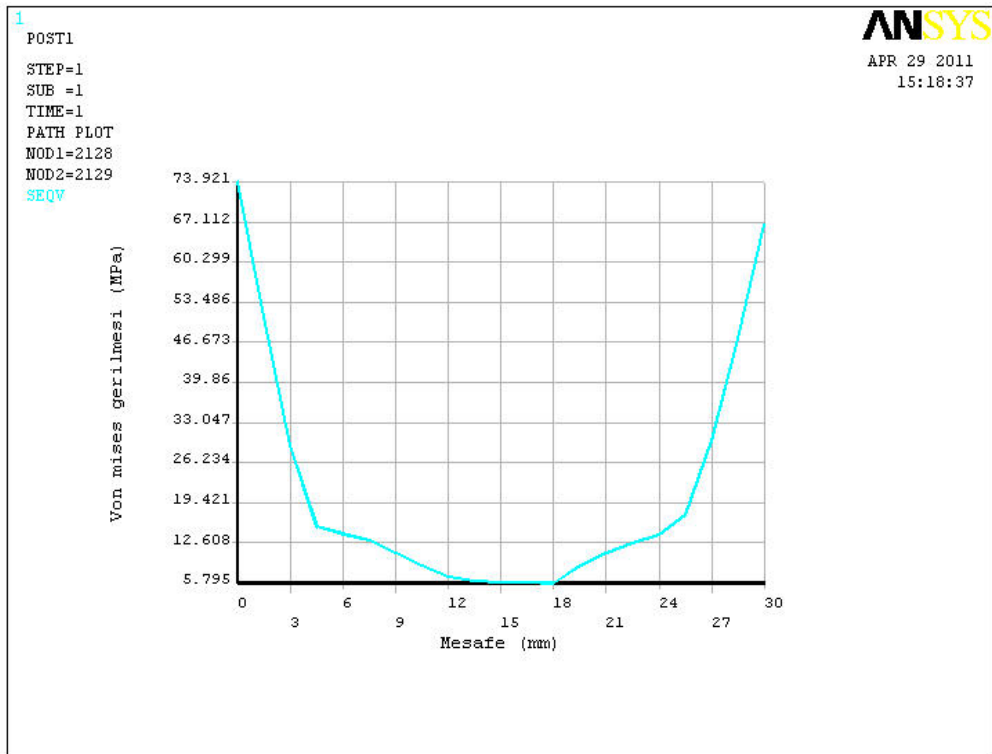
3.48 Desteksiz yapıştırılmış T bağlantı tasarımında yapıştırıcı malzemenin kayma gerilmesi



Şekil 3.49 Desteksiz yapıştırılmış T bağlantı tasarımında yapıştırıcı üzerinde göz önüne alınan yol

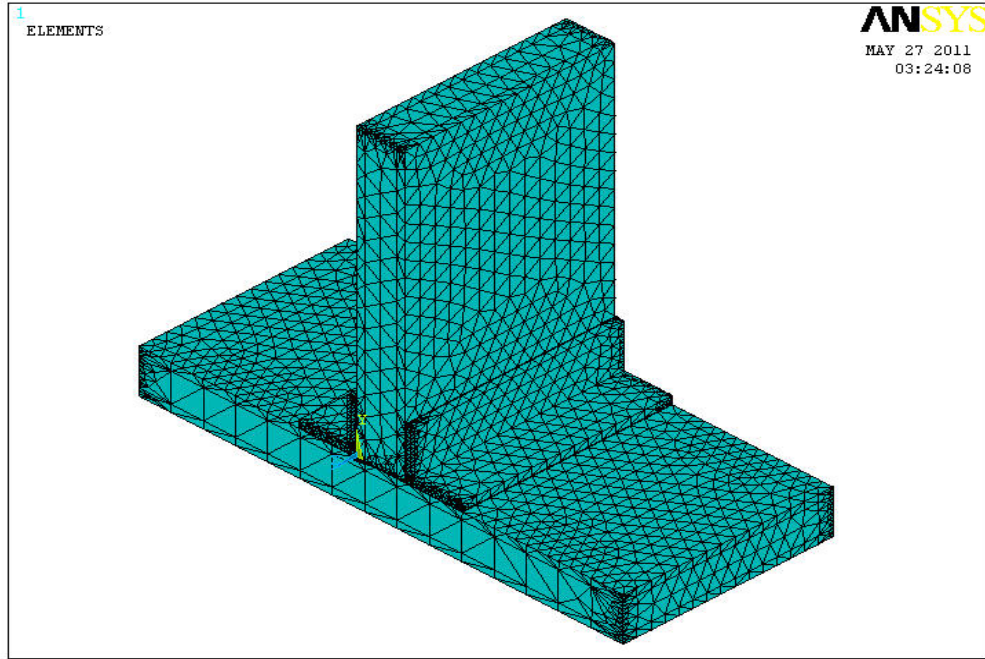


Şekil 3.50 Desteksiz yapıştırılmış T bağlantı tasarımının kayma gerilme grafiği

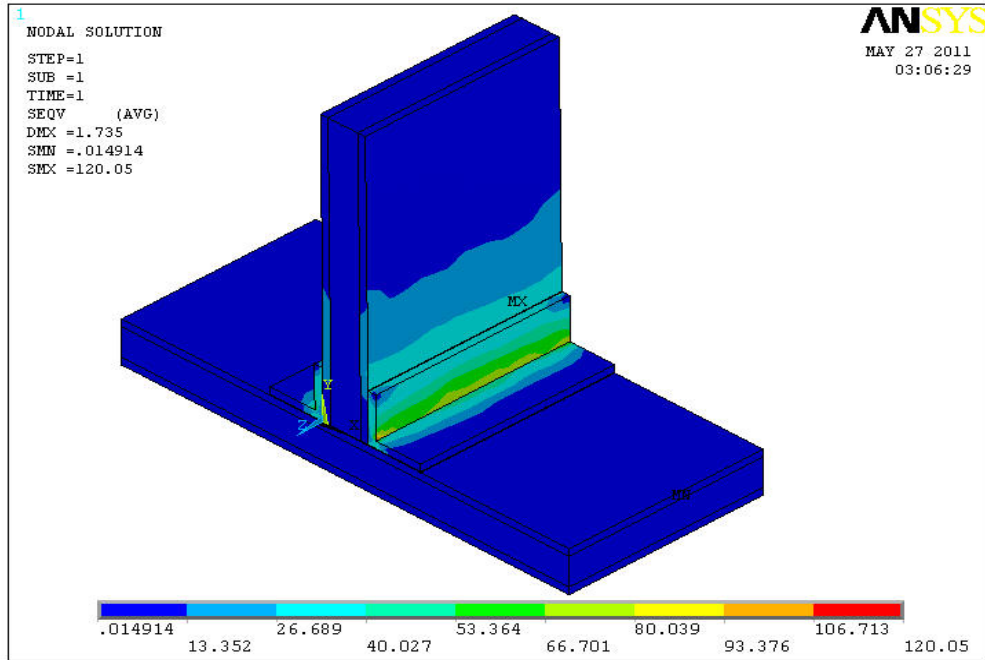


Şekil 3.51 Desteksiz yapıştırılmış T bağlantı tasarımının von mises gerilme grafiği

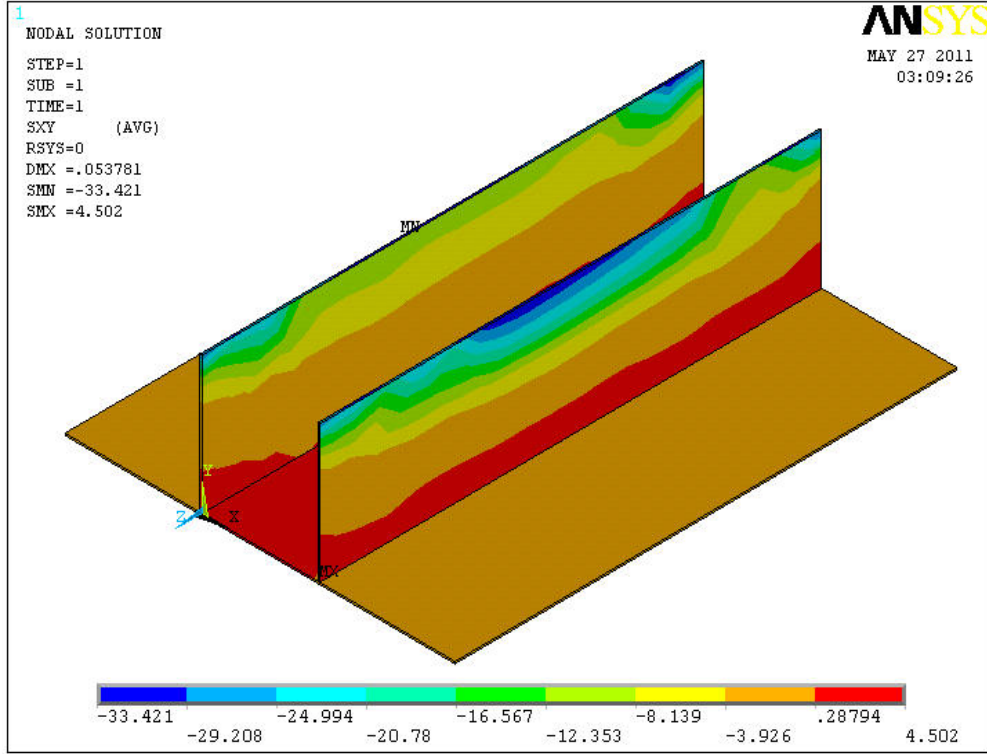
### 3.4.2 L Profil İle Desteklenmiş T Bağlantı Tasarımı



Şekil 3.52 L Profil ile desteklenmiş T bağlantı tasarımının sonlu eleman modeli

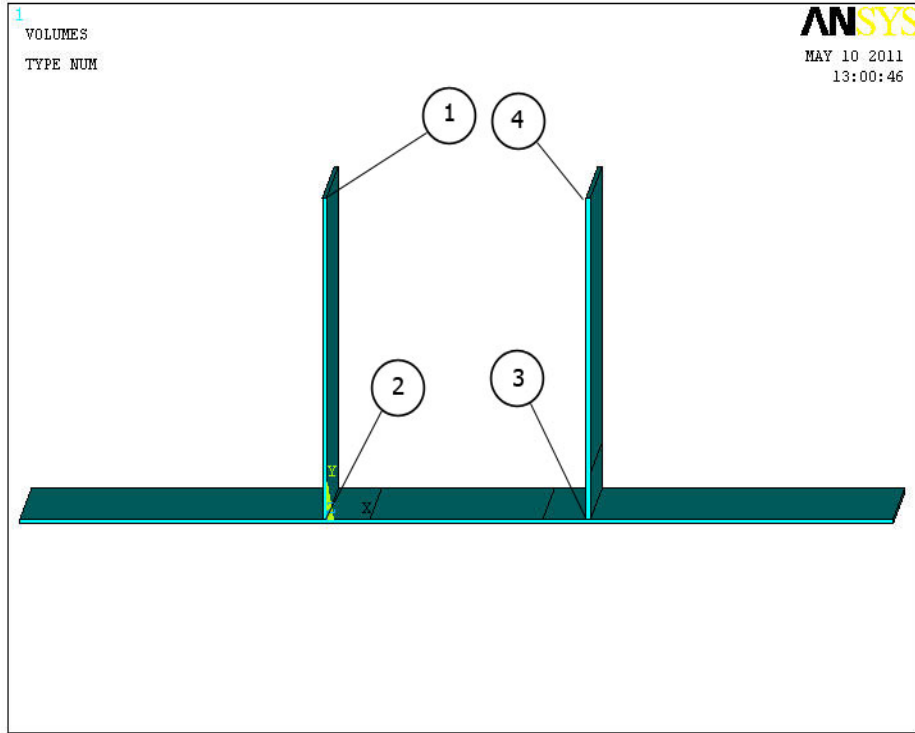


Şekil 3.53 L Profil ile desteklenmiş T bağlantı tasarımının von mises gerilmesi

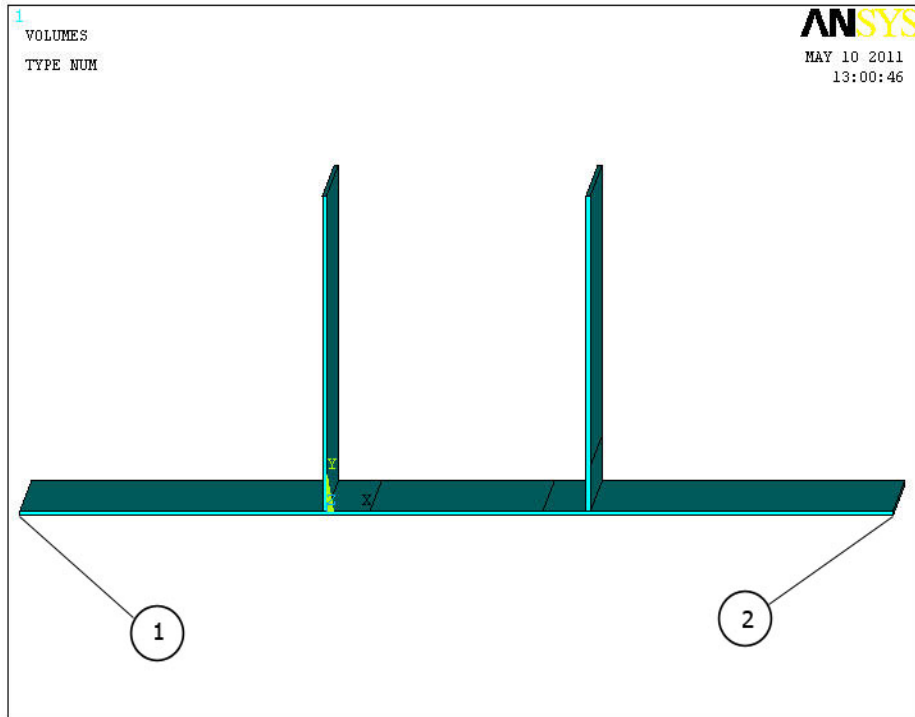


3.54 L Profil ile desteklenmiş T bağlantı tasarımında yapıştırıcı malzemenin kayma gerilmesi



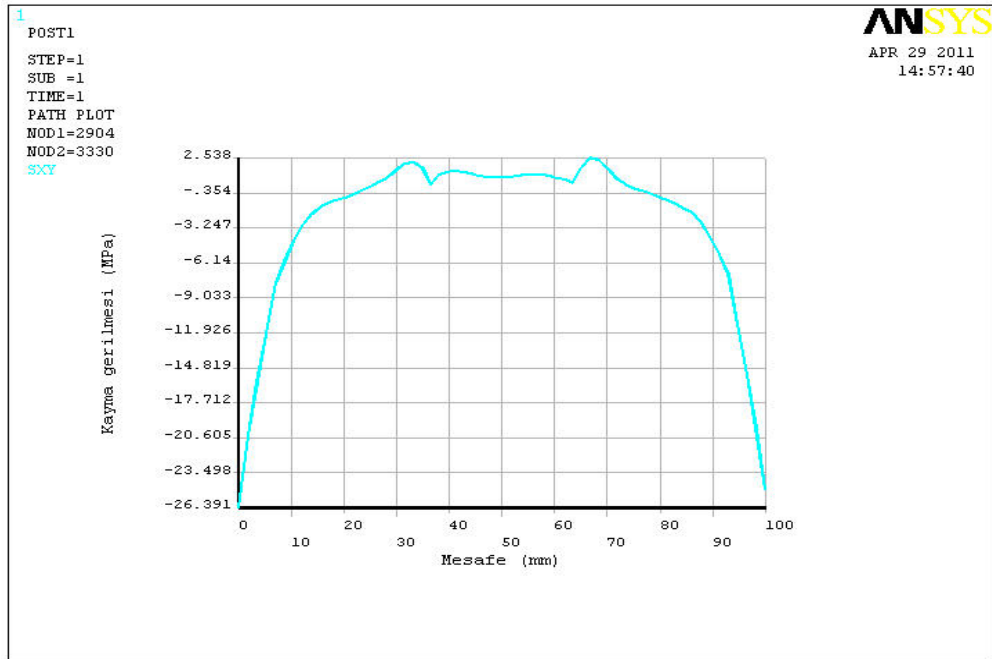


(a)

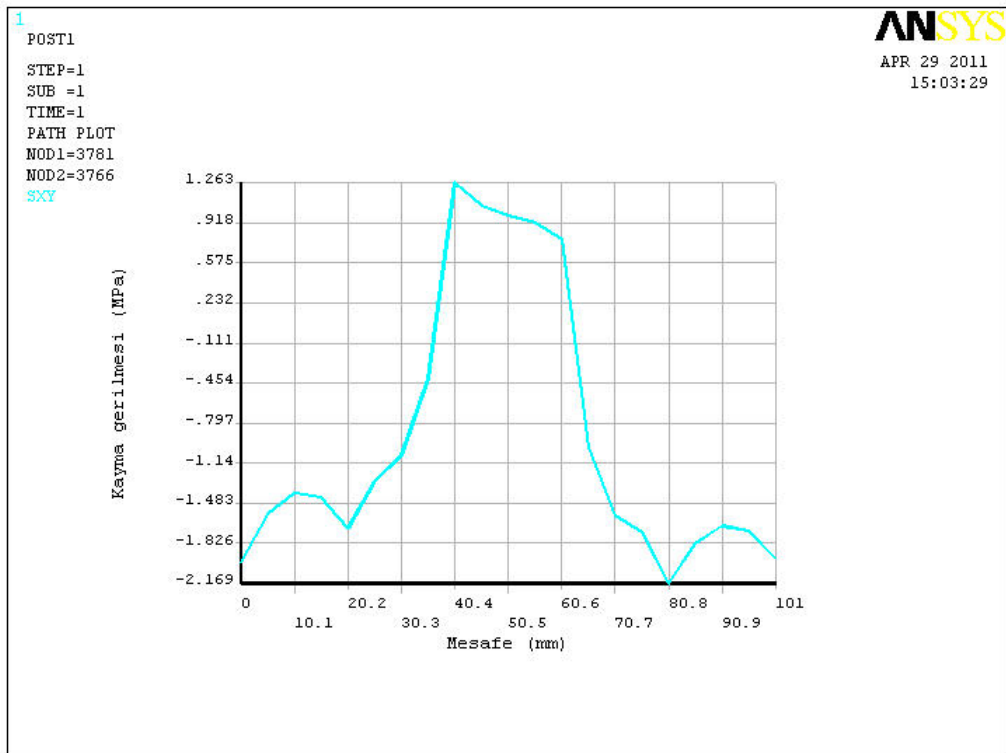


(b)

Şekil 3.55 L Profil ile desteklenmiş T bağlantı tasarımında yapıştırıcı üzerinde göz önüne alınan yol a) birinci yol b) ikinci yol



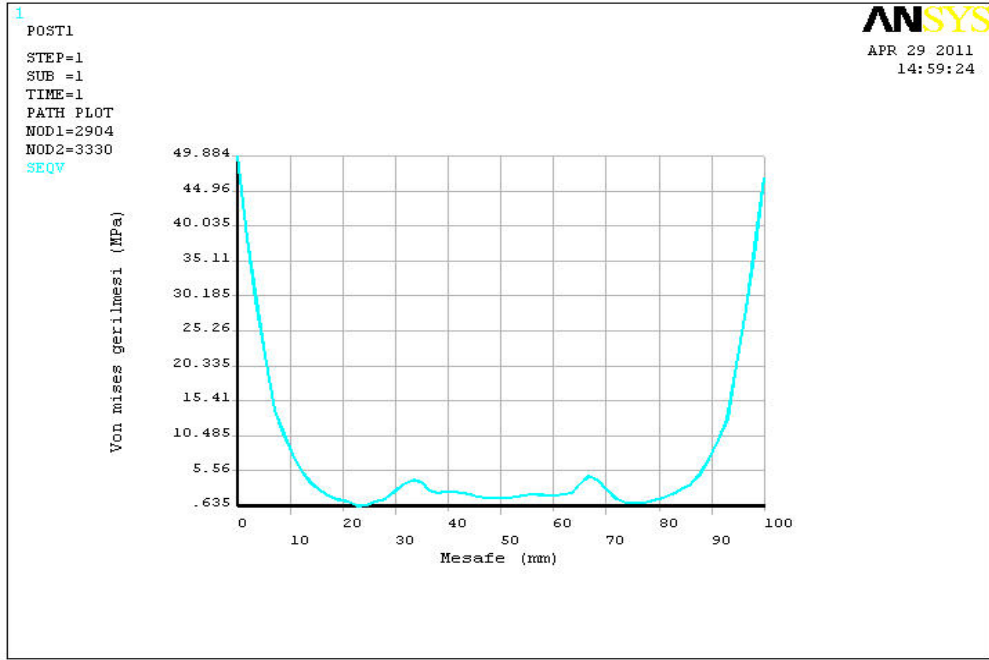
(a)



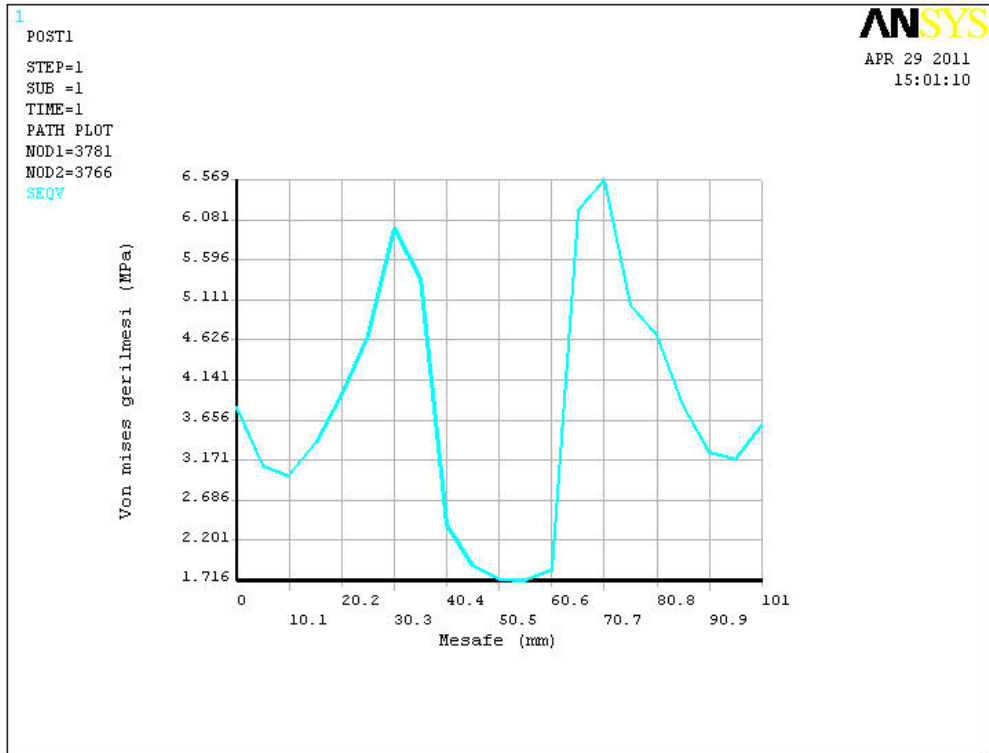
(b)

Şekil 3.56 L Profil ile desteklenmiş T bağlantı tasarımına ait kayma gerilme grafikleri

**a)** izlenilen birinci yol **b)** izlenilen ikinci yol



(a)

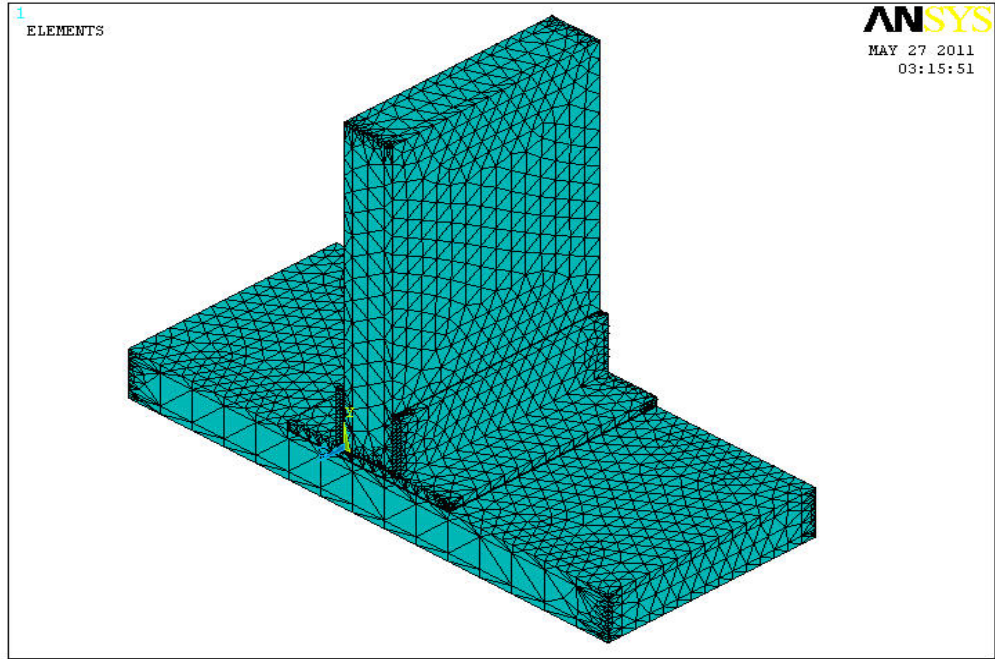


(b)

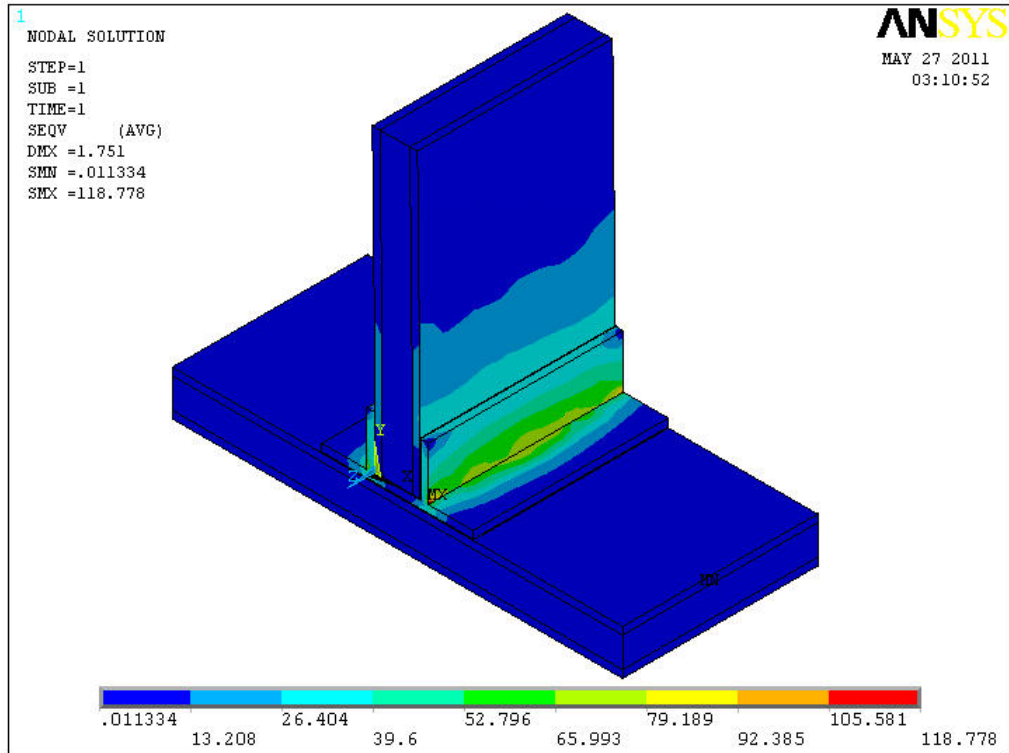
Şekil 3.57 L Profil ile desteklenmiş T bağlantı tasarımına ait von mises gerilme grafikleri

a) izlenen birinci yol b) izlenen ikinci yol

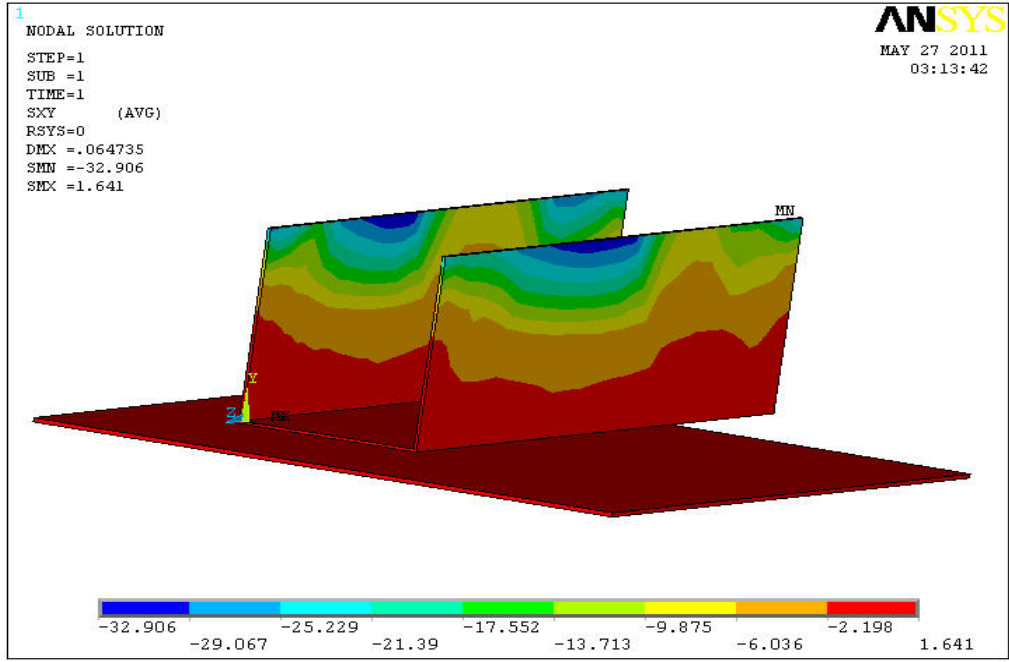
### 3.4.3 U Profil İle Desteklenmiş T Bağlantı Tasarımı



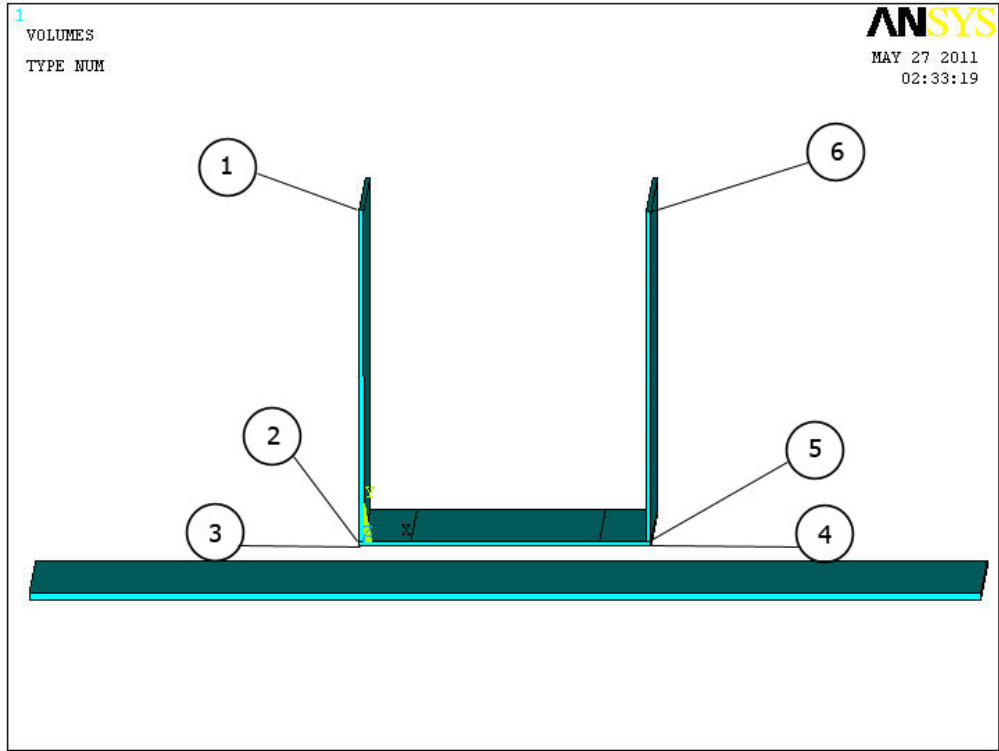
Şekil 3.58 U Profil ile desteklenmiş T bağlantı tasarımının sonlu eleman modeli



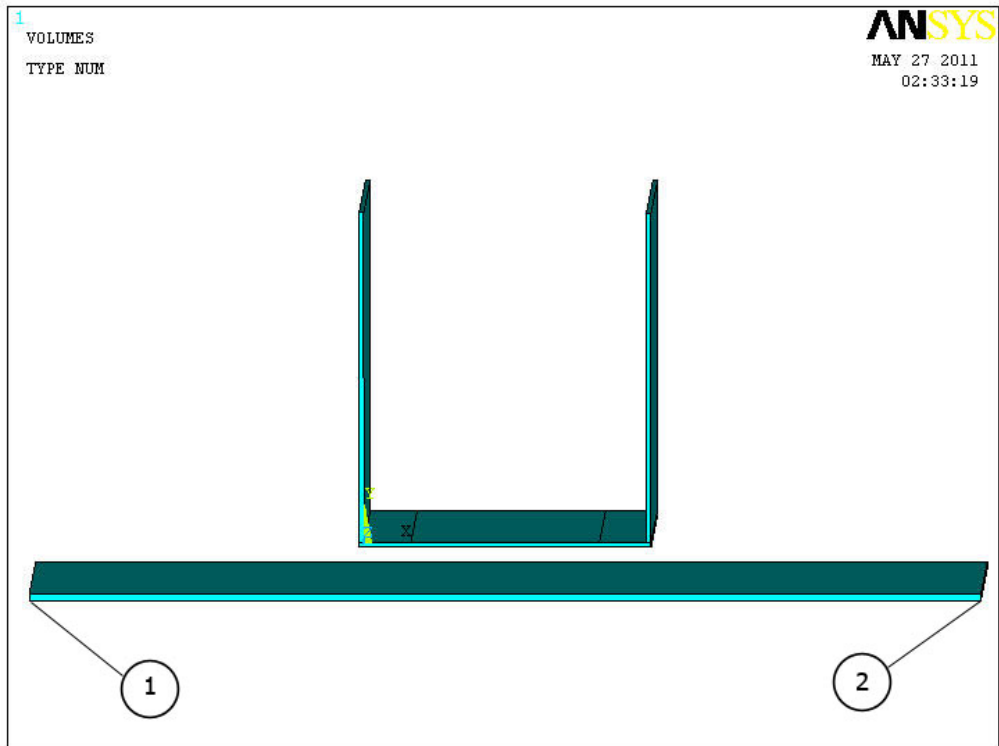
Şekil 3.59 U Profil ile desteklenmiş T bağlantı tasarımının von mises gerilmesi



3.60 U Profil ile desteklenmiş T bağlantı tasarımında yapıştırıcı malzemenin kayma gerilmesi

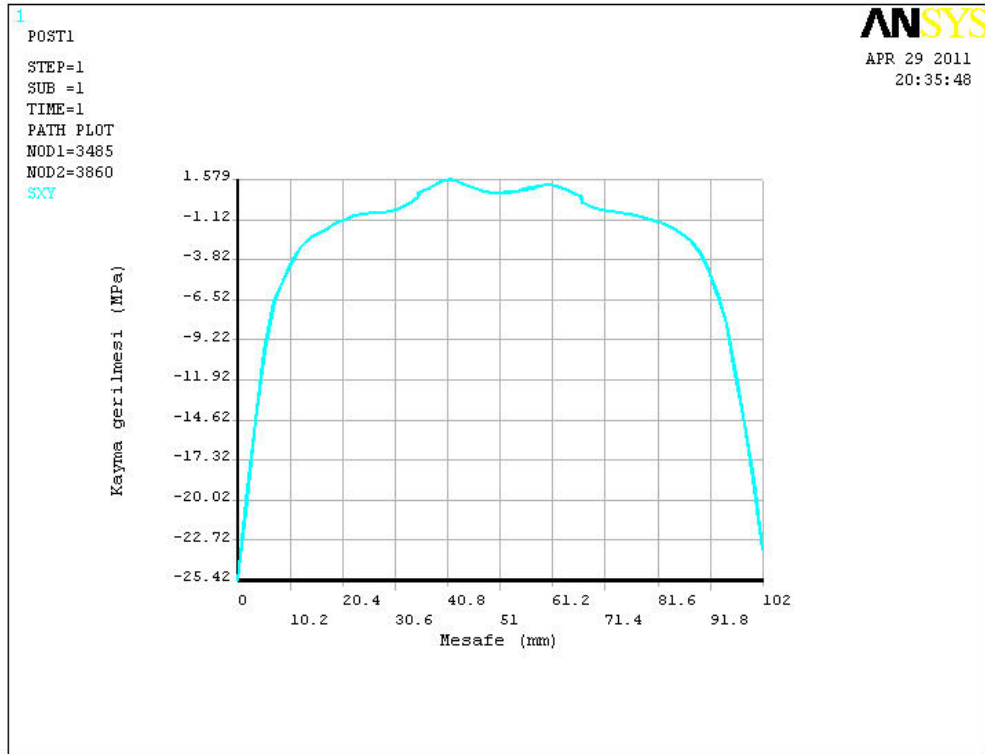


(a)

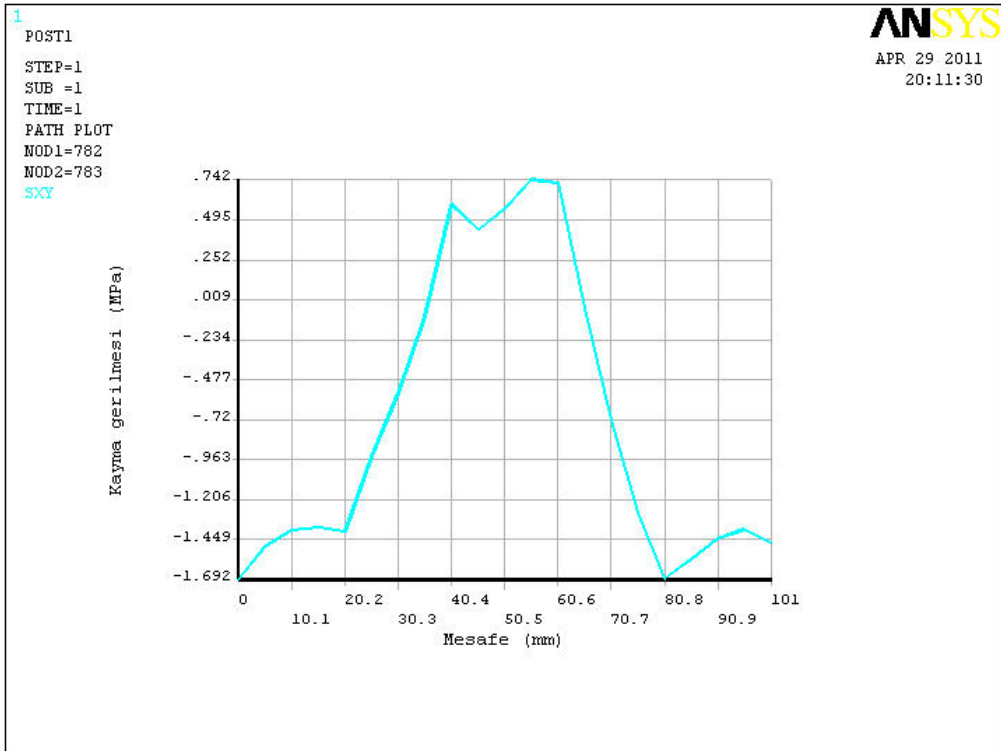


(b)

Şekil 3.61 U Profil ile desteklenmiş T bağlantı tasarımında yapıştırıcı üzerinde göz önüne alınan yol a) birinci yol b) ikinci yol



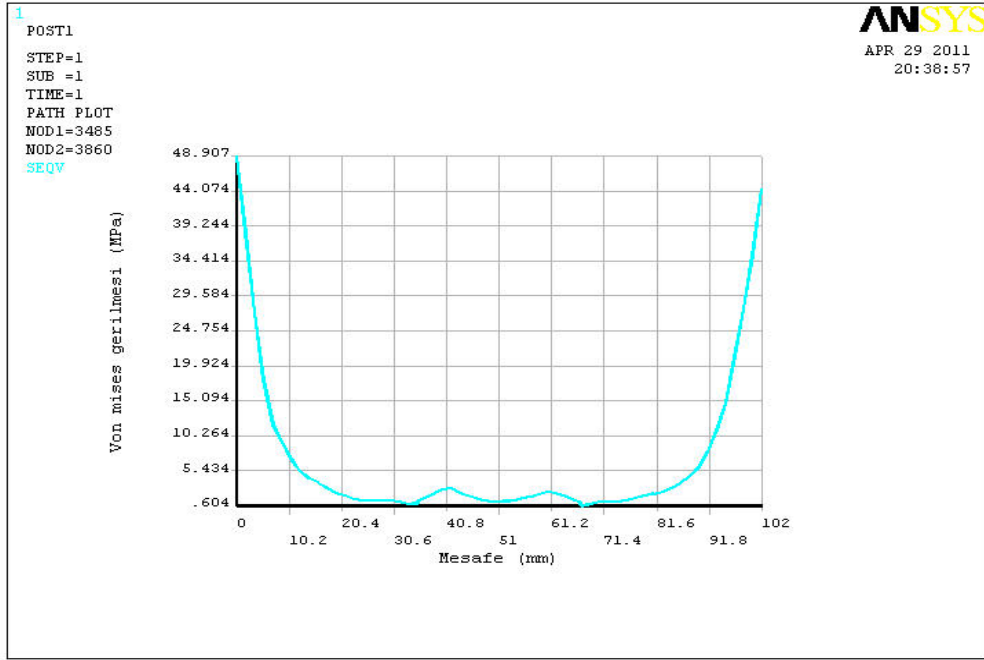
(a)



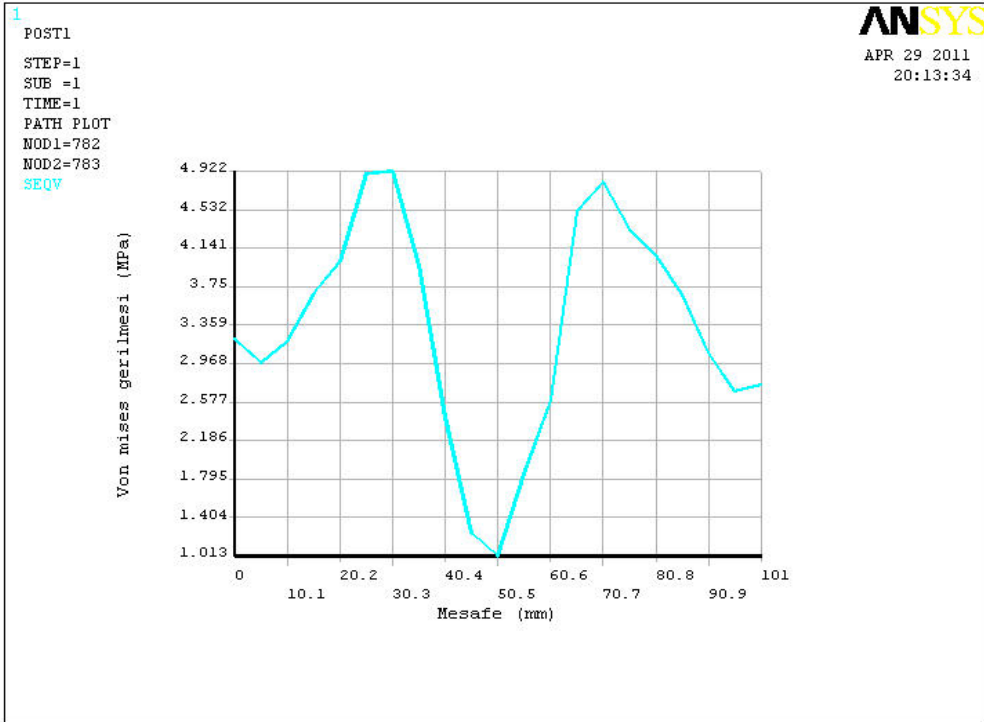
(b)

Şekil 3.62 U Profil ile desteklenmiş T bağlantı tasarımına ait kayma gerilme grafikleri

a) izlenen birinci yol b) izlenen ikinci yol



(a)



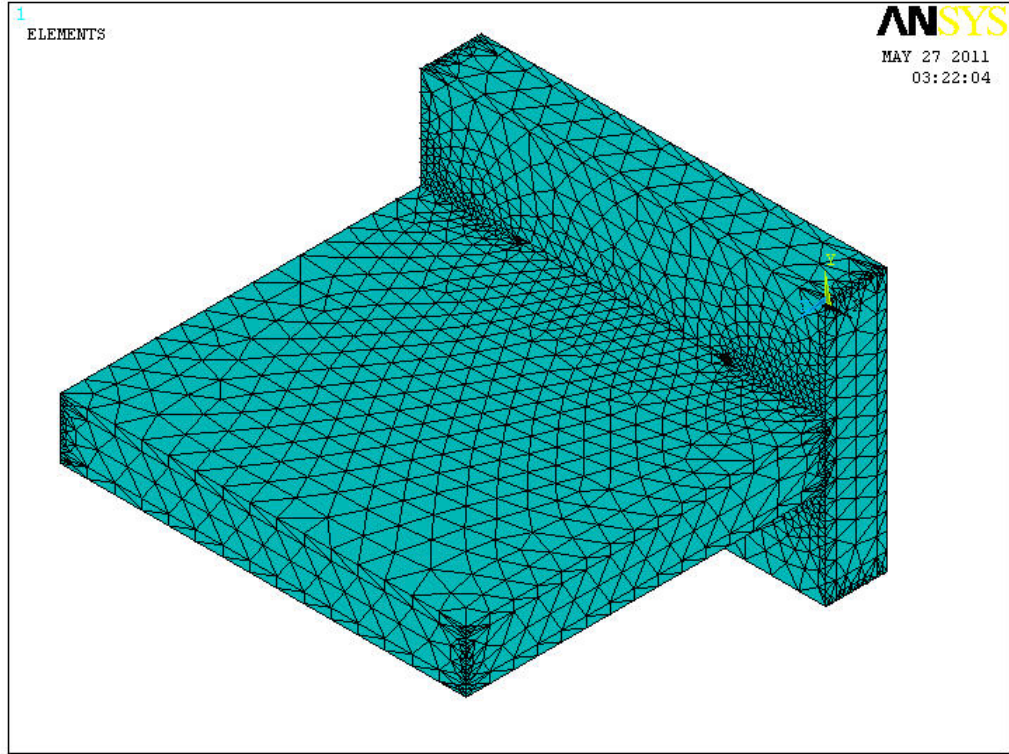
(b)

Şekil 3.63 U Profil ile desteklenmiş T bağlantı tasarımına ait von mises gerilme grafikleri

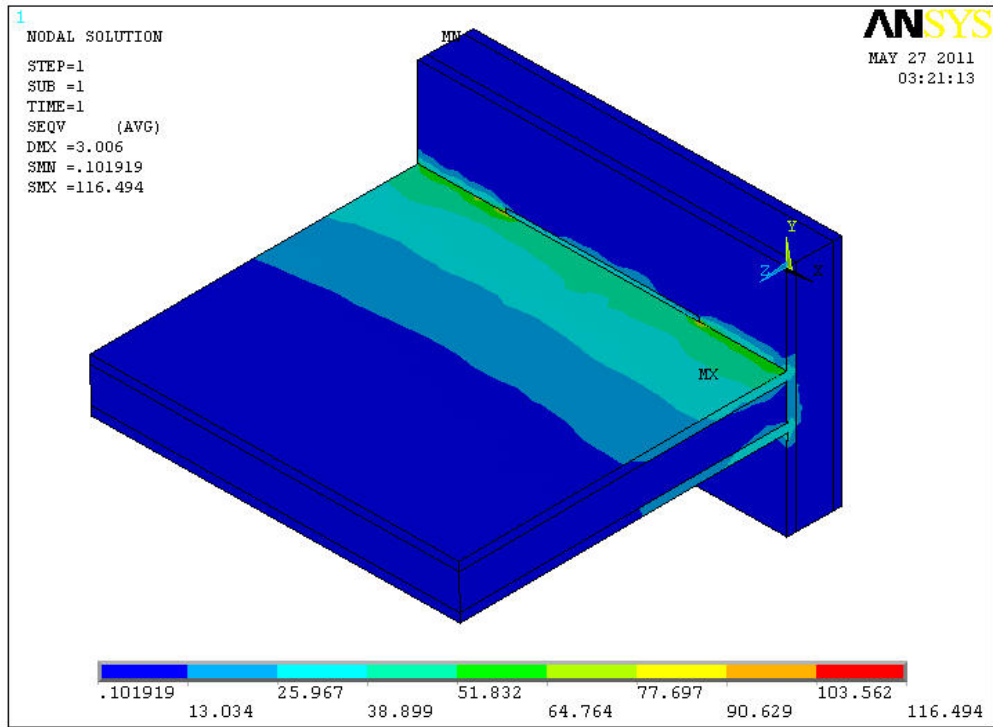
a) izlenilen birinci yol b) izlenilen ikinci yol



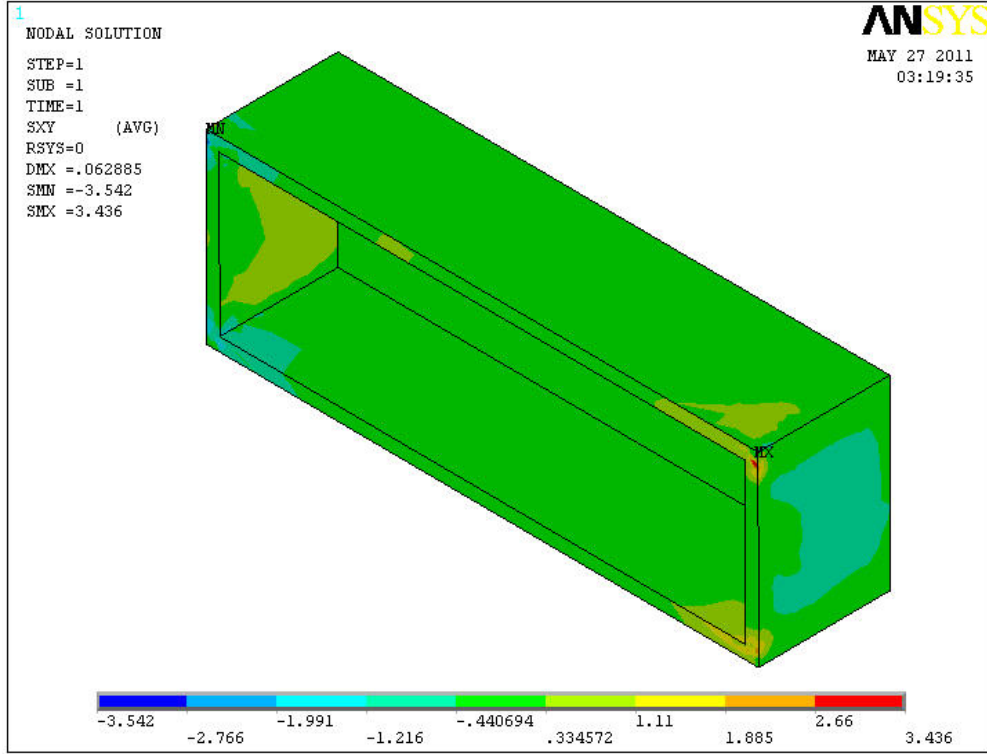
### 3.4.4 Geçmeli T Bağlantı Tasarımı



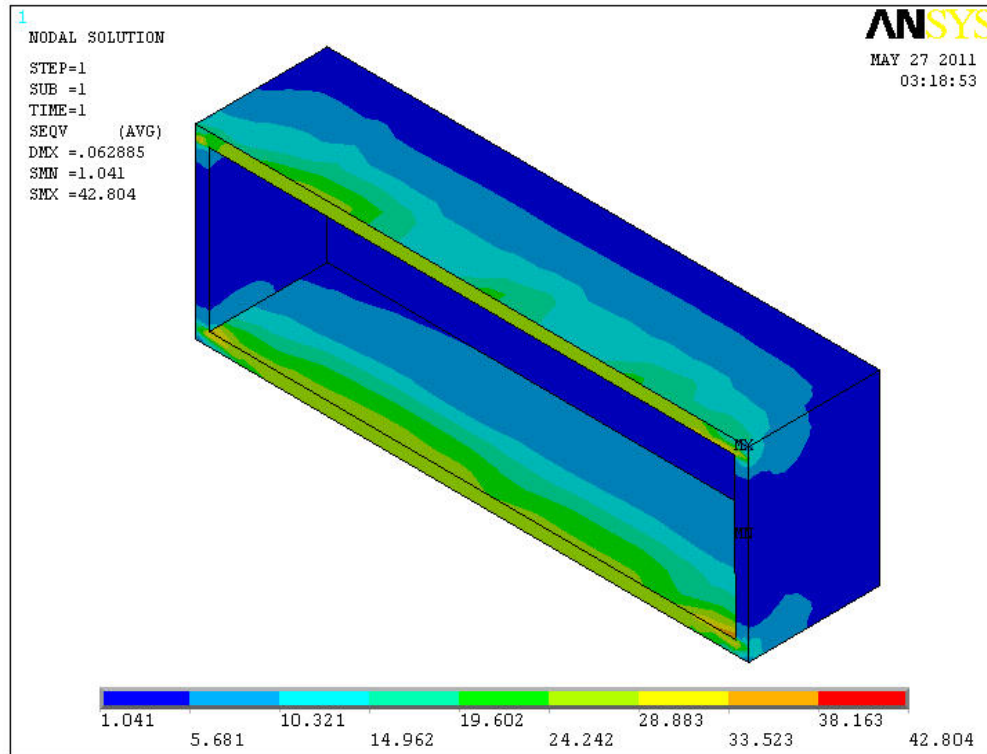
Şekil 3.64 Geçmeli T bağlantı tasarımının sonlu eleman modeli



Şekil 3.65 Geçmeli T bağlantı tasarımının von mises gerilmesi



3.66 Geçmeli T bağlantı tasarımında yapıştırıcı malzemenin kayma gerilmesi



Şekil 3.67 Geçmeli T bağlantı tasarımında yapıştırıcı malzemenin Von Mises gerilmesi

## BÖLÜM DÖRT

### SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Yapılan analizler sonucunda bindirme bağlantı tasarımlarından Geçmeli bağlantı tasarımı kayma gerilme ve von mises gerilme açısından daha emniyetli bağlantı tasarımı olduğu gösterilmiştir. Söz konusu tasarımda yapışma ara yüzeyinin daha fazla olması nedeniyle gerilme değerleri daha düşük çıkmıştır. Buna karşılık tek tesirli bindirme yapıştırma bağlantı tasarımında gerilme değerleri en büyük değerlere ulaşmıştır. Uygulamada gerilme değerlerinin fazla olmasından kaçınılır ve bu nedenle, Geçmeli bağlantı tasarımı en güvenli bağlantı tasarımı olarak seçilmiştir.

Köşe bağlantı tasarımlarından L profil ile desteklenmiş bağlantı tasarımı kayma gerilme ve von mises gerilme açısından düşük gerilmelere sahip olduğu için en uygun bağlantı tasarımı olarak seçilmiştir. Bu bağlantı tasarımında yapışma ara yüzeyi diğer bağlantı tasarımlarına kıyasla yapışma ara yüzeyinin daha fazla olduğundan emniyetli bağlantı tasarımı olarak seçilmiştir.

T bağlantı tasarımlarından ise U profil ile desteklenmiş bağlantı tasarımı kayma gerilme ve von mises gerilme açısından düşük gerilmelere sahip olduğu için en uygun bağlantı tasarımı olarak seçilmiştir

Genel olarak tasarımı ve analizi yapılan tüm bağlantılar için şu söylenilebilir:

Yapıştırma bağlantılarında yapışma ara yüzeyi arttıkça beklenildiği gibi kayma gerilme değerleri düşmekte ve daha emniyetli bir bağlantı elde edilmektedir.

Bütün yorumlar belirlenen yol üzerindeki noktalar kullanılarak yapılmıştır. Yapıştırıcının farklı bölgelerinde (tarif edilen yol hariç) gerilme değerlerinin değişimi farklı olabilir.

## KAYNAKLAR

- Anduret, R.H. (1998). *Special 2-D and 3-D geometrically non-linear finite elements for analysis of adhesively bonded joints*. Doktora Tezi, The Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blackburg, Virginia, 135s.
- Aydın, M.D. (2003). *Yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantısının mekanik özelliklerinin deneysel ve teorik incelenmesi*. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 180s.
- Baghari, R., & Marouf, B.T. (2007). Fracture Behavior of Multi-Layered Composites Under Impact Loading. *Materials Science and Engineering.*, 448, 20-24.
- Ciba. (1999). *Ciba User's Guide to Adhesive, Surface Preparation and Pretreatment*. Ciba Specialty Chemicals, Switzerland, 40s.
- George, B., Touyeras, F., Grohens, Y., Vebrel, J. (1998). Analysis of Curing Mode and Mechanical Properties of an Anaerobic Adhesive. *Eur. Polym. J.*, 34, 399-404.
- Higuchi, I., Sawa, T., Okuno, H., Kato, S. (2003). Three-Dimensional Finite Element Analysis of Stress Response in Adhesive Butt Joints Subjected to Impact Bending Moments. *The Journal of Adhesion.*, 79, 1017-1039.
- Higuchi, I., Sawa, T., & Suga, H. (2002). Three-Dimensional Finite Element Analysis of Single-Lap Adhesive Joints Subjected to Impact Bending Moments. *J. Of Adhesion Sci. Technology*, 16, 1327-1342.
- Kolat, K. (2005). *Farklı ortamların sandviç kompozitlerin kırılma tokluğu üzerindeki etkisi*. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Kinloch, A.J. (1987). *Adhesion and Adhesives Science and Technology*. Chapman and Hall, London, 441p.
- Kinloch, A.J. (1997). *Adhesives in Engineering*. Proc. Instn. Mech. Engrs., s307-335.

- Krenk, S., Jönsson, J., & Hansen, L.P. (1996). Fatigue Analysis and Testing of Adhesive Joints. *Engineering Fracture Mechanics.*, 53, 859-872.
- Lee, W.S., & Lee, D.G. (1997). Static and Dynamic Torque Characteristics of Composite Cured Single Lap Joints, *Journal of Composite Materials.*, 31, 2188-2201.
- Loctite corporation (1998). Loctite worldwide design handbook (second edition). *Munich*: Published by loctite European group.
- Liu, J., & Sawa, T. (2000). Stress Analysis and Strength Evaluation of Single Lap Band Adhesive of Dissimilar Adherends Subjected to External Bending Moment. *J. Of Adhesion Science and Technology.*, 14, 67-92.
- Mazumdar, S.K., & Mallick, P.K. (1998). Static and Fatigue Behaviour Of Adhesive Joints in SMC-SMC Composites. *Polymer Composites.*, 19, 139-146.
- Özel, A., Kadioğlu, F., Sen, S., Sadeler, R. (2003). Finite Element Analysis of Adhesive Joints in Four Point Bending Load, *Journal of Adhesion.*, 79, 683-697.
- Pandey, P.C., Shankaragouda, H. & Singh, A.K. (1999). Non-Linear Analysis of Adhesively Bonded Lap Joints Considering Visco-Plasticity in Adhesives, *Computers and Structures.*, 70, 387-413.
- Peters, S. (1998). Handbook of composites (second edition). *California*: Published by Chapman & Hall
- Pfeiffer, P., & Shakal, M. (1998). Effect of Bonded Metal Substrate Area and its Thickness on the Strength and Durability of Adhesively Bonded Joints, *J. Of Adhesion Sci. Technology*, 12, 339-348.
- Ramani, K., & Zhao, W. (1997). The Evaluation of Residual Stresses in Thermoplastic Bonding to Metal, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 17, 353-357.

- Romanos, G. (1999). Strength Evaluation of Axisymmetric Bonded Joints Using Anaerobic Adhesives. *Int. J. of Materials and Product Technology*, 14, 430-443.
- Sawa, T., Liu, J., Nakano, K., Tanaka, J. (2000). A Two Dimensional Stress Analysis of Single Lap Adhesive Joints of Dissimilar Adherents Subjected to Tensile Loads, *J. of Adhesion Science and Technol*, 14, 43-66.
- Sawa, T., Higuchi, I., & Suga, H. (2002). Three-Dimensional Finite Element Analysis of Single-Lap Adhesive Joints Under Impact Loads, *J. of Adhesion Sci. Technology*, 16, 1585-1601.
- Solmaz, M., & Turgut, A. (2009). *Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Basit Bindirme Bağlantılarında Serbest Uç Açısı ve Bindirme Mesafesinin Bağlantı Mukavemeti Üzerine Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması*, 21(2), 173-182.
- Şahin, Y. (2006). *Kompozit malzemelere giriş (2. Baskı)*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Topçu M. ve Taşgetiren S. (1998). *Mühendisler için Sonlu Elemanlar Metod. Mühendislik Fakültesi Matbaası, Denizli.*