

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PVC/CTP DENİZEL SANDVIÇ
T-BAĞLANTILARIN GEOMETRİ-PERFORMANS
İLİŞKİSİ

Ege Anıl DİLER

Ekim, 2006
İZMİR

PVC/CTP DENİZEL SANDVIÇ T-BAĞLANTILARIN GEOMETRİ-PERFORMANS İLİŞKİSİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Bölümü, Konstrüksiyon- İmalat Anabilim Dalı

Ege Anıl DİLER

Ekim, 2006

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

EGE ANIL DİLER, tarafından **YRD. DOÇ. DR. ÇİÇEK ÖZES** yönetiminde hazırlanan **“PVC/CTP DENİZEL SANDVIÇ T-BAĞLANTILARIN GEOMETRİ-PERFORMANS İLİŞKİSİ”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Çiçek ÖZES

Yönetici

Yrd. Doç. Dr. Melih BELEVİ

Prof. Dr. Vural CEYHUN

Jüri Üyesi

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi çalışmalarım sırasında katkı ve yardımlarından dolayı Sayın danışmanım Yrd. Doç. Dr. Çiçek ÖZES'e teşekkürü borç bilir, saygılarımı sunarım. Yüksek lisans tezimle ilgili olarak tez çalışmaları esnasında yönlendirmeleri dolayısıyla ikinci tez danışmanım, Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü'nde görevli Sayın Yrd. Doç. Dr. Gökdeniz NEŞER'e, numunelerimizin üretim aşamasında başta Sayın Mehmet Emin TACAR olmak üzere Tacar ailesine ve Tacar Teknecilik personeline, numunelerimizin mekanik testlerinin uygulanması aşamasındaki destek ve ilgisinden dolayı Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Laboratuvarı Araştırma Görevlileri Sayın Yusuf ARMAN ve Sayın Semih BENLİ'ye, tez yazımında düzeltmelere yardımcı olan Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü asistanlarından M. Akif EZAN'a, mekanik testlerin yapılması için gerekli olan bağlama aparatlarının imalatında Teknisyen Ahmet YİĞİT'e ve son olarak tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi her türlü desteği sağlayan sevgili aileme teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Ege Anıl DİLER

PVC/CTP DENİZEL SANDVIÇ T-BAĞLANTILARIN GEOMETRİ-PERFORMANS İLİŞKİSİ

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, PVC / Cam Takviyeli Plastik (CTP) denizel sandviç T-bağlantılarının geometrilerinin, bağlantıların performansı üzerindeki etkisinin incelenmesidir.

Bu araştırma kapsamında, farklı geometrik yapılarda imal edilen altı sandviç T-bağlantısı mekanik performansları bakımından birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Öncelikle T-bağlantılarındaki gerinim dağılımı sonlu eleman methoduyla analiz edilmiş ve nümerik sonuçlara göre bağlantılardaki kritik bölgeler belirlenmiştir. Daha sonrasında bu kritik bölgeler deneysel olarak test edilmiştir. Nümerik ve deneysel sonuçlar değerlendirilerek altı farklı tipteki sandviç T-bağlantısı birbirleriyle karşılaştırılmıştır ve böylece hangi bağlantı tiplerinin rölatif olarak daha iyi mekanik performansa sahip oldukları belirlenmiştir.

Bağlantıların performansları karşılaştırılırken bağlantıların mekanik dayanımlarının yanında ağırlık ve maliyet gibi faktörler de değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Sandviç yapı, T-bağlantısı.

GEOMETRY-PERFORMANCE RELATION IN PVC/GRP MARINE SANDWICH T-JOINTS

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate the effect of PVC / Glass Reinforced Plastic (GRP) marine sandwich T-joints' geometries on performance of joints.

In this investigate, six sandwich T-joints manufactured from various geometrical structures were compared to each other from mechanical performances point of view. First, strain distribution in T-joints was analysed by finite element method and critical regions in joints were chosen due to the numerical results. Later, these critical regions were tested experimentally. Six various types of T-joint were compared to each other by assessing numerical and experimental results, and so it was determined that which joint types had relatively better mechanical performance.

In addition to the joints' mechanical strength, factors such as weight and cost were concluded, while joints' performances were compared.

Keywords: Sandwich structure, T-joint.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v

BÖLÜM BİR – GİRİŞ SANDVIÇ SİSTEMLERİN MEKANİK YÖNDEN İNCELENMESİ

1

1.1 T Bağlantıları	1
1.2 Sandviç Yapılar	2
1.3 Sandviç Yapılarda Kullanılan Malzemeler	4
1.3.1 Yüzey	4
1.3.1.1 Takviye Elyaflar	4
1.3.1.1.1 Cam Elyaf	5
1.3.1.1.2 Karbon Elyaf	10
1.3.1.1.3 Aramid Elyaf	11
1.3.1.1.4 Diğer Takviye Elyaf	12
1.3.1.2 Anafaz Katmanı (Plastik Reçineler)	16
1.3.1.2.1 Polyester	16
1.3.1.2.2 Epoksi	18
1.3.1.2.3 Vinil Ester	19
1.3.2 Çekirdek	21
1.3.2.1 Balsa	22
1.3.2.2 PVC (Lineer)	23
1.3.2.3 PVC (Crosslinked Çaprazbağlı)	24
1.3.2.4 Balpeteği	24

1.4	Sandviç Sistemlerin Üretim Yöntemleri	26
1.4.1	El Yatırması Yöntemi	26
1.4.2	Püskürtme Yöntemi.....	28
1.4.3	Vakum Torbalı Yöntem	29
1.4.4	Basınç Torbalı Yöntem	30
BÖLÜM İKİ-SANDVIÇ SİSTEMLERİN MEKANİK YÖNDEN		
İNCELENMESİ		32
2.1	Sandviç Sistemlerde Meydana Gelen Gerilmeler	32
2.1.1	Sandviç Sistemlerde Meydana Gelen Normal Gerilmeler	33
2.1.2	Sandviç Sistemlerde Meydana Gelen Kayma Gerilmesi	36
2.1.3	Bir İçi Dolu Kirişle I Kirişinde Meydana Gelen Normal Gerilmeler	37
2.1.4	Bir İçi Dolu Kiriş ile I Kirişinde Meydana Gelen Kayma Gerilmesi	40
2.1.5	Bir I Kirişi ile Sandviç Bir Sistemde Meydan Gelen Normal ve Kayma Gerilmeleri.....	42
2.1.6	Tek Yüzey-t Bir Yapı ile Sandviç-2t ve Sandviç-4t Yapıların Ağırlık, Eğilme Rijitliği, Normal ve Kayma Gerilmeleri Yönünden Birbirleri ile Karşılaştırılmaları.....	45
BÖLÜM ÜÇ-T BAĞLANTILARININ TASARIMI.....		49
3.1	T Bağlantılarında Tasarım ve Tasarım Değişkenleri	49
3.1.1	Üstkatmanlama Geometrisi.....	51
3.1.2	Üstkatmanlama Kalınlığı	57
3.1.3	Üstkatmanlamada Katmanlama Uzunluğu.....	58
3.1.4	Üstkatmanlama malzemesi, dolgu malzemesi, tekne gövdesi ve perde elemanı malzemeleri	59
3.1.4.1	Yapısal Etmenler.....	59
3.1.4.1.1	Dayanım	59
3.1.4.1.2	Rijitlik	60
3.1.4.1.3	Yapıştırma Bağlantısı Performansı	60
3.1.4.1.4	Ekonomik Etmenler	60
3.1.4.2	Çevresel Etmenler	60

3.1.4.2.1 Sıcaklık.....	60
3.1.4.2.2 Yanıcılık Özellikleri.....	60
3.1.4.2.3 Yapıştırma Solüsyonları ve Buharlaşma.....	601
3.1.5 Tekne Gövdesi Kalınlığı	63
3.1.6 Dolgu malzemesi-üstkatmanlama yapışma performansı	66

BÖLÜM DÖRT-KULLANILAN MALZEMELER VE TEST YÖNTEMLERİ

..... **68**

4.1 Deney Numunelerinde Kullanılan Malzemeler	68
4.1.1 Yüzey Malzemesi.....	68
4.1.2 Çekirdek Malzemesi.....	74
4.2 Deney Numunelerinin İmalat Yöntemi.....	76
4.2.1 Düz Sandviç T Bağlantısı İmalat Aşamaları.....	76
4.2.2 İç Geçmeli Sandviç T Bağlantısı İmalat Aşamaları.....	81
4.2.3 Üçgen (45° açılı) Sandviç T Bağlantısı İmalat Aşamaları.....	84
4.2.4 Dönümlü (25mm) Sandviç T Bağlantısı İmalat Aşamaları.....	86
4.2.5 Dönümlü (70 mm) Sandviç T Bağlantısı İmalat Aşamaları.....	88
4.2.6 Yeni Tip Sandviç T Bağlantısı İmalat Aşamaları.....	90
4.3 T Bağlantı Numunelerinin Sonlu Elemanlar Yardımıyla Mekanik Olarak İncelenmesi	92
4.3.1 Düz Sandviç T Bağlantısı	94
4.3.2 İç Geçmeli Sandviç T Bağlantısı.....	110
4.3.3 Üçgen(45° açılı) Sandviç T Bağlantısı.....	123
4.3.4 Dönümlü 25 Sandviç T Bağlantısı	137
4.3.5 Dönümlü 70 Sandviç T Bağlantısı	151
4.3.6 Yeni Tip Sandviç T Bağlantısı.....	164
4.4 Laboratuvar Çalışmaları ve Deneyler	177
4.4.1 Numunelerin Çekme Cihazına Tespiti.....	177

4.4.2	Gerinim-Ölçerlerin Numunelere ve Gerinim-Ölçer Cihazına Bağlanması.....	179
4.4.3	Deney Numunelerine Bağlanan Gerinim-Ölçerler.....	181
4.4.3.1	Düz Sandviç T Bağlantısında Gerinim-Ölçerlerin Bağlandığı Bölgeler ve Yönleri	182
4.4.3.2	İçiçe Geçmeli Sandviç T Bağlantısında Gerinim-Ölçerlerin Bağlandığı Bölgeler ve Yönleri	184
4.4.3.3	Üçgen 45 Sandviç T Bağlantısında Gerinim-Ölçerlerin Bağlandığı Bölgeler ve Yönleri	185
4.4.3.4	Dönümlü 25 Sandviç T Bağlantısında Gerinim-Ölçerlerin Bağlandığı Bölgeler ve Yönleri	186
4.4.3.5	Dönümlü 70 Sandviç T Bağlantısında Gerinim-Ölçerlerin Bağlandığı Bölgeler ve Yönleri	187
4.4.3.6	Yeni tip Sandviç T Bağlantısında Gerinim-Ölçerlerin Bağlandığı Bölgeler ve Yönleri	188
BÖLÜM BEŞ-DENEY SONUÇLARI.....		189
5.1	Laboratuar Çalışmaları Sonucunda Bulunan Deneysel Sonuçlar	189
5.1.1	Düz Bağlantı Tipinde Elde Edilen Deneysel Sonuçlar	189
5.1.2	İçiçe Geçmeli Bağlantı Tipinde Elde Edilen Deneysel Sonuçlar.....	194
5.1.3	Üçgen 45 Bağlantı Tipinde Elde Edilen Deneysel Sonuçlar	198
5.1.4	Dönümlü 25 Bağlantı Tipinde Elde Edilen Deneysel Sonuçlar.....	201
5.1.5	Dönümlü 70 Bağlantı Tipinde Elde Edilen Deneysel Sonuçlar.....	205
5.1.6	Yeni Tip Bağlantı Tipinde Elde Edilen Deneysel Sonuçlar.....	210
5.2	Deneysel ve Nümerik Sonuçları Birbirleriyle Karşılaştırılması	214
5.2.1	Düz Bağlantı Tipinde Deneysel ve Nümerik Sonuçları Birbirleriyle Karşılaştırılması	214
5.2.2	İç içe Geçmeli Bağlantı Tipinde Deneysel ve Nümerik Sonuçları Birbirleriyle Karşılaştırılması.....	216
5.2.3	Üçgen 45 Bağlantı Tipinde Deneysel ve Nümerik Sonuçları Birbirleriyle Karşılaştırılması.....	218

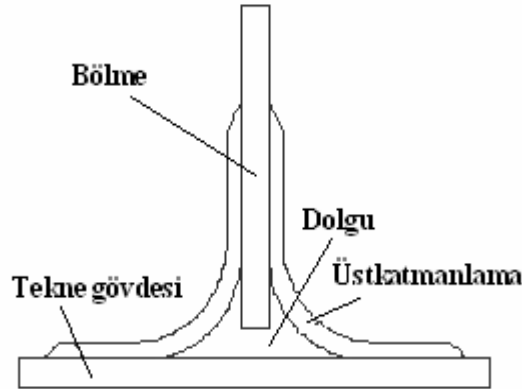
5.2.4	Dönümlü25 Bağlantı Tipinde Deneysel ve Nümerik Sonuçları Birbirleriyle Karşılaştırılması.....	220
5.2.5	Dönümlü 70 Bağlantı Tipinde Deneysel ve Nümerik Sonuçları Birbirleriyle Karşılaştırılması.....	222
5.2.6	Yeni Tip Bağlantı Tipinde Deneysel ve Nümerik Sonuçları Birbirleriyle Karşılaştırılması.....	224
5.3	İncelenen Bütün Bağlantı Tiplerinin Birbirleri İle Karşılaştırılması	226
BÖLÜM ALTI-DEĞERLENDİRME		228
KAYNAKLAR		231

BÖLÜM BİR

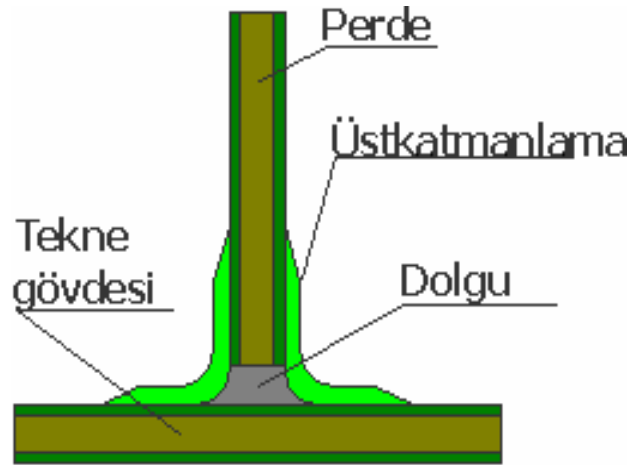
GİRİŞ

1.1 T Bağlantıları

“Gelişmiş kompozit malzemelerden imal edilen yapılar; hava-uzay, yer altı nakli, inşaat yapıları ve denizciliği içeren birçok uygulamada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kompozitler; yüksek mukavemetleri ve eğilme rijitlikleri, düşük kütleleri, mükemmel dayanıklılık ve karmaşık biçimlere kolay sokulabilmelerinden dolayı tercih edilmektedirler. Ayrıca denizcilik sektörü için kompozitler, yüksek korozyon direnci, artan yakıt verimi ve azalan manyetik imza gibi nedenlerden ötürü tercih edilmektedirler” (Ferry, Rodney, Henry, Israel, ve Evan, 2004). Yat imalatında, yatın tekne kısmı ve bölmelerini (perdelerini), bir üstkatmanlama (overlaminasyon) elemanı ile birbirlerine bağlayan ve tekne yada bölmelere etkiyen yüklerin, üstkatmanlama elemanı yardımıyla birbirlerine iletilmesini sağlayan yapılara T-bağlantıları denilmektedir. T-bağlantıları, eğrilmez tek yüzey konstrüksiyonlardan (Şekil 1.1) yada sandviç yapılardan (Şekil 1.2) imal edilirler. Büyük bir radyüse sahip kompozit üstkatmanlamayı içeren, yatın tekne kısmıyla bölmeleri birbirine bağlayan, tek yüzey, tipik bir T-bağlantısı Şekil 1.1’de gösterilmektedir. T-bağlantılarının üstkatmanlama elemanı, Şekil 1.1’de görüldüğü üzere dönümlü olabileceği gibi bu çalışma kapsamında anlatılacağı üzere düz ve üçgen 45^0 açılı olarak adlandırılan farklı geometrik biçimlerde de olabilmektedir.



Şekil 1.1 Tek yüzey dönümlü T- bağlantısı
(Ferry ve diğer., 2004).



Şekil 1.2 Sandviç dönümlü T bağlantısı.

Şekil 1.2’de görülen sandviç dönümlü bir T bağlantısında, üstkatmanlama Şekil 1.1’deki yapı gibi tek yüzey yapıdan, tekne gövdesi ve bölme ise Şekil 1.1’deki yapıdan farklı olarak sandviç yapıdan meydana gelmektedir. Bu çalışma kapsamında PVC/CTP tip sandviç yapılardan oluşan T bağlantıları incelenecektir. Bu sebeple T bağlantılarının yük altındaki mekanik davranışları incelenmeden önce çalışmanın giriş bölümünde bu bağlantıların mekanik özellikleri üzerinde etkili olan sandviç yapılar, sandviç yapılarda kullanılan malzemeler ve sandviç yapıların üretim yöntemleri açıklanacaktır.

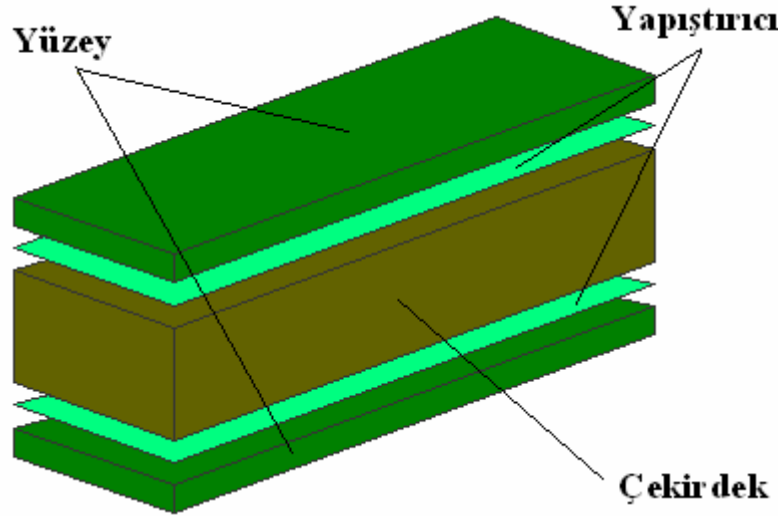
1.2 Sandviç Yapılar

Sandviç kompozitler, hava-uzay sanayi ve denizcilik sektöründeki mühendislik tasarımlarında yaygın olarak kullanılan kompozit malzemelerin teknolojik uygulamalarıdır.

“Karma (kompozit) malzeme; birbirinden biçimleri ve kimyasal bileşimleriyle ayrılmış ve esas olarak birbiri içinde çözünmeyen, iki veya daha çok mikro veya makro bileşenin karışımı veya birleşmesiyle oluşan malzemedir.

Karma malzemelerin mühendislikteki önemi; birbirinden farklı iki veya daha çok ögenin oluşturduğu karma malzemenin, her bir ögenin özelliğinden daha üstün bir özelliğe sahip olmasıdır” (Smith, W. F., çev., 2001, s.724).

Sandviç yapılar, temelde üç ana parçadan oluşur. Bir sandviç yapının temel parçaları, Şekil 1.3'te görülmektedir.



Şekil 1.3 Sandviç sistem elemanları (Kolat, 2005)

Şekil 1.3'te görüldüğü üzere sandviç yapılar; ince, katı ve mukavemeti yüksek olan iki yüzey, kalın ancak hafif ve mukavemeti nispeten düşük bir çekirdek ve yüzeyleri ve çekirdeği birbirlerine bağlayarak bütünde katı bir yapı meydana getiren yapıştırıcıdan meydana gelmektedir.

Sandviç yapıyı oluşturan yüzeyler, mukavemeti yüksek malzemelerden oluşur. Böylece belirli bir yüke maruz kalan yapıda meydana gelen gerilmelere karşı daha mukavim bir yapı elde edilir.

Sandviç yapıyı oluşturan çekirdek, kayma gerilmelerine direnç gösterir ve ayrıca yüzeylere kesintisiz destek vererek rijit bir yapı oluşturur.

Sandviç yapıyı meydana getirmekte kullanılan yapıştırıcılar ise çekirdek ve yüzeyler arasında kesintisiz bir bağlantı sağlayarak normal ve kayma gerilmelerine

karşı daha güçlü bir yapı elde edilmesini sağlar (www.eng.uab.edu/compositesLab/F_sandwch3.htm).

Sandviç yapıları mekanik yönünden incelersek yapıyı meydana getiren elemanların, tasarım yapılırken hangi kısıtlara göre seçilip boyutlandırıldığı daha iyi anlaşılacaktır.

1.3 Sandviç Yapılarda Kullanılan Malzemeler

Sandviç yapılarda kullanılan malzemeleri iki ana grupta inceleyebiliriz. Sandviç yapının dış kısımlarını meydana getiren yüzey malzemeleri ve sandviç yapının dış kısmında iki yüzey arasında kalan çekirdek malzemeleri.

1.3.1 Yüzey

Sandviç yapıları oluşturan yüzeyler başlıca iki malzeme tipinden oluşmaktadır. İlki anafaz katmanı olan plastik malzemeler, ikincisi ise yüzeyi oluşturan takviye elyaf malzemelerdir.

1.3.1.1 Takviye Elyaf

Takviye elyaf malzemeleri, yüzeyi oluşturmada kullanılan plastiklerin çeşitli uygulamalarda mekanik özelliklerinin yetersiz kaldığı durumlarda sandviç yapıyı oluşturan yüzeylerin dolayısıyla sandviç yapının mekanik özelliklerinin daha iyi bir duruma getirilmesi için kullanılan takviye malzemeleridir.

Takviye elyaf malzemeleri cam elyaf, karbon elyaf ve aramid elyaf olarak başlıca üç çeşite ayırabiliriz:

1.3.1.1.1. Cam Elyaf. Cam elyaflarla güçlendirilmiş malzemeler şu özelliklere sahiptir:

- Yüksek dayanım / ağırlık oranı
- İyi boyutsal kararlılık
- Sıcağa, soğuğa ve neme iyi dayanım
- İyi elektriksel yalıtım
- Kolay üretim ve şekillendirme
- Nispeten düşük maliyet

Karma malzemelerin cam elyaflarının üretiminde kullanılan en önemli iki cam türü E (electrical) ve S (strength or high content of silica) tipi camlardır (Smith, W. F., çev., 2001, s.724). Bu iki tip camın dışında özel amaçlar için kullanılan C (corrosion), R, D (dielectric), A (apperance) tipi camlarda bulunmaktadır.

C tipi camlar, depolama tankları gibi kimyasal etkilere maruz kalan malzemelerin korozyona olan dirençlerini arttırmak için kullanılan camlardır. D tipi camlar, düşük dielektrik bileşenlerine ihtiyaç duyulan kompozit malzemelerin yapımında kullanılırlar. A tipi camlar ise yüzey görünüşünün önemli olduğu kompozit malzeme yapımında kullanılırlar.

Bu cam tiplerinin bir kombinasyonu olarak iki cam tipi bir arada kullanılabilir. Örneğin E-C tipi cam hem elektriğe hem de korozyona karşı direncin bir arada istendiği malzeme yapımında kullanılır.

Tablo 1.1 E ve S cam elyaf bileşenleri

(http://www.oceanica.ufrj.br/ocean/cursosead/materiaiscompositos/compositomaterials/g_composite_materials.pdf)

Cam Bileşenleri	E Camı	S Camı
Silikon Dioksit	52-56%	64-66%
Kalsiyum Oksit	16-25%	0-0,3%
Alüminyum Oksit	12-16%	24-26%
Boron Oksit	5-10%	-
Sodyum ve Potasyum Oksit	0-2%	0-0,3%
Magnezyum Oksit	0-5%	9-11%
Demir Oksit	0,05%-0,4%	0-0,3%
Titanyum Oksit	0-0,8%	-
Floridler	0-1%	-

Tablo 1.3'te S camının çekme dayanımının 4589 MPa, E camının çekme dayanımının ise 3450 MPa olduğu görülecektir. Tablo 1.1'e bakıldığında S camı bileşenlerinden silikon dioksit yüzdesinin E camında bulunan silikon dioksit yüzdesinden daha yüksek olduğu görülmektedir. S camında silikon dioksit yüzdesinin yüksek olması, S camının çekme dayanımının E camının çekme dayanımından daha yüksek değere sahip olacağı anlamındadır.

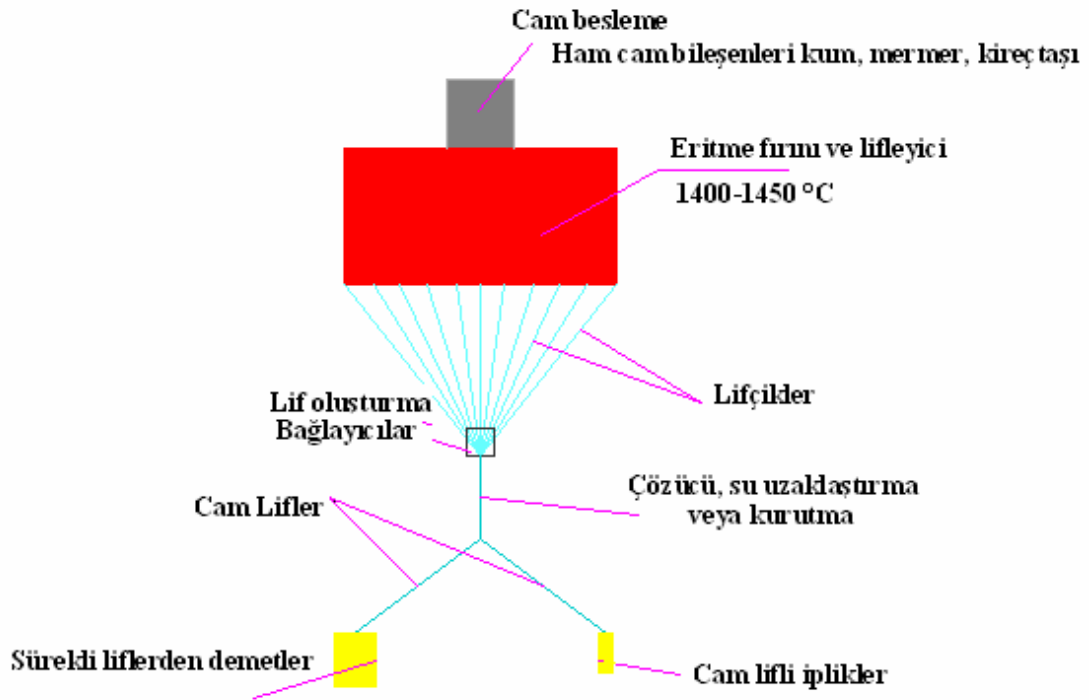
S camının esneklik modülünün, E camının esneklik modülünden daha yüksek olmasından dolayı, S camının kullanıldığı yapının eğilmezliği E camının kullanıldığı yapının eğilmezliğinden daha yüksek bir değere sahiptir.

S camının yoğunluğu, E camının yoğunluğundan daha düşüktür. Böylece daha hafif bir yapı elde edilmektedir.

S camının çekme dayanımının E camının çekme dayanımından daha yüksek olması ve S camının yoğunluğunun E camının yoğunluğundan daha düşük olması, çekme dayanımı/yoğunluk oranının S camında daha yüksek olması sonucunu doğuracaktır ve bu da S camının mekanik özelliklerinin, E camının mekanik özelliklerinden daha iyi olduğunu gösterecektir.

S camının yüzde uzaması %5.7, E camının yüzde uzaması ise %4.8'dir. S camının yüzde uzaması, E camının yüzde uzamasından daha fazla olduğu için S camı daha yüksek darbe direncine sahiptir.

Ancak Tablo 1.3'teki E camının mekanik özellikleriyle S camının mekanik özelliklerini karşılaştıracak olursak S camının mekanik özellikleri E camının mekanik özelliklerinden daha yüksek olsa da bu çalışma kapsamında denizcilik sektöründe kullanılan malzemeler inceleneceği için E camının mekanik özellikleri yeterli olmaktadır. Bu durumda üretim yapan firmanın, maliyeti dikkati alacağı düşünülürse E camını kullanmanın S camını kullanmaya göre yaklaşık olarak 4 kat daha az maliyetli olduğunu görülecek ve böylece E camının piyasada daha fazla kullanıldığı sonucuna varılacaktır.



Şekil 1.4 Cam liflerinin üretim aşamaları

Şekil 1.4'te görüldüğü gibi cam lifi bileşenleri kum, mermer ve kireçtaşı eritme fırınına beslenirler. Bu malzemeler eritme fırınında 1400-1450 °C 'de eritilir. Daha sonrasında erimiş cam bulunan fırından çekilen lifçikler, bağlayıcılar ile bir araya getirilerek cam lifleri haline getirilirler. Bu liflerde kalan çözücü yada su uzaklaştırılır yada kurutma yapılır. Böylece üretilmiş olan lifler, daha sonrasında cam lifi iplikler yada sürekli liflerden demetler yapımında kullanılırlar. Demetler sürekli liflerden yada örülmüş lifler halindedir.

Sürekli lifler örneğin boru tarzı içi boş silindirik parçaların yapımında kullanılırlar. Sürekli lifler, bir reçine banyosundan geçirilerek şeklini alacağı parça üzerine sarılır. Daha sonra sarılan liflerin reçine yardımıyla birbirlerine bağlanarak bütün bir yapı meydana getirmeleri sağlanır. İstenilen şekildeki parça elde edildikten sonra life istenilen şekil vermek için kullanılan parça uzaklaştırılır. Böylece içi boş silindirik biçimindeki parçalar imal edilmiş olur.

Sürekli lifler yada doğranmış liflerden hasırlar meydana getirilebilir.(Şekil-1.5 (b),(d)). Hasır kullanılarak üretilecek olan bir kompozit malzemede, malzemenin mekanik özelliklerinin yüksek olmasını istiyorsak cam lifi oranını reçineden daha yüksek tutmamız gerekir. Çünkü cam liflerinin mekanik özellikleri reçineden daha yüksektir. Kompozit malzemede cam lifi oranı ne kadar yüksekse malzemenin mekanik özellikleri o kadar yüksek olur. Ancak cam lifi oranını istediğimiz kadar arttıramayız. Cam lifi oranının kompozit malzeme içinde maksimum bir değeri vardır. Bunun nedeni, kompozit malzemeyi oluştururken cam lifi oranının artmasıyla, reçinenin cam lifi ıslatmasının daha zor bir hale gelmesinden ötürü cam lif ile reçine arasında tam bir bağın oluşmamasıdır.



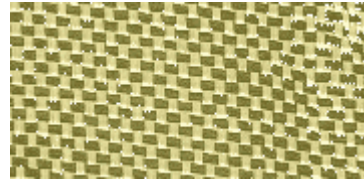
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 1.5 (a) Doğranmış cam liflerden yapılmış keçe elyaf (http://drywallmesh.en.alibaba.com/product/50025829/50061616/Fiberglass_Woven_Roving/Chopped_Strand_Mat.html), (b) Cam örgülü hasır (http://fiberglass_china.en.alibaba.com/offerdetail/52665097/Sell_Woven_Roving.html), (c) Sürekli fitil lif (cam elyaf), (d) Sürekli liflerden yapılmış hasır (Kevlar49) (<http://www.shopmaninc.com/kevlar.html>)

Sürekli liflerden birbirlerine paralel duran lifler örülerek oluşturulan hasırlar, bu liflerin uzadığı yönde yüksek bir mukavemete sahiptir. Bu nedenle tek bir yönde

yüksek mekanik özellikler sağlayabiliriz. Eğer bütün yönlerde yaklaşık olarak eşit mekanik özellikler istiyorsak doğranmış liflerden yapılan hasırlar kullanılmalıdır. Doğranmış liflerin hepsinin belirli bir yöne değil, her yöne gelecek şekilde bir araya getirilmesi, üretilcek olan hasırın her yönde yaklaşık olarak eşit mekanik özelliklere sahip olmasını sağlayacaktır.

Sürekli lif ve doğranmış liflerin dışında, tekne gövdesinin en dış kısmını oluşturan ayrıca tekneye rengini veren gelcoat katmanı vardır. Gelcoat katmanından sonra konan ve reçineyi daha iyi emen ve böylece gelcoat katmanının mekanik özelliklerinin daha iyi olmasını sağlayan yüzey tülleri de tekne gövdelerinin yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tablo 1.2 Örgü kumaş ve doğranmış demetin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması (Smith, W. F., çev., 2001)

Mekanik özellikler	Örgü kumaş	Doğranmış demet
Çekme dayanımı, MPa	206-344	103-206
Çekme esneklik modülü, GPa	103-310	55-138
Çentikli darbe dayanımı J/m	267-1600	107-1070
Yoğunluk, g/cm ³	1,5-2,1	1,35-2,30

1.3.1.1.2. Karbon Elyaf. Karbon elyaflar; hafiflik, yüksek dayanım ve yüksek eğilmezlik yani yüksek esneklik modülü gibi özelliklerin istendiği uygulamalarda kullanılırlar. Karbon lifleriyle güçlendirilmiş kompozit malzemelerin bu özellikleri, özellikle hava-uzay sanayinde kullanımlarına yol açmıştır. Karbon liflerinin yüksek olan maliyetleri, bu liflerin kullanım oranlarının düşük olmasına neden olmaktadır.

“Karbon lifleri, öncü adı verilen başlıca iki hammaddeden üretilir; poliakronitril(PAN) ve katran.

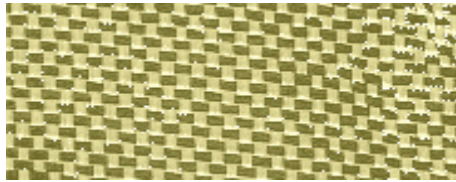
Genel olarak karbon lifleri PAN öncülerinden iki işlem kademesinde üretilir. Kararlaştırma kademesinde PAN lifleri her bir lifteki polimer ağının lif eksenine

paralel hale gelmesi için gerilerek, gerilmiş durumda, havada, 200-220°C sıcaklıkları arasında oksitlenir.

İkinci işlem kademesinde yüksek dayanımlı karbon lifleri karbonlaştırılmaktadır. Bu işlemde, kararlaştırılmış PAN asıllı karbon lifleri, öncü liflerde bulunan O, H ve N uzaklaştırılıncaya kadar kavrulur. Karbonlaştırma ısı işlemi çoğunlukla yansız bir atmosferde 1000-1500°C sıcaklıkları arasında yapılır. Karbonlaştırma işlemi sırasında, her bir lifin içinde grafit benzer şeritler oluşarak malzemenin çekme dayanımını büyük miktarda artırır” (Smith, W. F., çev., 2001, s.728).

PAN öncü liflerinden üretilen karbon liflerinin çekme dayanımları 2415 ile 4830 MPa arasında ve esneklik modülleri 227-393 GPa arasında değişir. Tablo 1.3’e bakılacak olursa mekanik özelliklere ait değerlerin sabit olmayıp minimum ve maksimum iki değer arasında değiştiği görülmektedir. Çünkü PAN öncüsünden karbon lifleri elde edilme işleminde uygulanan sıcaklık değerleri, istenilen mekanik özelliği sağlamak için farklı değerlerde olabilmektedir.

1.3.1.1.3. Aramid Elyafı. Aramid elyaflar, 1972’de Kevlar adı altında piyasaya sürülmüştür. Günümüzde Kevlar 29 ve Kevlar 49 adı altında ticari isimleri bulunmaktadır. Kevlar49 farklı örgü şekillerinde hasır halinde Şekil-1.6’da gösterilmektedir.



Şekil 1.6 (a), (b) Hasır aramid elyaf
(<http://www.shopmaninc.com/kevlar.html>)

Düşük yoğunluk ve yüksek dayanımdaki Kevlar 29, mermi çarpmasına karşı koruyucularda, ip ve kablo yapımında kullanılmaktadır. Kevlar 49, düşük yoğunlukta olup yüksek dayanım ve modüle sahiptir. Kevlar 49; denizcilikte, hava-uzay

sanayinde, otomobil ve diğer sanayi dallarında kullanılan kompozit malzemeleri güçlendirici lifler olarak kullanılabilecek özelliklere sahiptir.

Kevlar 49; hafifliğin, yüksek dayanım ve eğilmezliğin, hasara direnimin, yorulma ve gerilme kopmasına direncin istendiği yüksek başarılı kompozit malzemelerde kullanılır.

1.3.1.1.4. Diğer Takviye Elyaf lar. Kompozit yapılarda, az miktarda olsa da amaca uygun olarak nylon (Nomex) ve polyethylen elyaf lar da kullanılmaktadır. Ancak bu çalışma kapsamında yat sektöründe kullanılan elyaf lar üzerinde durulacağı için diğer takviye elyaf lar incelenmeyecektir.

Tablo 1.3 Elyaf çeşitlerinin karşılaştırılmalı özellikleri

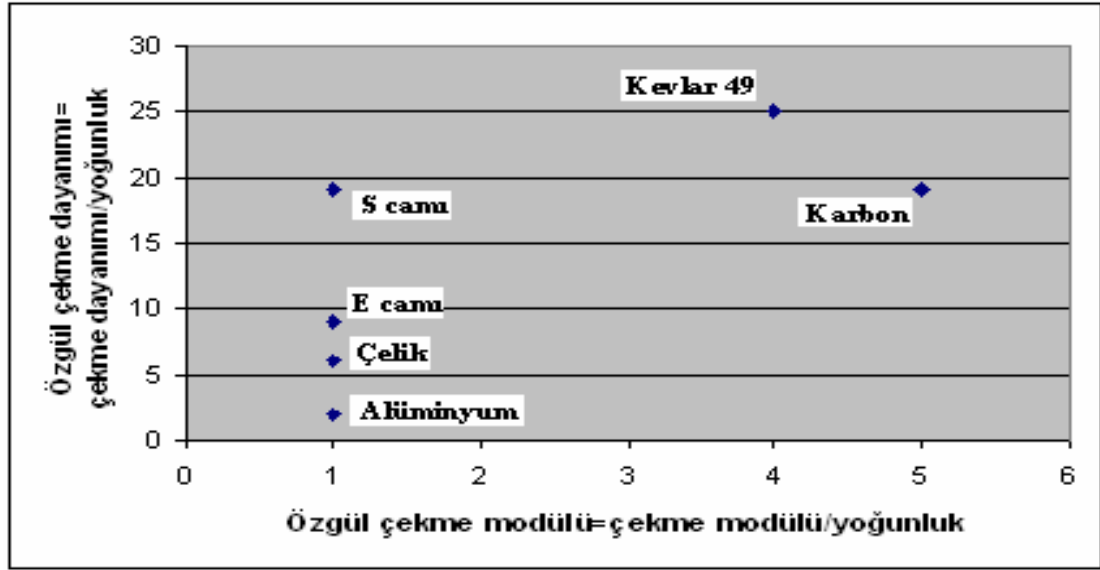
Elyaf malzeme	Yoğunluk		Çekme Dayanımı		Çekme Modülü		Yüzde Uzama	1995 Maliyet
	Ibs/ft ³	g/cm ³	psi.10 ³	MPa	psi.10 ⁶	GPa	%	\$/lb
E Camı	162,4	2,59	500	3450	10,5	72,45	4,8	1,14
S Camı	155,5	2,49	665	4589	12,6	86,49	5,7	5,00
Karbon PAN	109,7	1,76	350-700	2415-4830	33-57	227-393	0,38-2,0	12,00
Kevlar 49	90	1,44	525	3623	18	124,2	2,9	20,00

Tablo 1.3'ten görüldüğü gibi liflerin çekme dayanımları 2415 ile 4830 MPa, yüzde uzamaları %0.38 ile %5.7 arasında değişmektedir. Liflerin esneklik modülleri 72.45 ile 393 GPa arasında değişmektedir.

E camı liflerinin çekme dayanımları düşük olup S camının çekme dayanımı yeterince yüksektir. Cam liflerinin çekme modülleri diğer liflerinden çekme modüllerinden daha düşük değere sahiptir. Yani eğilmezlikleri düşüktür. Cam liflerinin uzamaları karbon ve Kevlar49 liflerinden çok daha yüksektir. Bu sebeple cam liflerinin darbe dirençleri diğer liflerin darbe direnci değerlerinden daha yüksektir. Ayrıca ağırlık başına cam liflerinin maliyetleri karbon liflerinden yaklaşık 11 kat, Kevlar49 lifinden ise yaklaşık olarak 18 kat daha azdır. Bu da cam liflerin maliyetlerinin düşük olmasından ötürü özellikle yat sektöründe daha fazla tercih edilmesini sağlamaktadır. Ancak cam liflerinin yoğunluklarının diğer liflerin yoğunluklarından daha yüksek oluşu, hafifliğin önemli olduğu yapıların üretiminde bu liflerin kullanımının büyük bir dezavantaj meydana getirmesine neden olmaktadır.

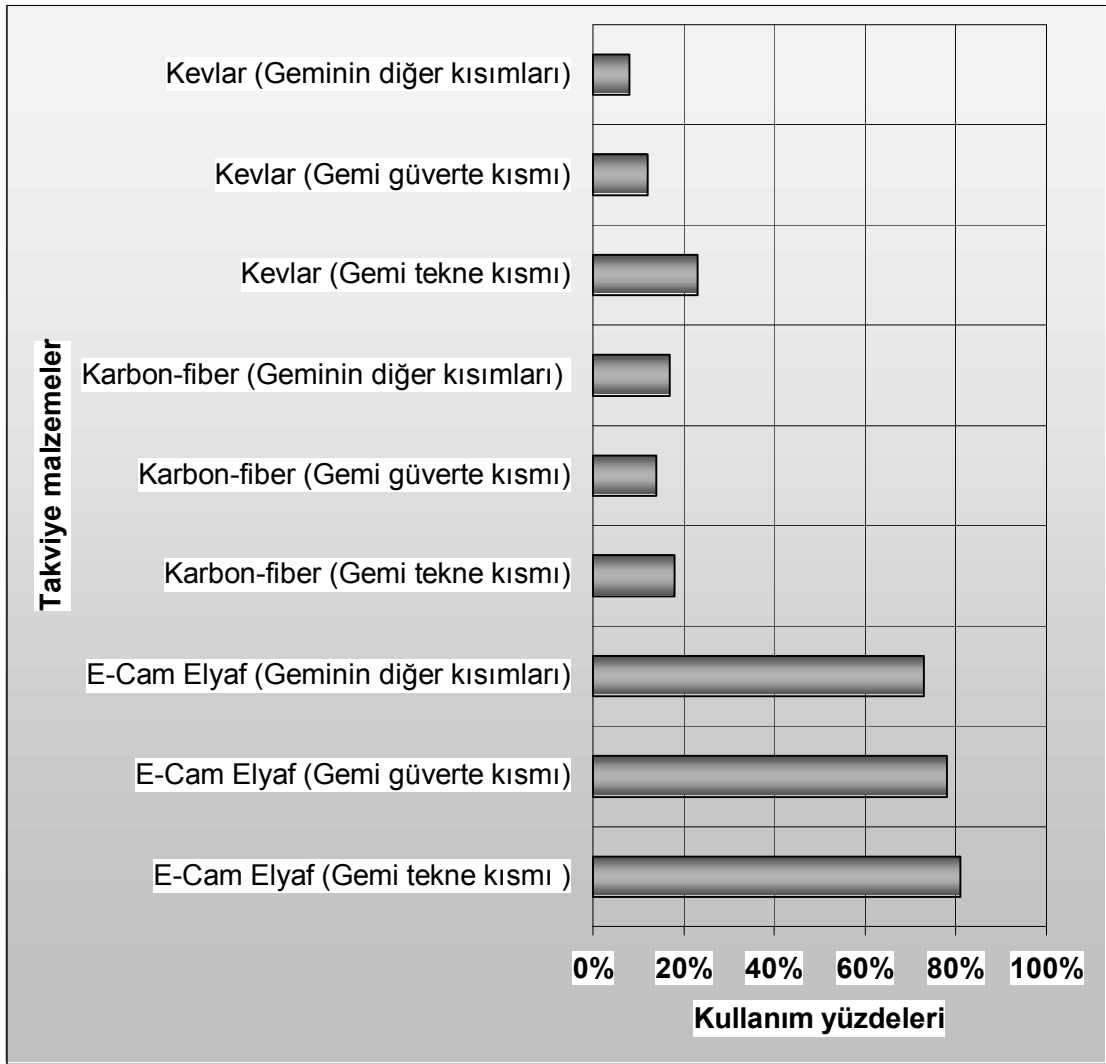
Karbon liflerinin üretiminde sıcaklık değeriyle oynanarak takviye elyaflar arasında 4830 MPa değeriyle en yüksek dayanıma sahip lif çeşididir. Çekme modülünün çok yüksek oluşu yapıya yüksek bir eğilmezlik vermektedir. Sonuçta karbon lifleri yüksek dayanım, yüksek eğilmezlik(yüksek modül) ve düşük yoğunluk özelliklerinin en iyi birlikteliğini vermekle birlikte uzamalarının diğer liflerin uzama değerlerinden daha düşük olması darbe dirençlerinin düşük olmasına neden olmaktadır.

Kevlar49 liflerinin mekanik değerleri iyi seviyededir. Kevlar 49'un yoğunluğu 1.44 g/cm^3 olup lifler arasında en düşük yoğunluğa sahiptir. Yoğunluğunun düşük olması hafifliğin önemli olduğu uygulamalarda Kevlar 49'un tercih edilmesini zorunlu hale getirmektedir. Ancak maliyetlerinin çok yüksek oluşu bu liflerin kullanım yüzdesini oldukça düşürmektedir.



Şekil 1.7. Kompozit malzemelerde kullanılan bazı malzemelerin özgül çekme modülü ve özgül çekme dayanımlarının karşılaştırılması (Smith, W. F., çev., 2001)

Şekil 1.7, çeşitli güçlendirme liflerinin dayanım/yoğunluk 10^6 cm ve çekme modülü/yoğunluk 10^8 cm oranlarını kıyaslamaktadır. Bu kıyaslama, karbon ve Kevlar49 liflerinin, çelik ve alüminyumdan daha üstün olan dayanım/ağırlık ve eğilmezlik/ağırlık oranlarını ortaya koymaktadır. Bu üstün özellikler sebebiyle karbon ve aramid ile güçlendirilmiş kompozit malzemeler birçok uygulamalarda metallerin yerini almıştır.



Şekil 1.8 Takviye malzemesi olan elyafların yat sektöründeki kullanım yüzdeleri

(http://www.oceanica.ufrj.br/ocean/cursosead/materiaiscompositos/compositomaterials/g_composite_materials.pdf)

Şekil 1.8’de görüldüğü gibi elyafların kullanım yüzdeleri, malzemelerin sahip olduğu mekanik özelliklerinin dışında çok büyük oranda maliyete bağlıdır.

Tablo1.3’ teki elyafların maliyetleri Şekil 1.8’deki elyafların kullanım yüzdelerini doğrudan belirlemektedir. Bu nedenle E camı, mekanik özelliklerinin yeterli olduğu uygulamalarda maliyetinin diğer elyaflara göre çok düşük olması nedeniyle yat sektöründeki uygulamalarda %80’den daha fazla bir yüzdeyle kullanılmaktadır.

1.3.1.2 Anafaz Katmanı (Plastik Reçineler)

Liflerle güçlendirilmiş plastiklerdeki anafaz katmanı olan plastik reçineler, sandviç yapının yüzey elemanını oluştururken yüzeyle çekirdek arasında yapıştırıcı eleman olarak birleşmeyi sağlayarak sandviç yapıyı meydana getirir.

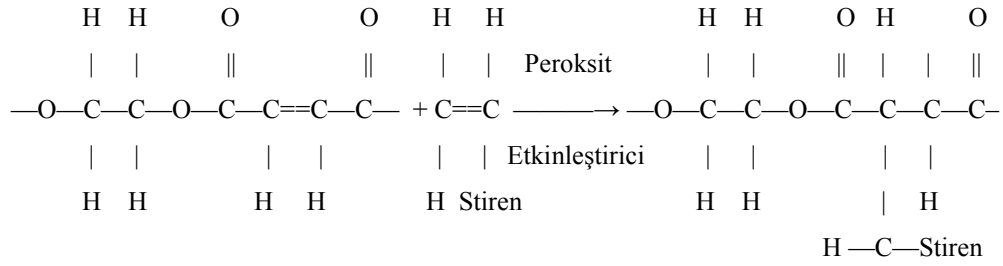
Liflerle güçlendirilmiş plastiklerin iki önemli anafaz plastik reçinesi, polyester ve epoksi reçinelerdir. Bu reçinelere ek olarak vinylester reçineye de bu çalışma kapsamında değinilecektir.

1.3.1.2.1. Polyester. Polyester reçineleri, mekanik özelliklerin iyi olmasının gerektiği uygulamalarda tek başlarına kullanılmazlar.

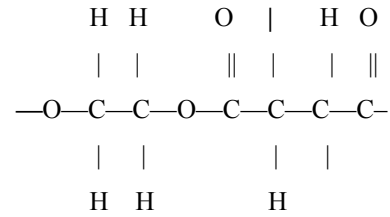
Tablo 1.4'e bakıldığında reçinelerin tek başlarına mekanik özellikleri çok düşüktür. Bu sebeple bir plastik reçine olan polyester reçineler, takviye liflerle birlikte kullanılırlar.

Polyester reçineler, güçlendirici liflerle birlikte kullanıldıklarından polyesterlerin takviye liflerle kompozit bir yapıyı nasıl oluşturduğunu bilmemiz gerekir.

Ticari reçinelerde; örneğin, etilen alkol, maleik asitle tepkiyerek doğrusal bir polyester oluşur. Çizgisel polyesterin takviye elyaflarla birleşip katı bir yapı oluşturması için bunların olgunlaştırılması yani çapraz bağlanmaları gerekmektedir. Çizgisel polyesterler genellikle stiren gibi serbest köklü bir olgunlaştırma maddesinin varlığında vinil türü moleküllerle çapraz bağ yaparlar. Peroksit olgunlaştırma maddeleri en yaygın olarak kullanılan maddelerdir.



Çizgisel polyester



Çapraz bağlı polyester

Şekil 1.9 Çizgisel polyesterin stiren gibi serbest köklü bir olgunlaştırma maddesinin varlığında vinil türü moleküllerle çapraz bağ yapması (Smith, W. F., çev., 2001)

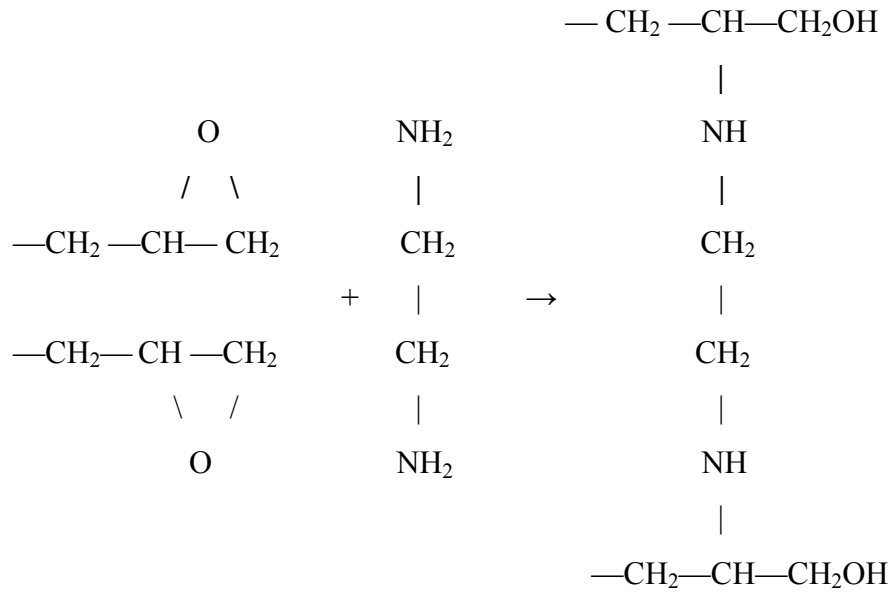
Polyester reçineleri, yüksek miktarda, %80'e varan oranlarda güçlendiricilerle karıştırılabilirler. Böylece polyester reçinenin sahip olduğu mekanik özelliklerden daha iyi mekanik özelliklere sahip bir kompozit yapı elde edilir. Örneğin cam lifiyle güçlendirilmiş polyesterlerin dayanımı, kompozit malzeme içerisindeki cam liflerin miktarına ve cam liflerinin dağılımına göre değişir. Kompozit malzeme içerisindeki cam lif miktarı ne kadar yüksekse malzemenin dayanımı da o kadar yüksek olur.

Cam lifleriyle güçlendirilmiş lifler olgunlaştırıldıklarında 172-344 MPa dayanıma, iyi bir darbe dayanımına ve kimyasal dirence sahip olabilirler. Cam liflerinin polyester içindeki yönelimleri belirli bir yönde ise o yönde yüksek bir dayanım ancak diğer yönlerde çok düşük dayanımlar olacaktır. Eğer lifler doğranacak olurlarsa, yönelimleri rasgele olacağından, dayanım belirli bir yönde daha düşük, fakat her yönde aynı olacaktır.

Polyesterlerin dezavatajlarından birisi imalatatta çalışma süresinin 30 ile 40 dakika arasında sınırlı olmasıdır.

Cam lifleriyle güçlendirilmiş polyesterler, özellikle küçük tekne gövdelerinin yapımında yaygın bir şekilde kullanılırlar.

1.3.1.2.2. Epoksi



**İki çizgisel epoksi molekülü Etilen daimin İki çizgisel epoksi molekülü
arasında oluşan çapraz bağ**

Şekil 1.10 Epoksi halkalarının iki çizgisel epoksi molekülünün uçlarında etilen diaminle çapraz bağ oluşturan tepkimesi (Smith, W. F., çev., 2001)

Yukarıdaki tepkimede iki çizgisel epoksi molekülünün sonlarındaki epoksi gruplarının etilen diaminle tepkimesini göstermektedir. Tepkimede epoksi halkaları açılarak diaminden bir hidrojen atomuyla —OH gruplarını oluşturur, bunlarsa daha sonraki çapraz bağlanma için tepkime noktalarıdır. Bu tepkimenin önemli bir özelliği hiçbir yan ürünün açığa çıkmamasıdır. Epoksi reçinelerin çapraz bağlanmaları için bir çok farklı tür amin kullanılabilir.

Reçinelerle elyafların birleştirilerek kompozit bir malzeme ortaya çıkartılması için reçinenin elyafı iyi ıslatması gerekmektedir. Sıvı haldeki olgunlaştırılmamış epoksi reçinelerin düşük moleköl ağırlığı onlara işleme sırasında üstün moleköl hareketliliği verir. Bu özellik, sıvı epoksi reçinelerin, yüzeyleri çabucak ve tam olarak ıslatabilmesine böylece tam bir birleşme sağlanmasına imkan verir.

Epoksit gruplarının aminler gibi olgunlaştırma maddeleriyle yüksek tepkinliği, yüksek derecede çapraz bağlanma, iyi bir sertlik, dayanım ve kimyasal direnç meydana getirir.

Epoksi reçineler, olgunlaştırma sırasındaki düşük büzülmeleri, iyi yapışmaları, ıslanma ve yüksek nem dahil kötü çevre koşullarına karşı dirençleri nedeniyle tercih edilirler.

Ayrıca epoksi reçinelerle imalatla 15 saat civarında çalışılabilir.

Tablo 1.4' te görüldüğü gibi epoksi reçinelerin mekanik özelliklerinin polyesterden daha iyi olmasına karşın maliyetinin polyesterden yaklaşık 4 kat daha fazla olması kullanım yüzdesinin polyesterden daha az olmasına neden olmaktadır.

1.3.1.2.3. Vinil Ester. Vinil ester, karakteristik özellikler bakımından polyestere benzerdir. Ancak vinil esterin mekanik özellikleri polyesterden daha iyidir. Vinil ester, özellikle su ve koroziyonlara karşı yüksek dirence sahiptir.

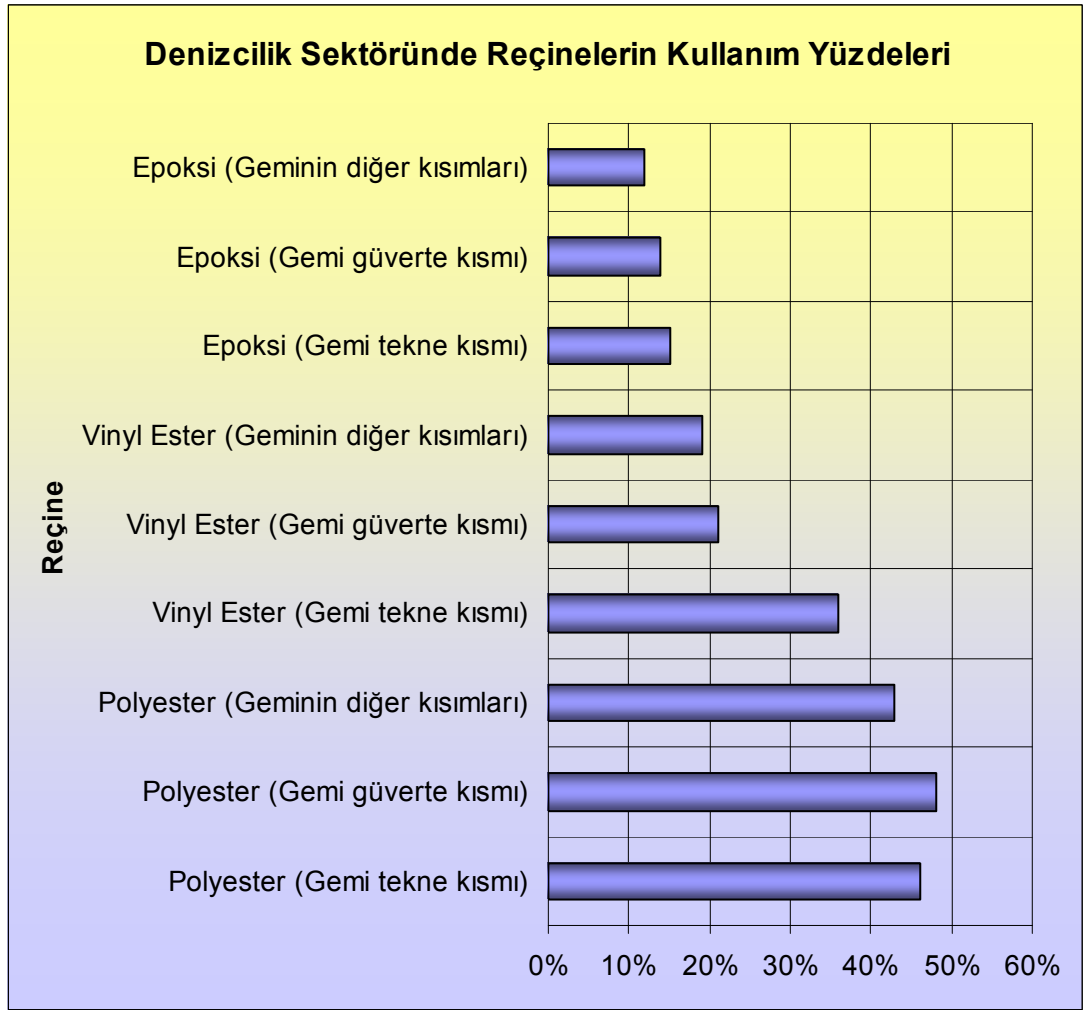
Tablo 1.4 Polyester, Epoksi ve Vinil Ester'in karşılaştırılmalı mekanik özellikleri

(http://www.oceanica.ufrj.br/ocean/cursosead/materiaiscompositos/compositomaterials/g_composite_materials.pdf).

Reçine	Yoğunluk		Çekme Dayanımı		Çekme Modülü		Yüzde Uzama	1995 Maliyet
	Ibs/ft ³	g/cm ³	psi.10 ³	MPa	psi.10 ⁶	GPa	%	\$/lb
Polyester	76,7	1,23	7	48,3	0,59	4,07	1	1,05
Epoksi	74,9	1,20	7,0-11,0	48-76	0,53	3,66	5,0-6,0	3,90
Vinil Ester	69,9	1,12	11,0-12,0	76-83	0,49	3,38	4,0-5,0	1,74

Vinil esterin mekanik özelliklerinin polyesterden daha iyi olmasına karşın maliyetinin 1.5 kat fazla olması Şekil 1.11'den görüldüğü gibi vinil esterin yat sektöründeki kullanım yüzdesinin, polyesterin kullanım yüzdesinden daha az olmasına neden olmaktadır.

Vinil esterin mekanik özellikleri hemen hemen epoksiye yakındır. Ancak vinil esterin maliyetinin epoksi reçinenin maliyetinden 2 kat daha az olması, vinil esterin kullanım yüzdesini epoksi reçinenin kullanım yüzdesinden daha yukarı seviyelerde tutmaktadır.



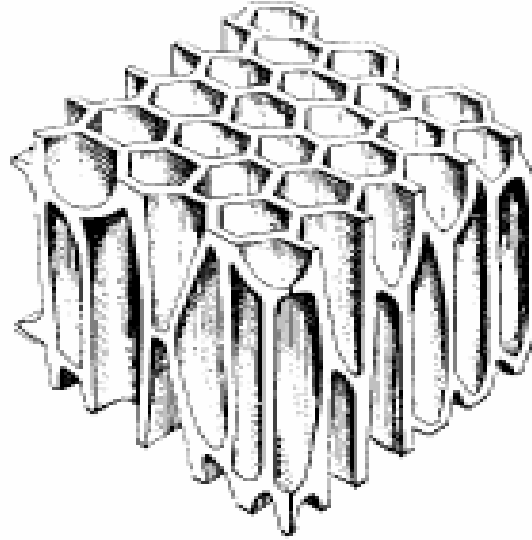
Şekil 1.11 Yat sektöründe kullanılan reçinelerin kullanım yüzdeleri (http://www.oceanica.ufrj.br/ocean/cursosead/materiaiscompositos/compositomaterials/g_composite_materials.pdf)

1.3.2 Çekirdek

Sandviç yapıyı meydana getiren iki elemandan biri yüzeydi. Yapıyı oluşturan diğer eleman ise çekirdektir. Çekirdek malzemeler olarak denizcilik sektöründe sık olarak kullanılan malzemeler üzerinde durulacaktır.

1.3.2.1 Balsa

Balsa, hafif balsa ağacının kesilmesiyle üretilir. Balsanın yapısı, prizmatik, balpeteğine benzeyen ancak yapıyı meydana getiren hücrelerin balpeteği yapılarındaki hücrelerden farklı olarak kapalı tip hücrelerden oluşmaktadır.



Şekil 1.12 Balsa hücresi
(http://www.oceanica.ufrrj.br/ocean/cursosead/materiaiscompositos/compositomaterials/g_composite_materials.pdf)

Tablo 1.5' e baktığımızda balsanın, çekirdek malzemelerin sahip olması gereken kesme dayanımının çok yüksek olmasının yanı sıra çekme ve basma dayanımının da çok yüksek olduğu görülmektedir.

Balsanın bu yüksek olan mekanik değerleri, çekirdek malzeme olarak kullanıldığı sandviç yapılarda çok iyi bir rijitlik sağlamaktadır.

Balsanın dezavantajı, kırılmanın ani ve büyük boyutlu olmasının yanı sıra yoğunluğunun da diğer çekirdek malzemelere göre nispeten yüksek olmasıdır.

1.3.2.2 PVC (Lineer)

Çekirdek malzeme olarak yaygın bir şekilde kullanılan PVC'nin doğrusal ve çapraz bağlı olarak başlıca iki çeşidi bulunmaktadır.



Şekil 1.13 PVC (Divinycell)

(http://www.diabgroup.com/europe/literature/e_pdf_files/man_pdf/H_man.pdf)

Tablo1.5' te görüldüğü gibi Lineer PVC yüksek sünekliğe dolayısıyla yüksek tokluğa ve de iyi darbe direncine sahiptir. Ayrıca iyi yorulma dayanımına da sahiptir. Lineer PVC'nin bazı dezavantajları vardır. Yüksek sıcaklıklarda yumuşaması bir dezavantajdır. Ayrıca reçinedeki stiren çekirdeğin içine doğru sızar. Reçineden uzaklaşan stiren, reçinenin bir kısmının olgunlaşamamasına neden olur ve bu nedenle gereğinden daha az olgunlaşan reçine, sandviç yapıyı meydana getiren yüzey ile çekirdek arasında yapışmanın tam olarak sağlanmasına engel olur ve de dolayısıyla sandviç yapının mekanik özelliklerinin gereğinden daha düşük olmasına neden olur.

1.3.2.3 PVC (Crosslinked Çaprazbağlı)

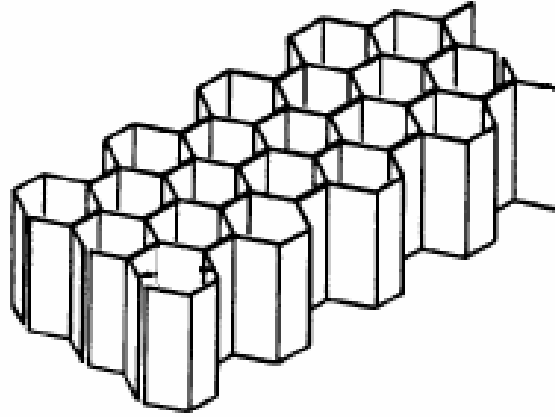
Çapraz bağli PVC'ler, katkı malzemeleri kullanılarak farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olarak çeşitli tiplerde bulunmaktadır.

Tablo 1.5'ten görüldüğü gibi çapraz bağli PVC'ler, lineer PVC'lerden daha rijit, daha gevrek, daha yüksek dayanım ve sertliğe sahiptirler. Çapraz bağli PVC'ler, lineer PVC'ler gibi iyi yorulma direncine sahiptirler.

Çapraz bağli PVC'ler, kapalı tip hücre yapısına sahiptir. Bu tip bir yapı, sandviç sistemi oluşturan yüzeyle çekirdek arasında yapışma yüzeyini arttırarak daha iyi bir bağlantı sağlamaktadır.

1.3.2.4 Balpeteği

Balpeteği şeklindeki bu çekirdek malzemeler, PVC'lerin tam tersi, açık hücre yapısına sahiptir. Balpeteği yapıları aramid liflerden ve phenolic reçineden yapılırlar.



Şekil 1.14 Balpeteği yapısı
(http://www.oceanica.ufrj.br/ocean/cursousead/materiaiscompositos/compositomaterials/g_composite_materials.pdf)

Balpeteği çekirdek malzemeleri açık hücre yapısına sahip olduğundan sandviç yapıyı meydana getiren yüzey ile çekirdek arasındaki yapışma yüzeyinin az olmasına dolayısıyla da yapışmasının süresiz olmasına neden olmaktadır.

Tablo 1.5'ten görüldüğü gibi balpeteği çekirdek malzemeleri, yüksek kesme dayanımına nispeten düşük yoğunluğa sahiptir. Yüksek sıcaklık stabilizesinin önemli olduğu yerlerde kullanılırlar.

Tablo 1.5 Sandviç sistemlerde kullanılan çekirdek malzemelerinin karşılaştırılmalı mekanik özellikleri (http://www.oceanica.ufrj.br/ocean/cursosead/materiaiscompositos/compositomaterials/g_composite_materials.pdf)

Çekirdek malzeme	Yoğunluk		Çekme dayanımı		Basma dayanımı		Kesme dayanımı		Kesme modülü		1995 Maliyet
	Ibs/ft ³	g/cm ³	psi·10 ³	MPa	psi·10 ³	MPa	psi·10 ³	MPa	psi·10 ³	MPa	\$/lb
Balsa	7	0,11	1,320	9,12	1,190	8,19	0,314	2,17	17,4	120	3,70
Çapraz bağlı PVC Divinycell H-100	6,0	0,96	0,360	2,48	0,260	1,79	0,217	1,50	6,52	45	5,95
Lineer PVC	5,0-6,0	0,80-0,96	0,200	1,38	0,125	0,86	0,170	1,17	2,9	29	5,20
Bal peteği (Nomex)	6,0	0,96	n/a	n/a	1,125	7,76	0,200	1,38	6,0	41	13,25

Tablo 1.5' e baktığımızda balpeteği yapıların mekanik özelliklerinin diğer çekirdek malzemelerin mekanik özelliklerinden daha iyi olmasına rağmen sandviç yapılarda sürekli bir yapıştırma yüzeyinin sağlanamaması ve de yaklaşık 3-4 kat yüksek olan maliyetleri bu çekirdek malzemesinin yaygın bir şekilde kullanılmasına engel olmaktadır.

Çekirdek malzemelerin içinde en yaygın olarak mekanik özelliklerinin iyi olmasının yanı sıra maliyetinin düşük olması sebebiyle balsa tercih edilmektedir. Ancak hafifliğin önemli olduğu yapılarda yoğunluğu düşük olan PVC'ler tercih edilmektedir.

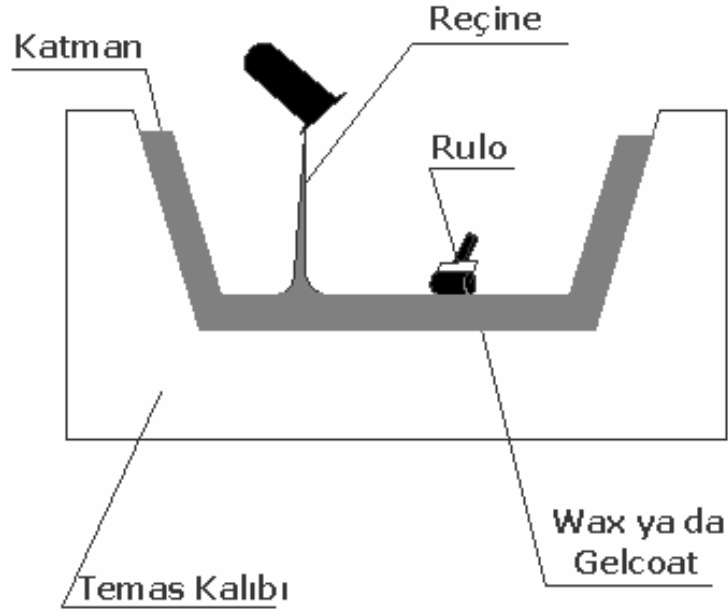
1.4 Sandviç Sistemlerin Üretim Yöntemleri

Sandviç sistemler çeşitli yöntemlerle üretilirler. Bu çalışma kapsamında tekne imalatında kullanılan sandviç sistemlerin üretim yöntemleri üzerinde durulacaktır.

1.4.1 El Yatırması Yöntemi

Sandviç sistemlerin hazırlandığı bütün yöntemlerde öncelikle sandviç yapının şeklini alacağı bir model hazırlanır. Bu model el yatırması yönteminde alçı, tahta yada metalden yapılır. Modelin üzerine, sandviç yapıyı oluşturmada kullanılacak reçinenin yada gelcoat'un, modelin yüzeyine yapışmasını önlemek için wax türü yapışmayı önleyici malzemeler tatbik edilir. Takviyeli plastiklerin modele tatbik edilmesinden önce sandviç yapının dış yüzeyi, görsel açıdan yada korozyonun önlenmesi gerekliliği gibi nedenlerden dolayı gelcoat'la kaplanabilir. Bu sebeple modelin yüzeyine tatbik edilen wax'tan sonra gelcoat tatbik edilir. Daha sonra bu yüzeye reçine sürülür ve bunun üzerine de takviye elyaflar konulur. Bir fırça yardımıyla takviye elyafların reçineyi emmesi sağlanır. Reçine elyafa emdirildikten hemen sonra bir rulo yardımıyla modelin üzerine koyulan yüzey katmanı üzerinden geçilir. Rulo ile yüzeyin daha düzgün olması sağlanır ve malzemeler arasında kalan hava uzaklaştırılır. Yüzeyin kurlenmesine izin vermeden üzerine sandviç sisteminin diğer bir elemanı olan çekirdek konur. Çekirdeğin diğer tarafına reçine sürülür ve

sandviç sistemin diğer elemanı olan ikinci yüzeyde de birinci yüzeyi oluşturmada uygulanan işlemler uygulanır. Yani reçine sürülmüş çekirdeğin üzerine takviye elyaflar yerleştirilir. Bir fırça yardımıyla reçine emdirilir ve yüzeyin düzgün olması ve havanın uzaklaştırılması için bir rulo ile yüzeyin üzerinden geçilir. Bütün bu işlemlerden sonra sistem kürlenmeye bırakılır. Kürlenme süresi, sıcaklık ve kullanılan reçinenin özelliklerine göre farklılıklar gösterir. Kürlenme işlemi bittikten sonra modele tatbik edilen ilk malzeme olan wax sayesinde imal edilen sandviç sistem modelden kolaylıkla çıkarılır.



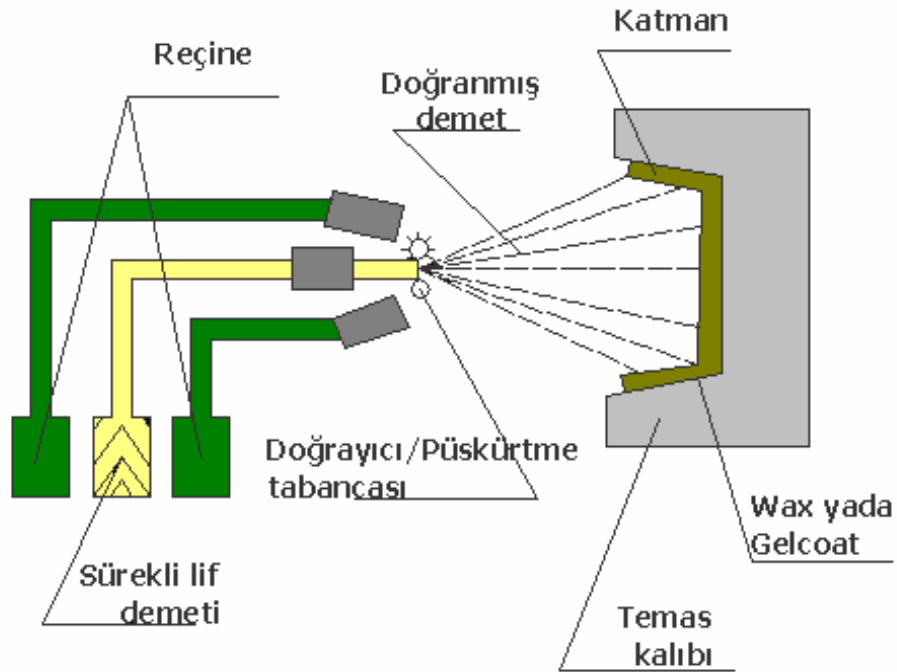
Şekil 1.15 El yatırması metodu

Bu yöntem, eğer elde edilen yapının modele yakın olan yüzeyinin pürüzsüz olması isteniyorsa diğer yüzeyinin pürüzlülüğünün hiçbir önemi yoksa kullanılabilir.

El yatırması yöntemi tekne üretimi sektöründe en fazla kullanılan yöntemdir. Yöntemin başarısı büyük oranda işçinin ustalığına bağlıdır.

1.4.2 Püskürtme Yöntemi

Püskürtme yöntemi, el yatırması yöntemine benzer bir yöntemdir. El yatırması yönteminde reçine ve takviye malzemenin ayrı ayrı modele konulmasının yerine püskürtme yönteminde reçine ile takviye malzeme aynı anda modele tatbik edilir. Bu yöntemde bir tabanca yardımıyla tabancanın ucunda bulunan bir doğrıyıcı, sandviç sistemin bir elemanı olan yüzeyde kullanılan takviye malzeme olan sürekli lifleri doğrır. Tabancadan ayrıca doğrıanmış sürekli lifle sandviç sistemin yüzeyini ve yapışmayı sağlayacak olan diğır bir eleman olan reçine aynı anda püskürtölür ve böylece sandviç sistemin bir yüzeyi elde edilmiş olur. El yatırması yönteminde olduğı gibi bu yöntemde de sistemden havayı uzaklaştırmak için bir rulo yardımıyla sistemin yüzeyi üzerinden geçiler. Elde edilen ilk yüzey üzerine çekirdek katmanı ve daha sonrasında sandviç sistemin ilk yüzeyini elde etmedeki yöntemler, sistemin diğır yüzeyini oluşturmada aynen uygulanarak sandviç yapı elde edilir.

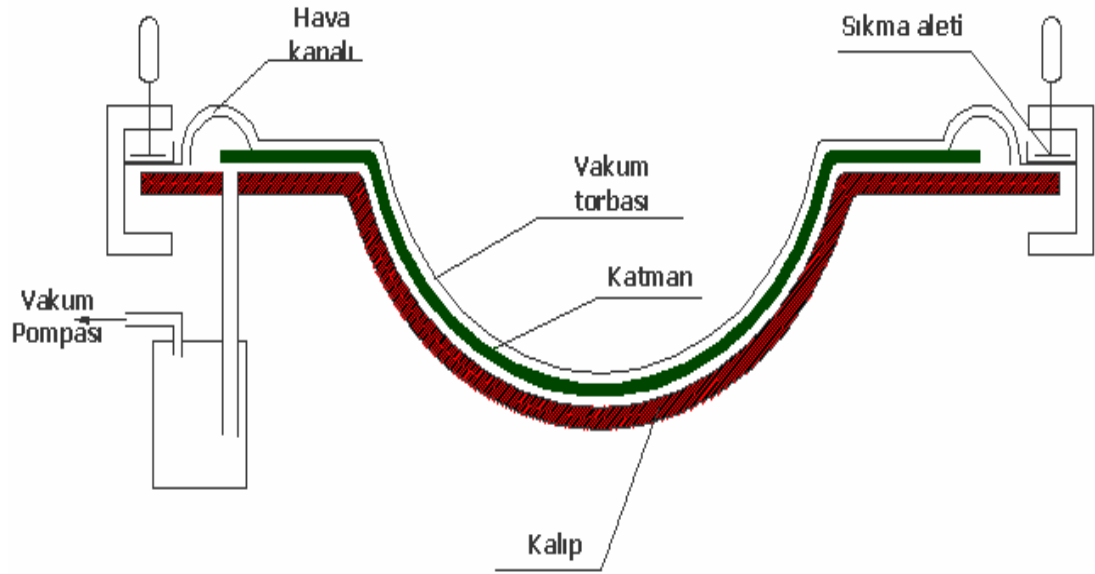


Şekil 1. 16 Püskürtme yöntemi (Smith, W. F., çev. 2001)

Bu yöntemde üniform bir yüzey kalınlığı elde etmek oldukça zordur. Çünkü püskürtme esnasında işçinin tabancayı kendisi hareket ettirdiği için tabancanın hızını düzgün bir şekilde ayarlaması çok zordur. Bu sebeple titreme gibi çeşitli el hareketleri tabancadan püskürtülen malzemelerin bazı yerlere daha fazla bazı yerlere de daha az yığılmasına neden olabilir. Bu nedenle düzgün bir yüzey elde edilemeyebilir.

Püskürtme yönteminin bu olumsuzluklarını ortadan kaldırmak için püskürtmenin işçinin yerine otomatik olarak yapılması düşünülebilir. Ancak bazı sandviç yapılarının formlarının çok karmaşık olması bu formların bilgisayarda modellenmesi işlemini zorlaştırdığı için hazırlanması çok uzun zaman almaktadır. Bu sebeple püskürtme yöntemi yerine el yatırması yöntemi daha fazla tercih edilmektedir.

1.4.3 Vakum Torbalı Yöntem

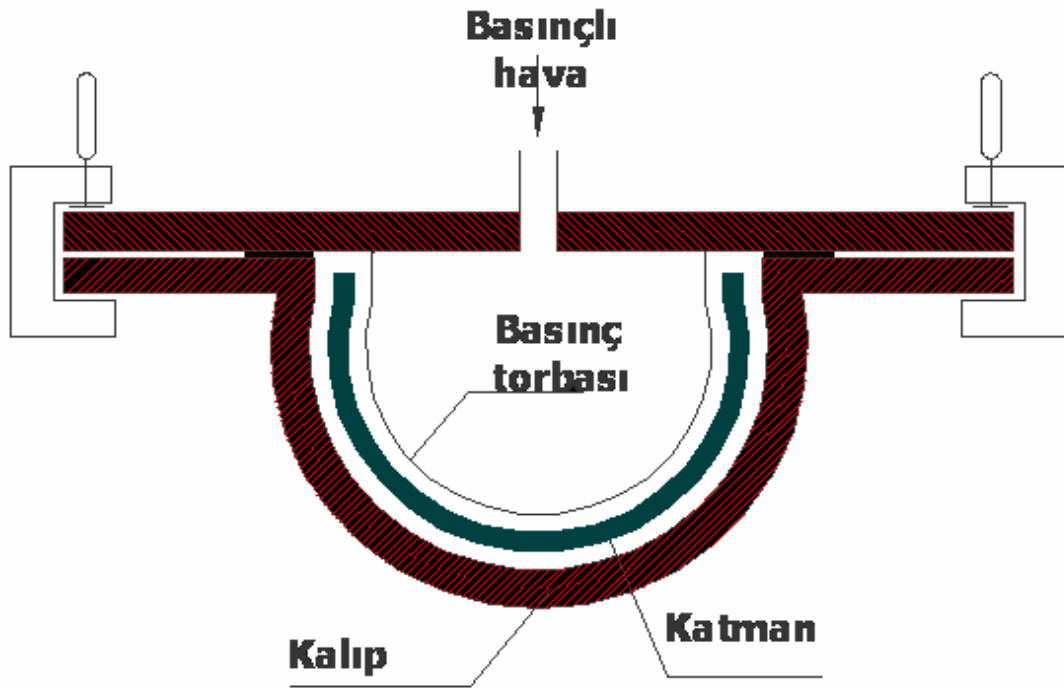


Şekil 1.17 Vakum torbalı yöntem

Bu yöntemde reçine ve takviye malzeme model üzerine konulduktan sonra reçine-takviye malzeme üzerine alüminyum kağıt benzeri bir vakum torbası konur. Model ile vakum torbası arasında bir vakum pompası yardımıyla vakum tatbik edilir. Uygulanan vakumla atmosferik basınç sayesinde vakum torbası ve dolayısıyla

reçine-takviye malzeme karışımı modele doğru bastırılır. Böylece reçine-takviye malzeme karışımı bu basıncın etkisiyle üzerine konduğu modelin şeklini alır. Uygulanan vakum dolayısıyla da atmosferik basınç sayesinde modelle vakum torbası arasındaki hava uzaklaştırılır. Atmosferik basıncın reçine-takviye malzeme karışımını bastırması sayesinde üniform bir yüzey elde edilir. Bu basınç sayesinde takviye malzemesi zengin bir reçine-takviye malzeme karışımı elde edilir. Bu yöntemle elde edilen yapının her iki yüzeyi de pürüzsüz olur.

1.4.4 Basınç Torbalı Yöntem



Şekil 1.18 Basınç torbalı yöntem

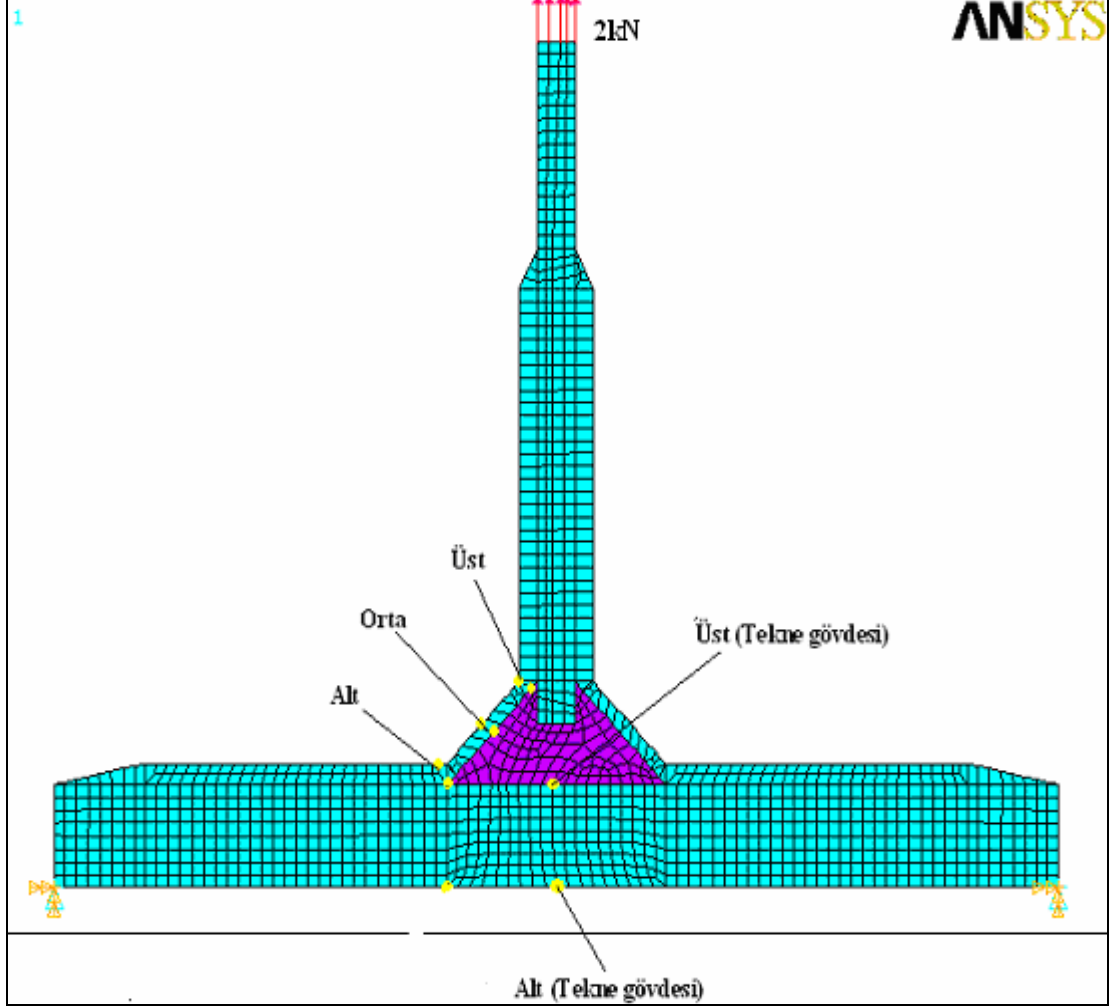
Basınç torbalı yöntemde model üzerine yerleştirilen reçine-takviye malzeme karışımının üzerine basınç torbası yerleştirilir. Basınç torbası üzerine basınçlı hava yada su uygulanır. Bu basıncın yardımıyla reçine-takviye malzeme karışımı model üzerine bastırılır. Uygulanan basıncın yüksek olması takviye malzeme oranının yüksek olmasını dolayısıyla da elde edilen yapının mekanik özelliklerinin daha yüksek olmasını sağlar. Basınç torbalı yöntemle elde edilen yapı, vakum torbalı yöntemde elde edilen yapıda olduğu gibi yüksek kalitede ve iki yüzeyi pürüzsüz olan

yapılardır. Basınç torbalı yöntemde elde edilen yapıların mekanik özellikleri, takviye malzemesinin karışımındaki oranının yüksek tutulması sayesinde vakum torbalı yöntemle elde edilen yapıların mekanik özelliklerinden daha yüksektir. Ancak basınç torbalı yöntemlerde özel ekipmanlara ihtiyaç duyulması bu yöntemin sadece büyük parçaların üretiminde kullanılmasına neden olmaktadır.

BÖLÜM İKİ

SANDVIÇ SİSTEMLERİN MEKANİK YÖNDEN İNCELENMESİ

2.1 Sandviç Sistemlerde Meydana Gelen Gerilmeler

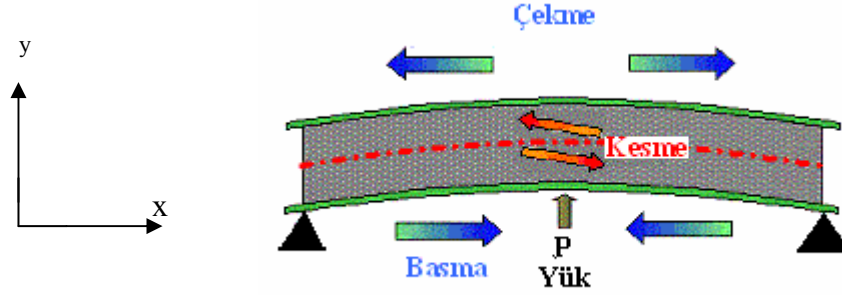


Şekil 2.1 Bir T bağlantısına uygulanan çeki yükü

Bu çalışma kapsamında Şekil 2.1’de görüldüğü gibi bir çeki yüküne maruz kalan bir T bağlantısında, bağlantının bu yük altındaki mekanik davranışının incelenmesinden önce, T bağlantısını meydana getiren sandviç sistemlerinin bir P yükü altındaki mekanik davranışlarını incelemek daha faydalı olacaktır. Sandviç yapıların mühendislikteki önemi; birbirinden farklı iki veya daha fazla ögenin oluşturduğu yapının, her bir ögenin özelliğinden daha üstün bir özelliğe sahip olmasıdır.

Sandviç yapılar, temelde üç ana parçadan oluşur. Tipik bir sandviç yapı; iki ince, eğilmez ve mukavim yüzeyler ile kalın, hafif ve daha zayıf bir çekirdekten ve yüzeyler ile çekirdeği birbirine bağlayan bir yapıştırıcıdan oluşur.

Sandviç sistemlerin tasarım prensipleri, bir I kirişinden temel alınmaktadır .

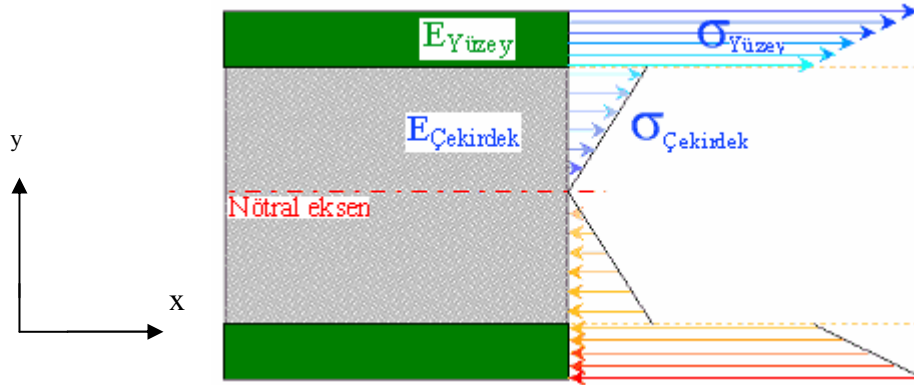


Şekil 2.2 P yükü etkisi altında sandviç yapıda meydana gelen gerilmeler

Şekil 2.2’de bir T bağlantısının tekne kısmının x doğrultusunda orta kısmında y doğrultusunda bir P yükü etkisi altında bağlantıda meydana gelen gerilmeler gösterilmektedir. Buna göre bir P yükü etkisi altında, sandviç yapının nötral ekseninin üst kısımlarında çekme gerilmeleri, nötral eksenin alt kısımlarında ise bası gerilmeleri meydana gelmektedir. Kayma gerilmeleri esas olarak çekirdekte, az bir miktarda da yüzeylerde meydana gelmektedir.

2.1.1 Sandviç Sistemlerde Meydana Gelen Normal Gerilmeler

Şekil 2.3’de ise P yükü etkisi altında sandviç yapının belirli bir kesitinde oluşan M momentinin meydana getirdiği çeki ve bası gerilmelerinin dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Sandviç sistemde oluşan çeki ve bası gerilmelerinin dağılımı
<http://www.oneoceankayaks.com/Sandcore.htm>

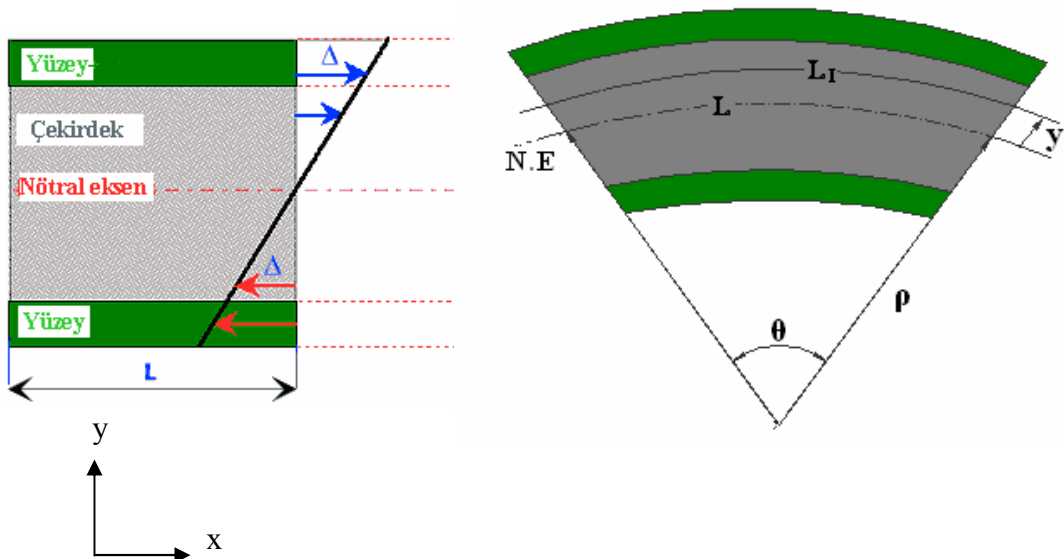
Şekil 2.3'te görüldüğü gibi gerilmeler, nötral eksen y eksenine doğrultusunda ilerledikçe düzgün bir şekilde artmakta, yüzey-çekirdek sınırında aniden artış göstermektedir. Bu ani artışın nedenini mekanik yönden şu şekilde açıklayabiliriz.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad [1]$$

σ = Sandviç yapıyı meydana getiren elemanlarda oluşan gerilmeler

E = Sandviç yapıyı meydana getiren elemanların elastisite modülleri

ε = Birim şekil değişimi



Şekil 2.4 Sandviç sistemde oluşan doğrusal deplasman ve eğilme

P yüküne maruz kalan sandviç yapı, Şekil 2.4'te görüldüğü gibi belirli bir eğrilik yarıçapı (ρ) ile eğrilir. Eğer sandviç yapıyı iskambil destesine benzer biçimde birbirlerine paralel katmanlardan meydana geldiğini düşünürsek, yapının nötral ekseninden belirli uzaklıktaki bir tabakanın birim şekil değişimini (ε) bulabiliriz. Şimdi bu açıklamayı formülize edelim.

$$\varepsilon_x = \Delta / L \quad [2]$$

ε_x = x doğrultusunda birim şekil değişimi

Δ = x doğrultusunda uzama miktarı

L = sandviç yapının nötral eksenindeki tabakanın x doğrultusundaki uzunluğu

L_I = nötral eksenden y mesafesindeki tabakanın eğrisel uzunluğu

ρ = Sandviç yapının eğrilik yarıçapı

y = Nötral eksenden y eksenini doğrultusundaki mesafe

$$L = \rho \cdot \theta, \quad L_I = (\rho + y) \cdot \theta \quad ;$$

$$\Delta = L_I - L = (\rho + y) \cdot \theta - \rho \cdot \theta = y \cdot \theta \quad ;$$

$$\varepsilon = \Delta / L = y \cdot \theta / \rho \cdot \theta = y / \rho$$

$$\varepsilon = y / \rho \quad [3]$$

Sandviç sistemin eğrilik yarıçapı (ρ) sabit olduğu için nötral eksenden y eksenini doğrultusunda ilerledikçe y değeri ile birim şekil değiştirme (ε) orantılı bir şekilde artacaktır. Oysa sandwich sistemlerde yapıştırıcının bulunduğu yüzey-çekirdek sınırındaki gerilmeye bakacak olursak $E_{\text{Yüzey}} > E_{\text{Çekirdek}}$ olduğu için $\sigma = E \cdot \varepsilon$ formülünden yüzeylerdeki gerilmeler ($\sigma_{\text{Yüzey}}$), çekirdekteki gerilmeden ($\sigma_{\text{Çekirdek}}$)' ten büyük olacağı için yüzey-çekirdek sınırındaki gerilme çekirdekten yüzeye geçerken aniden artacaktır.

$$\sigma_{\text{Yüzey}} = E_{\text{Yüzey}} \cdot \varepsilon_{\text{Yüzey-çekirdek sınırı}} \quad [4]$$

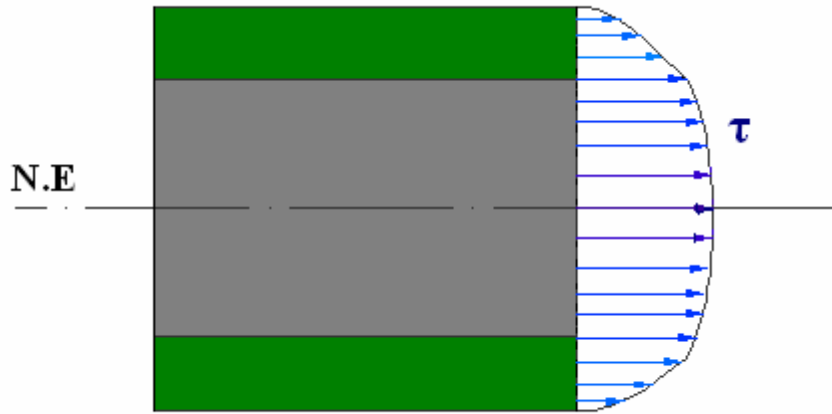
$$\sigma_{\text{Çekirdek}} = E_{\text{Çekirdek}} \cdot \varepsilon_{\text{Yüzey-çekirdek sınırı}} \quad [5]$$

Bu nötral eksen den y eksen i doğ rultusunda uzaklaşt ıkça yüzey-çekirdek sınır ına kadar olan gerilmeler Ş ekil 2.3'te görü ldü ğ ü gibi dü zğ ün bir biçimde artacak ancak $E_{Yüzey} > E_{Ç ekirdek}$ olmasından ötürü $\sigma_{Yüzey} > \sigma_{Ç ekirdek}$ olacağı için yüzey-çekirdek sınır ındaki gerilme aniden artış gösterecektir. Bu sebeple yüzeyle çekirdeğ in birleş tiğ i birleş me yüzeyinde yapış tırma maddesinin dayanımı, sandviç yapının delaminasyonuna yani yüzeylerle çekirdeğ in birbirlerinden ayrılması riskine karşı çok büyük bir önem taşımaktadır.

Sandviç sistemlerde, sistemin dayanım ını etkileyen önemli unsurlardan bir diğ eri de yapıda oluş an kayma gerilmeleridir.

2.1.2 Sandviç Sistemlerde Meydana Gelen Kayma Gerilmesi

Ş ekil 2.5'te sandviç yapıya uygulanan P yükü etkisi altında yapının belirli bir kesitinde meydana gelen kesme kuvveti sonucu oluş an kayma gerilmelerinin dağılım ı görü lmektedir.



Ş ekil 2.5 Sandviç sistemde oluş an kayma gerilmelerinin dağılım ı

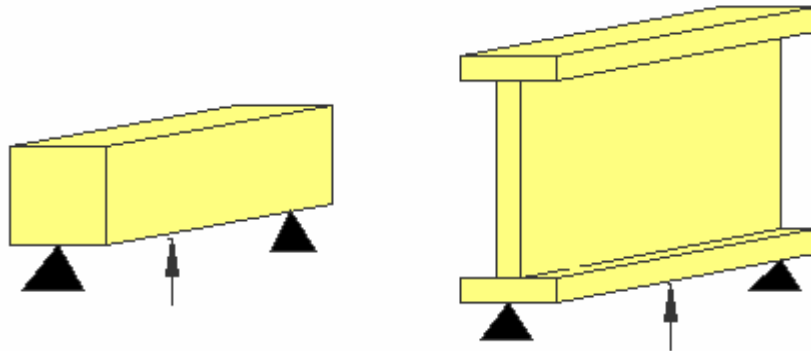
Kayma gerilmelerinin dağılım ına bakıldığında sandviç yapının en üst ve en alt kısımlarında kayma gerilmelerinin sıfıra eş it olduğ unu, nötral eksen de maksimum değ ere sahip olduğ u görü lmektedir.

Sandviç sistemlerin kayma gerilmelerine göre tasarımları yapılırken çekirdekte oluşan kayma gerilmelerinin y eksenli doğrultusundaki mesafelerde birbirlerine yaklaşık olarak eşit değerde oldukları görülmektedir. Tasarım esnasında çekirdek malzemesi seçilirken kayma gerilme değerlerinin maksimum olmasından ötürü çekirdek malzemesi zaten bu maksimum gerilmeye göre seçilecek, dolayısıyla kayma gerilmesi aniden artması ve buna göre dayanımı daha düşük bir malzemenin seçimi gibi bir risk olmayacaktır.

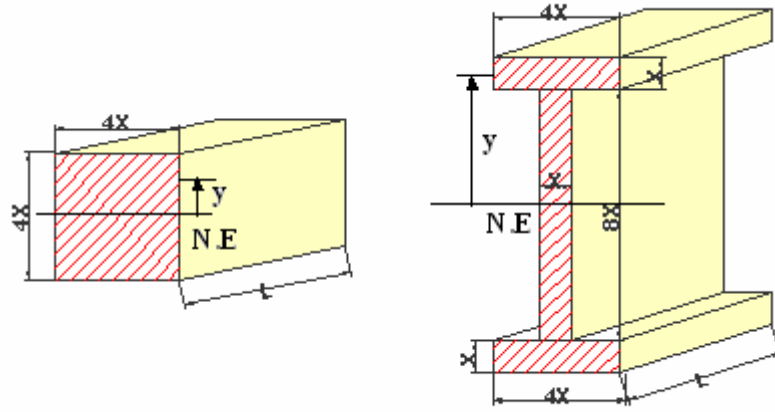
Tasarımda incelenmesi gereken yüzey-çekirdek sınırındaki kayma gerilmesinin değeridir. Çünkü yüzeyden nötral eksene doğru gidildikçe kayma gerilmeleri, yüzey-çekirdek sınırında, yüzey için maksimum değerine ulaşmaktadır. Tasarımlarda yüzey malzemesi olan reçine seçilirken doğal olarak yüzeyin daha fazla maruz kaldığı çeki ve bası gerilmeleri dikkate alınmakta, kayma gerilmesi değerlerinin düşük olduğu dikkate alınmaktadır. Oysa yüzeyi oluşturan reçine, yüzey- çekirdek sınırındaki malzeme olduğu için, yüzeyi oluşturmada kullanılan reçinelerin yüzey-çekirdek sınırındaki maksimum kayma gerilmesi dikkate alınarak seçilmesi gerekmektedir. Çünkü bu değer, tasarımında öncelikle maruz kaldığı kayma gerilmeleri dikkate alınan çekirdekte oluşan kayma gerilmesi değerlerine çok yakın değerdir.

2.1.3 Bir İçi Dolu Kirişle I Kirişinde Meydana Gelen Normal Gerilmeler

Sandviç yapıların I kirişlerinin dizaynları temel alınarak yapıldıkları daha önce belirtilmişti. Öncelikle sandviç yapıların neden I kirişlerinin dizaynları temel alınarak yapıldıklarını inceleyelim.



Şekil 2.6 İçi dolu kiriş ve I kirişi



Şekil 2.7 İçi dolu kiris ve I kirisinin kesit geometrisi

Şekil 2.7’de aynı malzemeden yapılmış ve aynı ağırlığa sahip, farklı kesit şekillerinde iki parçanın kesitleri verilmiştir. Şimdi bir örnekle bu iki kesite etkiyen bir P yükünün kesitlerde meydana getirdiği gerilmeleri inceleyelim. Öncelikle örneğin çözülmesinde kullanılacak olan mukavemet formüllerini açıklamamız gerekir.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad [6]$$

σ = Normal gerilmeler

E = Elastisite modülü

ε = Birim şekil değişimi

$$I = 1/12 \cdot b \cdot h^3 \quad [7]$$

I= Kesit atalet momenti

b= Kesit genişliğinin uzunluğu

h= Kesitin yüksekliği

$$\varepsilon = y / \rho \quad [8]$$

ε = Birim şekil değişimi

y= Nötral eksenden y eksenine doğrultusundaki mesafe

ρ = Eğrilik yarıçapı

$$1/\rho = M / E \cdot I \quad [9]$$

ρ = Eğrilik yarıçapı

M= Moment

E= Elastisite modülü

I= Kesit atalet momenti

1. kesit için;

$$I_1 = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot x \cdot (4x)^3 = 21.33 \cdot x^4$$

$$1/\rho_1 = M_{\max} / E \cdot I_1 = M_{\max} / E \cdot 21.33 \cdot x^4$$

$$\varepsilon_1 = y_1 / \rho_1 = 2x / (E \cdot 21.33 \cdot x^4 / M_{\max})$$

$$\sigma_1 = E \cdot \varepsilon_1 = E \cdot [2x / (E \cdot 21.33 \cdot x^4 / M_{\max})] = 0.093 \cdot (M_{\max}/x^3)$$

2. kesit için;

$$I_2 = [1/12 \cdot b \cdot h^3 + A \cdot d^2] \cdot 2 + 1/12 \cdot b \cdot h^3$$

$$I_2 = [1/12 \cdot 4x \cdot x^3 + 4x \cdot x \cdot (9x/2)^2] \cdot 2 + 1/12 \cdot x \cdot (8x)^3 = 205.3 \cdot x^4$$

$$1/\rho_2 = M_{\max} / E \cdot I_2 = M_{\max} / (E \cdot 205.3 \cdot x^4)$$

$$\varepsilon_2 = y_2 / \rho_2 = 5x / (E \cdot 205.3 \cdot x^4 / M_{\max})$$

$$\sigma_2 = E \cdot \varepsilon_2 = E \cdot [5x / (E \cdot 205.3 \cdot x^4 / M_{\max})] = 0.024 \cdot (M_{\max}/x^3)$$

Çözümlerden görüldüğü gibi belirli bir malzemedan yapılan ve ağırlıkları ve uygulanan P yükünün eşit olduğu ve bu uygulanan yükün meydana getirdiği maksimum moment değerlerinin eşit olduğu iki farklı şekillerdeki kesitte, farklı gerilmeler(σ)meydana gelmektedir. Birinci ve ikinci kesitler için hesaplanan gerilmeler, bu kesitlerde oluşan maksimum normal gerilmelerdir. Birinci kesitte oluşan maksimum normal gerilme(σ_1), ikinci kesitte oluşan maksimum normal gerilmeden (σ_2) daha yüksektir. Yani I kirişi şeklindeki kesitler, aynı ağırlıktaki dolu bir kesite kıyasla daha küçük gerilmelere maruz kalacaklardır.

2.1.4 Bir İçi Dolu Kiriş ile I Kirişinde Meydana Gelen Kayma Gerilmesi

Şekil 2.7’de kesitlere etkiyen bir kesme kuvveti etkisi altında bu kesitlerde meydana gelecek olan kayma gerilmelerini inceleyelim.

Öncelikle bazı mukavemet formüllerini açıklayalım.

$$\tau = V \cdot Q / I \cdot t$$

τ = Kesitte oluşan kayma gerilmesi

V = Kesite etkiyen kesme kuvveti

$$Q = y \cdot A$$

y = nötral eksenin incelenecek olan kesit alanının merkezine olan mesafe

A = kayma gerilmesi istenen parçanın üstünde kalan kesitin alanı

I = Kesit atalet momenti

t = Kayma gerilmesi istenen kesitin kalınlığı

1. kesit için;

$$\tau_1 = V \cdot Q_1 / I_1 \cdot t_1$$

$$Q_1 = y_1 \cdot A_1 = x \cdot (2x \cdot 4x) = 8 \cdot x^3$$

$$I_1 = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot x \cdot (4x)^3 = 21.33 \cdot x^4$$

$$\tau_1 = (V \cdot 8 \cdot x^3) / (21.33 \cdot x^4 \cdot 4x) = 0.093 \cdot (V/x^2)$$

2. kesit için;

$$\tau_2 = V \cdot Q_2 / I_2 \cdot t_2$$

$$Q_2 = y_2 \cdot A_2 = (9x/2) \cdot (x \cdot 4x) = 18 \cdot x^3$$

$$I_2 = [1/12 \cdot 4x \cdot x^3 + 4x \cdot x \cdot (9x/2)^2] \cdot 2 + 1/12 \cdot x \cdot (8x)^3 = 205.3 \cdot x^4$$

$$\tau_2 = (V \cdot 18 \cdot x^3) / (205.3 \cdot x^4 \cdot x) = 0.087 \cdot (V/x^2)$$

İkinci kesit için kritik olan kısım, kesitin aniden azaldığı yerdir. Birinci kesitte ise maksimum kayma gerilmesinin olduğu yer olan nötral eksenini inceledik. Görüldüğü

gibi aynı kesme kuvvetinin etkisinde ikinci kesitte oluşan kayma gerilmesi(τ_2), birinci kesitte oluşan kayma gerilmesinden (τ_1) biraz düşüktür. İki kesitin nötral eksenlerindeki kayma gerilmeleri hemen hemen birbirine eşit olacaktır.

Aynı malzemeden yapılmış, aynı ağırlığa sahip, aynı yüklere maruz kalan iki parçanın kesitleri farklı olduğunda bir parçanın kesitinde oluşan gerilmelerin diğer parçanın kesitinde meydana gelen gerilmelerden daha farklı olduğu, verilmiş olan örneğin çözümlerinden görülebilmektedir.

I kirişi kesitine sahip parçanın maruz kaldığı normal gerilmeler (σ) dikkate alındığında diğer kesite sahip parçadan daha avantajlı olduğu ancak iki parçanın kesitlerinin maruz kaldığı kayma gerilmeleri (τ) dikkate alındığında ise I kirişi kesitine sahip parçanın herhangi bir avantaja sahip olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni I kirişinde, kesit düzlemi boyunca flanşlardan bağlantı levhasına geçişte kesitin aniden küçülmesidir. Yani flaşları birbirine bağlayan bağlantı levhası, flanşlara kesintisiz bir destek sağlayamamaktadır. I kirişi dizaynlarının, bu durumda yetersiz kaldığı sonucuna varılabilir. İşte bu noktada sandviç yapıların, I kirişlerinin tasarımları temel alınarak, I kirişlerinden daha üstün özelliklerdeki tasarımlar olduğu ortaya çıkacaktır. Çünkü sandviç yapılarda I kirişindeki bağlantı levhasına karşılık gelen çekirdek, sandviç yapıdaki yüzeylere kesintisiz bir destek sağlayacaktır. Bu kesintisiz destek daha rijit bir yapı meydana getirecektir.

Sandviç sistemler için eğilme rijitliği her bir malzemenin elastisite modülüne(E) ve kesit atalet momentine(I) bağlıdır. Simetrik bir sandviç yapı için yani her iki yüzeyi de aynı kalınlıkta olan sandviç yapı için eğilme rijitliği(D);

$$\begin{aligned} D &= E \cdot I = [2 \cdot (E_{Yüzey} \cdot I_{Yüzey})] + (E_{Çekirdek} \cdot I_{Çekirdek}) \\ &= [2 \cdot E_{Yüzey} \cdot (1/12 \cdot b \cdot h^3 + b \cdot h \cdot (d/2)^2)] + (E_{Çekirdek} \cdot 1/12 \cdot b \cdot c^3) \\ &= E_{Yüzey} \cdot b \cdot h^3 / 6 + E_{Yüzey} \cdot b \cdot h \cdot d^2 / 2 + E_{Çekirdek} \cdot 1/12 \cdot b \cdot c^3 \end{aligned}$$

$E_{Yüzey}$ = Yüzey elastisite modülü

$E_{Çekirdek}$ = Çekirdek elastisite modülü

b= sandviç yapının genişliği

h= yüzeylerin kalınlığı

d= iki yüzeyin merkezleri arası mesafe

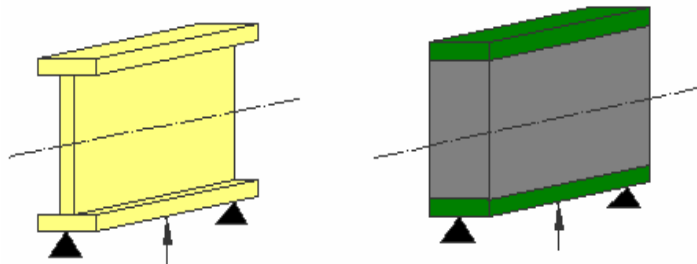
c= çekirdeğin kalınlığı

Sandviç sistemler, maruz kaldıkları yükler sonucunda belirli bir eğrilik yarıçapıyla eğilirler.

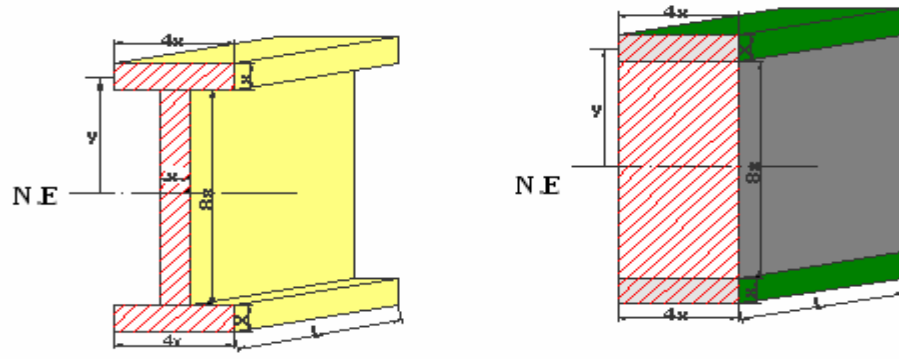
$$1/\rho = M / E \cdot I$$

Formülünden de görüldüğü gibi M değeri sabit kalmak koşulu ile E·I değerini arttırdınca, ρ değeri de artacaktır. Böylece eğrilik yarıçapı büyüyecek ve sandviç yapı daha az bükülecek ve sonuç olarak sistem daha rijit bir hale gelecektir. Peki E·I değerini arttırmak için ne yapılabilir? Ya elastisite modülü daha yüksek malzemeler kullanılabilir ya da kesit atalet momentini büyütmemiz gerekir. Elastisite modülü daha yüksek bir malzeme seçmek daha pahalı bir yöntem olduğu için kesit atalet momentini arttırmak daha mantıklı olacaktır. Şimdi bu durumu bir örnekle açıklayalım.

2.1.5 Bir I Kirişi ile Sandviç Bir Sistemde Meydan Gelen Normal ve Kayma Gerilmeleri



Şekil 2.8 I kirişi ve sandviç sistem



Şekil 2.9 I kirişi ve sandviç sistemin kesit geometrisi

Sandviç bir yapıyla I kirişini karşılaştırmadan önce bir yük etkisi altında sandviç yapıyı meydana getiren elemanlarda hangi gerilmelerin oluştuğunu ve bu gerilmelerin dağılımlarının nasıl olduğunu inceleyelim.

I kirişinde flanşlar ve bağlantı levhası aynı malzemeden yapılmıştır. Sandviç yapıda ise yüzeyler I kirişinde kullanılan malzemeyle aynı malzeme olup, çekirdek malzemesi ise elastisite modülü yüzey malzemesinin yarısı ve yoğunluğu da dörtte biri olan bir malzemedir.

2. kesit için;

$$I_2 = [1/12 \cdot b \cdot h^3 + A \cdot d^2] \cdot 2 + 1/12 \cdot b \cdot h^3$$

$$I_2 = [1/12 \cdot 4x \cdot x^3 + 4x \cdot x \cdot (9x/2)^2] \cdot 2 + 1/12 \cdot x \cdot (8x)^3 = 205.3 \cdot x^4$$

$$1/\rho_2 = M_{\max} / E \cdot I_2 = M_{\max} / (E \cdot 205.3 \cdot x^4)$$

$$\epsilon_2 = y_2 / \rho_2 = 4x / (E \cdot 205.3 \cdot x^4 / M_{\max})$$

$$\sigma_2 = E \cdot \epsilon_2 = E \cdot [4x / (E \cdot 205.3 \cdot x^4 / M_{\max})] = 0.019 \cdot (M_{\max} / x^3)$$

3. kesit için;

$$E \cdot I_3 = [2 \cdot E_{\text{Yüzey}} \cdot [(1/12) \cdot (b) \cdot (h)^3 + (b) \cdot (h) \cdot (d/2)^2]] + [E_{\text{Çekirdek}} \cdot (1/12) \cdot (b) \cdot (c)^3]$$

$$= [2 \cdot E \cdot [(1/12) \cdot (4x) \cdot (x)^3 + (4x) \cdot (x) \cdot (9x/2)^2]] + [(E/2) \cdot (1/12) \cdot (4x) \cdot (8x)^3]$$

$$= 248x^4$$

$$1/\rho_3 = M_{\max} / (E \cdot I_3) = M_{\max} / (E \cdot 248 \cdot x^4)$$

$$\varepsilon_3 = y_3 / \rho_3 = 4x / (E \cdot 248 \cdot x^4 / M_{\max})$$

$$\sigma_3 = E_{Y_{\text{üzey}}} \cdot \varepsilon_3 = E \cdot [4x / (E \cdot 248 \cdot x^4 / M_{\max})] = 0.016 \cdot (M_{\max} / x^3)$$

2. kesit için;

$$\tau_2 = (V \cdot Q_2) / (I_2 \cdot t_2)$$

$$Q_2 = y_2 \cdot A_2 = (9x/2) \cdot (x \cdot 4x) = 18 \cdot x^3$$

$$I_2 = [(1/12) \cdot (4x) \cdot (x)^3 + 4x \cdot x \cdot (9x/2)^2] \cdot 2 + [(1/12) \cdot (x) \cdot (8x)^3] = 205.3 \cdot x^4$$

$$\tau_2 = (V \cdot 18 \cdot x^3) / (205.3 \cdot x^4 \cdot x) = 0.087 \cdot (V / x^2)$$

3. kesit için;

$$\tau_3 = V \cdot Q_3 / I_3 \cdot t_3$$

$$Q_3 = y_3 \cdot A_3 = (9x/2) \cdot (x \cdot 4x) = 18 \cdot x^3$$

$$I_3 = [1/12 \cdot 4x \cdot x^3 + 4x \cdot x \cdot (9x/2)^2] \cdot 2 + (1/12) \cdot 4x \cdot (8x)^3 = 252 \cdot x^4$$

$$\tau_3 = (V \cdot 18 \cdot x^3) / (252 \cdot x^4 \cdot 4x) = 0.0178 \cdot (V / x^2)$$

I kirişi ile sandviç yapının yükseklik, boy, genişlik ve ağırlıkları eşit olup parçalara uygulanan kuvvetin büyüklüğü, kesitlerde oluşan maksimum moment değeri ve maksimum kesme kuvvetleri eşit değerdedir.

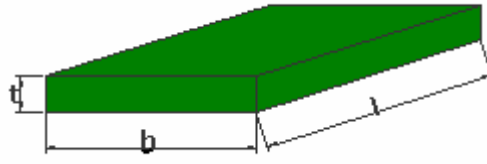
Karşılaştırılan iki parçanın ağırlıklarının aynı olmasına rağmen, sandviç bir yapıda I kirişi dizaynından farklı olarak yüzeylere yapılan sürekli bir destek sayesinde sandviç yapının kritik bölgesi olan yüzey-çekirdek sınırında maksimum momentin oluşturduğu gerilme (σ_3), I kirişinde kritik bölgesinde oluşan gerilmeden (σ_2) daha düşük ve her iki kesitin kritik bölgeleri incelendiğinde ise sandviç yapının bu bölgesinde oluşan kayma gerilmesi (τ_3), I kirişinin kritik bölgesinde oluşan kayma gerilmesinin (τ_2) yaklaşık beşte biri kadar daha düşük çıkmaktadır.

Tekne yapımında, teknenin bazı kısımları reçine-elyaf karışımı olan tek bir yüzeyden yapılır. Oysa tek yüzey yerine iki yüzey arasına bir çekirdek konarak sandviç yapı oluşturmak çok daha avantajlıdır. Bu avantajların daha iyi anlaşılması

için bunu bir örnekle açıklayalım. Örneklerde $E_{Yüzey}=6E$, $E_{Çekirdek}=E$ olarak kabul edilmiştir.

2.1.6 Tek Yüzey-t Bir Yapı ile Sandviç-2t ve Sandviç-4t Yapıların Ağırlık, Eğilme Rijitliği, Normal ve Kayma Gerilmeleri Yönünden Birbirleri ile Karşılaştırılmaları

Tek Yüzey-t:



Şekil 2.10 Tek yüzey-t yapının geometrik değerleri

$$E_4 \cdot I_4 = 6E \cdot (1/12) \cdot b \cdot (t)^3 = (6/12) \cdot b \cdot t^3 \cdot E$$

$$1/\rho_4 = M_{\max} / (E_4 \cdot I_4) = M_{\max} / [(6/12) \cdot b \cdot t^3 \cdot E]$$

$$\epsilon_4 = y_4 / \rho_4 = [(t/2) \cdot M] / [(6/12) \cdot b \cdot t^3 \cdot E]$$

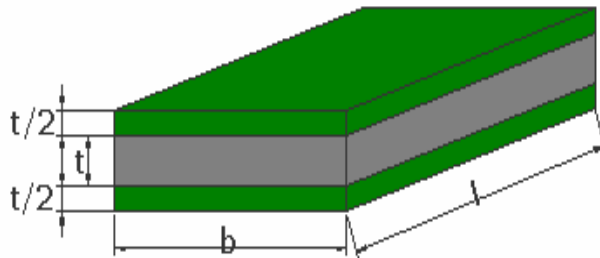
$$\sigma_4 = E_4 \cdot \epsilon_4 = 6E \cdot [(t/2) \cdot M] / [(6/12) \cdot b \cdot t^3 \cdot E]$$

$$\sigma_4 = (6 \cdot M) / (b \cdot t^2)$$

$$\tau_4 = V \cdot Q_4 / I_4 \cdot t_4 = [V \cdot (t/4) \cdot (t/2) \cdot b] / [(1/12) \cdot b \cdot t^3 \cdot b] = (1.5 \cdot V) / (b \cdot t)$$

$$W_4 = m_4 \cdot g = V_4 \cdot d_4 \cdot g = t \cdot b \cdot l \cdot 10 \cdot d \cdot g = 10 \cdot t \cdot b \cdot l \cdot d \cdot g$$

Sandviç-2t:



Şekil 2.11 Sandviç -2t yapının geometrik değerleri

$$E_5 \cdot I_5 = [[(1/12) \cdot b \cdot (t/2)^3] + [b \cdot (t/2) \cdot (3t/4)^2]] \cdot (2 \cdot 6E) + [(1/12) \cdot b \cdot t^3 \cdot E] = (43/12) \cdot b \cdot t^3 \cdot E$$

$$1/\rho_5 = M_{\max} / (E_5 \cdot I_5) = M_{\max} / [(43/12) \cdot b \cdot t^3 \cdot E]$$

$$\varepsilon_5 = y_5 / \rho_5 = [(t/2) \cdot M] / [(43/12) \cdot b \cdot t^3 \cdot E]$$

$$\sigma_5 = E_5 \cdot \varepsilon_5 = 6E \cdot [(t/2) \cdot M] / [(43/12) \cdot b \cdot (t)^3 \cdot E]$$

$$\sigma_5 = 0.837 \cdot M / (b \cdot t^2)$$

$$I_5 = [(1/12) \cdot b \cdot (t/2)^3 + b \cdot (t/2) \cdot (3t/4)^2] \cdot 2 + [(1/12) \cdot b \cdot t^3] = (64/96) \cdot b \cdot t^3$$

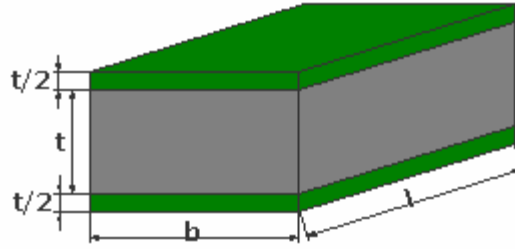
$$\tau_5 = V \cdot Q_5 / I_5 \cdot t_5 = [V \cdot (3t/4) \cdot (t/2) \cdot b] / [(64/96) \cdot b \cdot t^3 \cdot b] = (0.56 \cdot V) / (b \cdot t)$$

Yüzeylerin yoğunluğu, çekirdeğin yoğunluğundan on kat daha büyüktür.

$$d_{\text{Yüzey}} = 10 \cdot d, d_{\text{Çekirdek}} = d$$

$$W_5 = m_5 \cdot g = 2[(t/2) \cdot b \cdot l \cdot 10 \cdot d]g + [t \cdot b \cdot l \cdot d] \cdot g = 11 \cdot t \cdot b \cdot l \cdot d \cdot g$$

Sandviç-4t:



Şekil 2.12 Sandviç-4t yapının geometrik değerleri

$$E_6 \cdot I_6 = [[(1/12) \cdot b \cdot (t/2)^3] + [b \cdot (t/2) \cdot (7t/4)^2] \cdot (2 \cdot 6E)] + [(1/12) \cdot b \cdot (3t)^3 \cdot E] = (249/12) \cdot b \cdot t^3 \cdot E$$

$$1/\rho_6 = M_{\max} / (E_6 \cdot I_6) = M_{\max} / [(249/12) \cdot b \cdot t^3 \cdot E]$$

$$\varepsilon_6 = y_6 / \rho_6 = [(3t/2) \cdot M] / [(249/12) \cdot b \cdot t^3 \cdot E]$$

$$\sigma_6 = E_6 \cdot \varepsilon_6 = 6E \cdot [(3t/2) \cdot M] / [(249/12) \cdot b \cdot (t)^3 \cdot E]$$

$$\sigma_6 = (0.433 \cdot M) / (b \cdot t^2)$$

$$I_6 = [(1/12) \cdot b \cdot (t/2)^3 + b \cdot (t/2) \cdot (7t/4)^2] \cdot 2 + [(1/12) \cdot b \cdot (3t)^3] = (512/96) \cdot b \cdot t^3$$

$$\tau_6 = V \cdot Q_6 / I_6 \cdot t_6 = [V \cdot (7t/4) \cdot (t/2) \cdot b] / [(512/96) \cdot b \cdot t^3 \cdot b] = (0.164 \cdot V) / (b \cdot t)$$

Yüzeylerin yoğunluğu, çekirdeğin yoğunluğundan on kat daha büyüktür.

$$d_{\text{Yüzey}} = 10 \cdot d, d_{\text{Çekirdek}} = d$$

$$W_6 = m_6 \cdot g = 2[(t/2) \cdot b \cdot l \cdot 10d]g + [3t \cdot b \cdot l \cdot d] \cdot g = 13 \cdot t \cdot b \cdot l \cdot d \cdot g$$

	<u>Tek Yüzey-t</u>	<u>Sandviç-2t</u>	<u>Sandviç-4t</u>
Ağırlık(W):	$10 \cdot t \cdot b \cdot l \cdot d \cdot g$	$11 \cdot t \cdot b \cdot l \cdot d \cdot g$	$13 \cdot t \cdot b \cdot l \cdot d \cdot g$
Eğilme rijitliği:	$(6/12) \cdot b \cdot t^3 \cdot E$	$(43/12) \cdot b \cdot t^3 \cdot E$	$(249/12) \cdot b \cdot t^3 \cdot E$
Mukavemet(σ):	$(6 \cdot M)/(b \cdot t^2)$	$(0.837 \cdot M)/(b \cdot t^2)$	$(0.433 \cdot M)/(b \cdot t^2)$
Mukavemet(τ):	$(1.5 \cdot V)/(b \cdot t)$	$(0.56 \cdot V)/(b \cdot t)$	$(0.164 \cdot V)/(b \cdot t)$

Tablo 2.1 Tek yüzey-t, sandviç-2t ve sandviç-4t yapıların karşılaştırılmalı mekanik özellikleri

	<u>Tek Yüzey-t</u>	<u>Sandviç-2t</u>	<u>Sandviç-4t</u>
Ağırlık(W):	$10 \cdot t \cdot b \cdot l \cdot d \cdot g$	$1.1 \cdot (10 \cdot t \cdot b \cdot l \cdot d \cdot g)$	$1.3 \cdot (10 \cdot t \cdot b \cdot l \cdot d \cdot g)$
Eğilme rijitliği(E.I):	$(6/12) \cdot b \cdot t^3 \cdot E$	$7.16 \cdot [(6/12) \cdot b \cdot t^3 \cdot E]$	$41.5 \cdot [(6/12) \cdot b \cdot t^3 \cdot E]$
Kritik Nor.Ger.(σ):	$(6 \cdot M)/(b \cdot t^2)$	$(1/7.16) \cdot [(6 \cdot M)/(b \cdot t^2)]$	$(1/13.85) \cdot [(6 \cdot M)/(b \cdot t^2)]$
Kritik KaymaG.(τ):	$(1.5 \cdot V)/(b \cdot t)$	$(1/2.67) \cdot [(1.5 \cdot V)/(b \cdot t)]$	$(1/9.1) \cdot [(1.5 \cdot V)/(b \cdot t)]$

Örneklerin çözümlerinden ve Tablo 2.1'den görüldüğü gibi tek yüzey-t, sandviç-4t birbirleriyle karşılaştırıldıklarında ağırlıkta 1.3 katlık bir artış yapının eğilme rijitliğinde 41.5 katlık bir artışı meydana getirmektedir. Kesitlere etkiyen maksimum normal gerilme değeri 13.85 kat azalmış, maksimum kayma gerilmesi değeri de 9.1 kat azalmıştır. Yani ağırlığın artış yüzdesinden, rijitlik ve dayanımda, daha büyük yüzdelerde artışlar olmuştur. Yapılacak olan tasarımda mekanik değerler tek yüzey-t'deki değerlerse aynı mekanik özelliklere sandviç-4t'den çok daha ince bir sandviç yapı tasarlayarak ulaşılabilir. Böylece istenen mekanik değerlerde bir yapı elde edildiği gibi sandviç yapının ağırlığı, tek yüzey yapının ağırlığından çok daha düşük yapılabilir. Ancak burada, çok önemli bir durum karşımıza çıkmaktadır.

Sistemin eğilme rijitliği gibi mekanik özelliklerinin yeterli olmasını istediğimiz ve tasarımda hafifliğin önemli olduğu durumlarda, örneklerin çözümlerinden de

görüldüğü sistemin kalınlığını arttırmak gereklidir. Ancak sistemin ağırlığını, büyük ölçüde yüzeylerin ağırlığı oluşturmaktadır. Çekirdeğin ağırlığının sistemin ağırlığı üzerinde az bir etkisi vardır. Yani tasarımda, sandviç sistemin kalınlığını arttırırken, yapının ağırlığını arttırmamak için çekirdeğin kalınlığını arttırıp yüzeylerinin kalınlıklarını da azaltmalıyız. Yüzeylerin kalınlıklarının belirli bir kalınlık değerinden sonra çok küçük değerlere sahip olması, sandviç sistemin mukavemetini önemli derecede yükselten yüzeylerin, bu mukavemet arttırıcı özelliğinin kaybolması anlamına gelmektedir. Bu sebeple aynı mekanik değerlere sahip yüzey için, aynı ağırlığa sahip yüksek yoğunluklu ince yüzey yerine, daha düşük yoğunluklu ancak daha kalın yüzeylerin kullanılması, sandviç yapının ağırlığını değiştirmeden, sistemin artan kalınlıkla birlikte eğilme rijitliği gibi mekanik özelliklerinin arttırılması yönünden daha mantıklıdır.

Tekne yapımında kullanılan tek yüzey yapılar gibi yapılar yerine aynı mekanik değerlere sahip sandviç sistemlerin kullanılmasının teknenin daha hafif olmasını sağlamasından dolayı, artık günümüzde tekne yapımında sandviç sistemler daha fazla tercih edilmeye başlamıştır. Çünkü sandviç yapıdan imal edilen yapının daha hafif olması, teknenin daha hızlı yol almasını, teknede daha fazla yolcu yada yük taşınmasını, teknenin daha az yakıt harcamasını sağlamaktadır. Sandviç sistemlerin diğer yapılardan daha kalın olmaları ve de sistemde çekirdeğin kullanılması, teknenin darbeleri daha iyi yutmasını sağlamaktadır. Ayrıca kalınlık, teknenin ısıya yada soğuğa ve de sese karşı daha izole olmasını sağlamaktadır.

BÖLÜM ÜÇ

T BAĞLANTILARININ TASARIMI

3.1 T Bağlantılarında Tasarım ve Tasarım Değişkenleri

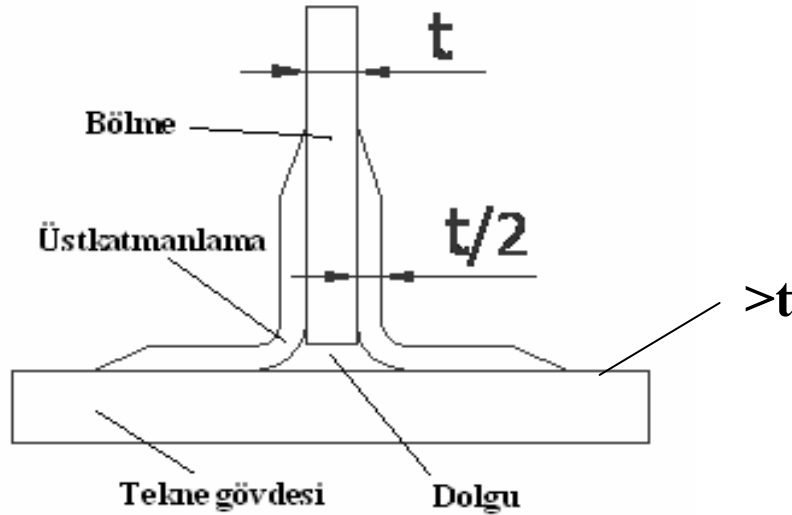
“Kompozit bir gemi konstrüksiyonunda çeşitli yükler altında, geminin rijitliğinin sürdürülebilirliği açısından, geminin tekne ve bölmeleri birincil yapılardır. Bu yükler; örneğin geminin iskeleye yanaşması ve geminin manevrası gibi çeşitli gemi hareketleri sırasında gemiye etkiyen yükler ile dalga darbesi, yapısal ve kargo ağırlıkları gibi çeşitli yüklere bağlıdır”(Dharmawan ve diğer., 2004). Bu yüklerin şiddetinin artması, yapıdaki gerilmelerinde artmasına neden olmaktadır. Deniz suyu sıcaklığı yada deniz taşıtını hareket ettiren motorda meydana gelen ısı ve titreşim hareketleri de yapıya etkiyen gerilmelerin şiddetini ve dağılımını etkileyen etmenlerdir.

Tekne ve bölmelerin esas güvenilirlikleri, bu elemanları birbirlerine birleştiren T-bağlantısına bağlıdır. T bağlantılarının güvenilirliklerini sağlamak için çeşitli yük durumları altında T bağlantılarının davranışlarının bilinmesi gerekir. T bağlantılarının mekanik davranışlarını belirlemenin en basit yollarından birisi sonlu elemanlar metodu ile çeşitli bilgisayar analiz programlarından faydalanmaktır. Ancak bilgisayar programları ile yapılan analizler, bazı zamanlarda gerçek değerlerle farklılık gösterebilmektedir. Bunun nedeni modellemenin gerçeğe uygun olarak değil programın belirlediği kurallara göre yapılmasının zorunlu olmasıdır. Bu sebeple araştırmaların gerçeğe uygun bir şekilde deneysel olarak da yapılması gerekmektedir.

T-bağlantılarının güvenilirlikleri, bir çok araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Hawkins ve Sheno (1993), en kötü durum senaryosu olan gemi gövdesinin delinip bir gemi kompartımanına su girmesi halinde 45^0 açılı bir yük altında, T bağlantılarında dolgu radyüsü ve üstkatmanlama kalınlığını içeren geometrik etkileri araştırmışlardır(Philips ve Sheno, 1998). Read ve Sheno (1999), T bağlantılarının yorulma yükü altındaki davranış ve hasar mekanizmalarını incelemişlerdir.

Bütün bu çalışmalar sonucunda T bağlantılarına etkiyen yüklerden dolayı meydana gelebilecek olan hasarların yapının hangi bölgelerinde kritik olduğu ortaya çıkarılmış ve bu kritik bölgelerde incelemeler yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda delaminasyona bağlı olarak oluşabilecek hasarlar gözönüne alındığında bu bölgeler, gemi bölmesi ile üstkatmanlama ve gemi tekne gövdesi ile üstkatmanlama arasındaki bölgelerdir. Bu sebeple T bağlantılarının tasarımları yapılırken bu inceleme sonuçları birinci derecede gözönünde bulundurulmaktadır.

Üstkatmanlamayı oluşturan malzeme, bağlantıyı oluşturan diğer elemanı oluşturan malzemenin aynısı seçilir. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi üstkatmanlamanın kalınlığı, yapıyı oluşturan elemanlardan en ince olan elemanın kalınlığının yarısı olarak kabul edilir. Kalınlığı ince olan bu yapı genellikle tekne bölmeleridir. Tasarımlarda dikkate alınan bu orantılar, tek yüzey kompozit T bağlantıları için uygulanmaktadır. Bölüm 2’de anlatıldığı üzere tek yüzey kompozit yapılar ile sandviç yapı kompozit T bağlantıları aynı yükler altında farklı mekanik davranışlar göstermektedirler. Dolayısıyla verilen bu orantı değerleri sandviç yapılardan meydana gelen T bağlantılarında farklılık gösterebilmektedir.



Şekil 3.1 Dönümlü T bağlantısında tasarım oranları (Shenoi ve Wellicome, 1993)

T-bağlantılarının tasarımlarında, bağlantının mukavemetinin yanında esnekliğide çok önemlidir. Bu sebeple bağlantı mukavemetinin iyi olması açısından üstkatmanlamanın gerektiği kadar kalın, bağlantının esnekliğinin önemli olması açısındanda üstkatmanlama kalınlığının yeteri kadar düşük olması gerekmektedir.

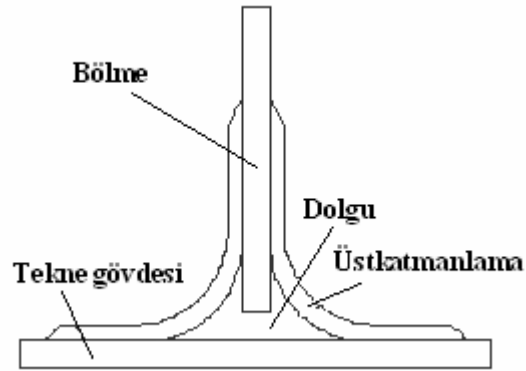
T-bağlantılarının tasarımlarında daha önce bahsedildiği gibi hasarların bağlantının hangi noktalarında oluştuğunun belirlenebilmesi; tasarım değişkenlerinin belirlenmesini ve bu tasarım değişkenliklerinin incelenerek başarılı bir yapının elde edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Tasarım değişkenlerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- a) Üstkatmanlama geometrisi
- b) Üstkatmanlama kalınlığı
- c) Üstkatmanlamanın katmanlama uzunluğu
- d) Üstkatmanlama malzemesi (reçine,elyaf)
- e) Dolgu malzemesi
- f) Tekne gövdesi ve perde elemanı malzemeleri
- g) Tekne gövdesi kalınlığı
- h) Dolgu malzemesi-üstkatmanlama yapışma performansı (Shenoi ve Wellicome, 1993).

Üstte belirtilen tasarım değişkenlerinden üstkatmanlama geometrisi, üstkatmanlama kalınlığı, tekne gövdesi kalınlığı ve dolgu malzemesi-üstkatmanlama arasındaki yapışma performansı tasarımlarda dikkate alınan birincil nitelikteki değişkenlerdir.

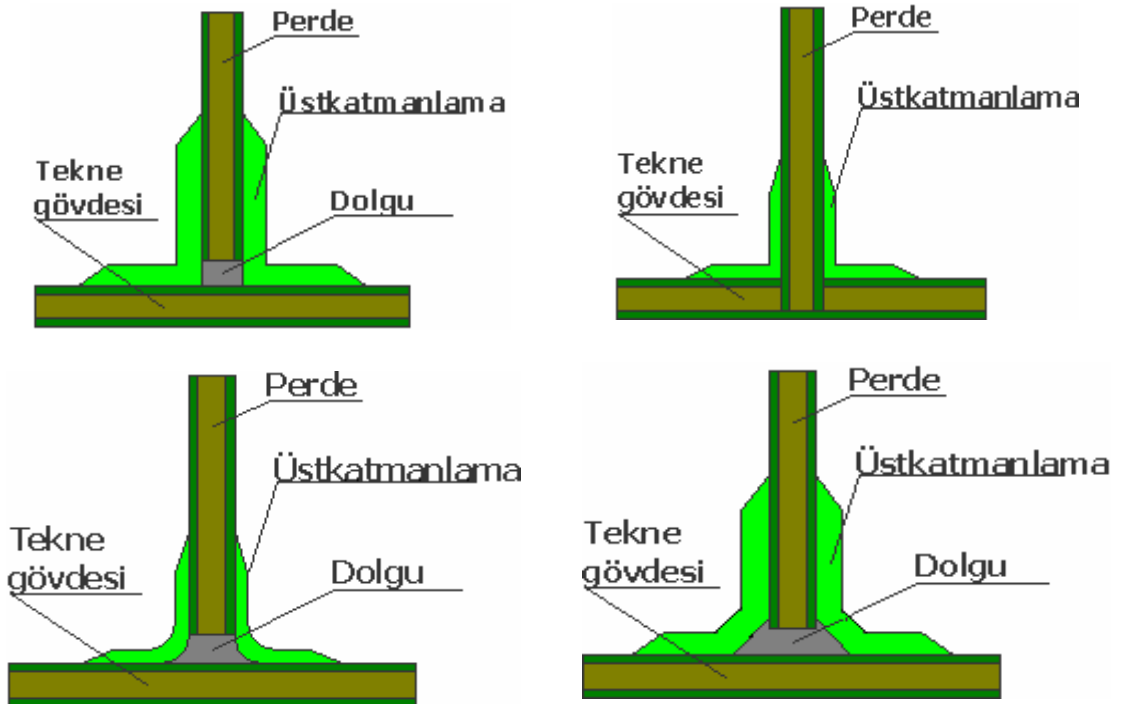
3.1.1 Üstkatmanlama Geometrisi

Tekne yapımında farklı tiplerde T-bağlantıları kullanılmaktadır. Bunlar düz, içiçe geçme, dönümlü ve üçgen şeklinde farklı üstkatmanlama geometrilerine sahip T bağlantılarıdır. Şekil 3.2’de tek yüzey kompozit yapıda dönümlü üstkatmanlama geometrisine sahip bir T bağlantısı görülmektedir.



Şekil 3.2 Tek yüzey yapıda dönümlü T bağlantısı (Ferry ve diğer., 2004).

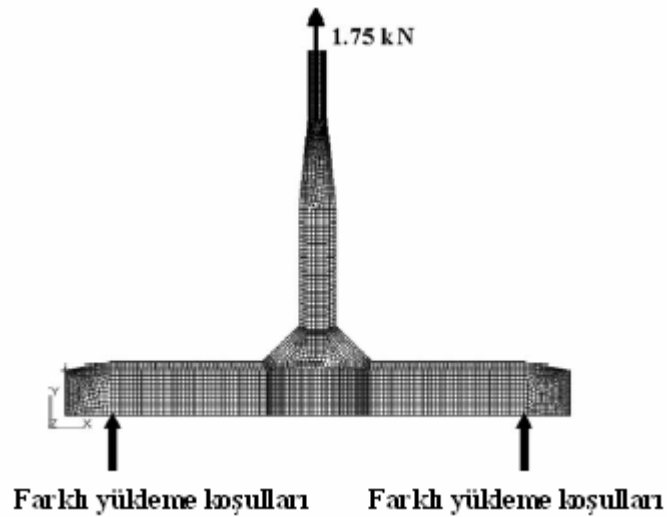
Şekil 3.3'te ise sandviç kompozit yapılardan meydana getirilen düz, iç içe geçme, dönümlü ve üçgen şeklinde farklı üstkatmanlama geometrilerine sahip T bağlantıları gösterilmektedir.



Şekil 3.3 (a) Düz, (b) iç içe geçmeli, (c) dönümlü, (d) üçgen tipinde üstkatmanlama geometrisine sahip sandviç yapıda T bağlantıları

T bağlantılarının üstkatmanlama geometrisine bağlı olarak farklı mekanik davranışlar göstermeleri birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bu çalışmaların çoğu tek yüzey kompozit T bağlantıları üzerine olmuştur. Yat üreticilerinin sandviç yapıları tanıyıp bu yapıların avantajlarını fark etmeleri ile sandviç yapılardan imal edilen tekne bölme ve tekne gövdesinin dolayısıyla T bağlantılarının çeşitli yükler altındaki mekanik davranışları da incelenmeye başlamıştır. Ancak bu çalışmalarda sadece bir çeşit üstkatmanlama geometrisine sahip T bağlantısı incelenmiştir. Daha fazla tipte T bağlantısı incelenip birbirleri ile karşılaştırılmaları yapılmamıştır. Bu çalışma kapsamında yaygın olarak kullanılan altı çeşit üstkatmanlama geometrisine sahip T bağlantılarının yük altındaki mekanik davranışları incelenecek ve birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları karşılaştırılacak ve direkt olarak yat üreticisinin kullanabileceği veriler elde edilecektir.

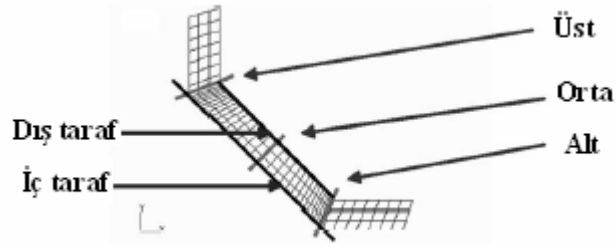
Çalışmanın daha iyi anlaşılabilmesi için üçgen üstkatmanlama geometrisine sahip bir T bağlantısında tekne bölmesinin çeki kuvveti ile çekilmesiyle bağlantıda meydana gelen gerinimlerin incelendiği bir çalışmanın irdelenmesi faydalı olacaktır (Dharmawan ve diğer., 2004).



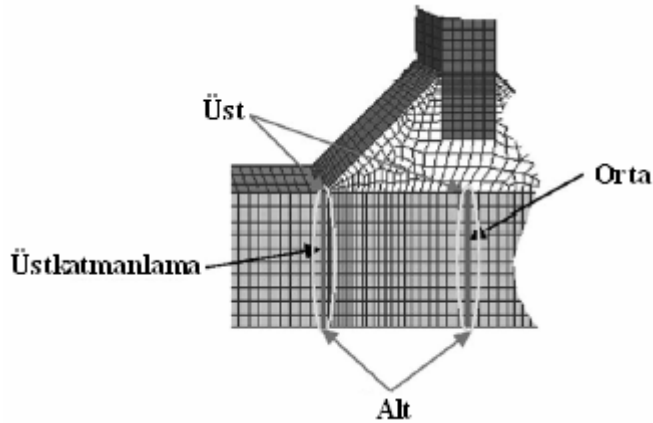
Şekil 3.4 Sonlu elemanlarla modellenen T bağlantısı, farklı yükleme koşulları (Dharmawan ve diğer., 2004, s.183).

Şekil 3.4’te gösterilen T bağlantısında tekne gövdesi, üstkatmanlama ve tekne bölmesi sırasıyla 50, 10 ve 20 mm. kalınlıklarında modellenmiştir. 5 mm

derinliğinde 2-D shell eleman kullanılmıştır. 1.75 kN'luk bir çekme yükü uygulanmıştır. Üstkatmanlama, tekne gövdesi ve tekne bölmesi için 2-D orthotropic malzeme, dolgu için ise isotropic malzeme özellikleri kullanılmıştır. Üstkatmanlama geometri açıları için 30^0 , 45^0 ve 60^0 açı değerleri kullanılmıştır.



Şekil 3.5 Üstkatmanlama kesitinde gerinim karşılaştırması (Dharmawan ve diğer., 2004, s.183).

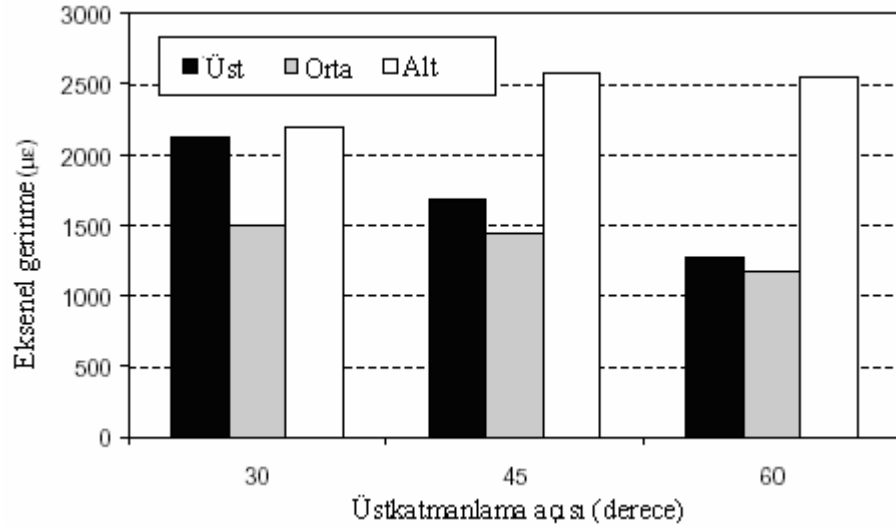


Şekil 3.6 Tekne gövdesi kesitinde gerinim karşılaştırması

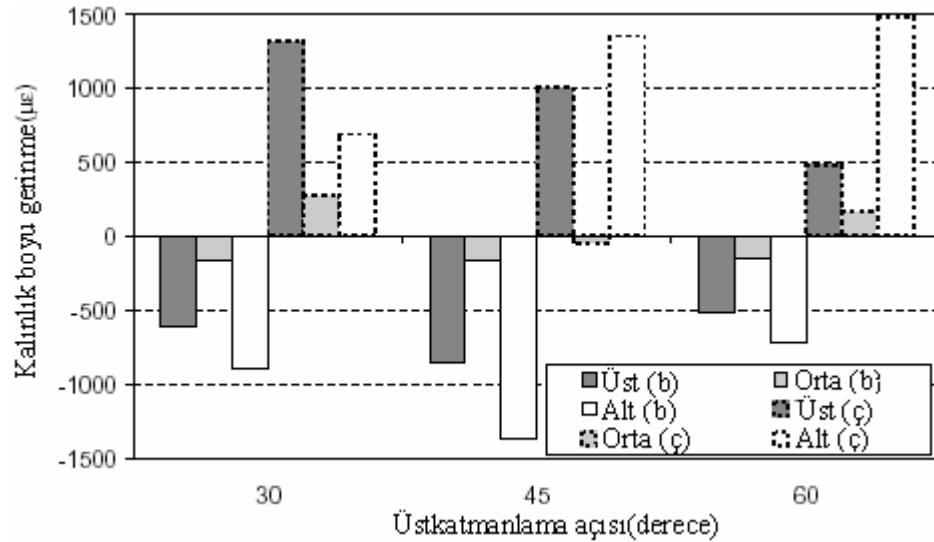
Üstkatmanlamada gerinme dağılımlarının karşılaştırılması için üç bölge seçilmiştir. Bunlar Şekil 3.5'te tanımlandığı gibi üst, orta ve alt kesitlerdir. Maksimum üstkatmanlama gerinimin beklendiği bölge olarak orta kesit belirlenirken hasar başlangıç bölgesinin beklendiği bölge olarak üst ve alt kesitler belirlenmiştir.

Şekil 3.6'da gösterildiği gibi tekne gövdesindeki eksenel ve kalınlık boyu gerinimi araştırmak için seçilen iki bölge üstkatmanlamayla birleşme ve orta kısmıdır.

Sonlu elemanlar metodu yardımıyla üstkatmanlama açısının etkisi her üç açı içinde incelenmiştir. Şekil 3.7’den görüldüğü gibi üstkatmanlama açısındaki artış alt kesitte maksimum gerinimde artışa, orta ve üst kesitlerin maksimum gerinim değerlerinde ise azalmaya neden olmuştur. Küçük bir açı değerinde dış yüzeydeki aksenal gerinim dağılımı daha dengeli bir dağılım gösterirken, 60°’lik açı değerinde dış yüzeyin alt köşesinde yüksek bir gerinim yığılması meydana gelmiştir (Dharmawan ve diğer., 2004, s.183).

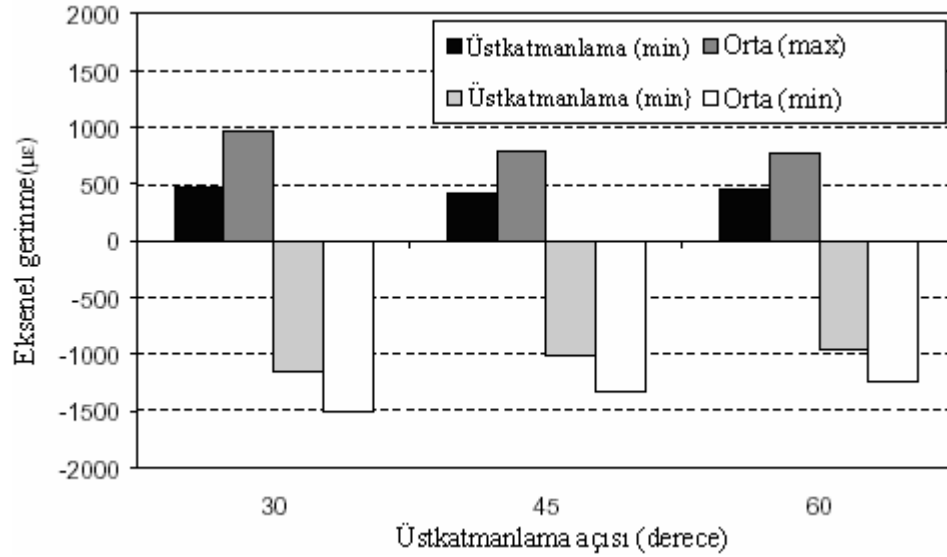


Şekil 3.7 Farklı üstkatmanlama açıları için üstkatmanlamada maksimum aksenal gerinim



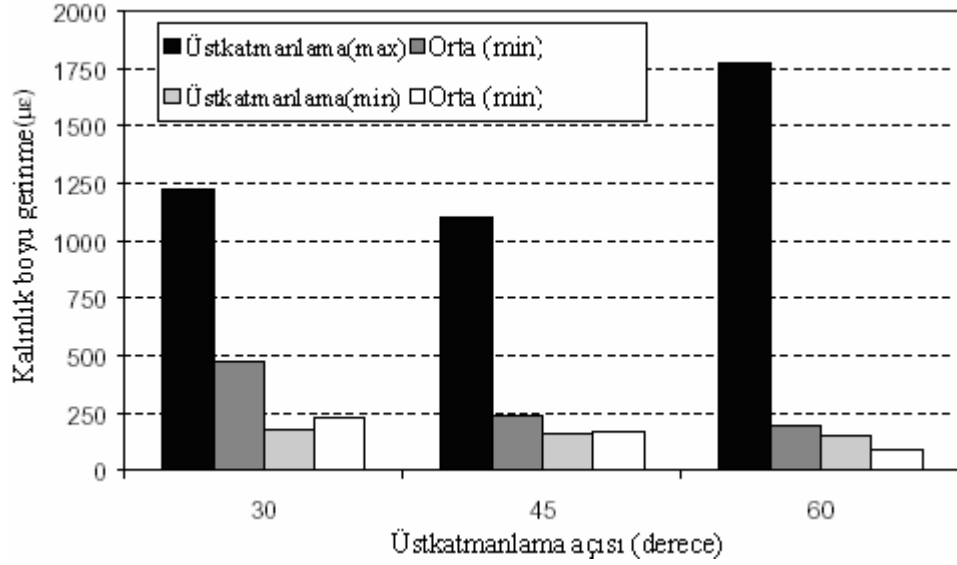
Şekil 3.8 Farklı üstkatmanlama açıları için üstkatmanlamada maksimum kalınlık boyu gerinim

Farklı üstkatmanlama açılarında her kesit için kalınlık yönündeki maksimum değerdeki çeki ve bası gerinimleri Şekil 3.8’de gösterilmektedir. Üstkatmanlamanın dış yüzeyi bası gerinmesi ve iç yüzeyide çeki gerinimlerine maruz kalmaktadır. Artan üstkatmanlama açısıyla üst kesitteki maksimum çeki geriniminde azalma, alt kesitin maksimum çeki gerinimii değerinde de bir artış meydana gelmiştir. Orta kesitte maksimum kalınlık boyu gerinim değerinde önemli bir değişim olmamıştır. Maksimum bası gerinim az bir şekilde farklı eğilimler sergilemiştir. Grafikten de görüldüğü gibi 45° üstkatmanlama açısı konfigürasyonu, hemen hemen en yüksek kalınlık boyu gerinimi göstermiştir.



Şekil 3.9 Farklı üstkatmanlama açıları için tekne gövdesinde maksimum eksenel gerinim

Şekil 3.9 farklı üstkatmanlama açılarında tekne gövdesindeki maksimum eksenel çeki ve bası gerinimlerini göstermektedir. Grafik açıkça göstermektedir ki maksimum bası eksenel gerinimi, üst yüzeyde çeki gerinimiyle karşılaştırılan alt yüzeyde daha büyük bir değere sahip olmuştur. Üstkatmanlama açısı arttırıldığında eksenel çeki ve bası gerinimleri azalmıştır, ancak değişim, özellikle 45°’den daha büyük açılarda küçüktür. Yine Şekil 3.9’dan gözlemlendiği gibi tekne gövdesinin orta kesitindeki eksenel gerinimin değeri, tekne gövdesinin üstkatmanlamaya bitişik olduğu eksenel gerinim değerinden daha büyük olmuştur.



Şekil 3.10 Farklı üstkatmanlama açıları için tekne gövdesinde maksimum kalınlık boyu gerinim

Şekil 3.10’da görüldüğü gibi bütün üstkatmanlama açıları için tekne gövdesinin üstkatmanlamaya bitişik olduğu yerdeki kalınlık boyu gerinim orta kesitteki kalınlık boyu gerinimlerinden daha büyük olmuştur. Ayrıca şunu da göstermektedir ki optimum açı, üstkatmanlama komşu bölgesinde kalınlık boyu gerinim bir minimum olan yaklaşık 45°’dir (Dharmawan ve diğer., 2004, s.184).

3.1.2 Üstkatmanlama Kalınlığı

T bağlantılarının tasarımlarında bağlantının mukavemetinin yanında esnekliğinde göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu sebeple bağlantının mukavemetini arttırmak düşüncesiyle üstkatmanlamanın kalınlığını arttırmak gibi bir yola başvurulabilir. Ancak sistemin kalınlığının attırılması sistemin esnekliğinin azalmasına sebep olur. Bu da sistemdeki kalınlık ve eksenel yöndeki gerilmelerin farklı davranışlar göstermesine neden olur.

Tablo 3.1 Üstkatmanlama kalınlık değişiminin gerilmeler üzerindeki etkisi

Tasarım Değişkeni	Üstkatmanlamadaki Eksenel Gerilme	Üstkatmanlamadaki Kalınlık Yönündeki Gerilme	Dolguda Maksimum Gerilme
Üstkatmanlamanın Kalınlığını Arttırma	Azalı	Artar	Azalı

Tablo 3.1’de üstkatmanlama kalınlık değişiminin üstkatmanlamada ve de dolgu malzemesinde meydana gelen gerilmeler üzerindeki etkisi görülmektedir. İnce bir üstkatmanlama sistemin daha esnek olmasını dolayısıyla da kalınlık yönündeki gerilmenin düşük kalmasını sağlar. Ancak bu durumda sistemin esnek olmasından ötürü üstkatmanlamada sistemdeki yük transferinin büyük bir kısmı eksenel yönde iletileceği için eksenel yönde kalınlık yönüne göre daha fazla gerilme oluşmasına neden olur. Bu durumu ortadan kaldırmak için üstkatmanlamanın kalınlığının arttırma yoluna gidilebilir. Ancak Tablo 3.1’de görüldüğü gibi üstkatmanlamanın kalınlığındaki artış, üstkatmanlamanın eksenel yöndeki gerilmelerinin azalmasını sağlasa da kalınlık yönündeki gerilmenin artmasına neden olur. Bu durum da istenmeyen bir durumdur. Çünkü üstkatmanlamada kalınlık yönündeki gerilme artışı delaminasyona yani üstkatmanlamanın, bağlı olduğu yapının diğer elemanlarından ayrılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle tasarım yapılırken sistemin yeterli mukavemete sahip olması için üstkatmanlamanın yeteri kadar kalın, sistemin esnekliğinin azalmaması içinde yeteri kadar ince olması gerekmektedir.

Ayrıca üstkatmanlamanın kalınlığının artırılması da dolgudaki maksimum gerilme değerinin düşmesine neden olmaktadır.

3.1.3 Üstkatmanlamada Katmanlama Uzunluğu

Üstkatmanlama katman uzunluğu T bağlantılarının tasarımlarında birincil nitelikte olmayan bir tasarım değişkenidir. Çünkü yük altında gerilmelerin büyük bir kısmı tekne bölmesinden tekne gövdesine geçişte tekne bölmesinin kalınlığı ve üstkatmanlamanın kalınlığının toplamı kadar bir bölgede maksimum değerlerine

ulaşmaktadır. Tekne gövdesi için kenarlara gittikçe gerilme değerleri kenarlara yakın kısımda minimum değerlerine ulaşmaktadır. Bu nedenle üstkatmanlama uzunluğunun tekne gövdesinin sonuna kadar uzatılması gereksiz yere maliyet artışlarına ve zamanın fazla harcanmasına neden olacaktır.

3.1.4 Üstkatmanlama malzemesi, dolgu malzemesi, tekne gövdesi ve perde elemanı malzemeleri

Üstkatmanlama malzemesi, tekne gövdesi ve perde elemanı malzemelerinin kimyasal ve mekanik özelliklerine Bölüm 1’de değinilmişti. T bağlantılarının dolayısıyla T bağlantılarının tasarımlarında malzeme seçiminde bir çok faktör dikkate alınmaktadır.

Sandviç bir yapının dizaynında belirli bir plan ve prosedür oluşturulması gerekir. Mukavemet, statik, mekanik ve malzeme bilimleri kombinasyonu ile oluşturulan sistematik bir yaklaşıma ihtiyaç duyulur. Yapının çalışma şartları göz önüne alınarak konstrüksiyondan beklenen verimin sağlanması hedef alınmalıdır. Tüm bunlar detaylı bir mühendislik araştırması ve yaklaşımı ile mümkün olacaktır. Her mühendislik uygulamasında olduğu gibi girdi ve çıktılar tanımlanmalı prosesler arasında geri beslemelerle optimum dizaynlar oluşturulmalıdır. İmkanlar dahilinde bilgisayar destekli mühendislik programlarıyla simülasyonlar yapılmalıdır.

3.1.4.1 Yapısal Etmenler

3.1.4.1.1 Dayanım. Giriş bölümünde bahsettiğimiz üzere kompozit bir malzemede her bir eleman kendi mekanik özelliklerini koruyabilmekteydi, bu kuralı göz önüne alarak sandviç yapının çalışacağı yük koşullarını düşünerek düzgün çekirdek ve yüzey malzemesi kombinasyonu oluşturmalıyız.

3.1.4.1.2 Rijitlik. Sandviç malzemeler çok düşük ağırlıklarda yüksek rijitlik sağlamak için kullanılırlar. Pek çok çekirdek malzemesi düşük kayma modülüne sahiptir, ancak deplasman hesaplamalarında bükülmeden kaynaklanan çökmeye ilaveten kaymadan kaynaklanan çökmeyi de inceleyebilmeliyiz.

3.1.4.1.3 Yapıştırma Bağlantısı Performansı. Bir yüzeyden diğer yüzeye düzgün yük iletimi için yüzeyler kor malzemeye rijit bir şekilde yapıştırılmalıdır. Uygun yapıştırıcılar yüksek kayma modülüne sahiptirler. Depolama, tamirat veya kullanım sırasında hasara maruz kalabilecek hafif sandviç yapılarda kesinlikle düşük soyulma gerilmesine sahip yapıştırıcılar ile relativ olarak gevrek yapıştırıcılar kullanılmamalıdır.

3.1.4.1.4 Ekonomik Etmenler. Kompozit sandviç panellerden maliyet konusunda çok etkili sonuçlar alınabilmektedir. Ancak toplam maliyet hesaplamaları sırasında üretim maliyetleri yanında montajı, ilk kurulum ve de sandviç yapı destek sistemlerinin de masrafları hesaba katılmalıdır.

3.1.4.2 Çevresel Etmenler

3.1.4.2.1 Sıcaklık. Pek çok konstruktif sistemde olduğu üzere sandviç yapılarda da termal çevre önemli bir rol oynamaktadır. Genellikle sandviç yapılar oda sıcaklığı koşullarında etkin bir biçimde kullanılabileceği gibi pek çoğu da -55°C ile 170°C arasında istenilen performansı karşılayabilecek düzeydedir. İstenilen özellikler ve de üretim koşulları doğrultusunda malzemenin kürlenme sıcaklıkları da incelenmelidir.

3.1.4.2.2 Yanıcılık Özellikleri. Yapıştırma bağlantılı sandviç yapıları yanıcılık bakımından üçe ayırmaktayız. İlki yanıcı olmayan yapılar ki, ne yüzey malzemesi ne de çekirdek malzemesi yanıcı değildir. Sistem bir bütün olarak yanmaya karşı dayanım gösterir. İkinci tip yarı yanıcılar; bu sistemlerde yapı aleve maruz kaldığı sürece yanar, alev ortadan kalkarsa malzemenin tutuşması söz konusu olmaz. Son olarak, üçüncü tip yapılar ise yanıcı olanlarıdır. Bu malzemelerde genellikle

belirlenen koşullar altında alevin yayılma hızına göre bir sınıflandırılmaya tabi tutulabilirler.

3.1.4.2.3 Yapıştırma Solüsyonları ve Buharlaşıma. Bir kısım yapıştırıcılar kürlenme sırasında bazı reçinelerle ve de metal olmayan çekirdeklerle reaksiyon oluşturarak dışarı solvent buharı verirler. Bu olay sandviç yapı üretiminde istenmez; çünkü hatırlanacağı üzere kompozit yapılarda bir araya gelen malzemeler ayrı ayrı mekanik özellikleri korumak durumunda idi; reaksiyon oluşması yeni tip bir malzeme oluşumu ve sonuç olarak, farklı mekanik özellik oluşumu anlamına geleceğinden, üretimde bu hususa dikkat edilerek doğru yapıştırma sistemlerinin tercih edilmesi gerekmektedir.

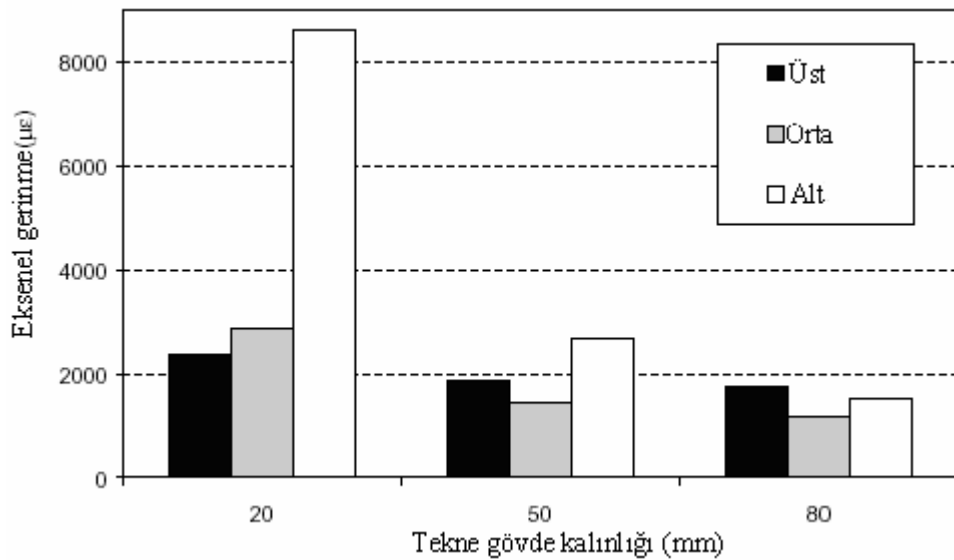
Son olarak, yukarıda saydığımız tüm etmenlerin dikkatlice incelenerek uygun ve optimum malzeme kullanılmasına dikkat edilmelidir. Bu amaçla Tablo 3.2 ' de hangi malzemelerle hangi mekanik özelliklerin en iyi şekilde sağlanabileceği gösterilmiştir.

Sandviç malzemelerin kullanımı gün geçtikçe artmakta hayatımızın pek çok önemli kesimine girmektedir. Gelecekte çok daha fazla alanda kullanılacak olan bu malzemeye güven ancak mühendislik kurallarına ve hesaplamalarına uyum ile sağlanabilecektir, bu yüzden ki sandviç malzemenin farklı yapıları arasındaki uyumlar çok önemlidir. Yukarıdaki tabloda sunulan ilişkiler sandviç dizaynının temeli olabilecek niteliktedir. Bu temel ilkelerin ihmal durumunda pek çok istenilmeyen sonuçla karşı karşıya kalabiliriz; hele ki bu yapıların denizcilik endüstrisinde kullanıldığını ve deniz ortamının sürekli değişkenlik arz ettiğini düşünecek olursak, insan hayatını tehlikeye sokabilecek sonuçların doğabileceğini tahmin etmemiz zor olmaz (Kolat, 2005).

3.1.5 Tekne Gövdesi Kalınlığı

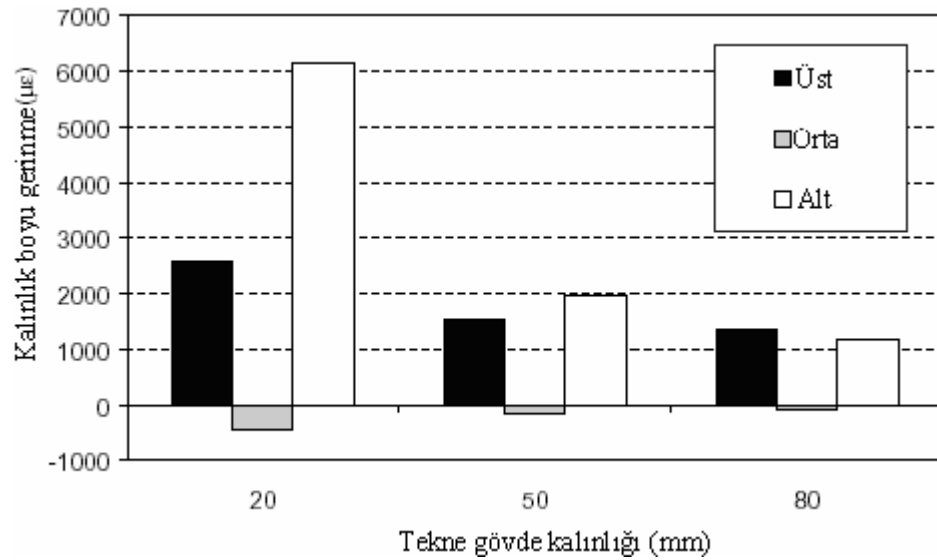
Tekne gövdesi kalınlığının T bağlantılarının tasarımları üzerinde birinci derecede etkisi vardır. Bu tasarım değişkeni bazı araştırmacılar tarafından incelenmiştir (Dharmawan ve diğer., 2004). Bu araştırmacıların yaptıkları incelemelerde modellenen T bağlantısının özellikleri başlık 3.1.1’de verilen değerlerin aynısıdır.

Tekne gövdesinin kalınlığının etkisini araştırmak için sonlu elemanlar analizinde tekne gövdesi kalınlığı olarak 20, 50 ve 80 mm. değerlerinden yararlanılmıştır.



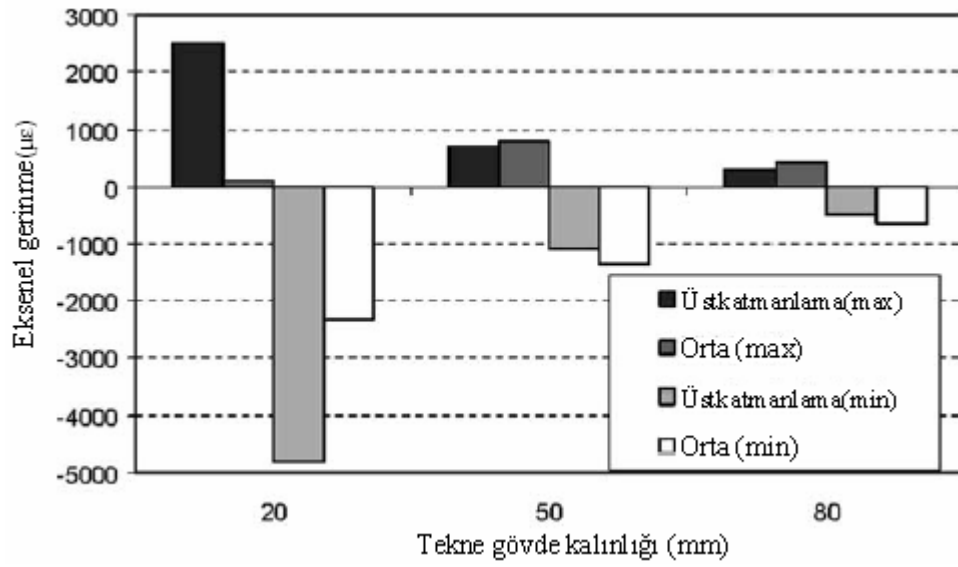
Şekil 3.11 Farklı tekne gövdesi kalınlıkları için üstkatmanlamada maksimum eksenel gerinim (Dharmawan ve diğer., 2004, s.184).

Şekil 3.11 göstermektedir ki tekne gövdesinin kalınlığı arttırıldığında üstkatmanlamanın maksimum aksenal gerinim değerleri bütün kesitler için azalmış, özellikle de üstkatmanlamanın alt kesiti, diğer kesitlerle karşılaştırıldığında bu durumdan en fazla etkilenen kesit olmuştur. 50 mm. kalınlığın altındaki tekne gövdesi kalınlığı için maksimum gerinim dış yüzeyde oluşmuştur. Bununla birlikte tekne gövdesi kalınlığı 50 mm.ve daha büyük olduğu zaman orta kesitte maksimum gerinim iç yüzeyde meydana gelmiştir. 50 mm.’nin üzerindeki kalınlık değerinde üstkatmanlamanın bütün kesitleri için aksenal gerinimlerde önemli bir değişim olmamıştır ve tekne gövdesi üstkatmanlamadaki gerinme dağılımını belirlemek için rijit olarak düşünülebilir.



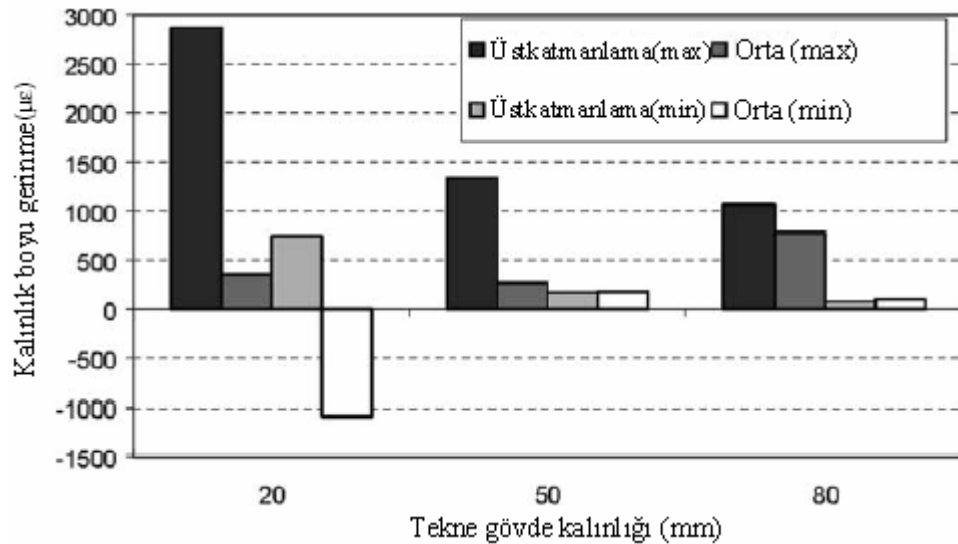
Şekil 3.12 Farklı tekne gövdesi kalınlıkları için üstkatmanlamada maksimum kalınlık boyu gerinim

Şekil 3.12 göstermektedir ki farklı tekne gövdesi kalınlıkları için maksimum kalınlık boyu gerinim orta kesitte meydana gelen bası gerinimi dışında Şekil3.11’e benzer bir eğilim sergilemiş ve devamlı bir şekilde artan tekne gövdesi kalınlığıyla azalmıştır. Üst ve alt kesitlerde maksimum kalınlık boyu gerinim aksenal gerinim gibi dış yüzeyde değil iç yüzeyde meydana gelmiştir. Bununla birlikte 20 mm tekne gövdesi kalınlığıyla üst kesitte maksimum kalınlık boyu gerinim iç yüzeyde meydana gelmiştir.



Şekil 3.13 Farklı tekne gövdesi kalınlıkları için tekne gövdesindeki maksimum eksenel gerinim

Şekil 3.13'te gösterildiği gibi tekne gövdesinde tekne gövde kalınlığının maksimum eksenel gerinim üzerindeki etkisi, 50 mm'den daha düşük tekne gövde kalınlıkları için büyük olmuştur ve bundan sonra önemli bir şekilde azalmıştır. Maksimum eksenel bası gerinimi, maksimum eksenel çeki geriniminden daha büyük bir değere sahip olmuştur.



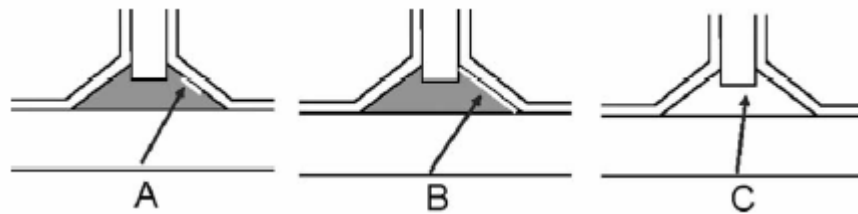
Şekil 3.14 Farklı tekne gövdesi kalınlıkları için tekne gövdesinde maksimum kalınlık boyu gerinim

Şekil 3.14 farklı tekne gövdesi kalınlıkları için maksimum kalınlık boyu gerinimleri göstermektedir. Üstkatmanlamayla birleştiği yere yakın olan bölgenin, özellikle küçük kalınlıklar için en büyük gerinim değerine sahip olduğu görülebilmektedir. Şu not edilmelidir ki orta kesitte 80 mm. tekne gövdesi kalınlığı 50 mm. kalınlıkla karşılaştırıldığında kalınlık boyu gerinim değerinde artış olmuştur, bu şunu göstermektedir ki tekne gövdesinin daha rijit olması, orta kesitte kalınlık boyu gerinim için negatif bir etki yaratmıştır (Dharmawan ve diğer., 2004, s.185).

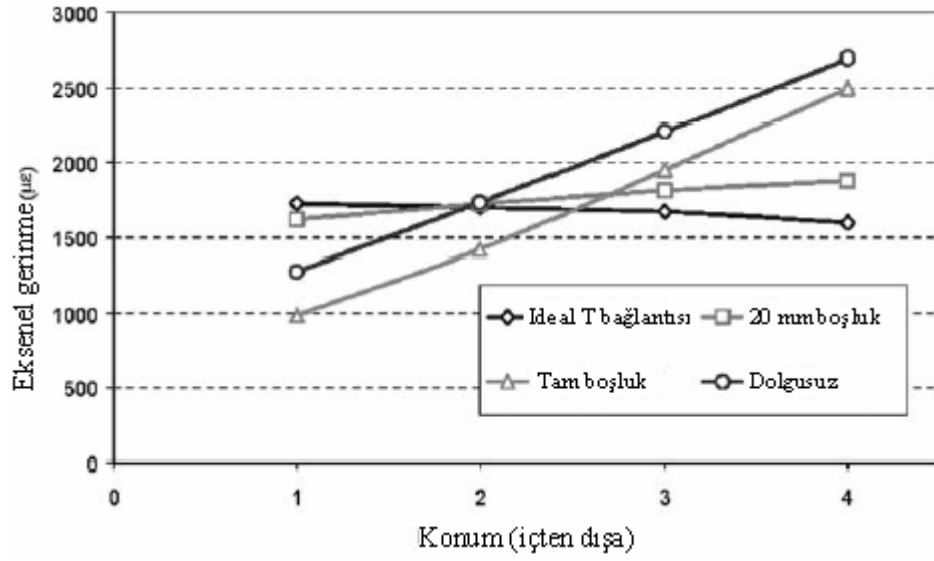
3.1.6 Dolgu malzemesi-üstkatmanlama yapışma performansı

Üçgensel T bağlantısı, dolgu ile üstkatmanlama arasındaki bir yapışma azlığının etkilerini araştırmak için analiz edilmiştir. Dolgunun fonksiyonları, üstkatmanlamayla beraber tekne gövdesine tekne bölmesinden yükün ortalama olarak transfer edilmesidir. Dolgu, T-bağlantısının en zayıf elemanı olmasına rağmen bağlantının güvenilirliğinin sağlanması açısından önemli bir rol oynamaktadır. Bundan dolayı dolgu bölgesindeki yapışma hatası, bunun T-bağlantısının bütünlüğü üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi için araştırılmıştır.

Şekil 3.15'te görüldüğü gibi analiz, üstkatmanlamanın sağ tarafında uzun ve kısa yapışma azlığını içermiştir. Dolgulu ve dolgusuz T bağlantısında gerinim dağılımlarının karşılaştırılması da gösterilmiştir (Dharmawan ve diğer., 2004, s.185).



Şekil 3.15 (A) Kısa yapışma azlığı; (B) Uzun yapışma azlığı; (C) Dolgusuz (Dharmawan ve diğer., 2004, s.186).



Şekil 3.16 Üstkatmanlamanın orta tarafında ideal ve hasarlı T bağlantısının eksenel gerinim dağılımı (Dharmawan ve diğer., 2004, s.186).

Şekil 3.16 farklı yapışma hatalarıyla üstkatmanlamanın orta kesitindeki eksenel gerinim dağılımını göstermektedir. Hasara uğramamış bağlantıda görülmektedir ki eksenel gerinim relativ olarak üstkatmanlamanın kalınlığı boyunca homojen bir dağılım göstermektedir. Bununla birlikte, herhangi bir yapışma hatasında bu durum değişmekte, eksenel gerinim üstkatmanlamanın kalınlığı boyunca üniform bir şekilde artarak dış yüzeyde maksimum değerine ulaşmaktadır. Bu üstkatmanlamada önemli bir eğilme yüküyle karşılaşmaktadır. Üstkatmanlamayla dolgu arasındaki yapışma azlığı, yük altında üstkatmanlamanın eğilmesine neden olmaktadır, bu da hasarın gelişmesini kolaylaştırmaktadır. Şekil 3.16 işaret etmektedir ki maksimum etki, dolgu tamamen uzaklaştırıldığında meydana gelmektedir (Dharmawan ve diğer., 2004, s.185).

BÖLÜM DÖRT

KULLANILAN MALZEMELER VE TEST YÖNTEMLERİ

4.1 Deney Numunelerinde Kullanılan Malzemeler

Bölüm 1’de sandviç T bağlantılarının yapımında kullanılan malzemeler anlatılmıştır. Ancak bu bölümde proje kapsamında kullanılan malzemelerin detaylı bir şekilde anlatılması daha faydalı olacaktır.

Daha önceki bölümlerde anlatıldığı gibi sandviç kompozit yapılardan yapılan T bağlantılarında kullanılan malzemeler başlıca üç ana malzemeden oluşmaktadır. Yüzey malzemesinde takviye elemanı olarak cam elyaf, bağlayıcı ve yüzey ile çekirdeğin birbirine yapıştırılmasını sağlayan polyester ve de çekirdek malzemesi olarak PVC kullanılmıştır.

4.1.1 Yüzey Malzemesi

Deney numunelerinde yüzey takviye elemanı olarak cam elyaf kullanılmıştır. Piyasada kullanım amaçlarına göre çok farklı tiplerde cam elyaf çeşitleri bulunmaktadır. En önemli iki cam türü E (electrical) ve S (strength or high content of silica) tipi camlardır (Smith, W. F., çev., 2001, s.724). Bu iki tip camın dışında özel amaçlar için kullanılan C (corrosion), R, D (dielectric), A (appearance) tipi camlarda bulunmaktadır.

C tipi camlar, depolama tankları gibi kimyasal etkilere maruz kalan malzemelerin korozyona olan dirençlerini arttırmak için kullanılan camlardır. D tipi camlar, düşük dielektrik bileşenlerine ihtiyaç duyulan kompozit malzemelerin yapımında kullanılırlar. A tipi camlar ise yüzey görünüşünün önemli olduğu kompozit malzeme yapımında kullanılırlar.

Bu cam tiplerinin bir kombinasyonları olarak iki cam tipi bir arada kullanılabilir. Örneğin E-C tipi cam hem elektriğe hem de korozyona karşı direncin bir arada istendiği malzeme yapımında kullanılır.



Şekil 4.1 Doğranmış cam elyaf
(http://drywallmesh.en.alibaba.com/product/50025829/50061616/Fiberglass_Woven_Roving/Chopped_Strand_Mat.html)

Şekil 4.1’ de numunelerimizin yüzey yapımında kullanılan doğranmış cam elyaftan yapılan hasır görülmektedir.

Tablo 4.1 E ve S camının karşılaştırılmalı özellikleri

(http://www.oceanica.ufrj.br/ocean/cursousead/materiaiscompositos/compositomaterials/g_composite_materials.pdf)

Elyaf malzeme	Yoğunluk		Çekme Dayanımı		Esneklik Modülü		Yüzde Uzama	1995 Maliyet
	Ibs/ft ³	g/cm ³	psi.10 ³	MPa	psi.10 ⁶	GPa	%	\$/lb
E Camı	162,4	2,59	500	3450	10,5	72,45	4,8	1,14
S Camı	155,5	2,49	665	4589	12,6	86,49	5,7	5,00

S tipi cam elyaflar genellikle mukavemet değerlerinin yüksek olmasının istendiği hava-uzay sanayinde kullanılmaktadır.

Tablo 4.1 incelendiğinde E tipi cam elyafla S tipi cam elyaf karşılaştırılmaktadır. Tablodan görüldüğü gibi E cam elyafın mekanik özellikleri S cam elyafın mekanik özelliklerinden daha düşüktür. Ancak E tipi cam elyafların mekanik özellikleri denizel uygulamalar için yeterli olmaktadır. Bu yüzden denizel uygulamalarda dolayısıyla da deney numunelerimizde E tipi cam elyaf kullanılmıştır.

Cam elyaflar dolayısıyla da E cam elyaflar sürekli ya da doğranmış liflerden meydana gelebilir. Sürekli liflerden üretilen hasırlarda yapının hangi yönde daha fazla mukavemete sahip olduğu belirlenerek lif yönü belirli bir yöne gelecek şekilde hasırlar üretilmektedir. Cam elyafların keçe tipinde olanları ise liflerin yönü her yönde rastgele olacağından bu tip elyaflar her yönde hemen hemen eşit mekanik özelliklere sahiptir. Deney numunelerimizin üretiminde de ülkemizde mekanik özelliklerinin yeterli ve daha ucuz olması nedeniyle doğranmış cam elyaf kullanılmıştır.

Keçe tipinde cam takviyeler; genellikle 300gr/m^2 ve 1200gr/m^2 arasında çeşitli ağırlıklarda bulunurlar. Burada görüldüğü gibi iki boyut verilmektedir. Üçüncü boyut istenilen laminasyon kalınlığıdır. Deney numunelerimizde 300gr/m^2 özelliğinde cam elyaf kullanılmıştır. Numunelerimizde 300gr/m^2 özelliğinde cam elyaf kullanmamızın sebebini şu şekilde açıklayabiliriz: Aynı laminasyon kalınlığı için 600gr/m^2 'nin kullanıldığı yapıda 300gr/m^2 cam elyafın kullanıldığı yapıya göre daha fazla hacim ve ağırlıkta elyaf bulunmaktadır. Belirli bir laminasyon kalınlığında 600gr/m^2 'lik cam elyaf kullanılıyorsa bu cam elyafın polyester gibi bir malzemeyle ıslatılmasında kullanılan el yatırması yöntemi ıslatmanın tam anlamıyla yapılmasını zorlaştırmaktadır. Bu sebeple tam bir ıslatma sağlamak için basınç torbalı yöntem gibi yöntemlerin kullanılması gerekir. Ancak bu tip üretim yöntemlerinin maliyetlerinin fazla olması imalatçı firmayı geleneksel yöntem olan el yatırması yönteminin kullanılmasına itmektedir. Bu sebeple numunelerimizin imalatında el yatırması metodu kullanıldığı için tam bir ıslatma sağlamak için ve de mekanik

özelliklerinin yeterli olmasından dolayıda 300gr/m² cam elyafları kullanılmıştır. Numunelerimizin üretiminde T bağlantısının tekne bölmesi ve tekne gövdesi yüzeyleri için ve de üstkatmanlamanın laminasyon kalınlığı olarak 5 mm yüzey kalınlığı seçilmiştir.

Yüzey malzemesini meydana getiren diğer bir malzeme olan anafaz malzemesi olarak polyester kullanılmıştır. Ancak yüzey malzemesinin üretim aşamasında polyestere iki malzeme daha ilave edilmiştir. İlave malzemelerden biri elyaf-polyester yapının hızlı bir şekilde sertleşmesini sağlayan harterdir. Genellikle polyester karışımının ağırlıkça %2'lik kısmını harter oluşturmaktadır. Diğer bir ilave malzeme de kobalttır. Kobalt reaksiyonu başlatmak için harter ile birleşerek gerekli olan 4'8 eV'luk reaksiyon başlangıç enerjisini sağlar. Kobaltta polyesterin ağırlığının yaklaşık %4'lük kısmını meydana getirmektedir.

Laminasyon kalınlıklarının belirlenmesinde yüzey elemanında bulunan takviye malzeme ile anafaz malzemenin ağırlıkça ve hacimce oranları önemlidir. Çünkü takviye malzemeye ve uygulanan üretim yöntemine göre bu oranlar farklılık göstermektedir. Örnek vermek gerekirse örneğin polyester-cam elyaf karışımının ağırlıkça %66'sı polyester, %34'ü de cam elyaftan oluşmaktadır. Cam elyaf, doğranmış cam elyaf ise elyafın ağırlıkça oranı %25-%45 arasında değişmektedir. Elyaf malzemesi olarak karbon elyaf kullanılıyorsa karbon elyafın yapıdaki ağırlıkça oranı %45'lere kadar çıkmaktadır. Bu oranları büyük ölçüde üretim yöntemleri de belirlemektedir. Örneğin polyester-cam elyaf karışımında üretim yöntemi olarak el yatırması yöntemi uygulanıyorsa elyafın ağırlıkça oranı %30'a kadar düşmektedir. Bu çalışma kapsamında yüzey malzemesi olarak polyester-cam elyaf kullanıldığı için 100 gr cam elyaf kendisinin ağırlıkça iki ya da iki buçuk katı kadar polyester emer ve böylece yapıda 0,25 mm'lik laminasyon kalınlığı sağlanır.

Numunelerde yüzey malzemesi yapımında kullanılan doğranmış cam fiber ve genel amaçlı polyester reçine karışımının teknik özellikleri, malzemenin üretim yöntemine göre farklılıklar gösterilebilmektedir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2 Doğranmış cam fiber- genel amaçlı polyester karışımının fiziksel özellikleri
(http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/cbd/cbd2005_e.html)

Özellikler	Birim	Değer (Doğranmış Cam Fiber- Polyester)
Cam bileşeni	%Ağırlık	25-45
Yoğunluk	kg/m ³	1400-1600
Çekme Dayanımı	MPa	76-160
Çekme Modülü	GPa	5,6-12
Basma Dayanımı	MPa	120-180
Eğilme Dayanımı	MPa	140-260
Eğilme Modülü	GPa	6,9-14

Yüzey malzemesini oluşturmada kullanılan diğer bir malzemede polyesterdir. Deney numunelerimizde polyester malzemesi olarak Dewilux Crystic 196 tipi genel amaçlı polyester kullanılmıştır. Polyester, hem yüzey yapısının oluşumunda hem de yüzey yapısının çekirdek malzemeyle bir bütün olarak yapıştırılmasında kullanılmıştır.

Tablo 4.3 Numunelerde kullanılan kürlenmiş ancak takviye edilmemiş polyester teknik özellikleri

Özellikler	Birim	Değer (Polyester)
Yoğunluk	kg/m ³	1280
Çekme Dayanımı	MPa	70
Çekme Modülü	GPa	3,5
Basma Dayanımı	MPa	140

Tablo 4.3'te numunelerde kullanılan polyester reçinenin teknik özellikleri görülmektedir. Daha önceki bölümlerde anlatıldığı gibi takviye edilmemiş polyesterin özellikleri takviye edilmiş polyestere göre daha düşük olduğundan polyester gibi reçineler başka tür malzemelerle takviyelendirilirler.

Tablo 4.4'te ise numunelerimizin yüzeyini ve de üstkatmanlamayı oluşturan polyester-doğranmış cam fiberin teknik özellikleri gösterilmektedir. Tablodan da görüldüğü gibi polyesterin cam elyafla takviyelendirilmesi yüzey malzemesinin teknik özelliklerinin artmasını sağlamıştır. Yoğunluktaki artış yapının ağırlığı artacağı için istenilmeyen bir durumdur. Ancak bu durum T bağlantılarının yapımında tek yüzey yapı yerine sandviç yapı kullanılarak iyileştirilmiştir. Böylece cam elyafla takviye edilmiş polyesterin tüm mekanik özellikleri arttırıldığı gibi tek yüzey yapı yerine sandviç yapı kullanılarak ağırlıkta artış yapılmamış, aksine sandviç yapı sayesinde daha hafif bir yapı elde edilmiştir.

Tablo 4.4 Numunelerde kullanılan polyester-doğranmış cam fiber karışımının teknik özellikleri

Özellikler	Birim	Değer (Doğranmış Cam Fiber)
Cam bileşeni	%Ağırlık %Hacim	30 18
Yoğunluk	kg/m ³	1400
Çekme Dayanımı	MPa	115
Çekme Modülü	GPa	11
Basma Dayanımı	MPa	160
Eğilme Dayanımı	MPa	160
Eğilme Modülü	GPa	8

4.1.2 Çekirdek Malzemesi

Deney numunelerinin üretiminde çekirdek malzemesi olarak PVC kullanılmıştır. Piyasa da ise çok farklı özelliklerde PVC çeşitleri mevcuttur. Çekirdek malzeme olarak yaygın bir şekilde kullanılan PVC'nin doğrusal ve çapraz bağlı olarak başlıca iki çeşidi bulunmaktadır.

Tablo 4.5'te görüldüğü gibi Lineer PVC yüksek sünekliğe dolayısıyla yüksek tokluğa ve de iyi darbe direncine sahiptir. Ayrıca iyi yorulma dayanımına da sahiptir. Lineer PVC'nin bazı dezavantajları vardır. Yüksek sıcaklıklarda yumuşaması bir dezavantajdır. Ayrıca reçinedeki stiren çekirdeğin içine doğru sızar. Reçineden uzaklaşan stiren, reçinenin bir kısmının olgunlaşamamasına neden olur ve bu nedenle gereğinden daha az olgunlaşan reçine, sandviç yapıyı meydana getiren yüzey ile çekirdek arasında yapışmanın tam olarak sağlanmasına engel olur ve de dolayısıyla sandviç yapının mekanik özelliklerinin gereğinden daha düşük olmasına neden olur.

Çapraz bağlı PVC'ler, katkı malzemeleri kullanılarak farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olarak çeşitli tiplerde bulunmaktadır.

Tablo 4.5 Çapraz bağlı PVC Divinycell H100 ve Lineer PVC mekanik özelliklerinin karşılaştırılması
(http://www.oceanica.ufrj.br/ocean/cursosead/materiaiscompositos/compositomaterials/g_composite_materials.pdf)

Çekirdek malzeme	Yoğunluk		Çekme dayanımı		Basma dayanımı		Kesme dayanımı		Kesme modülü		1995 Maliyet
	lbs/ft ³	g/cm ³	psi·10 ³	MPa	psi·10 ³	MPa	psi·10 ³	MPa	psi·10 ³	MPa	\$/lb
Çapraz bağlı PVC Divinycell H-100	6,0	0,96	0,360	2,48	0,260	1,79	0,217	1,50	6,52	45	5,95
Lineer PVC	5,0-6,0	0,80-0,96	0,200	1,38	0,125	0,86	0,170	1,17	2,9	29	5,20

Tablo 4.5'ten görüldüğü gibi çapraz bağlı PVC'ler, lineer PVC'lerden daha rijit, daha gevrek, daha yüksek dayanım ve sertliğe sahiptirler. Çapraz bağlı PVC'ler, lineer PVC'ler gibi iyi yorulma direncine sahiptirler.

Çapraz bağlı PVC'ler, kapalı tip hücre yapısına sahiptir. Bu tip bir yapı, sandviç sistemi oluşturan yüzeyle çekirdek arasında yapışma yüzeyini artırarak daha iyi bir bağlantı sağlamaktadır.

Numune yapımında sandviç yapının çekirdek malzemesi olarak Diab firmasının Divinycell H 80 tipi malzemesi kullanılmıştır. Bu malzemeye ait teknik bilgiler Tablo 4.6'da gösterilmektedir.

Tablo 4.6 Numunelerde kullanılan çekirdek malzemesi Divinycell H80'nin teknik özellikleri
(http://www.diabgroup.com/europe/literature/e_pdf_files/man_pdf/H_man.pdf).

Özellik	Birim	Divinycell H 80
Normal Yoğunluk	kg/m ³	80
Basma Dayanımı	MPa	1,4-1,15
Basma Modülü	MPa	90-80
Çekme Dayanımı	MPa	2,5-2,2
Çekme Modülü	MPa	95-85
Kesme Dayanımı	MPa	1,15-0,95
Kesme Modülü	MPa	27-23
Kesme Gerinmesi	%	30-15
Poisson Oranı		0,32

4.2 Deney Numunelerinin İmalat Yöntemi

T bağlantılarının dolayısıyla da sandviç yapıların imalat yöntemleri Bölüm 1'de detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Numunelerin imalat yönteminin dışındaki diğer imalat yöntemlerine tekrar değinilmeyecektir.

Bu çalışma kapsamında deney numunelerinin üretim yöntemi olarak Türkiye'de de yat imalatında en çok kullanılan yöntem olan geleneksel el yatırması metodu uygulanmıştır.

4.2.1 Düz Sandviç T Bağlantısı İmalat Aşamaları

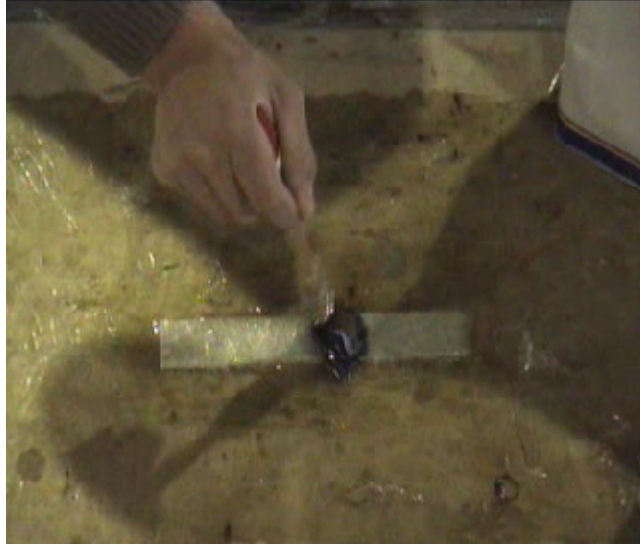
1. Yüzey malzemesini oluşturan doğranmış cam elyaf bir makas yardımıyla istenilen boyutlarda kesilmiştir.



Şekil 4.2 Doğranmış cam elyafın uygun boyutlarda kesilmesi

2. Yüzey oluşturmak için cam elyafa polyester reçine emdirilmesinden önce polyester reçinenin çalışma parçasının yüzeyine kürlendikten sonra yapışmaması için çalışma parçasının yüzeyine wax sürülmektedir. Böylece kürlenme işlemi tamamlandıktan sonra numune kolaylıkla çalışma parçasından ayrılabilir.

3. Uygun ölçülerde kesilmiş doğranmış cam elyafa bir fırça yardımıyla yüzey malzemesini oluşturan diğer bir eleman olan polyester emdirilmektedir. Ayrıca fırça yardımıyla cam elyafın polyester tarafından tam olarak ıslatılması sağlandığı gibi yapının içinde kalabilecek hava kabarcıkları da yapıdan uzaklaştırılmaktadır.. Böylece tam bir yapışma ve de polyester bakımından zengin bir yüzey elde edilmektedir. Burada yüzeyi oluşturan elyaf-reçine karışımında elde edilen ağırlık ve hacim oranları büyük ölçüde işçinin deneyimine bağlıdır. Tek bir yüzeyi oluşturmak için dört tabaka cam elyaf kullanılmıştır.



Şekil 4.3 Uygun ölçülerde kesilmiş elyafa fırça yardımıyla polyester emdirilmesi

4. Doğranmış cam elyaf karışımının belirli bir süre kürlenmesi için beklenirken bu sırada çekirdek malzemesi uygun boyutlarda kesilmiştir.



Şekil4.4 Çekirdek malzemesinin uygun boyutlarda kesilmesi

5. Uygun boyutlarda kesilen çekirdek malzemesinin yüzeyine, yaklaşık iki saat sonra kürlenmiş olan cam elyaf-polyester karışımının yapıştırılması için çekirdek malzemesinin öncelikle tek bir yüzeyine fırça yardımıyla polyester sürülmektedir. Polyester yardımıyla çekirdek ile cam elyaf-polyester karışımının yani yüzeyin

birbirlerine yapışması sağlanmıştır. Aynı işlem çekirdeğin diğer yüzeyi için de uygulanmış böylece bütünde tek bir yapı olan sandviç yapı elde edilmiştir. Bu sandviç yapılar tekne gövdesi ve tekne bölmesi yapılarıdır.



Şekil 4.5 Numune çekirdek yüzeylerine polyester emdirilmesi

6. Numunelerinden taşan polyester ya da cam fiber artıkları bir falçata yardımıyla temizlenir (Şekil4.6).



Şekil 4.6 Numune yüzeylerinin falçata yardımıyla artıklardan temizlenmesi

7. Falçata ile artıklardan temizlenen numunelerin yüzeyleri bir zımpara yardımıyla düzgün hale getirilmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Numune yüzeyinin düzgün hale getirilmesi

8. Bir diğer cam elyaf-polyester karışımı ile yani üstkatmanlama ile tekne gövde ve tekne bölmesinin birbirlerine yapıştırılması sağlanmakta ve böylece düz sandviç T bağlantısı meydana getirilmektedir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Düz sandviç T bağlantısında üstkatmanlama

9. Düz sandviç T bağlantısı imal edildikten sonra polyester ve cam elyaf artıkları taşlama makinası ile temizlenmekte ve böylece numune son boyutlarına getirilmektedir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 İmal edilen numunenin son boyutlarına getirilmesi

4.2.2 *İçe Geçmeli Sandviç T Bağlantısı İmalat Aşamaları*

1. Yüzey malzemesini oluşturan doğranmış cam elyaf bir makas yardımıyla istenilen boyutlarda kesilmiştir.

2. Yüzey oluşturmak için cam elyafa polyester reçine emdirilmesinden önce polyester reçinenin çalışma parçasının yüzeyine kürlendikten sonra yapışmaması için çalışma parçasının yüzeyine wax sürülmektedir. Böylece kürlenme işlemi tamamlandıktan sonra numune kolaylıkla çalışma parçasından ayrılabilir.

3. Uygun ölçülerde kesilmiş doğranmış cam elyafa bir fırça yardımıyla yüzey malzemesini oluşturan diğer bir eleman olan polyester emdirilmektedir. Ayrıca fırça yardımıyla cam elyafın polyester tarafından tam olarak ıslatılması sağlandığı gibi yapının içinde kalabilecek hava kabarcıkları da yapıdan uzaklaştırılmaktadır.

Böylece tam bir yapışma ve de polyester bakımından zengin bir yüzey elde edilmektedir. Burada yüzeyi oluşturan elyaf-reçine karışımında elde edilen ağırlık ve hacim oranları büyük ölçüde işçinin deneyimine bağlıdır. Tek bir yüzeyi oluşturmak için dört tabaka cam elyaf kullanılmıştır.

4. Doğranmış cam elyaf karışımının belirli bir süre kürlenmesi için beklenirken bu sırada çekirdek malzemesi uygun boyutlarda kesilmiştir.

5. Uygun boyutlarda kesilen çekirdek malzemesinin yüzeyine, yaklaşık iki saat sonra kürlenmiş olan cam elyaf-polyester karışımının yapıştırılması için çekirdek malzemesinin öncelikle tek bir yüzeyine fırça yardımıyla polyester sürülmektedir. Polyester yardımıyla çekirdek ile cam elyaf-polyester karışımının yani yüzeyin birbirlerine yapışması sağlanmıştır. Aynı işlem çekirdeğin diğer yüzeyi için de uygulanmış böylece bütünde tek bir yapı olan sandviç yapı elde edilmiştir. Bu sandviç yapılar tekne gövdesi ve tekne bölmesi yapılarıdır.

6. Numunelerinden taşan polyester ya da cam fiber artıkları bir falçata yardımıyla temizlenir.

7. Falçata ile artıklardan temizlenen numunelerin yüzeyleri bir zımpara yardımıyla düzgün hale getirilmektedir.

8. Bu T bağlantısında diğer bağlantı çeşitlerinden farklı olarak tekne gövdesinin orta kısmında alt yüzeye kadar tekne bölmesinin oturması için bir boşluk açılmıştır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 Tekne gövdesinde açılan boşluğa bölmelerin geçirilmesi

9. Bir diğer cam elyaf-polyester karışımı ile yani üstkatmanlama ile tekne gövde ve tekne bölmesinin birbirlerine yapıştırılması sağlanmakta ve böylece içiçe geçmeli sandviç T bağlantısı meydana getirilmektedir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 İçiçe geçmeli sandviç T bağlantısında üstkatmanlama

10. Düz sandviç T bağlantısı imal edildikten sonra polyester ve cam elyaf artıkları taşıma makinası ile temizlenmekte ve böylece numune son boyutlarına getirilmektedir.

4.2.3 Üçgen (45°açılı) Sandviç T Bağlantısı İmalat Aşamaları

1. Yüzey malzemesini oluşturan doğranmış cam elyaf bir makas yardımıyla istenilen boyutlarda kesilmiştir.

2. Yüzey oluşturmak için cam elyafa polyester reçine emdirilmesinden önce polyester reçinenin çalışma parçasının yüzeyine kürlendikten sonra yapışmaması için çalışma parçasının yüzeyine wax sürülmektedir. Böylece kürlenme işlemi tamamlandıktan sonra numune kolaylıkla çalışma parçasından ayrılabilir.

3. Uygun ölçülerde kesilmiş doğranmış cam elyafa bir fırça yardımıyla yüzey malzemesini oluşturan diğer bir eleman olan polyester emdirilmektedir. Ayrıca fırça yardımıyla cam elyafın polyester tarafından tam olarak ıslatılması sağlandığı gibi yapının içinde kalabilecek hava kabarcıkları da yapıdan uzaklaştırılmaktadır.

Böylece tam bir yapışma ve de polyester bakımından zengin bir yüzey elde edilmektedir. Burada yüzeyi oluşturan elyaf-reçine karışımında elde edilen ağırlık ve hacim oranları büyük ölçüde işçinin deneyimine bağlıdır. Tek bir yüzeyi oluşturmak için dört tabaka cam elyaf kullanılmıştır.

4. Doğranmış cam elyaf karışımının belirli bir süre kürlenmesi için beklenirken bu sırada çekirdek malzemesi uygun boyutlarda kesilmiştir.

5. Uygun boyutlarda kesilen çekirdek malzemesinin yüzeyine, yaklaşık iki saat sonra kürlenmiş olan cam elyaf-polyester karışımının yapıştırılması için çekirdek malzemesinin öncelikle tek bir yüzeyine fırça yardımıyla polyester sürülmektedir. Polyester yardımıyla çekirdek ile cam elyaf-polyester karışımının yani yüzeyin birbirlerine yapışması sağlanmıştır. Aynı işlem çekirdeğin diğer yüzeyi için de

uygulanmış böylece bütünde tek bir yapı olan sandviç yapı elde edilmiştir. Bu sandviç yapılar tekne gövdesi ve tekne bölmesi yapılarıdır.

6. Numunelerinden taşan polyester ya da cam fiber artıkları bir falçata yardımıyla temizlenir.

7. Falçata ile artıklardan temizlenen numunelerin yüzeyleri bir zımpara yardımıyla düzgün hale getirilmektedir.

8. Burada darbeli yükler altında tekne bölmesiyle tekne gövdesi arasında darbeyi sönümleme amacıyla bir PVC parça konulmuştur (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 Tekne gövdesi ile tekne bölmesi arasına çekirdek eleman konulması

9. Düz ve iç içe geçmeli sandviç T bağlantılarından farklı olarak üçgen sandviç T bağlantısında üstkatmanlama ile tekne gövdesi ve tekne bölmesi arasına 45° açılı üçgen çekirdekler yerleştirilmiştir ve daha sonrasında üstkatmanlama ile üçgen sandviç T bağlantısı meydana getirilmiştir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 Üçgen sandviç T bağlantısında üstkatmanlama

10. Düz sandviç T bağlantısı imal edildikten sonra polyester ve cam elyaf artıkları taşlama makinası ile temizlenmekte ve böylece numune son boyutlarına getirilmektedir.

4.2.4 Dönümlü (25mm) Sandviç T Bağlantısı İmalat Aşamaları

1. Yüzey malzemesini oluşturan doğranmış cam elyaf bir makas yardımıyla istenilen boyutlarda kesilmiştir.

2. Yüzey oluşturmak için cam elyafa polyester reçine emdirilmesinden önce polyester reçinenin çalışma parçasının yüzeyine kürlendikten sonra yapışmaması için çalışma parçasının yüzeyine wax sürülmektedir. Böylece kürlenme işlemi tamamlandıktan sonra numune kolaylıkla çalışma parçasından ayrılabilir.

3. Uygun ölçülerde kesilmiş doğranmış cam elyafa bir fırça yardımıyla yüzey malzemesini oluşturan diğer bir eleman olan polyester emdirilmektedir. Ayrıca fırça yardımıyla cam elyafın polyester tarafından tam olarak ıslatılması sağlandığı gibi yapının içinde kalabilecek hava kabarcıkları da yapıdan uzaklaştırılmaktadır.

Böylece tam bir yapışma ve de polyester bakımından zengin bir yüzey elde edilmektedir. Burada yüzeyi oluşturan elyaf-reçine karışımında elde edilen ağırlık ve hacim oranları büyük ölçüde işçinin deneyimine bağlıdır. Tek bir yüzeyi oluşturmak için dört tabaka cam elyaf kullanılmıştır.

4. Doğranmış cam elyaf karışımının belirli bir süre kürlenmesi için beklenirken bu sırada çekirdek malzemesi uygun boyutlarda kesilmiştir.

5. Uygun boyutlarda kesilen çekirdek malzemesinin yüzeyine, yaklaşık iki saat sonra kürlenmiş olan cam elyaf-polyester karışımının yapıştırılması için çekirdek malzemesinin öncelikle tek bir yüzeyine fırça yardımıyla polyester sürülmektedir. Polyester yardımıyla çekirdek ile cam elyaf-polyester karışımının yani yüzeyin birbirlerine yapışması sağlanmıştır. Aynı işlem çekirdeğin diğer yüzeyi için de uygulanmış böylece bütünde tek bir yapı olan sandviç yapı elde edilmiştir. Bu sandviç yapılar tekne gövdesi ve tekne bölmesi yapılarıdır.

6. Numunelerinden taşan polyester ya da cam fiber artıkları bir falçata yardımıyla temizlenir.

7. Falçata ile artıklardan temizlenen numunelerin yüzeyleri bir zımpara yardımıyla düzgün hale getirilmektedir.

8. Burada darbeli yükler altında tekne bölmesiyle tekne gövdesi arasında darbeyi sönümleme amacıyla bir PVC parça konulmuştur.

9. Dönümlü (25 mm) sandviç T bağlantısında üstkatmanlama ile tekne gövdesi ve tekne bölmesi arasına yarıçapı 25 mm olan PVC çekirdekler yerleştirilmiştir ve daha sonrasında üstkatmanlama ile üçgen sandviç T bağlantısı meydana getirilmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 Dönümlü 25mm sandviç T bağlantısında üstkatmanlama

10. Dönümlü (25 mm) sandviç T bağlantısı imal edildikten sonra polyester ve cam elyaf artıkları taşlama makinası ile temizlenmekte ve böylece numune son boyutlarına getirilmektedir.

4.2.5 Dönümlü (70 mm) Sandviç T Bağlantısı İmalat Aşamaları

1. Yüzey malzemesini oluşturan doğranmış cam elyaf bir makas yardımıyla istenilen boyutlarda kesilmiştir.

2. Yüzey oluşturmak için cam elyafa polyester reçine emdirilmesinden önce polyester reçinenin çalışma parçasının yüzeyine kürlendikten sonra yapışmaması için çalışma parçasının yüzeyine wax sürülmektedir. Böylece kürlenme işlemi tamamlandıktan sonra numune kolaylıkla çalışma parçasından ayrılabilir.

3. Uygun ölçülerde kesilmiş doğranmış cam elyafa bir fırça yardımıyla yüzey malzemesini oluşturan diğer bir eleman olan polyester emdirilmektedir. Ayrıca fırça yardımıyla cam elyafın polyester tarafından tam olarak ıslatılması sağlandığı gibi yapının içinde kalabilecek hava kabarcıkları da yapıdan uzaklaştırılmaktadır.

Böylece tam bir yapışma ve de polyester bakımından zengin bir yüzey elde edilmektedir. Burada yüzeyi oluşturan elyaf-reçine karışımında elde edilen ağırlık ve hacim oranları büyük ölçüde işçinin deneyimine bağlıdır. Tek bir yüzeyi oluşturmak için dört tabaka cam elyaf kullanılmıştır.

4. Doğranmış cam elyaf karışımının belirli bir süre kürlenmesi için beklenirken bu sırada çekirdek malzemesi uygun boyutlarda kesilmiştir.

5. Uygun boyutlarda kesilen çekirdek malzemesinin yüzeyine, yaklaşık iki saat sonra kürlenmiş olan cam elyaf-polyester karışımının yapıştırılması için çekirdek malzemesinin öncelikle tek bir yüzeyine fırça yardımıyla polyester sürülmektedir. Polyester yardımıyla çekirdek ile cam elyaf-polyester karışımının yani yüzeyin birbirlerine yapışması sağlanmıştır. Aynı işlem çekirdeğin diğer yüzeyi için de uygulanmış böylece bütünde tek bir yapı olan sandviç yapı elde edilmiştir. Bu sandviç yapılar tekne gövdesi ve tekne bölmesi yapılarıdır.

6. Numunelerinden taşan polyester ya da cam fiber artıkları bir falçata yardımıyla temizlenir.

7. Falçata ile artıklardan temizlenen numunelerin yüzeyleri bir zımpara yardımıyla düzgün hale getirilmektedir.

8. Burada darbeli yükler altında tekne bölmesiyle tekne gövdesi arasında darbeyi sönümleme amacıyla bir PVC parça konulmuştur.

9. Dönümlü (70 mm) sandviç T bağlantısında üstkatmanlama ile tekne gövdesi ve tekne bölmesi arasına yarıçapı 70mm olan PVC çekirdekler yerleştirilmiştir ve daha sonrasında üstkatmanlama ile üçgen sandviç T bağlantısı meydana getirilmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 Dönümlü 70 mm sandviç T bağlantısında üstkatmanlama

10. Dönümlü (70 mm) sandviç T bağlantısı imal edildikten sonra polyester ve cam elyaf artıkları taşlama makinası ile temizlenmekte ve böylece numune son boyutlarına getirilmektedir.

4.2.6 Yeni Tip Sandviç T Bağlantısı İmalat Aşamaları

1. Yüzey malzemesini oluşturan doğranmış cam elyaf bir makas yardımıyla istenilen boyutlarda kesilmiştir.

2. Yüzey oluşturmak için cam elyafa polyester reçine emdirilmesinden önce polyester reçinenin çalışma parçasının yüzeyine kürlendikten sonra yapışmaması için çalışma parçasının yüzeyine wax sürülmektedir. Böylece kürlenme işlemi tamamlandıktan sonra numune kolaylıkla çalışma parçasından ayrılabilir.

3. Uygun ölçülerde kesilmiş doğranmış cam elyafa bir fırça yardımıyla yüzey malzemesini oluşturan diğer bir eleman olan polyester emdirilmektedir. Ayrıca fırça yardımıyla cam elyafın polyester tarafından tam olarak ıslatılması sağlandığı gibi yapının içinde kalabilecek hava kabarcıkları da yapıdan uzaklaştırılmaktadır.

Böylece tam bir yapışma ve de polyester bakımından zengin bir yüzey elde edilmektedir. Burada yüzeyi oluşturan elyaf-reçine karışımında elde edilen ağırlık ve hacim oranları büyük ölçüde işçinin deneyimine bağlıdır. Tek bir yüzeyi oluşturmak için dört tabaka cam elyaf kullanılmıştır.

4. Doğranmış cam elyaf karışımının belirli bir süre kürlenmesi için beklenirken bu sırada çekirdek malzemesi uygun boyutlarda kesilmiştir.

5. Uygun boyutlarda kesilen çekirdek malzemesinin yüzeyine, yaklaşık iki saat sonra kürlenmiş olan cam elyaf-polyester karışımının yapıştırılması için çekirdek malzemesinin öncelikle tek bir yüzeyine fırça yardımıyla polyester sürülmektedir. Polyester yardımıyla çekirdek ile cam elyaf-polyester karışımının yani yüzeyin birbirlerine yapışması sağlanmıştır. Aynı işlem çekirdeğin diğer yüzeyi için de uygulanmış böylece bütünde tek bir yapı olan sandviç yapı elde edilmiştir. Bu sandviç yapılar tekne gövdesi ve tekne bölmesi yapılarıdır.

6. Numunelerinden taşan polyester ya da cam fiber artıkları bir falçata yardımıyla temizlenir.

7. Falçata ile artıklardan temizlenen numunelerin yüzeyleri bir zımpara yardımıyla düzgün hale getirilmektedir.

8. Burada darbeli yükler altında tekne bölmesiyle tekne gövdesi arasında darbeyi sönümleme amacıyla bir PVC parça konulmuştur.

9. Yeni tip sandviç T bağlantısında üstkatmanlama ile tekne gövdesi ve tekne bölmesi arasına PVC çekirdekler yerleştirilmiştir. Tekne bölmesinde tekne bölmesinin tekne gövdesine bağlandığı yerde tekne gövdesinin üçgen çekirdeklerin üzerine oturmasını sağlamak için üçgen formu verilmiş ve daha sonrasında üstkatmanlama ile üçgen sandviç T bağlantısı meydana getirilmiştir. Ayrıca burada tekne gövdesi, tekne bölmesi ve üstkatmanlama arasındaki yapışmayı sağlamak için

sıvı polyester yerine aynı mekanik özelliklere sahip başka bir polyester çeşiti kullanılmıştır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 Yeni tip sandviç T bağlantısında üstkatmanlama

10. Yeni tip sandviç T bağlantısı imal edildikten sonra polyester ve cam elyaf artıkları taşlama makinası ile temizlenmekte ve böylece numune son boyutlarına getirilmektedir.

4.3 T Bağlantı Numunelerinin Sonlu Elemanlar Yardımıyla Mekanik Olarak İncelenmesi

Bu çalışma kapsamında T bağlantılarının bağlantı bölgelerindeki gerinimler hem deneysel hem de nümerik olarak araştırılmıştır. Nümerik çalışmada Ansys 5.4 sonlu elemanlar paket programı kullanılmıştır.

Çalışmada iki boyutlu shell 63 (4 düğümlü, quadrilateral) eleman kullanılmıştır. Yük olarak 2.0 kN'luk bir çeki yükü tekne bölmesinin üst kısmına uygulanmıştır.. Mesnetleme ise tekne gövdesinin her iki ucundan 45 mm'lik bir uzunlukta sadece x yönündeki hareketine izin verilecek şekilde yapılmıştır.

Tekne gövdesini ve tekne bölmesini oluşturan yüzey elemanları ile üstkatmanlama ve de gövde ve bölme çekirdek elemanlarının eleman özellikleri isotropic olarak seçilmiştir. Bu sebeple elemanların mekanik özelliklerinin belirlenmesinde isotropic malzemeler için kullanılan formüller kullanılmıştır.

$$E_x = E_y = G_{xy} \cdot [2 \cdot (1 + \nu_{xy})] \quad [10]$$

E_x = x doğrultusundaki çekme modülü

E_y = y doğrultusundaki çekme modülü

G_{xy} = kayma modülü

ν_{xy} = poisson oranı

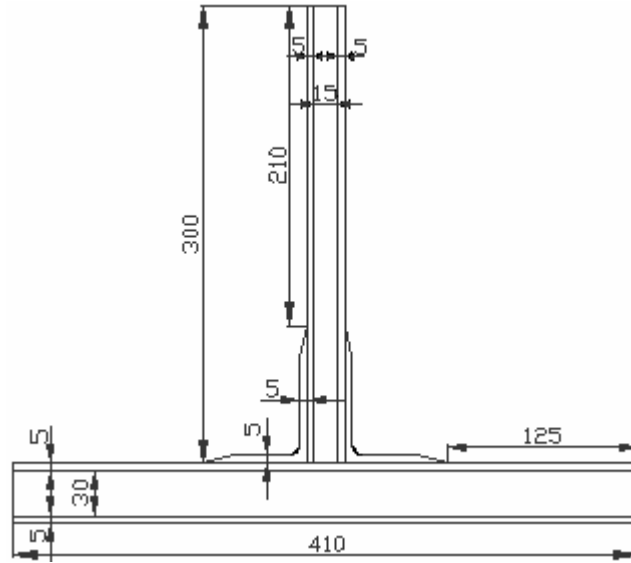
Yukarıdaki 10 numaralı formülden görüldüğü gibi numunelerde kullanılan malzemeler isotropic özellikte olduğu için bu malzemelerin bütün yönlerdeki mekanik özellikleri yaklaşık olarak eşit değerdedir.

Deneysel olarak belirlenen ve bu formüller neticesinde hesaplanan ve de modellemede kullanılan elemanların mekanik özellikleri Tablo 4.7’de gösterilmektedir.

Tablo 4.7 Modellemede kullanılan elemanların mekanik özellikleri

		Değer		
Özellikler	Birim	Yüzey (Doğ.cam fiber-polyester)	Çekirdek	Polyester
Young's Modulus	Mpa	11000	80	3500
Yoğunluk	kg/m ³	1400	80	1280
Poisson's Ratio	—	0,37	0,32	0,33
Shear Modulus	MPa	4010	29	1310

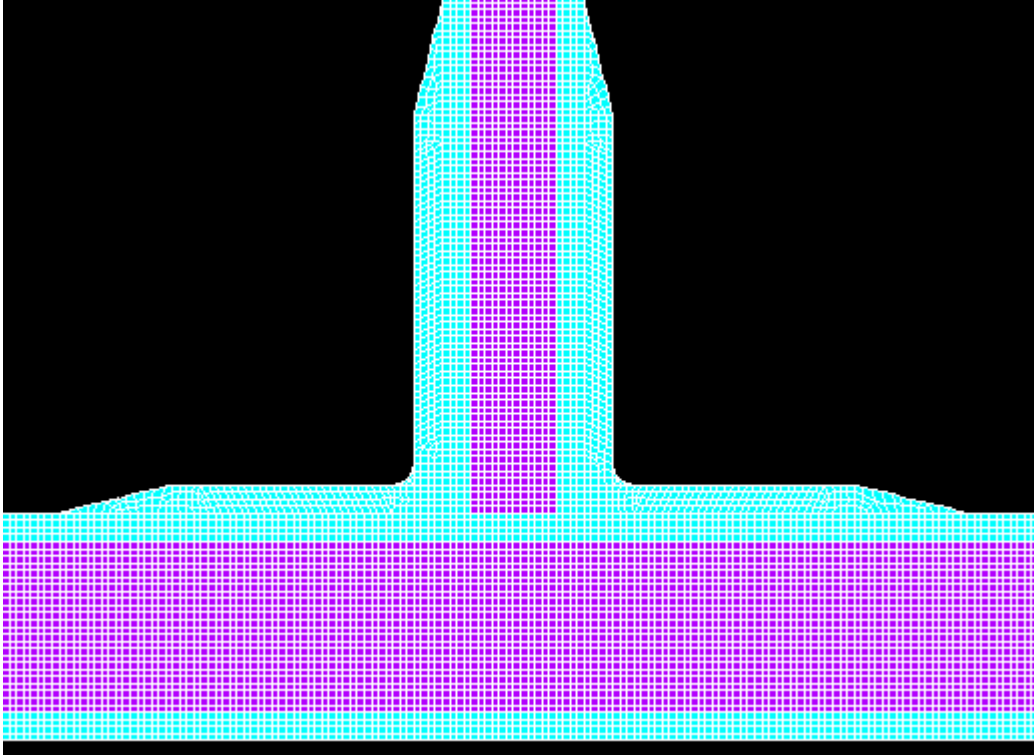
4.3.1 Düz Sandviç T Bağlantısı



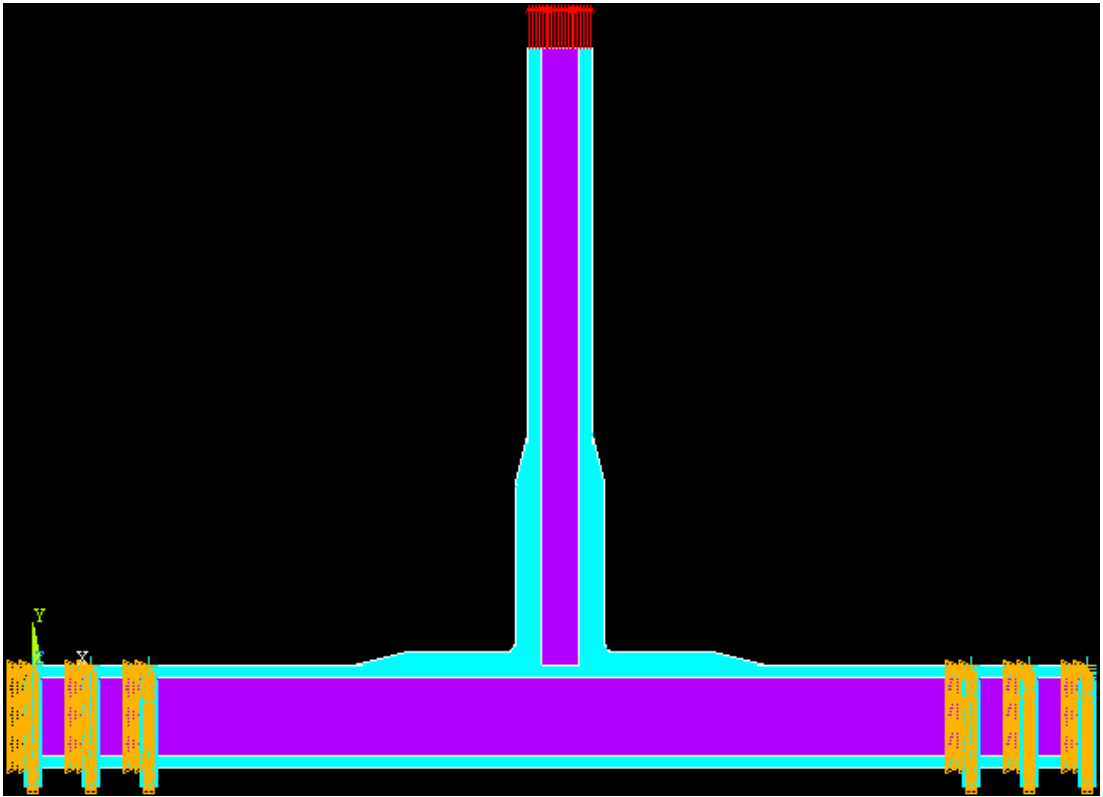
Şekil 4.17 Düz sandviç T bağlantısı uzunluk ölçüleri

Şekil 3.1'deki oran değerleri esas alınarak hazırlanan sonlu elemanlar modeline ait boyutlar Şekil 4.17' de gösterilmiştir. Burada dikkat edilecek bir husus üstkatmanlamanın gereksiz yere tekne gövde ve tekne bölme yüzeyleri boyunca yapılmamış olmasıdır.

Düz sandviç T bağlantısının sonlu elemanlara bölünmesi Şekil 4.18'de gösterilmektedir.



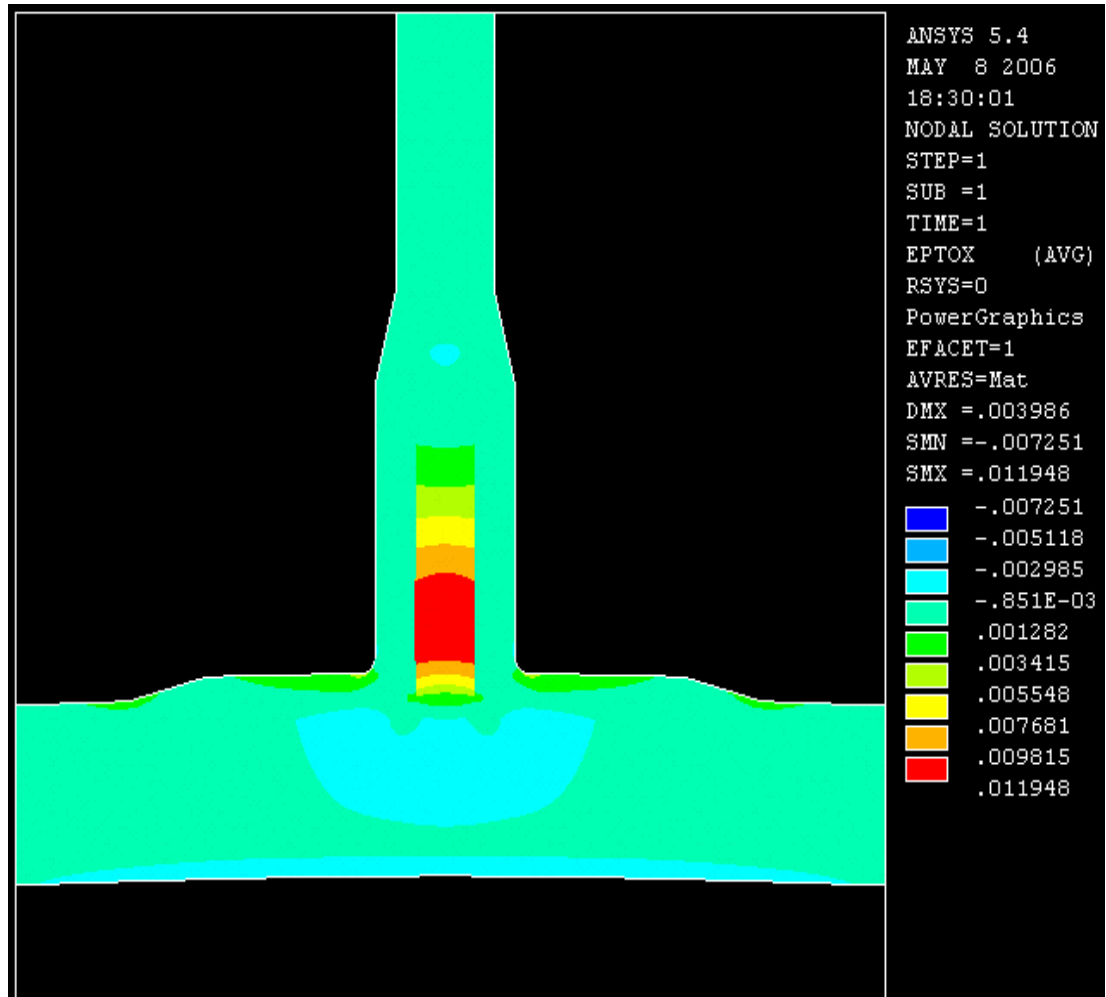
Şekil 4.18 Düz sandviç T bağlantısını sonlu elemanlara bölme



Şekil 4.19 Düz sandviç T bağlantısında mesnetleme ve yükleme durumu

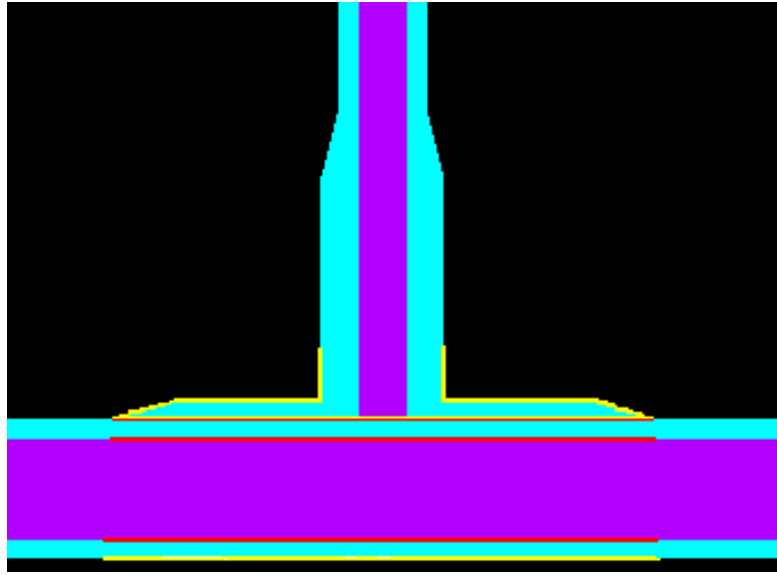
Şekil 4.19’da görüldüğü üzere bu bağlantı tipinde ve de diğer bağlantı tiplerinde tekne gövdesinin iki ucundan 45 mm iç tarafa doğru modelin sadece x yönündeki hareketine izin verilecek şekilde mesnetleme yapılmıştır. Yüklemede ise 2.0 kN’luk bir kuvvet +y eksenini doğrultusunda tekne gövdesinin en üst kenarına düzgün bir çeki kuvveti uygulanmıştır.

Yapılan bütün bu işlemlerden sonra çeşitli analiz sonuçlarına ulaşılmıştır. Analiz edilen noktalar ve bölmeler daha önceden yapılmış benzer çalışmalar (www.elsevier.com/locate/compstructure Dharmawan F, Thomson R. S, Li H, Hersberg I, Gellert E, Australia, 10 June 2004) dikkate alınarak incelenmiştir.



Şekil 4.20 Düz sandviç T bağlantısında x eksenini yönündeki gerinim analizi

Şekil 4.20’de görüldüğü üzere bağlantıdaki maksimum x yönündeki gerinimler üstkatmanlamanın köşe kısmında meydana gelmiştir. Hem yukarıdaki analiz sonucuna hem de daha önce yapılan analiz çalışmalarına göre incelenecek nokta ve bölgeler tayin edilmiştir. Buna göre sandviç sistemlerden oluşan bir yapıda yüzey ile çekirdek arasında delaminasyon olayı bütün bir yapının hasara uğramasına sebep olabilmektedir. Bu çalışma kapsamında incelenen T bağlantısında delaminasyona uğrayabilecek bölgeler Şekil 4.21’de gösterilmektedir. Bu bölgeler; üstkatmanlama-tekne yüzeyi sınırı, tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırı ve de tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırındır(kırmızı çizgiler). Muhtemel bir çatlağa maruz kalabilecek bölgeler olarak maksimum gerinimlerin oluştuğu bölgeler olarakta tekne gövdesinin alt yüzeyi ile üstkatmanlama elemanı belirlenmiştir (sarı çizgiler).



Şekil 4.21 Düz sandviç T bağlantısında muhtemel delaminasyon ve maksimum gerinim oluşum bölgeleri

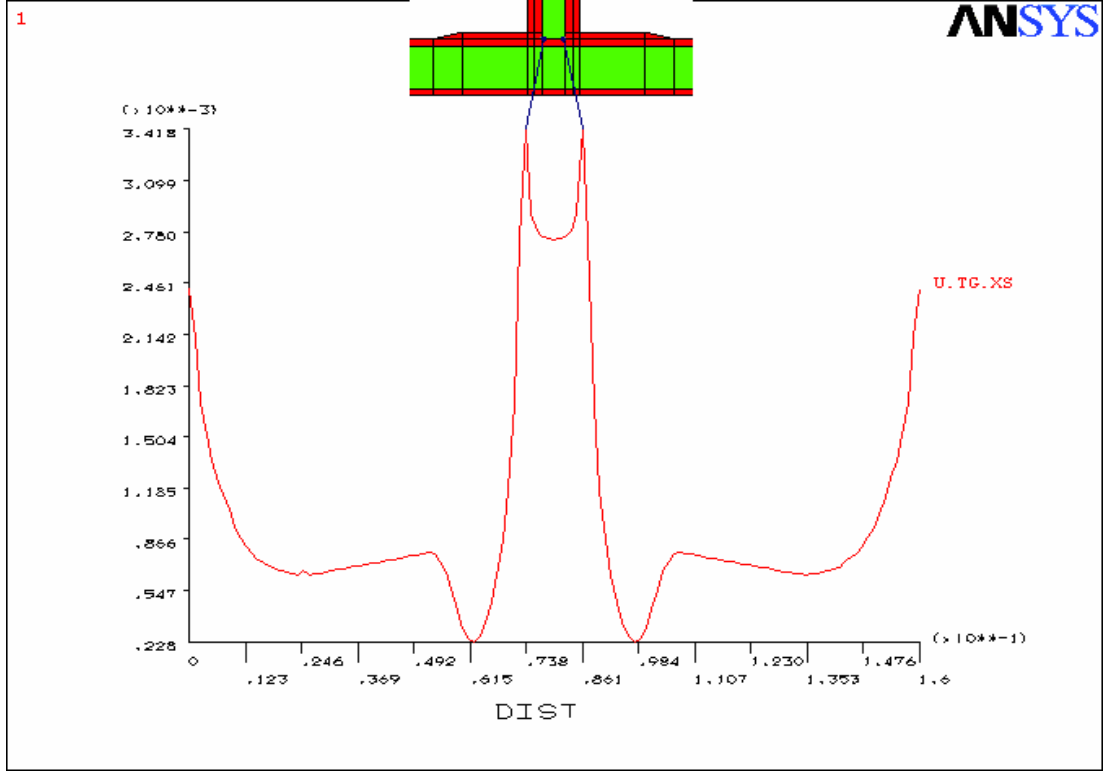
Tablo 4.8 ve Tablo 4.9’da Şekil 4.21’deki gösterilen bölgelerde incelenecek olan gerilmelerin kısaltma indisleri gösterilmektedir. Sonlu elemanlar analizi sonuçlarında bu indisler kullanılacaktır.

Tablo 4.8 Bütün bağlantı tiplerinde incelenen bölgelerde meydana gelen eksenel (X yönündeki) gerinimleri belirten kısaltmalar ve açıklamaları

U.TG.XS	Üstkatmanlama ile tekne gövdesi arasında meydana gelen eksenel (X yönündeki) gerinim
TGUC.XS	Tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında meydana gelen eksenel (X yönündeki) gerinim
TGAC.XS	Tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında meydana gelen eksenel (X yönündeki) gerinim
TGAY.XS	Tekne gövdesi alt yüzeyinde meydana gelen eksenel (X yönündeki)gerinim
USUY.XS	Üstkatmanlama elemanı üst yüzeyinde meydana gelen X yönündeki gerinim
USAY.XS	Üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinde meydana gelen X yönündeki gerinim

Tablo 4.9 Bütün bağlantı tiplerinde incelenen bölgelerde meydana gelen kalınlık yönü (Y yönündeki) gerinimleri belirten kısaltmalar ve açıklamaları

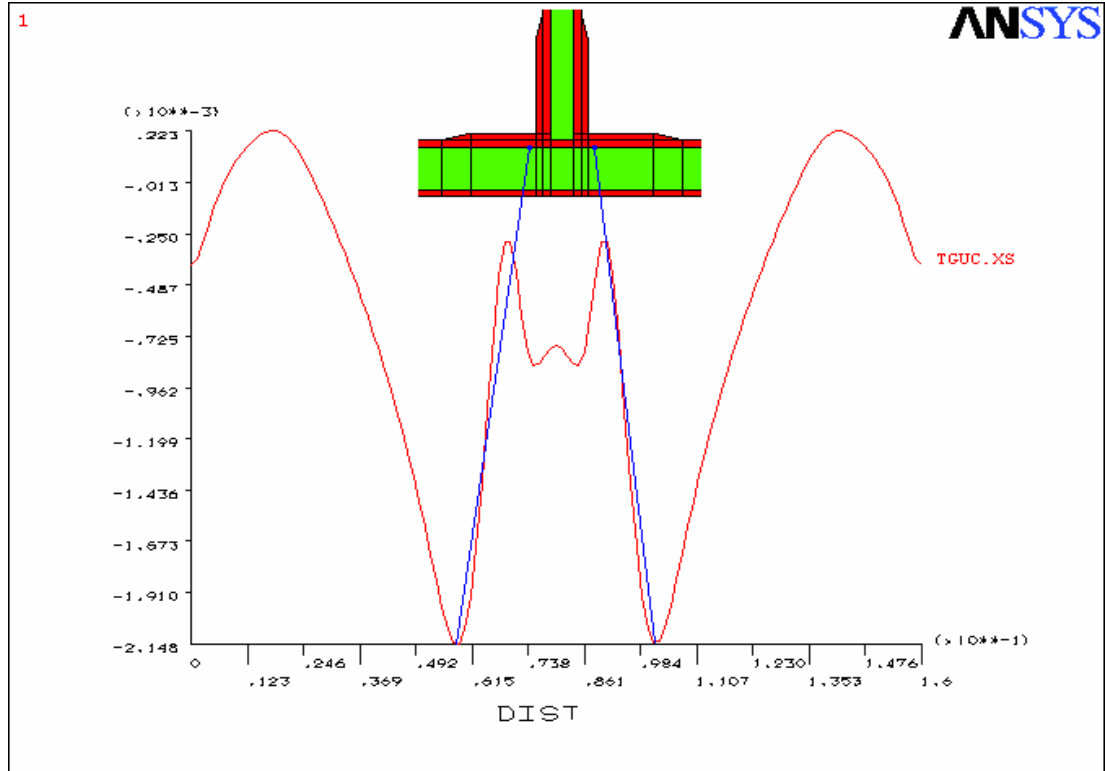
U.TG.YS	Üstkatmanlama ile tekne gövdesi arasında meydana gelen kalınlık yönü (Y yönündeki) gerinim
TGUC.YS	Tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında meydana gelen kalınlık yönü (Y yönündeki) gerinim
TGAC.YS	Tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında meydana gelen kalınlık yönü (Y yönündeki) gerinim
TGAY.YS	Tekne gövdesi alt yüzeyinde meydana gelen kalınlık yönü (Y yönündeki)gerinim
USUY.YS	Üstkatmanlama elemanı üst yüzeyinde meydana gelen Y yönündeki gerinim
USAY.YS	Üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinde meydana gelen Y yönündeki gerinim



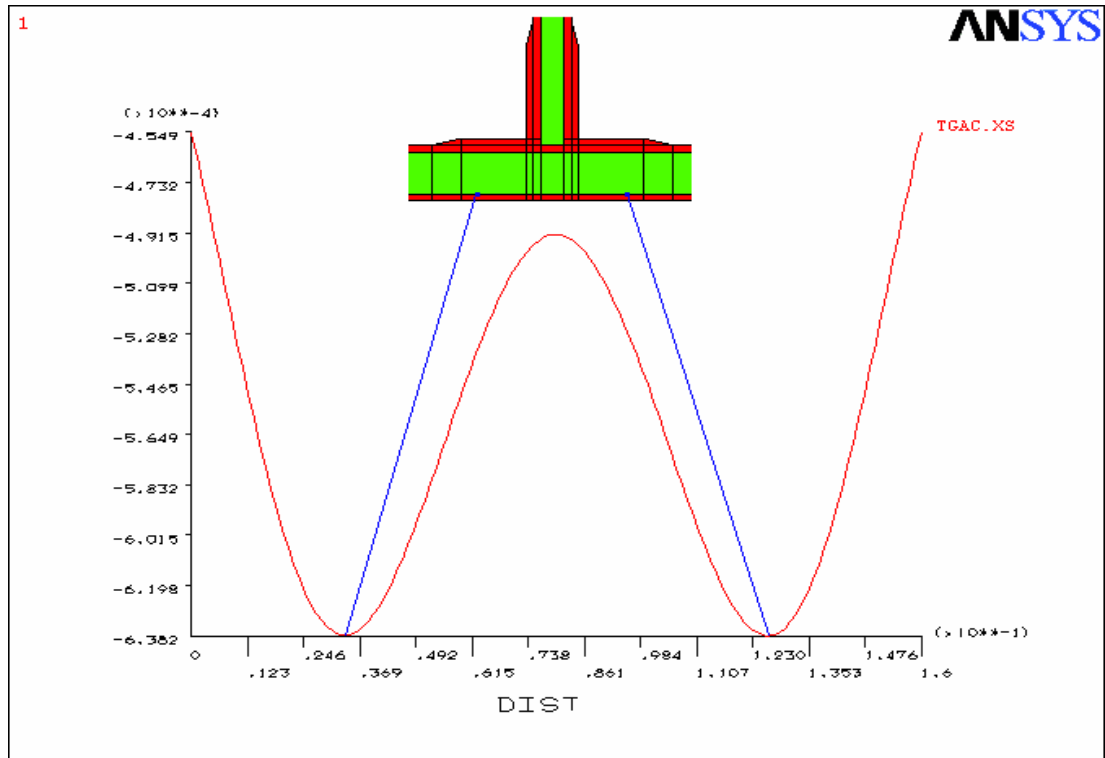
Şekil 4.22 Düz sandviç T bağlantısında üstkatmanlama ile tekne gövdesi arasındaki bağlantı boyunca oluşan aksel (x yönündeki) gerinimler

Üstkatmanlama ile tekne gövdesi arasındaki bağlantı boyunca oluşan aksel yöndeki (X yönündeki) gerinimleri incelediğimiz zaman maksimum aksel gerinim, tekne bölmesinin yüzey-çekirdek sınırının tekne gövdesiyle birleştiği kısımda meydana gelmiştir (Şekil 4.22). Meydana gelen maksimum değerdeki bu gerinim değeri, tekne bölmesi ile tekne gövdesi arasında muhtemel bir hasara neden olabilecek olan gerinim değeridir.

Şekil 4.23'te ise tekne gövdesi üst yüzeyi ile çekirdek arasında meydana gelen aksel gerinimler görülmektedir. Buradaki maksimum aksel gerinim, üstkatmanlama elemanında aksel yönde meydana gelen maksimum gerinim bölgesinin -y eksenine doğrultusundaki hizasında bası gerinimi olarak meydana gelmiştir.

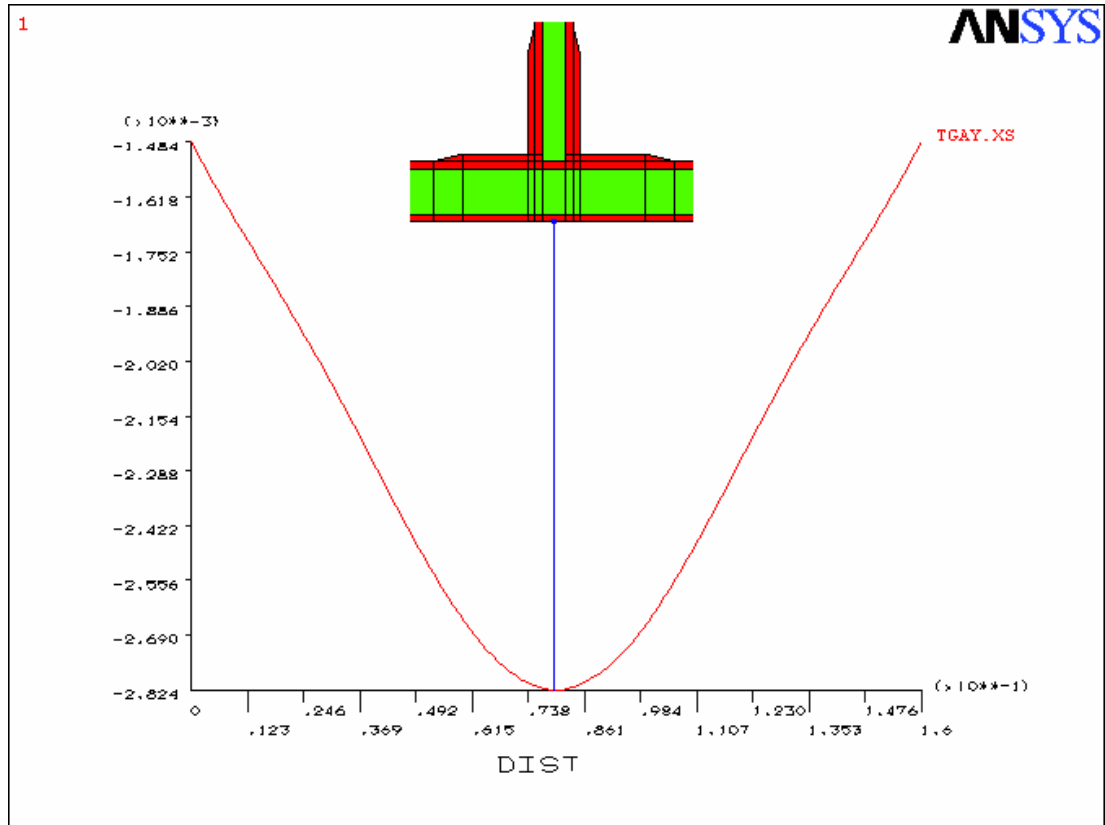


Şekil 4.23 Düz sandviç T bağlantısında tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında oluşan eksenel (x yönündeki) gerinimler



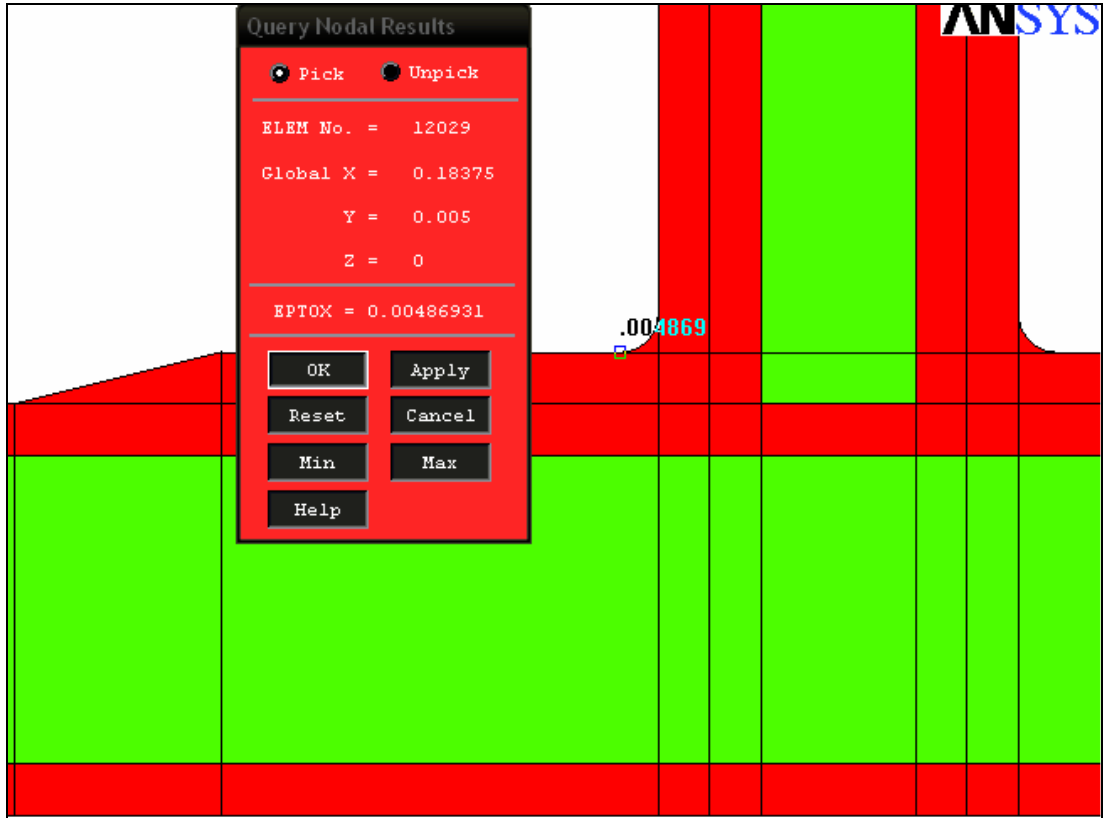
Şekil 4.24 Düz sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında oluşan eksenel (x yönündeki) gerinimler

Tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında meydana gelen eksenel (X yönündeki) gerinim Şekil 4.24'te görülmektedir. Görüldüğü üzere bu sınır bölgesinde meydana gelen bütün gerinimler bası gerinimleri olarak meydana gelmiştir. Ancak bu gerinim değerleri, eksenel gerinimler gözönüne alındığında, diğer bölgelerde oluşan gerinim değerlerinde daha küçük değerlere sahip olmuşlardır.



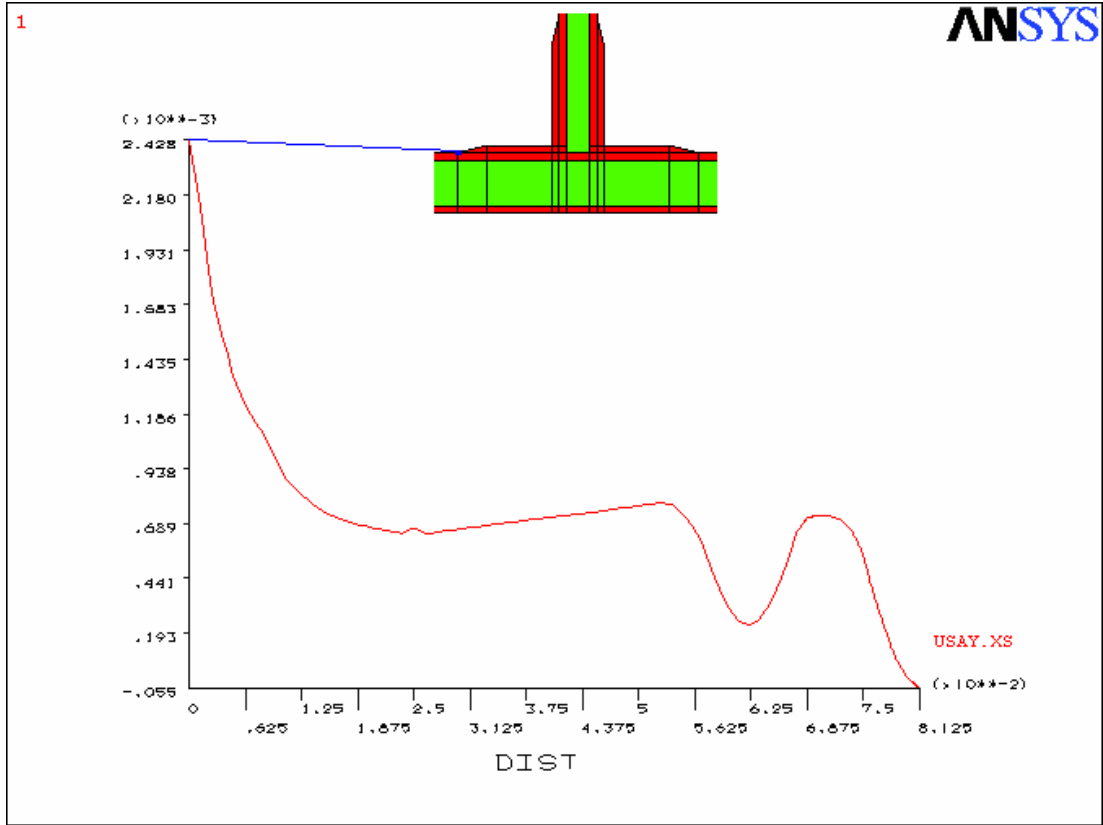
Şekil 4.25 Düz sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzeyinde oluşan eksenel (x yönündeki) gerinimler

Şekil 4.25'e bakıldığında tekne gövdesi alt yüzeyinde meydana gelen gerinimlerin, beklenildiği üzere Şekil 4.24'e benzer şekilde sadece bası gerinimlerinden oluştuğunu görebilmekteyiz. Tekne gövdesinin alt yüzeyinde meydana gelen maksimum eksenel gerinim alt yüzeyin tam orta kısmında meydana gelmiştir. Tekne gövdesi alt yüzeyinde oluşan bu gerinim değeri, tekne gövdesinde hasar oluşturabilecek büyüklükte olsada ilk hasar oluşum bölgesi olarak gözönüne alınabilecek bir büyüklüğe ulaşmamıştır.



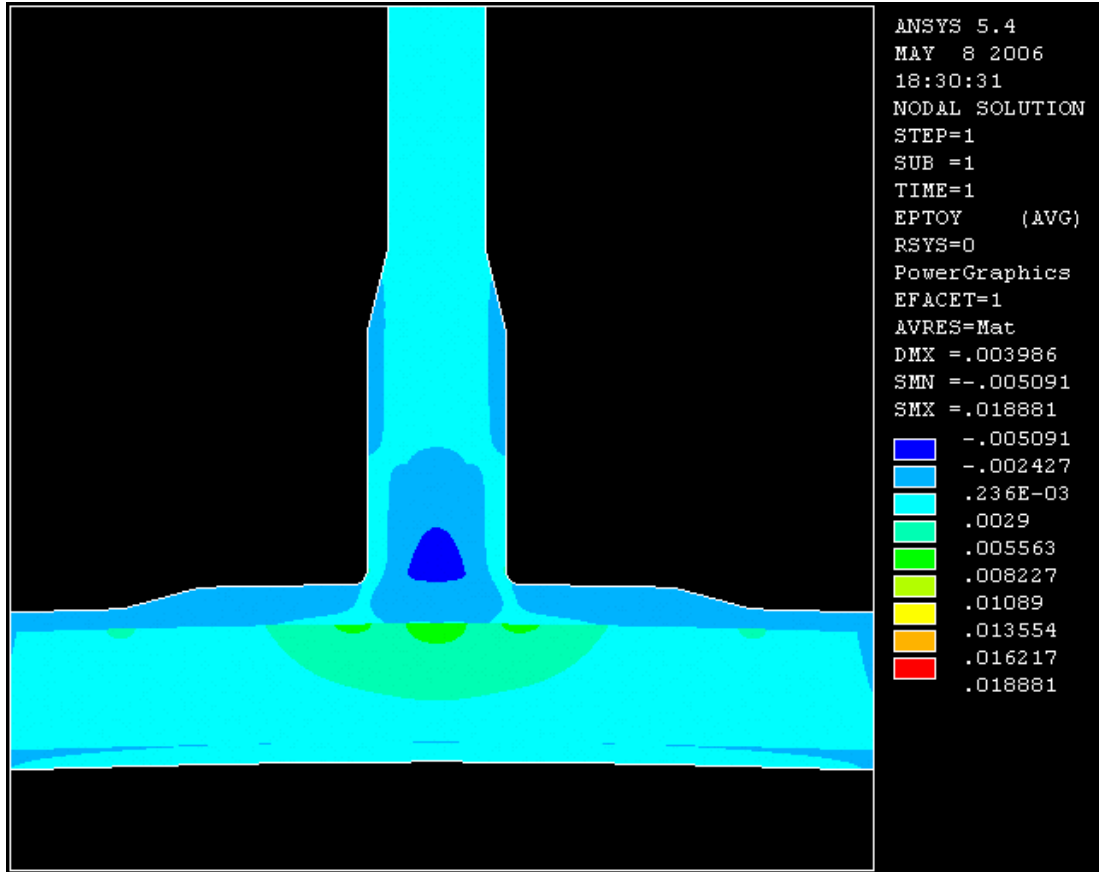
Şekil 4.26 Düz sandviç T bağlantısında üstkatmanlama elemanı üst yüzeyinde oluşan aksenal (X yönündeki) gerinimler

Üstkatmanlama elemanı üst yüzeyinde oluşan maksimum aksenal gerinim, üstkatmanlama elemanın köşesine çok yakın bir noktada meydana gelmiştir (Şekil 4.26). Bu bölgede meydana gelen gerinim değeri, sadece üstkatmanlama elemanı için maksimum değerde değil bütün bir sistem için maksimum gerinim değerinde olmuştur. Bu sebeple üstkatmanlama elemanı ve de tüm bir sistem gözönüne alındığında muhtemel bir hasar oluşum riski en yüksek olan bölge, incelenen bu bölge olmuştur.



Şekil 4.27 Düz sandviç T bağlantısında üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinde oluşan X yönündeki gerinimler

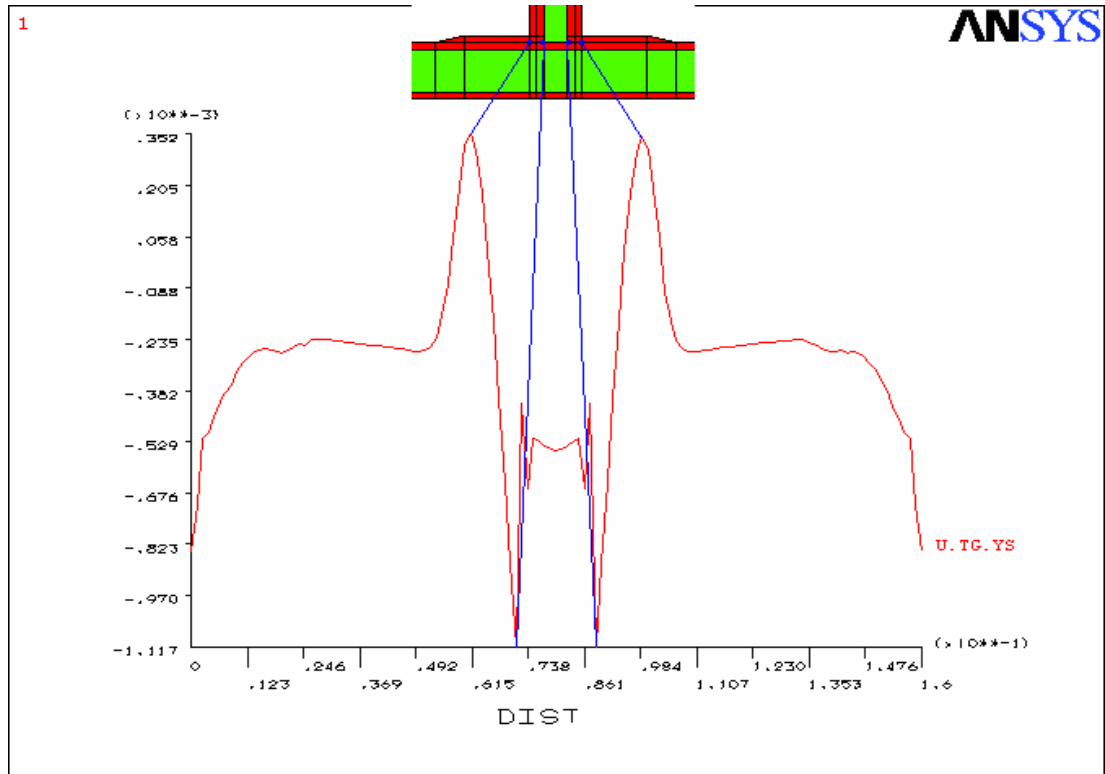
Düz sandviç T bağlantısı üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinde oluşan eksenel gerinim üstkatmanlamanın uç kısımlarında maksimum değerine ulaşmıştır (Şekil 4.27). Bu gerinim değeri bu noktada olası bir hasara sebep olabilecek bir değere sahiptir.



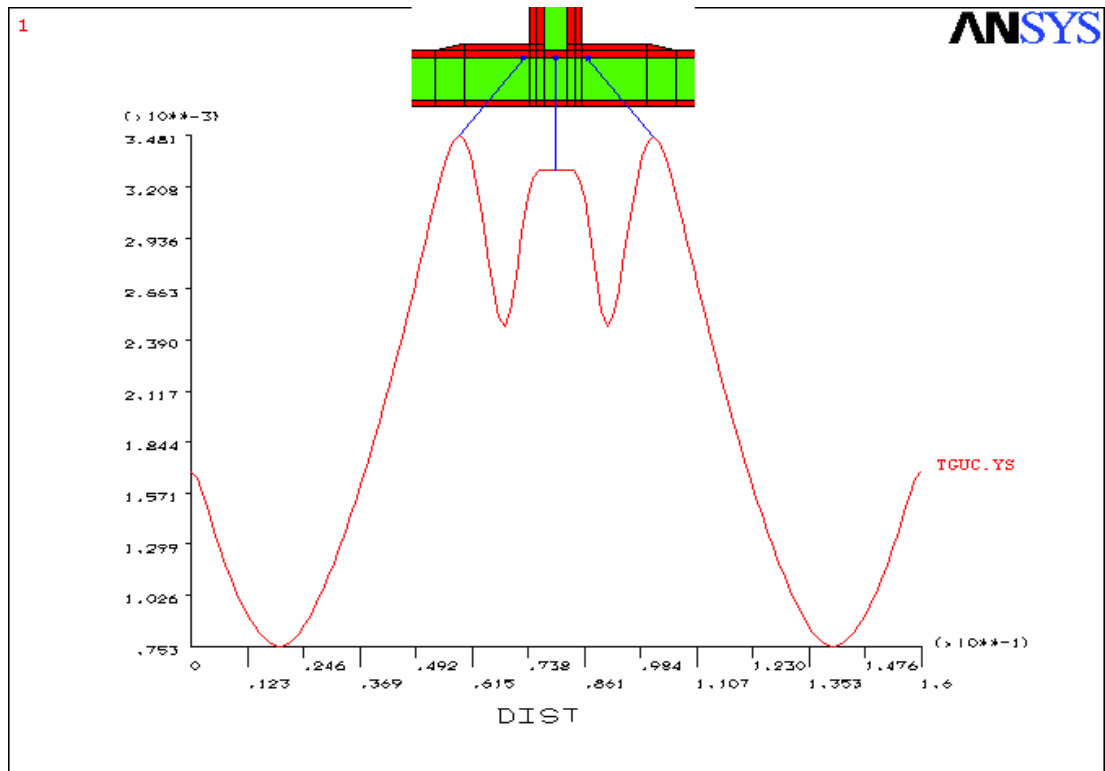
Şekil 4.28 Düz sandviç T bağlantısında y eksen yönündeki gerinim analizi

Şekil 4.28’de görüldüğü gibi sistemde meydana gelen Y yönündeki maksimum gerinimler, üstkatmanlama elemanının üst yüzey köşesinde, bu köşenin x yönündeki hizasında tekne bölmesi çekirdeğinin yüzey ile birleştiği sınırına yakın olduğu bölgede yüzey kısmında ve tekne bölmesi ile tekne gövdesi birleşme bölgesine meydana gelmiştir.

Şekil 4.29’da üstkatmanlama ile tekne gövdesi üst yüzeyi arasındaki yüzeyde kalınlık yönünde (y yönünde) oluşan gerinimler gösterilmektedir. Burada maksimum gerinimler tekne bölmesinin alt kısmında yüzey-çekirdek sınırına yakın olan bölgede ve üstkatmanlama elemanının alt yüzey köşe kısmında meydana gelmiştir. Şekil 4.29’dan dikkat edileceği üzere tekne bölmesinin alt kısmında yüzey-çekirdek sınırına yakın olan bölgede meydana gelen gerinim değeri, burada delaminasyona neden olabilecek gerinim değeri olmuştur.

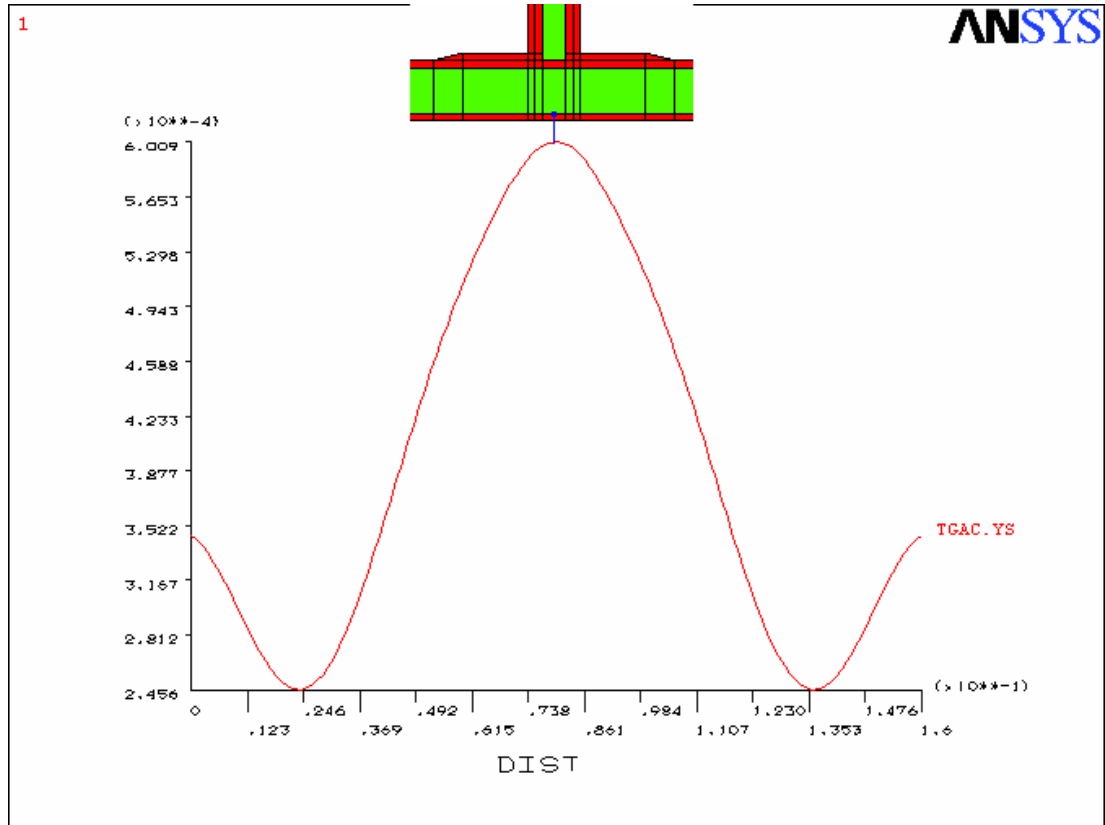


Şekil 4.29 Düz sandviç T bağlantısında üstkatmanlama ile tekne gövdesi üst yüzeyi arasında oluşan y yönündeki gerinimler



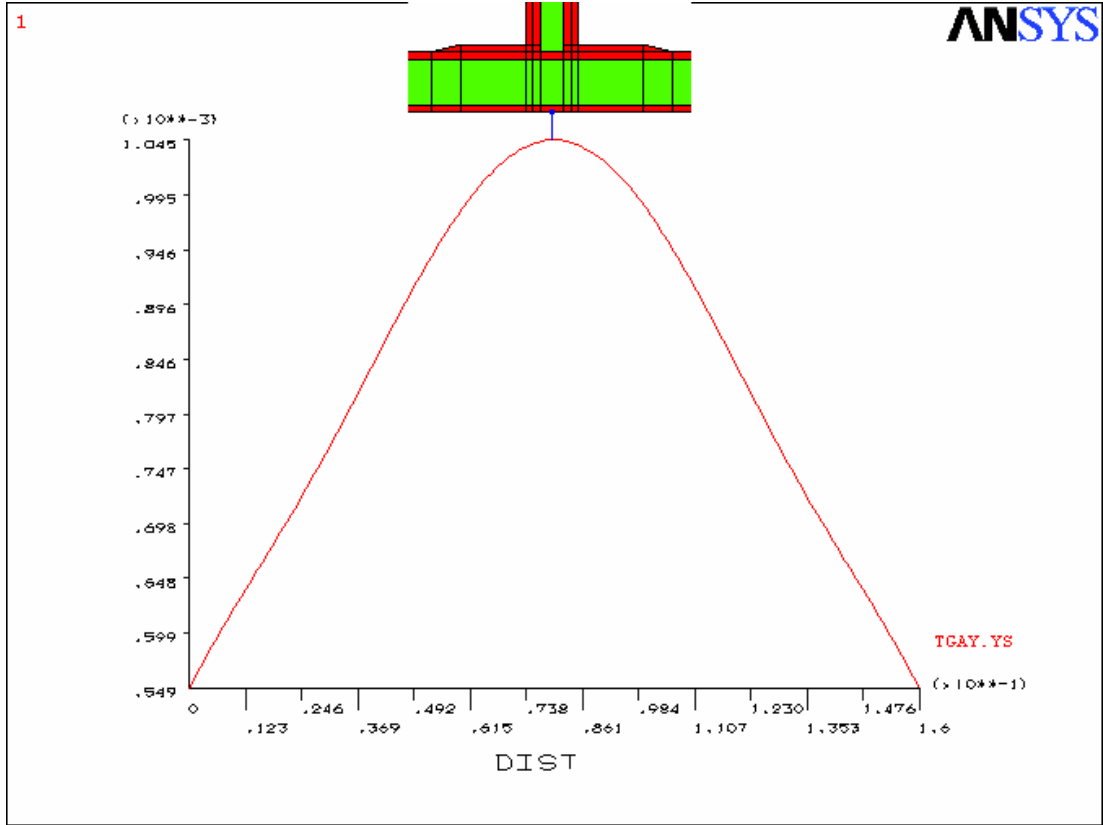
Şekil 4.30 Düz sandviç T bağlantısında tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında oluşan y yönündeki gerinimler

Tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında meydana gelen gerinimlere bakıldığı zaman maksimum gerinimler üstkatmanlama elemanının köşesinden y yönündeki hizasında ve de üst yüzey-çekirdek sınırının tam orta kısmında meydana gelmiştir (Şekil 4.30). Oluşan bu gerinim değerleri sistemde muhtemel bir delaminasyon olayına sebep olabilecek büyüklükte gerinim değerleri olmuştur.



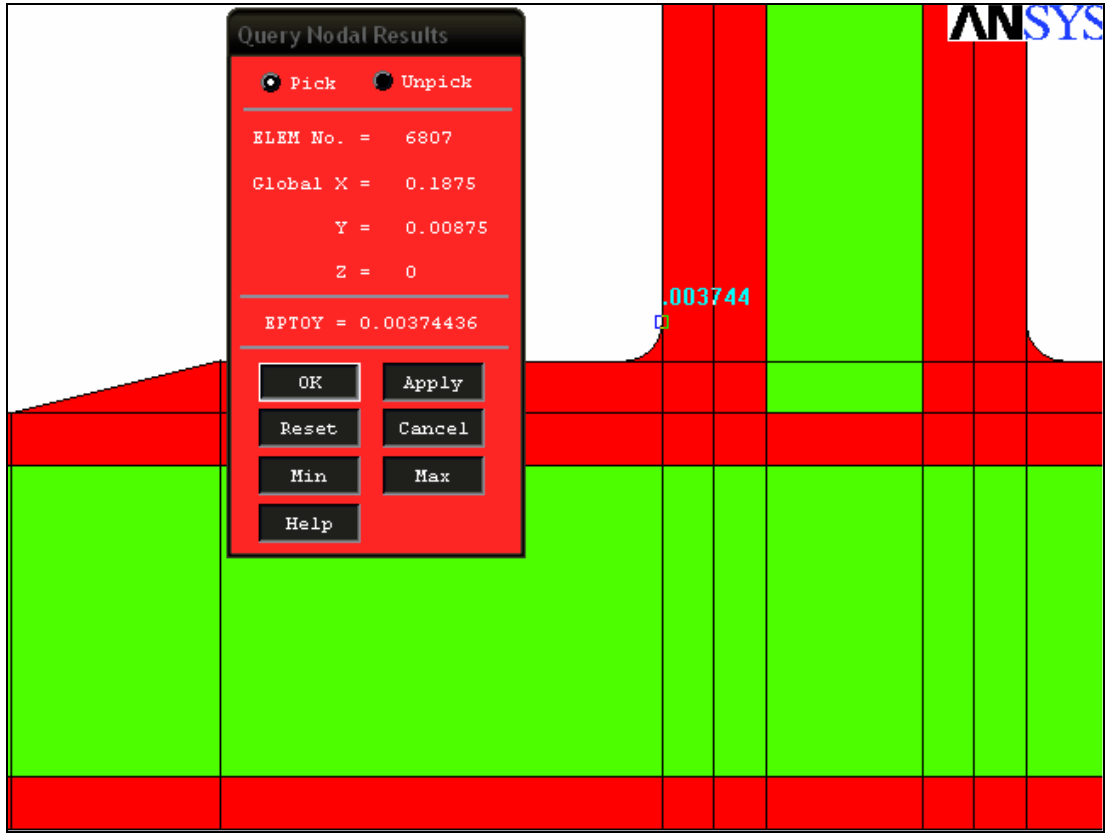
Şekil 4.31 Düz sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında oluşan y yönündeki gerinimler

Şekil 4.31’de tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında meydana gelen kalınlık yönündeki gerinimler gösterilmektedir. Buna göre maksimum gerinim, tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında orta kısımda meydana gelmiştir. Ancak dikkat edileceği üzere bu noktada meydana gelen maksimum gerinim değeri delaminasyon olayına neden olabilecek büyüklükte bir gerinim değerine sahip değildir.



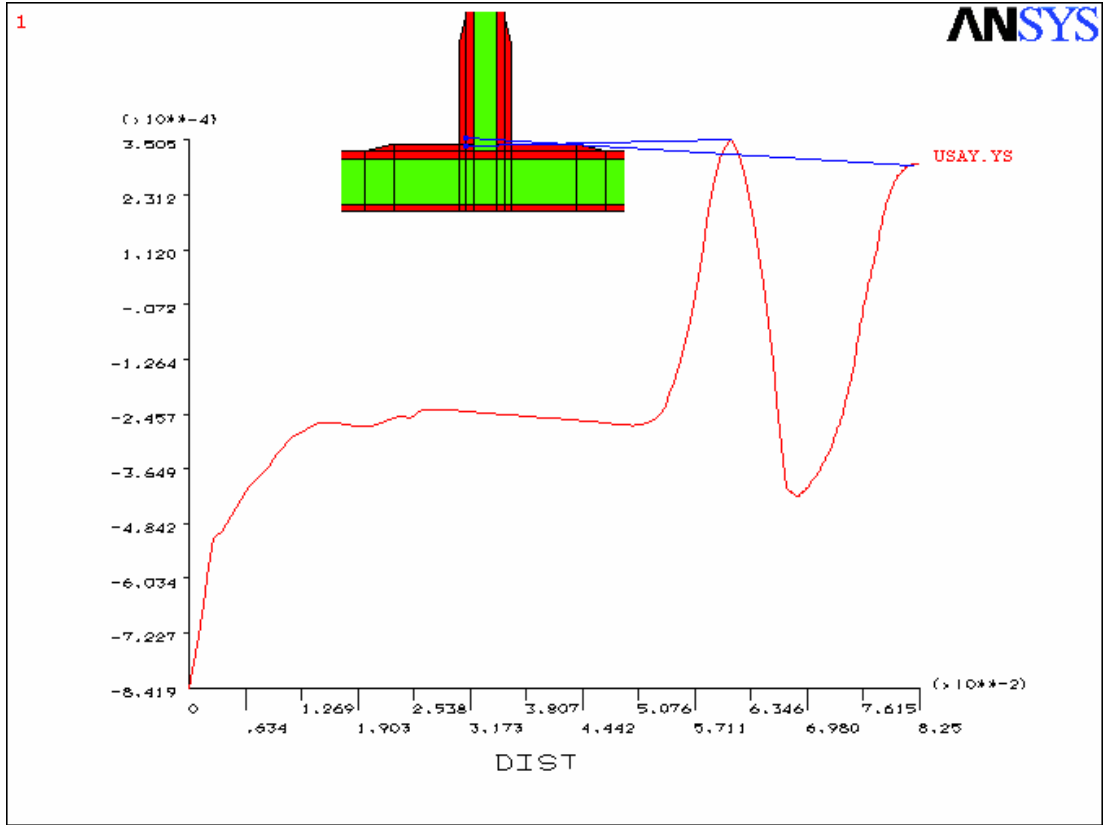
Şekil 4.32 Düz sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzeyde oluşan y yönündeki gerinimler

Tekne gövdesi alt yüzeyde meydana gelen maksimum gerinim, tekne gövdesi alt yüzeyinin tam orta kısmında meydana gelmiştir (Şekil 4.32). Bu bölgede meydana gelen y yönündeki gerinim değeri, bağlantıda oluşan diğer y yönündeki gerinimlerle karşılaştırıldığında düşük bir değere sahip olmuştur. Dolayısıyla bütün bir sistem gözönüne alındığında muhtemel bir hasar riskinin en düşük olduğu bölgelerden biri bu incelenen bölge olmuştur.



Şekil 4.33 Düz sandviç T bağlantısında üstkatmanlama elemanında oluşan y yönündeki gerinimler

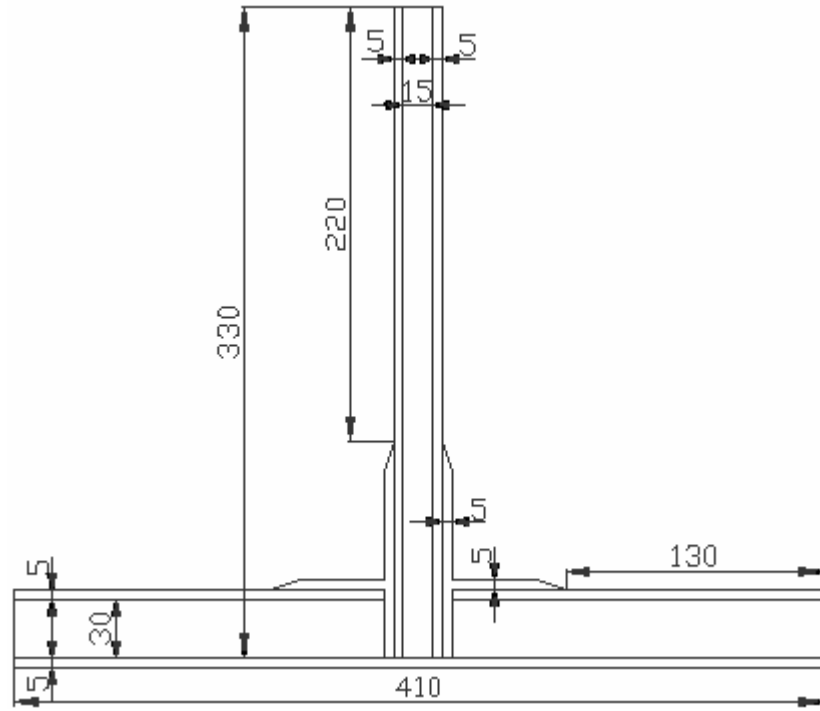
Düz sandviç T bağlantısında bütün bir sistem gözönüne alındığında sistemde maksimum y yönündeki gerinim üstkatmanlama elemanının üst yüzeyinin köşe kısmında meydana gelmiştir. Şekil 4.20- 4.26’da belirtildiği gibi maksimum eksenel (x yönündeki) gerinim de maksimum değerine bu bölgede ulaşmıştı. Yani düz sandviç T bağlantısında üstkatmanlama elemanının köşe kısmında statik bir yük altında çatlak oluşumunun başlaması ve olayın kırılmayla sonuçlanması çok büyük bir olasılık taşımaktadır.



Şekil 4.34 Düz sandviç T bağlantısında üstkatmanlama alt yüzeyinde oluşan y yönündeki gerinimler

Şekil 4.34’te görüldüğü gibi üstkatmanlama elemanının alt yüzeyinde y yönünde meydana gelen maksimum gerinimler elemanın köşe kısmında meydana gelmiştir.

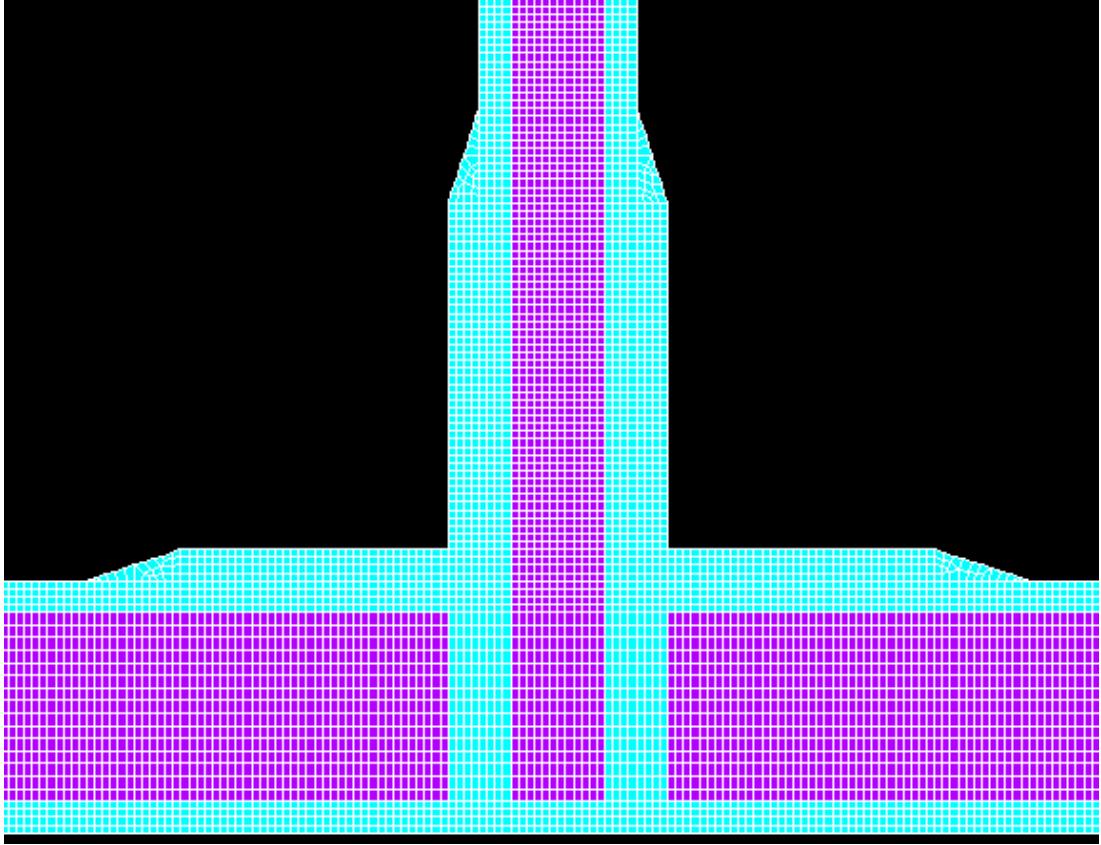
4.3.2 İçiçe Geçmeli Sandviç T Bağlantısı



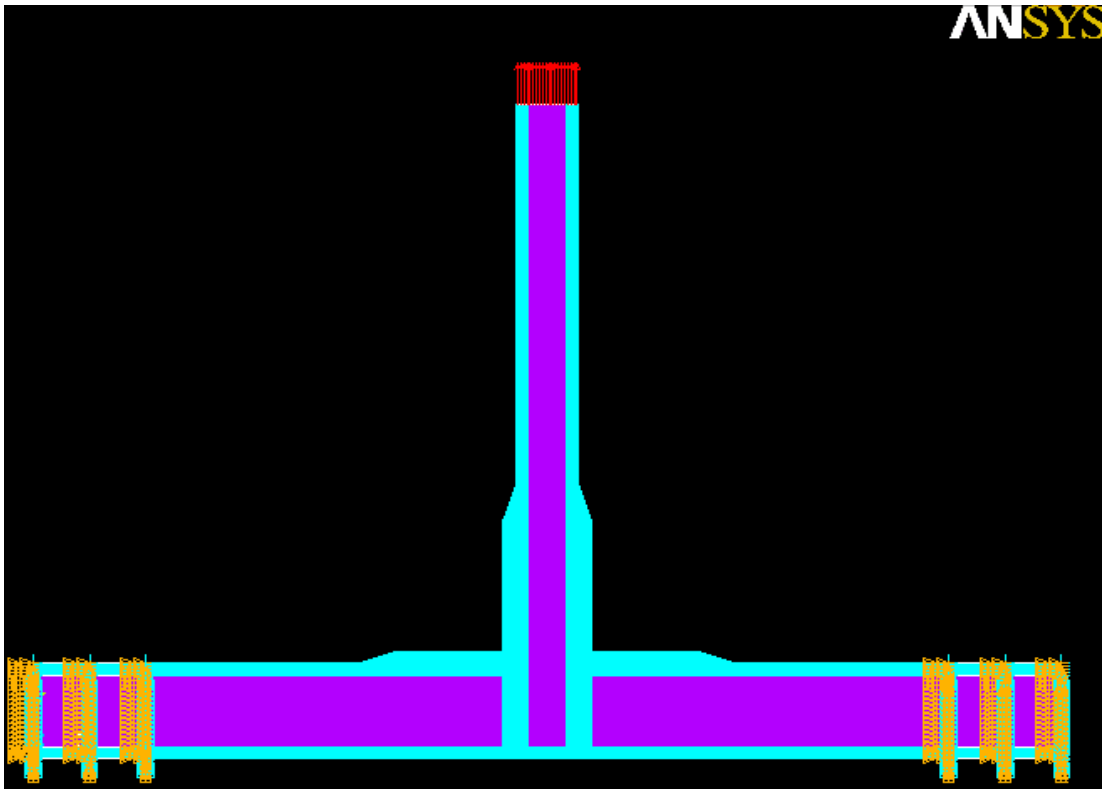
Şekil 4.35 İçiçe geçmeli sandviç T bağlantısı uzunluk ölçüleri

Şekil 3.1'deki oran değerleri esas alınarak hazırlanan sonlu elemanlar modeline ait boyutlar Şekil 4.35' te gösterilmiştir. Burada dikkat edilecek bir husus tekne, bölmesinin incelenen diğer bağlantı tiplerinden farklı olarak tekne gövdesi üst yüzeyine değil tekne gövdesinin alt yüzey-çekirdek sınırına kadar bir boşluk açılıp bu boşluğa oturtulmasıdır.

İçiçe geçmeli sandviç T bağlantısının sonlu elemanlara bölünmesi Şekil 4.36'da gösterilmektedir.

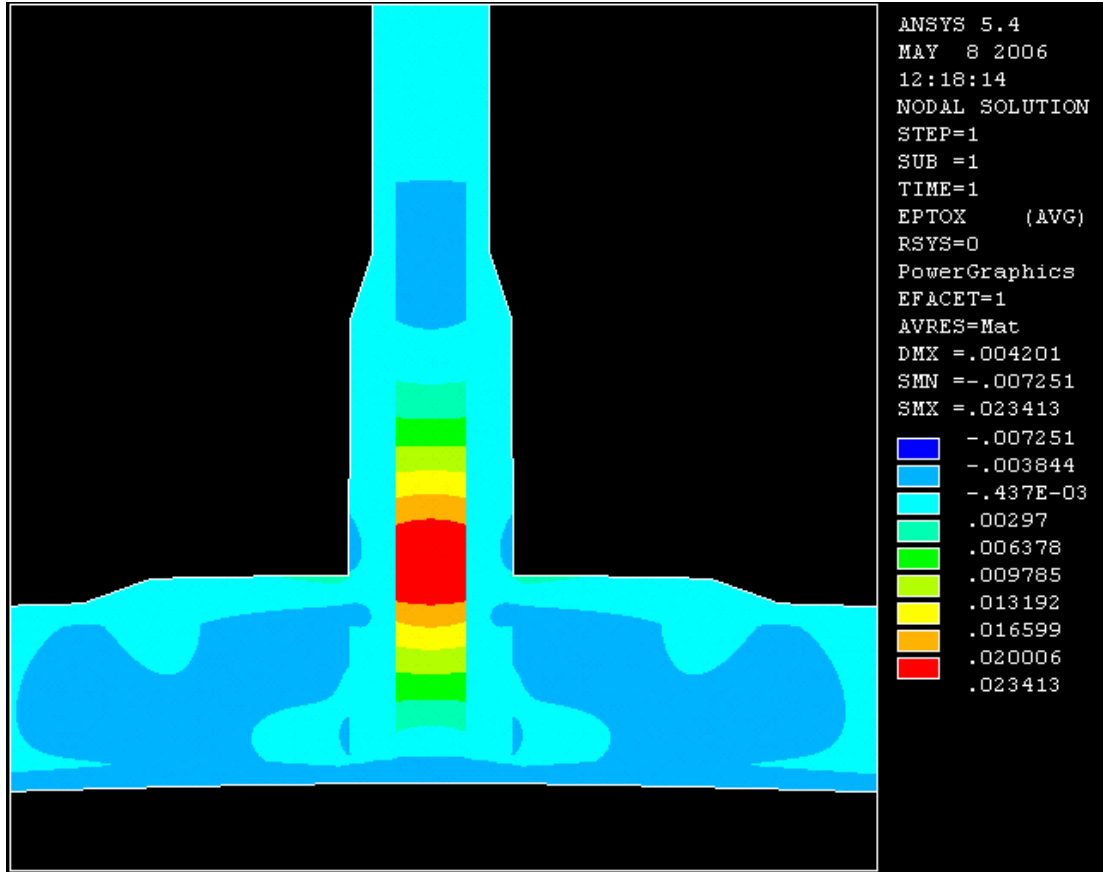


Şekil 4.36 İççe geçmeli sandviç T bağlantısını sonlu elemanlara bölme



Şekil 4.37 İççe geçmeli sandviç T bağlantısında mesnetleme ve yükleme durumu

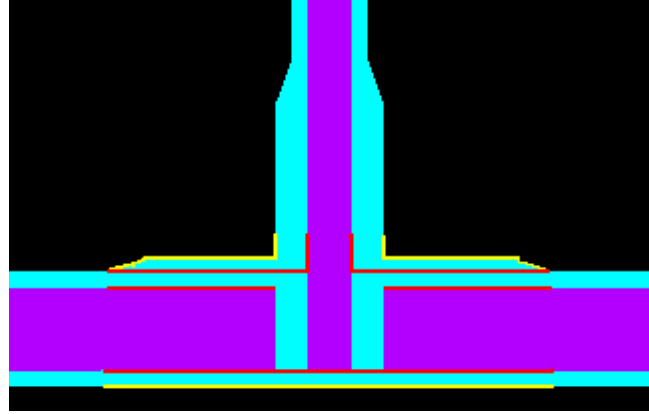
Şekil 4.37’de görüldüğü üzere bu bağlantı tipinde ve de diğer bağlantı tiplerinde tekne gövdesinin iki ucundan 45 mm iç tarafa doğru modelin sadece x yönündeki hareketine izin verilecek şekilde mesnetleme yapılmıştır. Yüklemede ise 2.0 kN’luk bir kuvvet y doğrultusunda tekne gövdesinin en üst kenarına düzgün bir şekilde dağıtılarak başka bir deyişle basınç şeklinde uygulanmıştır.



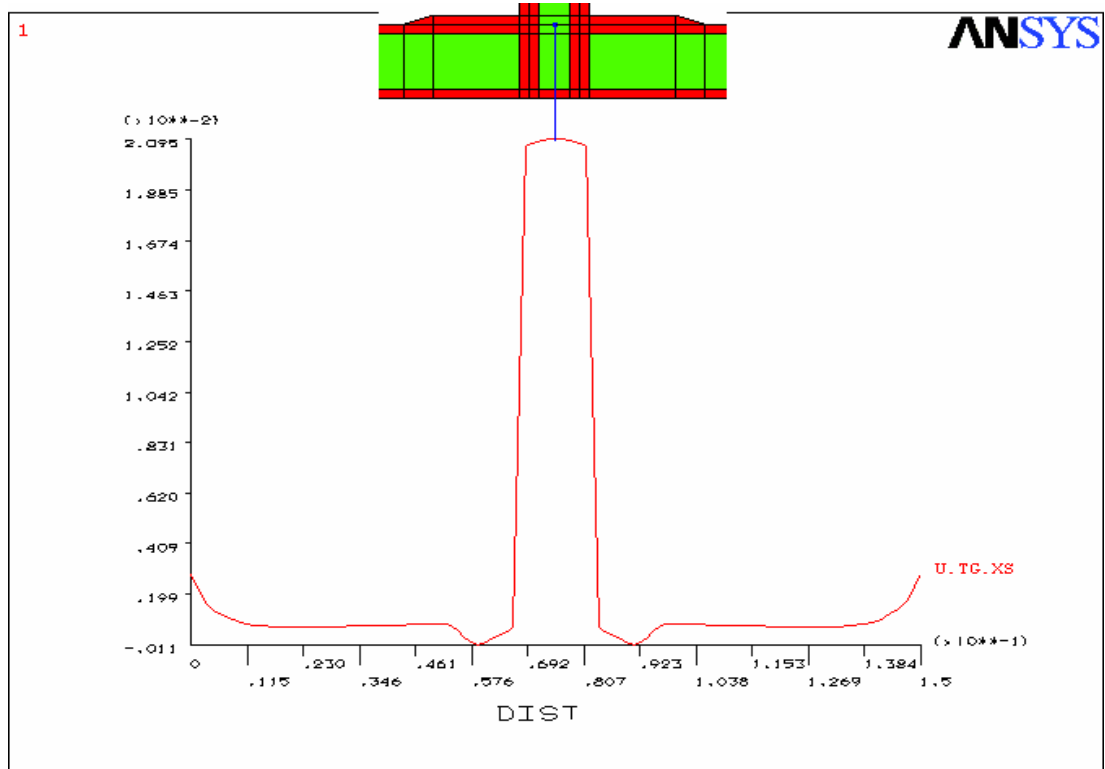
Şekil 4.38 İççe geçmeli sandviç T bağlantısında oluşan aksel (X yönündeki) gerinim analizi

Şekil 4.38’de görüldüğü üzere bağlantıdaki maksimum aksel gerinim üstkatmanlamanın köşe kısmında ve üstkatmanlama elemanı üst yüzey köşe kısmının x doğrultusundaki hizasında tekne bölmesi çekirdeğinde ve çekirdek yüzey sınırında meydana gelmiştir. Böylece hem yukarıdaki analiz sonucuna hem de daha önce yapılan analiz çalışmalarına göre incelenecek nokta ve bölgeler tayin edilmiştir. Buna göre sandviç sistemlerden oluşan bir yapıda yüzey ile çekirdek arasında delaminasyon olayı bütün bir yapının hasara uğramasına sebep olabilmektedir. Bu çalışma kapsamında incelenen T bağlantısında delaminasyona uğrayabilecek bölgeler

Şekil 4.39’da gösterilmektedir. Bu bölgeler; üstkatmanlama- tekne yüzeyi sınırı, tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırı ve de tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırıdır(kırmızı çizgiler). Muhtemel bir çatlağa maruz kalabilecek bölgeler olarakta maksimum gerinimlerin oluştuğu bölgeler olarakta tekne gövdesinin alt yüzeyi ile üstkatmanlama elemanı belirlenmiştir (sarı çizgiler).

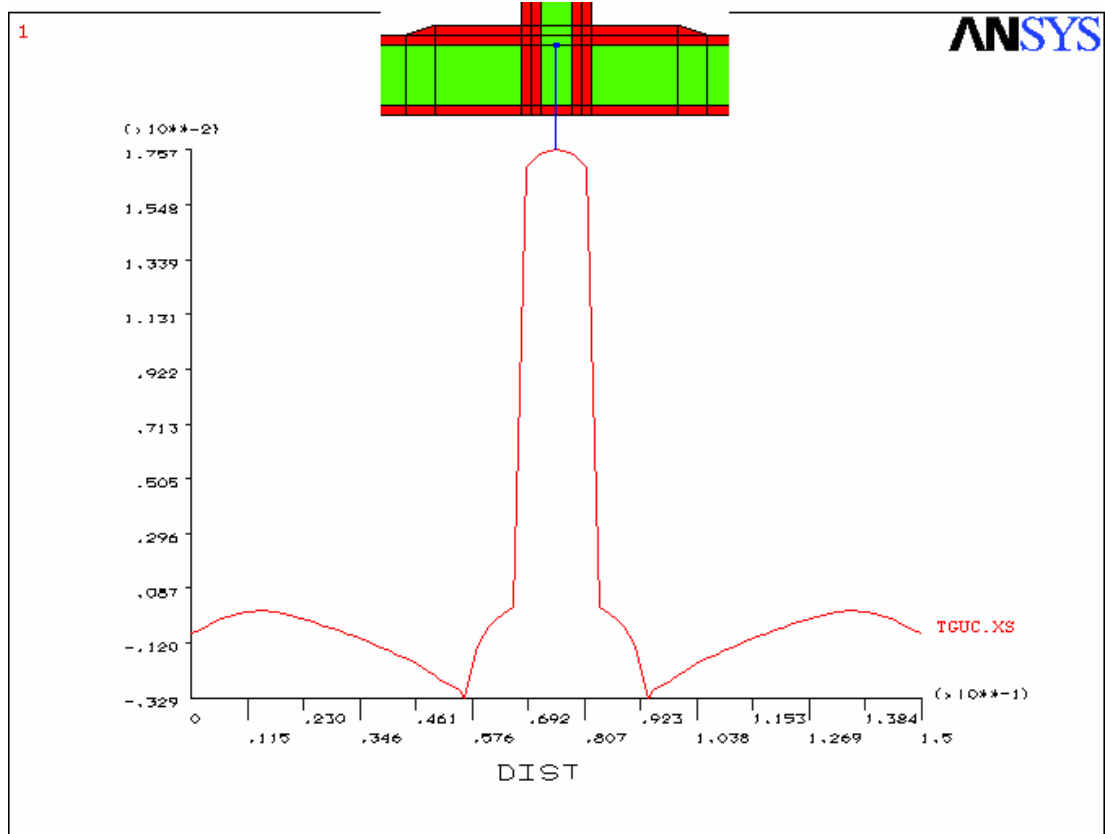


Şekil 4.39 İççe geçmeli sandviç T bağlantısında muhtemel delaminasyon ve maksimum gerinim oluşum bölgeleri



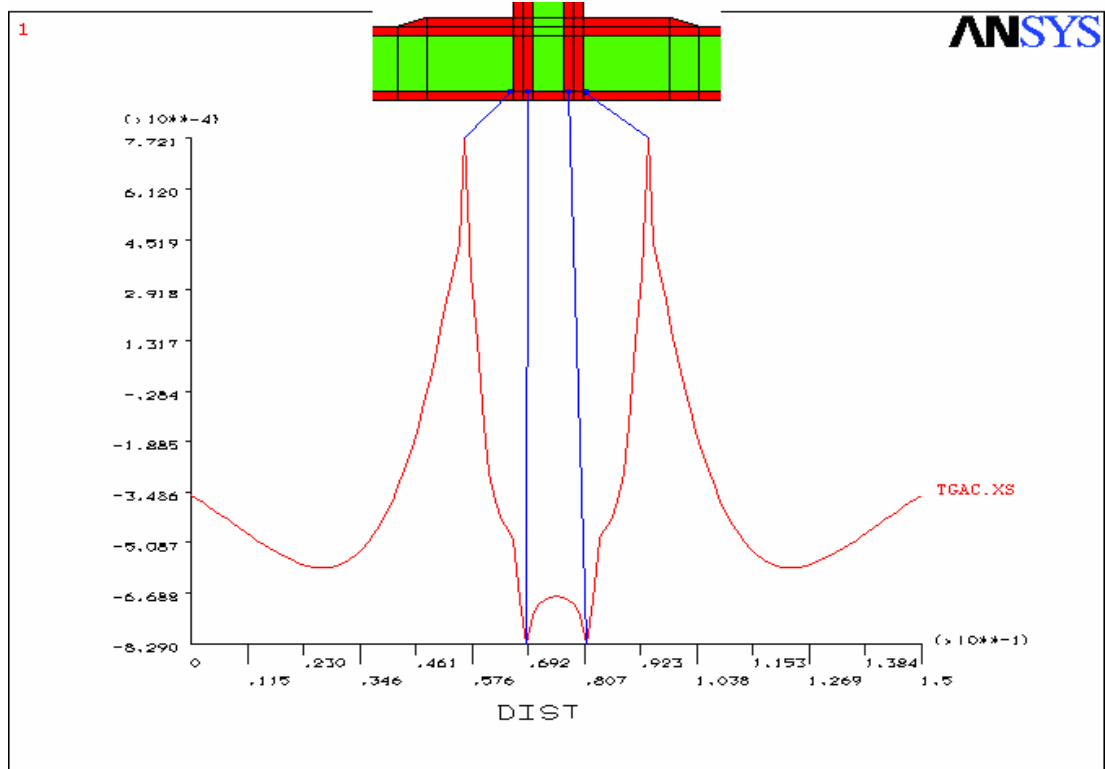
Şekil 4.40 İççe geçmeli sandviç T bağlantısında üstkatmanlama ile tekne gövdesi arasındaki bağlantı boyunca oluşan aksel (x yönündeki) gerinim dağılımı

İçiçe geçmeli sandviç T bağlantısında üstkatmanlama ile tekne gövdesi arasındaki bağlantı boyunca oluşan aksinel(x yönündeki) gerinim incelenen sınırın tam orta kısmında meydana gelmiştir (Şekil 4.40). Bu gerinim değeri hasar oluşumu için yüksek bir değerdir.

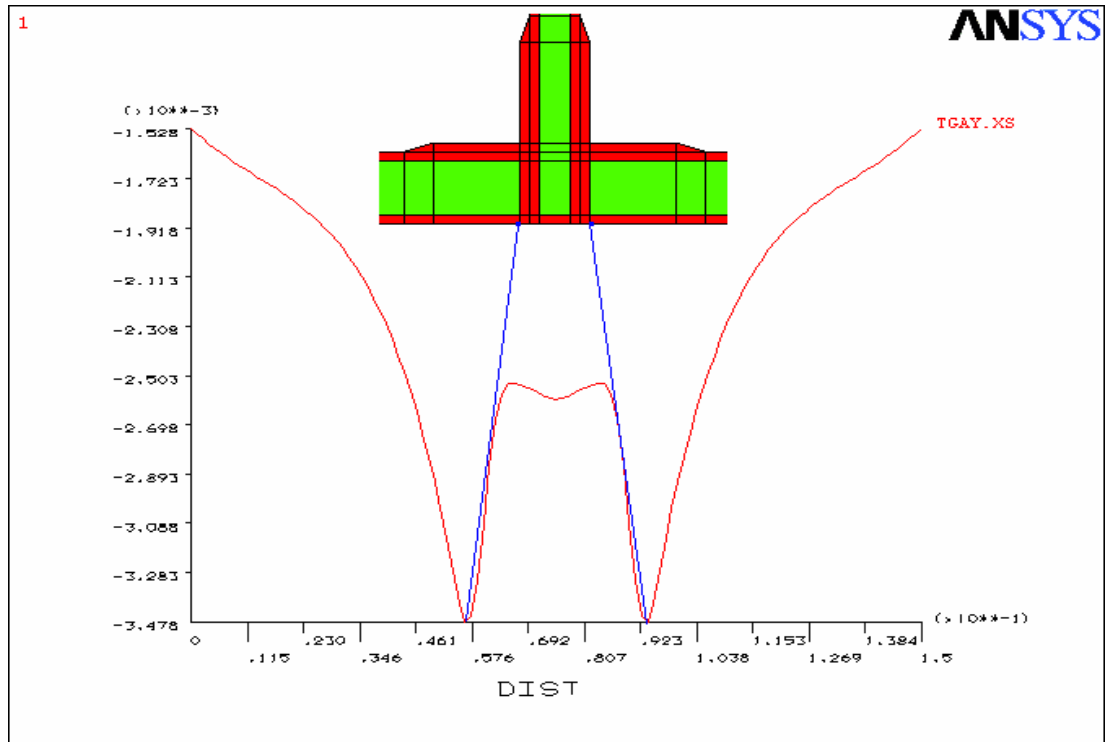


Şekil 4.41 İçiçe geçmeli sandviç T bağlantısında tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında oluşan aksinel (x yönündeki) gerinim dağılımı

Şekil 4.41’de görüldüğü gibi tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında maksimum gerinim Şekil 4.40’ benzer şekilde tam orta kısımda meydana gelmiştir. İncelenen her iki bölgede meydana gelen gerinim değerleri oldukça yüksek değerler olmuştur. Dolayısıyla bu bölgeler, muhtemel bir hasar riskini en fazla taşıyan bölgeler olmuşlardır.



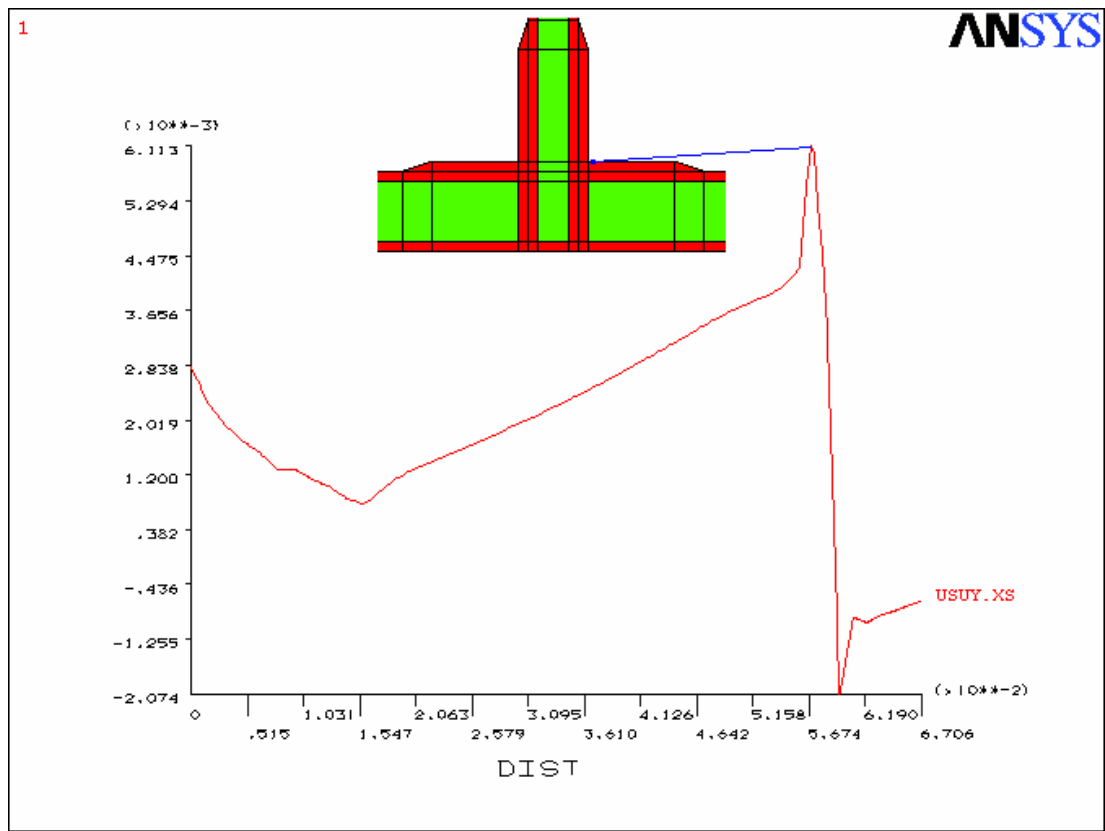
Şekil 4.42 İççe geçmeli sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında oluşan aksenal (x yönündeki) gerinim dağılımı



Şekil 4.43 İççe geçmeli sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzeyinde oluşan aksenal (x yönündeki) gerinim dağılımı

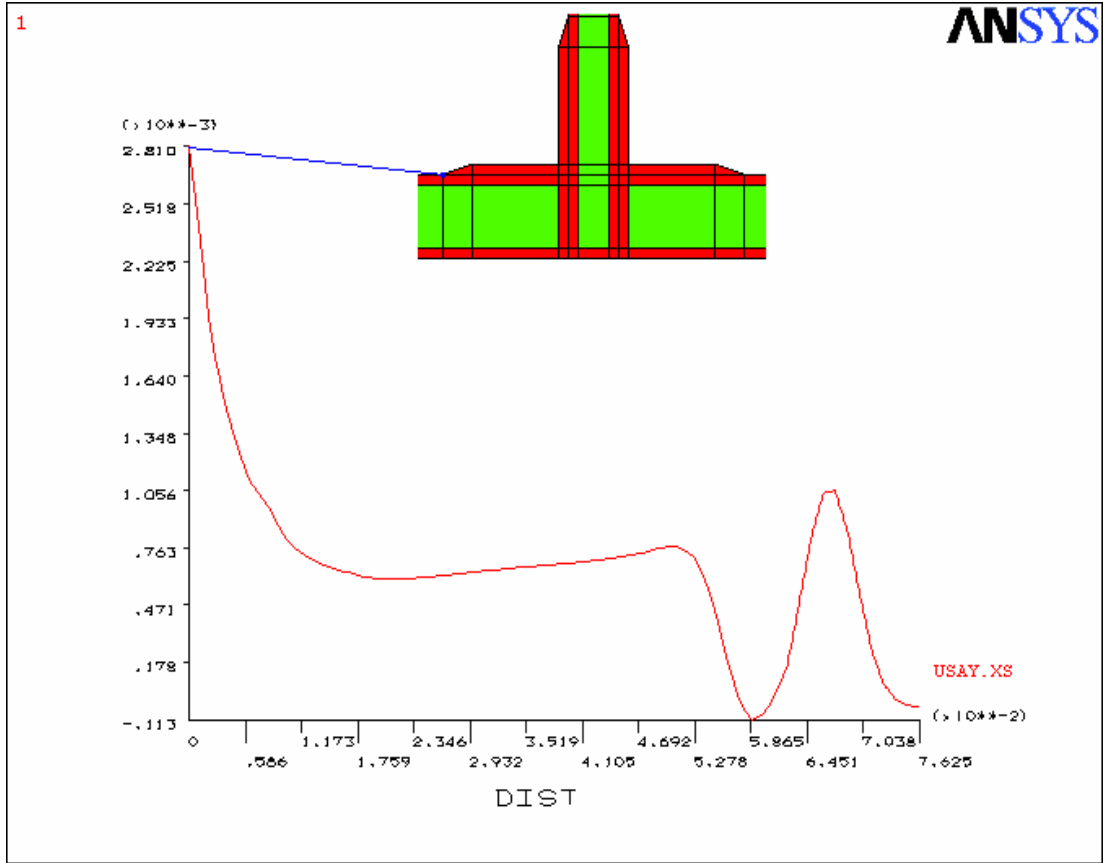
Şekil 4.42’de görüldüğü gibi tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında maksimum gerinimler, çekirdek ve yüzey elemanlarının birleştiği bölgelerde meydana gelmiştir. Bu bölgede meydana gelen gerinim değerleri oldukça düşük değerlere sahip olmuştur.

Tekne gövdesi alt yüzeyinde maksimum gerinim, üstkatmanlama elemanında aksenal gerinimin maksimum değerinde olduğu köşe kısmının –y doğrultusundaki hizasında meydana gelmiştir (Şekil 4.43).



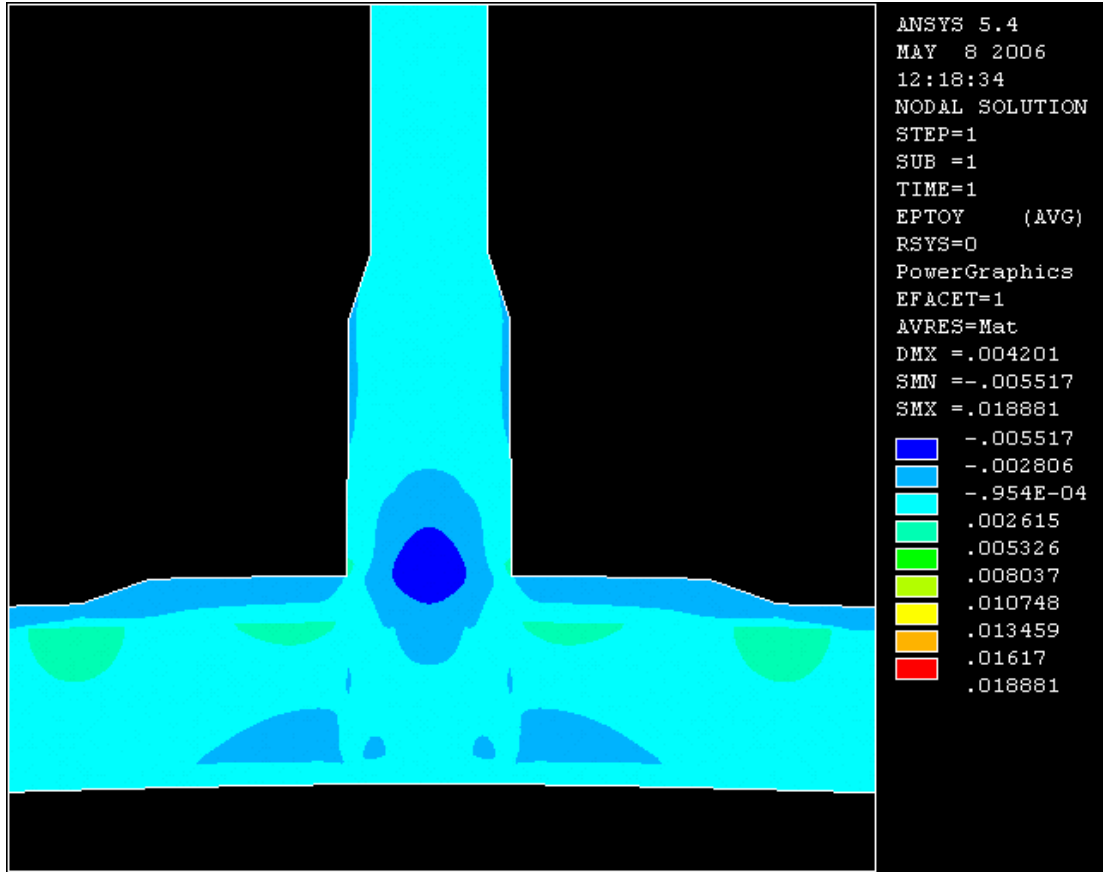
Şekil 4.44 İççe geçmeli sandviç T bağlantısında üstkatmanlama elemanı üst yüzeyinde oluşan x yönündeki gerinim dağılımı

Üstkatmanlama elemanı üst yüzeyinde maksimum gerinim üst yüzeyin köşe kısmında meydana gelmiştir (Şekil 4.44).



Şekil 4.45 İçiçe geçmeli sandviç T bağlantısı üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinde oluşan x yönündeki gerinim dağılımı

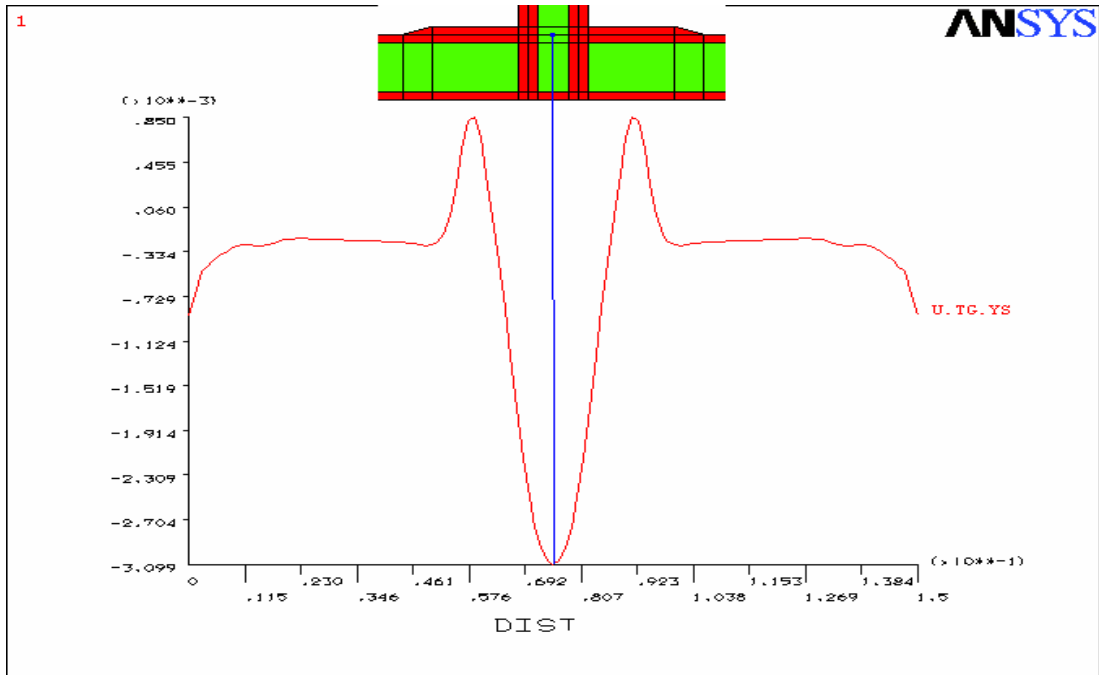
Şekil 4.45'te görüldüğü gibi üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinde maksimum gerinim değeri üstkatmanlamanın uç kısımlarında meydana gelmiştir. Ancak üstkatmanlama elemanında meydana gelen x yönündeki gerinimler gözönüne alındığında bu değer üstkatmanlamanın üst yüzeyinde oluşan gerinim değerinden daha düşük değere sahip olmuştur.



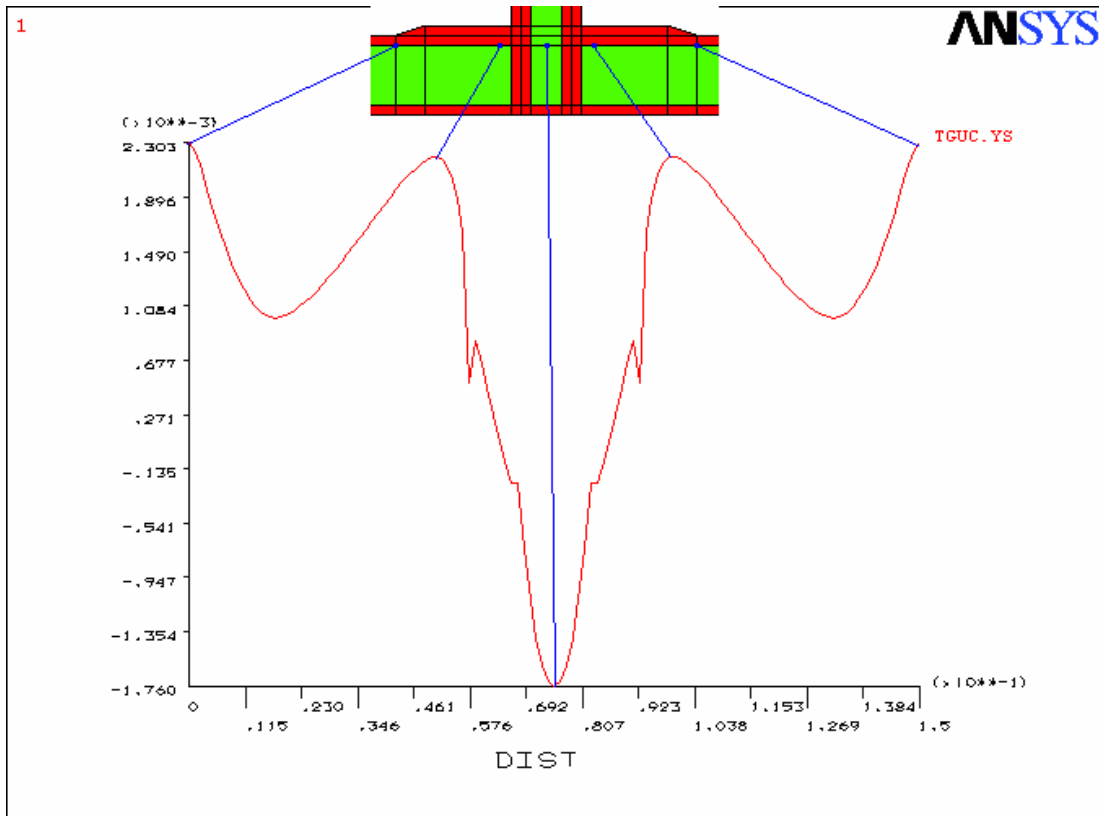
Şekil 4.46 İççe geçmeli sandviç T bağlantısında oluşan y eksenli yönündeki gerinim dağılımı

Bu bağlantı tipinde oluşan y eksenli yönündeki gerinim dağılımı Şekil 4.46’da gösterilmektedir.

İncelenen bölgelerde meydana gelen y eksenli yönündeki gerinim değerleri, bu bölgelerde meydana gelen aksenal gerinim değerlerinden daha küçük değerlere sahip olmalarına rağmen bu bölgeler y eksenli yönünde meydana gelen gerinimlerden dolayı daha küçük gerinim değerlerinde delaminasyon olayına dolayısıyla sistemin hasara uğramasına sebep olabilmektedir. Bu sebeple y eksenli yönündeki gerinimler daha küçük değere sahip olmalarına rağmen incelenmeleri gereken gerinim değerleridir.



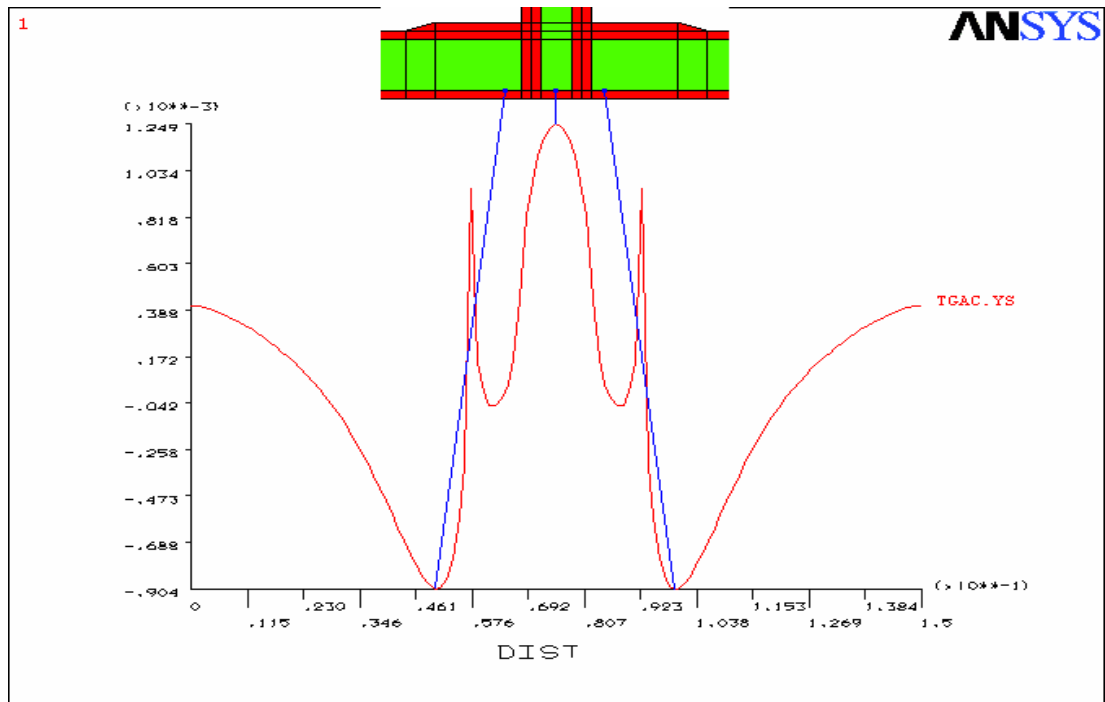
Şekil 4.47 İççe geçmeli sandviç T bağlantısında üstkatmanlama ile tekne gövdesi arasında oluşan kalınlık yönü (y yönündeki) gerinim dağılımı



Şekil 4.48 İççe geçmeli sandviç T bağlantısında tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında oluşan kalınlık yönü (y yönündeki) gerinim dağılımı

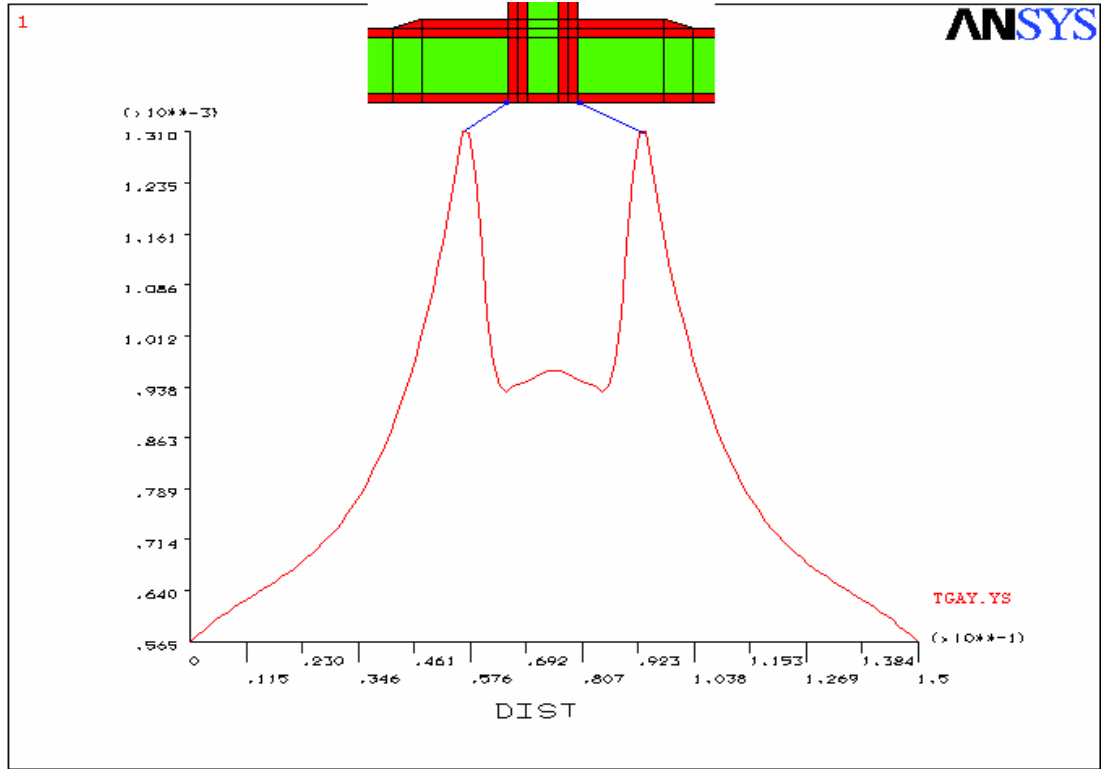
Şekil 4.47’de üstkatmanlama ile tekne gövdesi arasında meydana gelen kalınlık yönündeki gerinimler görülmektedir. Burada oluşan maksimum kalınlık boyu gerinim, maksimum eksenel gerinimin olduğu bölgede meydana gelmiştir.

Tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında meydana gelen kalınlık yönündeki gerinimler, sınırın uç ve orta kısmı ile üstkatmanlama elemanı köşe kısmının -y doğrultusundaki hizasında meydana gelmiştir (Şekil 4.48).

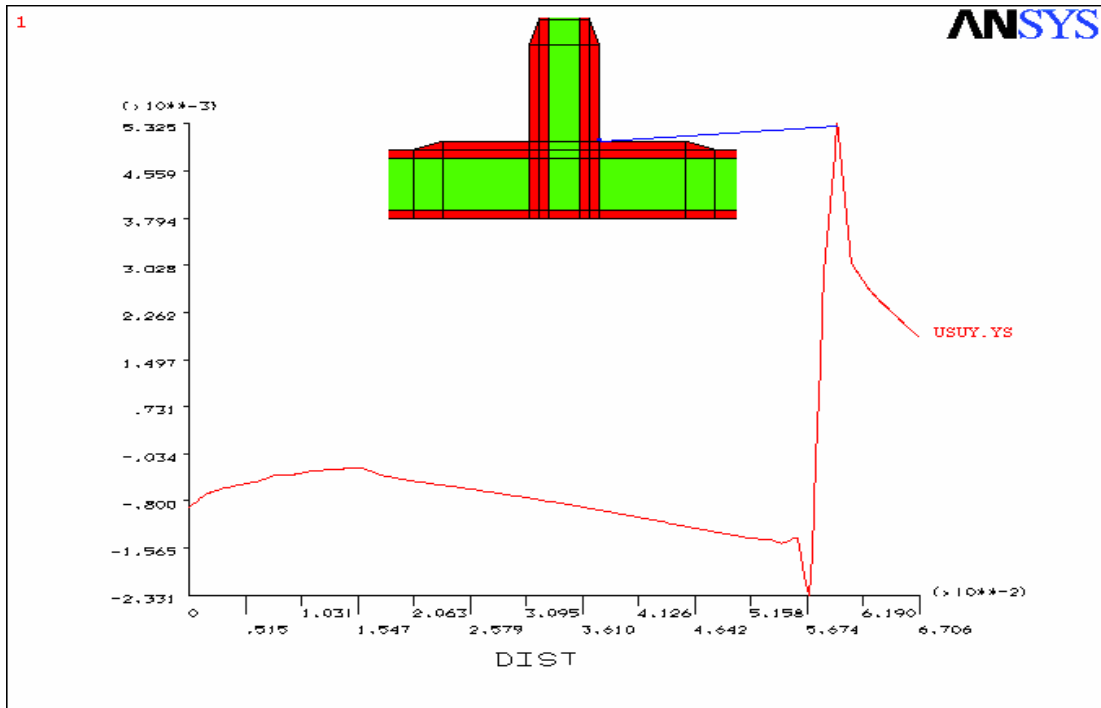


Şekil 4.49 İççe geçmeli T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında oluşan kalınlık boyu (y yönündeki) gerinim dağılımı

Tekne gövdesi alt yüzeyi-çekirdek sınırında meydana gerinimler, sınırın orta kısmında ve üstkatmanlama elemanın köşe kısmının -y doğrultusundaki hizasına yakın bir bölgede meydana gelmiştir (Şekil 4.49).



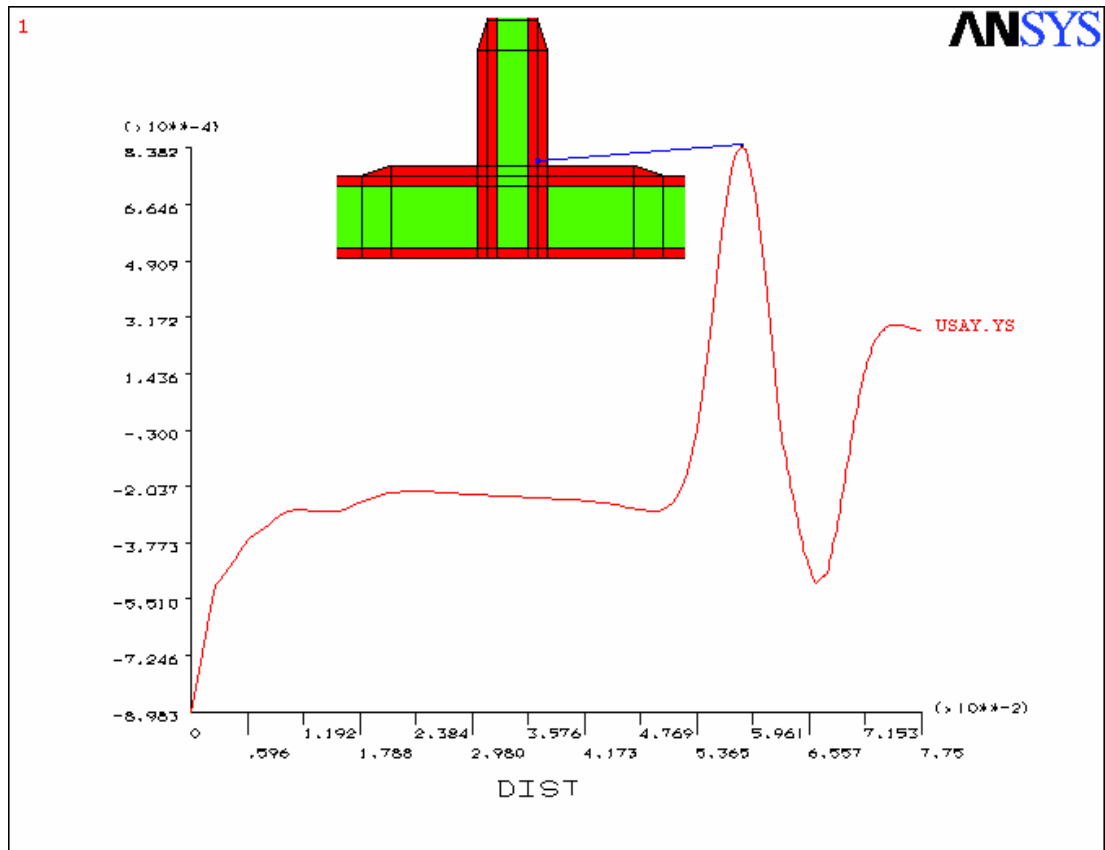
Şekil 4.50 İç içe geçmeli sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzeyinde kalınlık yönünde oluşan gerinim dağılımı



Şekil 4.51 İç içe geçmeli sandviç T bağlantısında üstkatmanlama elemanı üst yüzeyinde oluşan y yönündeki gerinim dağılımı

Şekil 4.50’de tekne gövdesi alt yüzeyinde kalınlık yönünde meydana gelen maksimum gerinimler gösterilmektedir. Burada maksimum gerinim yine üstkatmanlama elemanı köşe kısmının –y doğrultusundaki hizasında meydana gelmiştir.

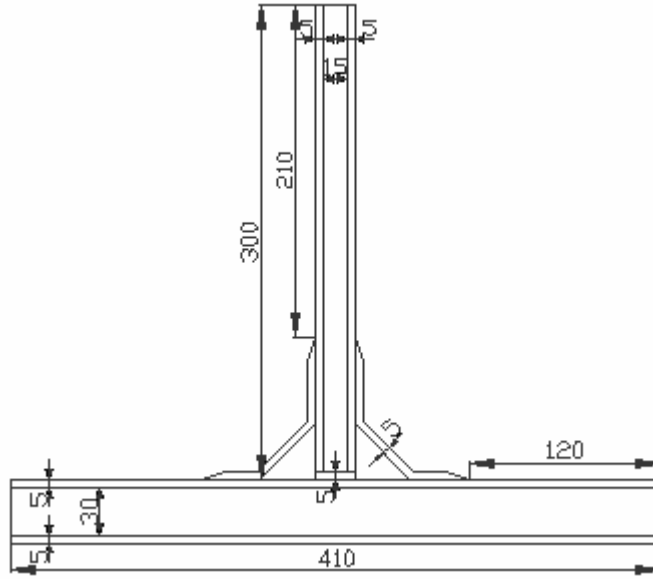
İççe geçmeli sandviç T bağlantısında üstkatmanlama elemanı üst yüzeyinde meydana gelen y yönündeki maksimum gerinim değeri y yönünde meydana gelen gerinim değerleri için en büyük gerinim değerine sahip olmuştur ve bu oluşan bu gerinim üstkatmanlama elemanı üst yüzeyin köşe kısmında meydana gelmiştir (Şekil 4.51).



Şekil 4.52 İççe geçmeli sandviç T bağlantısında üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinde oluşan y yönündeki gerinim dağılımı

Üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinde maksimum gerinim değeri üstkatmanlama elemanı üst yüzeyin köşe kısmından x yönündeki hizasında meydana gelmiştir (Şekil 4.52).

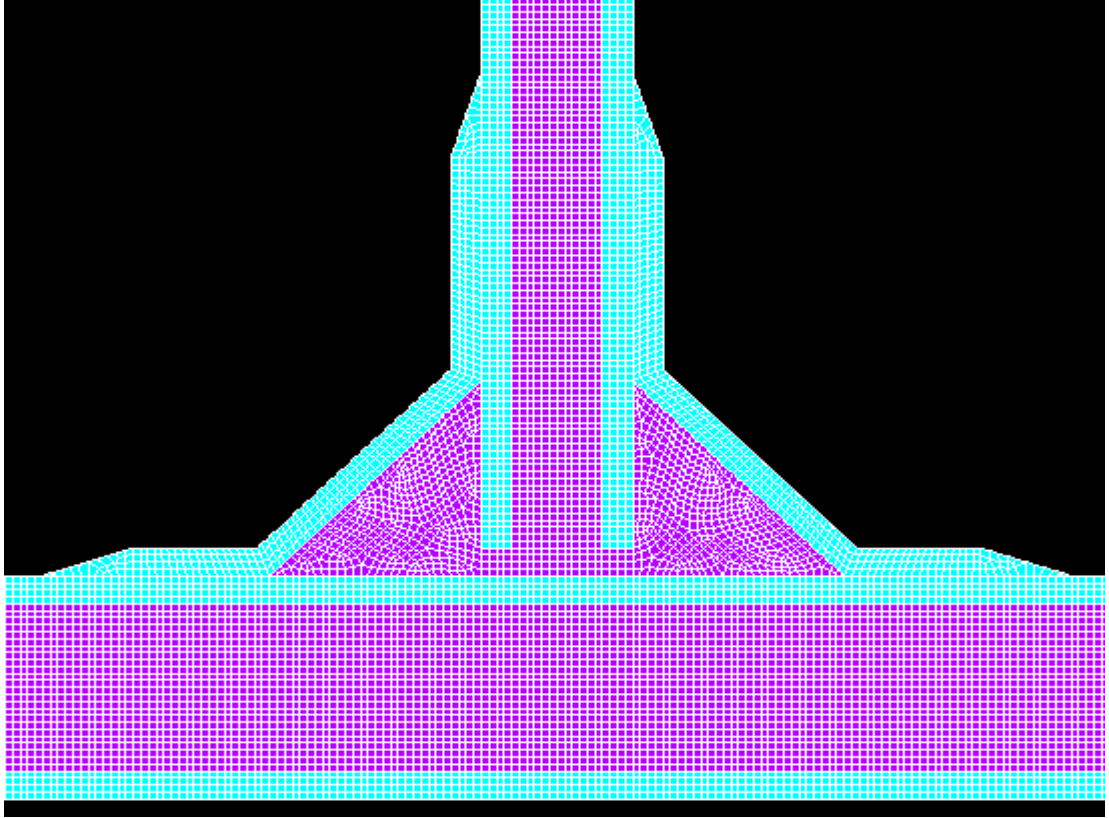
4.3.3 Üçgen(45^0 açılı) Sandviç T Bağlantısı



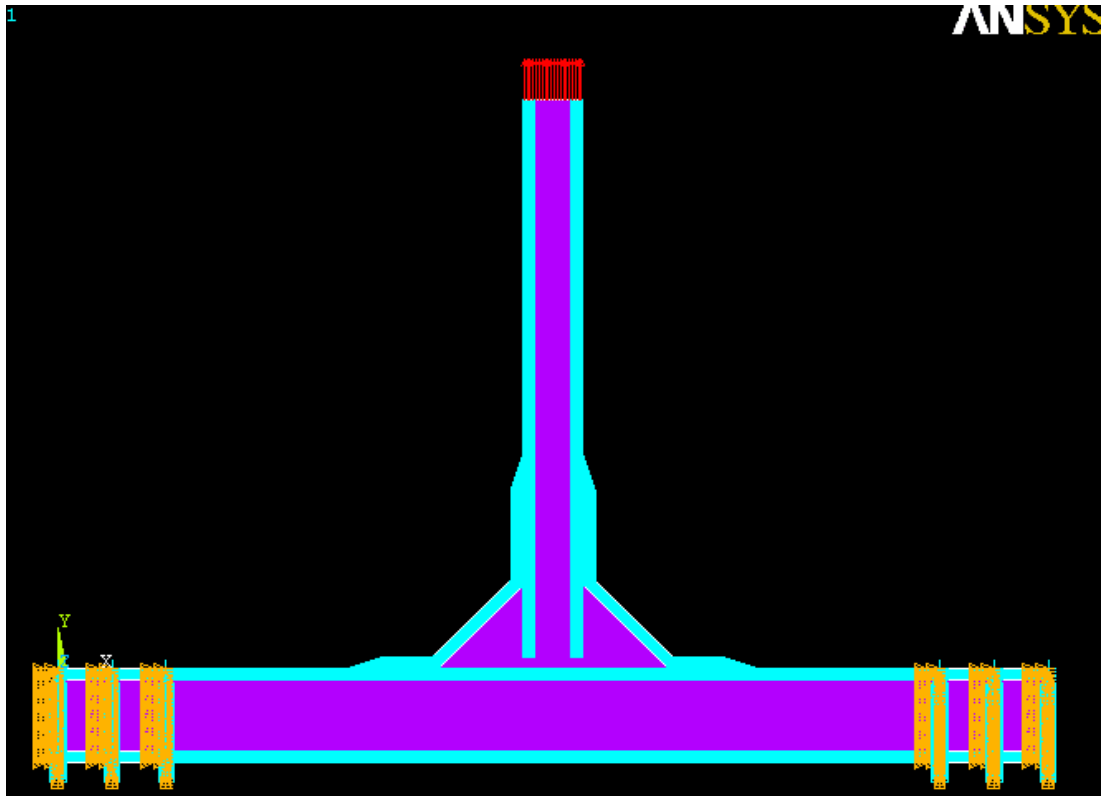
Şekil 4.53 Üçgen 45^0 sandviç T bağlantısı uzunluk ölçüleri

Şekil 3.1'deki oran değerleri esas alınarak hazırlanan sonlu elemanlar modeline ait boyutlar Şekil 4.53' te verilmiştir. Bu çalışma kapsamında incelenen ilk iki bağlantı tipinden farklı olarak üçgen 45^0 sandviç tip T bağlantısında üstkatmanlama-tekne bölmesi-tekne gövdesi arasında PVC'den yapılmış, bağlantıda dolgu olarak adlandırılan bir üçgen eleman ve tekne bölmesiyle tekne gövdesi arasına konmuş 5 mm. kalınlığından PVC bir eleman kullanılmıştır.

İçiçe geçmeli sandviç T bağlantısının sonlu elemanlar modeli Şekil 4.54'te gösterilmektedir.

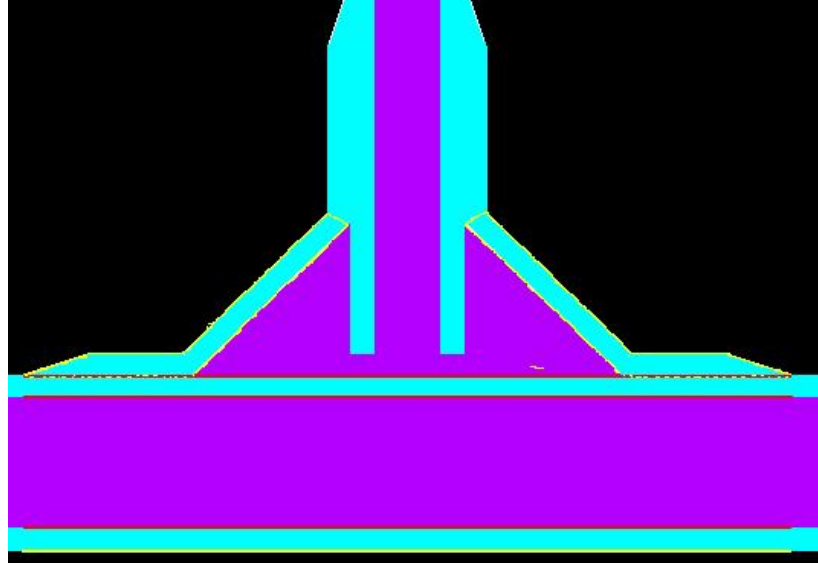


Şekil 4.54 Üçgen 45° sandviç T bağlantısını sonlu elemanlara bölme



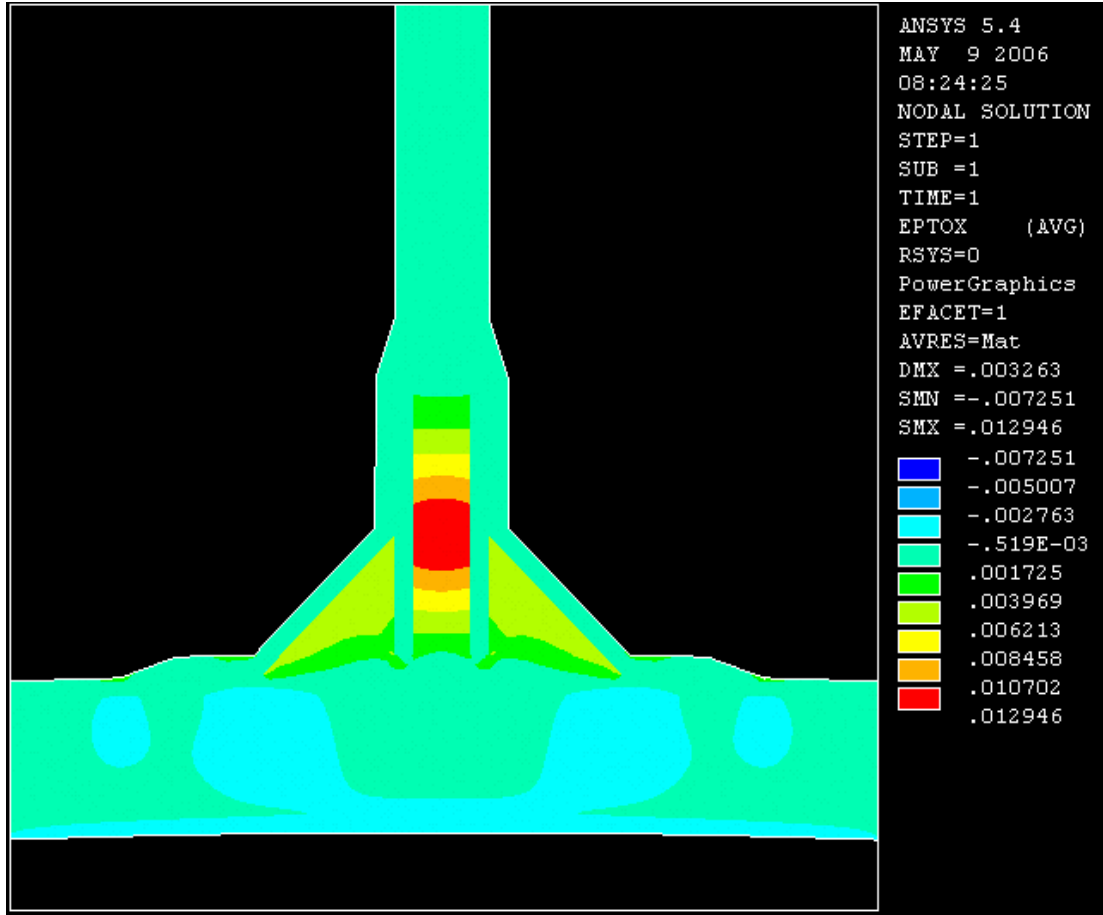
Şekil 4.55 İççe geçmeli sandviç T bağlantısında mesnetleme ve yükleme durumu

Şekil 4.55’te görüldüğü üzere bu bağlantı tipinde de diğer bağlantı tiplerinde olduğu gibi tekne gövdesinin iki ucundan 45 mm iç tarafa doğru modelin sadece x yönündeki hareketine izin verilecek şekilde mesnetleme yapılmıştır. Yüklemede ise 2.0 kN’luk bir kuvvet +y doğrultusunda tekne gövdesinin en üst kenarına düzgün bir şekilde dağıtılarak başka bir deyişle basınç şeklinde uygulanmıştır.



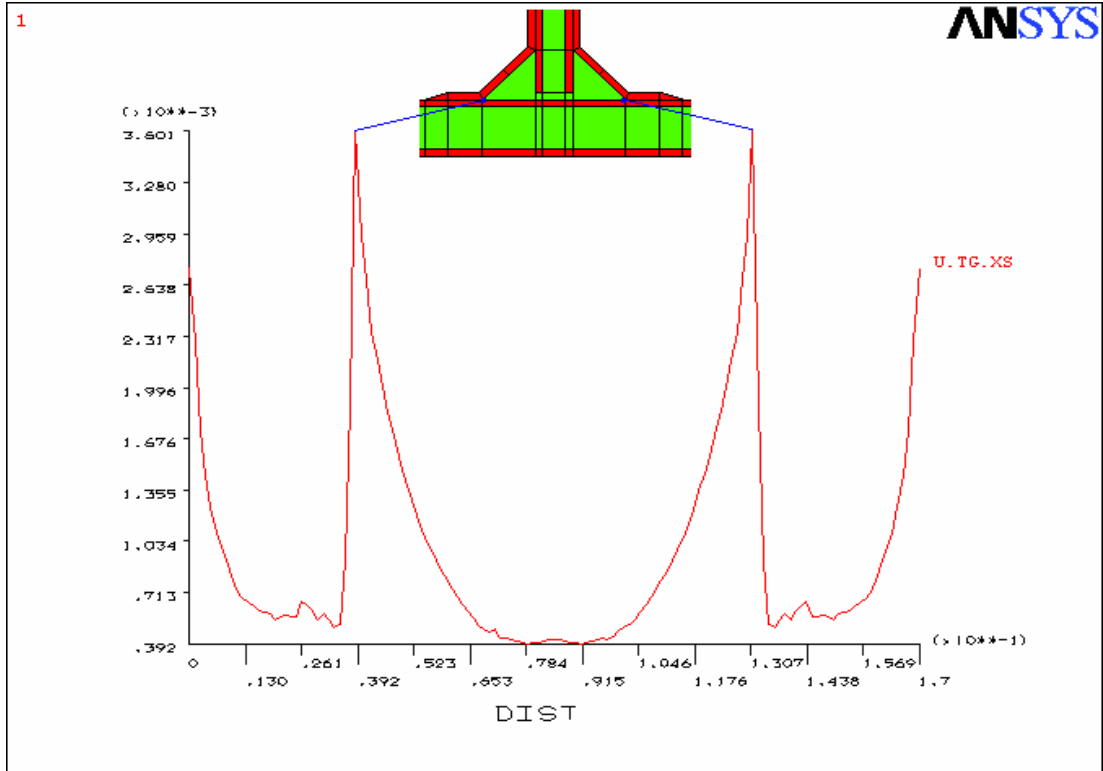
Şekil 4.56 Üçgen 45 sandviç T bağlantısında muhtemel delaminasyon ve maksimum gerinim oluşum bölgeleri

Bu çalışma kapsamında incelenen T bağlantısında delaminasyona uğrayabilecek bölgeler Şekil 4.56’da gösterilmektedir. Bu bölgeler; üstkatmanlama- tekne yüzeyi sınırı, üstkatmanlama-dolgu yüzeyi sınırı, tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırı ve de tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırındır(kırmızı çizgiler). Muhtemel bir çatlağa maruz kalabilecek bölgeler olarakta maksimum gerinimlerin oluştuğu bölgeler olarakta tekne gövdesinin alt yüzeyi ile üstkatmanlama elemanı belirlenmiştir (sarı çizgiler).

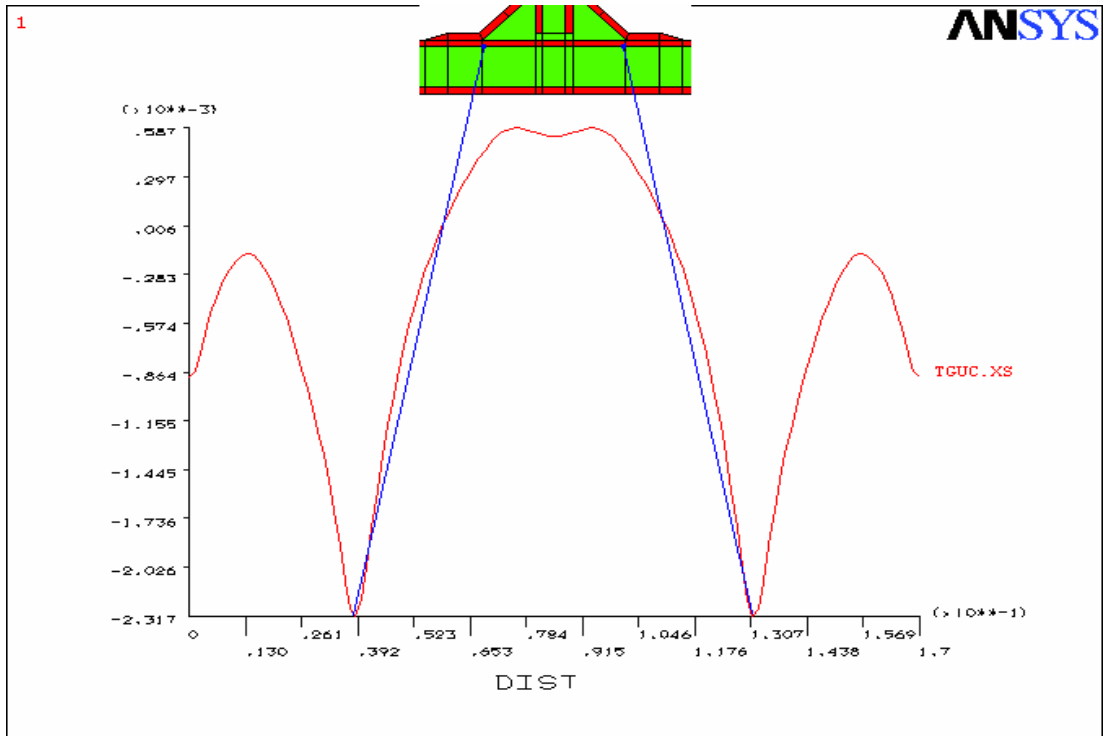


Şekil 4.57 Üçgen 45 sandviç T bağlantısında oluşan x eksen yönündeki gerinim analizi

Bu tipteki bir sandviç T bağlantısında maksimum aksenal (x yönündeki) gerinim üstkatmanlama elemanının dış yüzey alt köşe kısmında ve üst köşe kısmının x eksen doğrultusunda tekne gövdesi çekirdeğinde meydana gelmiştir. Ayrıca üstkatmanlama-dolgu-tekne gövdesi birleşme noktasında da yüksek bir gerinim meydana gelmiştir. Maksimum aksenal bası gerinimi ise tekne gövdesi alt yüzeyinde üstkatmanlama-dolgu ve tekne gövdesinin birleşme noktasının y doğrultusundaki hizasında meydana gelmiştir (Şekil 4.57).



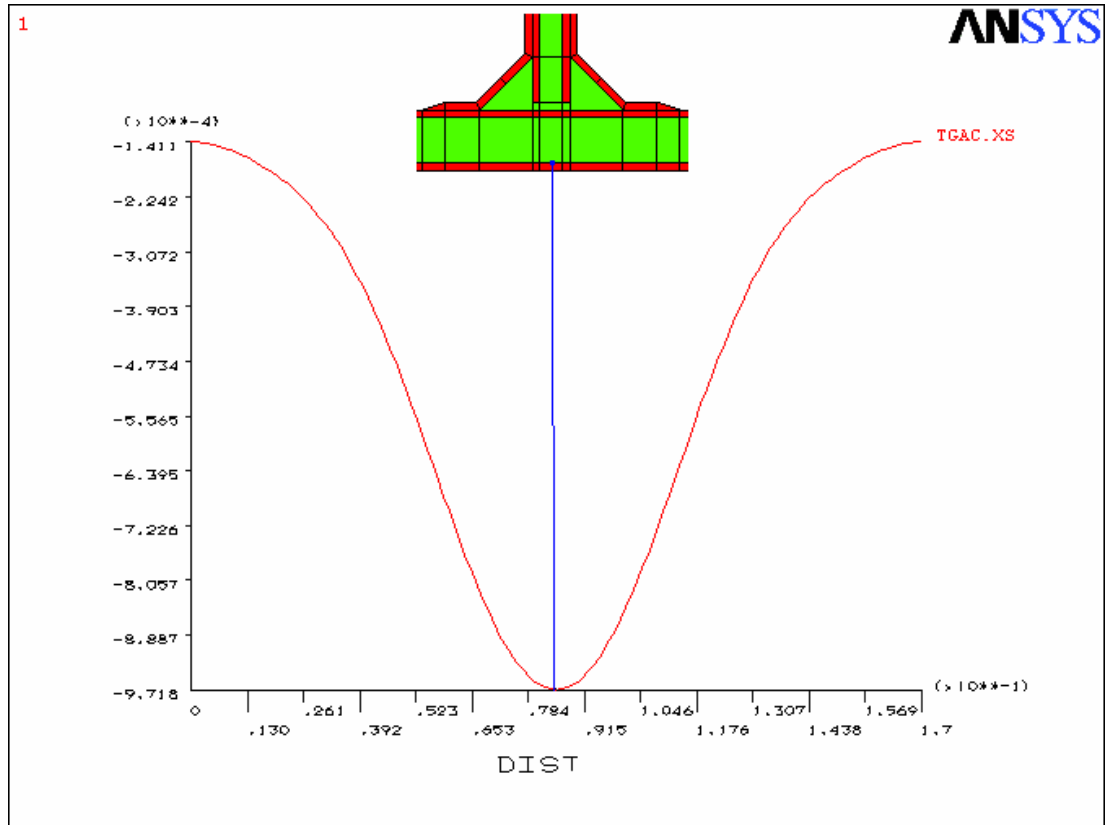
Şekil 4.58 Üçgen 45 sandviç T bağlantısında üstkatmanlama ile tekne gövdesi arasında oluşan aksenal (x yönündeki) gerinim dağılımı



Şekil 4.59 Üçgen 45 sandviç T bağlantısında tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında oluşan aksenal gerinim dağılımı

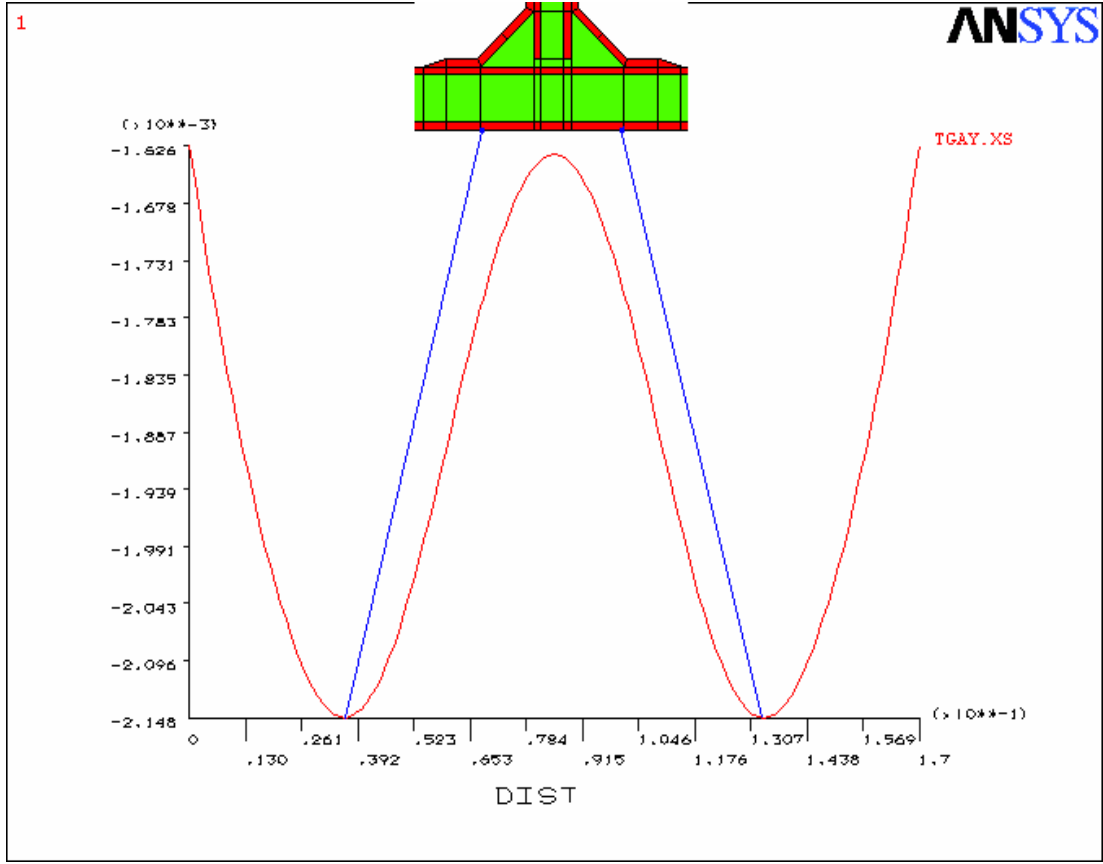
Şekil 4.58’de görüldüğü gibi üstkatmanlama ile tekne gövdesi arasındaki maksimum gerinim, üstkatmanlama-dolgu-tekne gövdesi elemanlarının birleşim noktasında meydana gelmiştir. Yüksek bir gerinim değerinin bu birleşme noktasında oluşması sadece sandviç bir yapıdan oluşmuş bir T bağlantısında değil tek yüzey yapıdan meydana gelmiş bir T bağlantısında da (Dharmawan ve diğer., 2004, s.185) aynı noktada maksimum değerine ulaşmıştır.

Şekil 4.59’ da da görüldüğü gibi maksimum gerinim üstkatmanlama-dolgu-tekne gövdesi birleşim noktasının y doğrultusunda hizasında tekne gövdesi üst yüzeyiyle çekirdek arasında meydana gelmiştir.



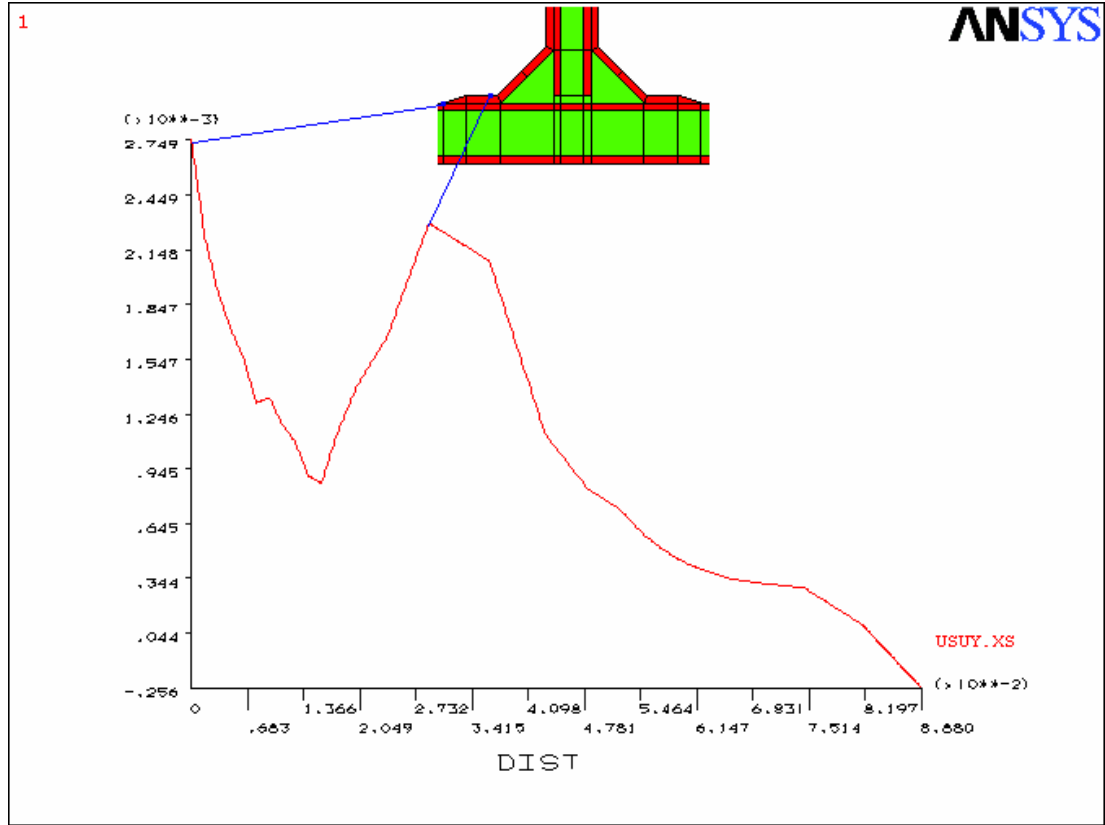
Şekil 4.60 Üçgen 45 sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında oluşan aksenal gerinim dağılımı

Tekne gövdesi alt yüzeyi ile çekirdek arasındaki maksimum gerinim tam orta noktada meydana gelmiştir (Şekil 4.60). Bu sınırda meydana gelen gerinim değerleri düşük değerlere sahip olmuştur.

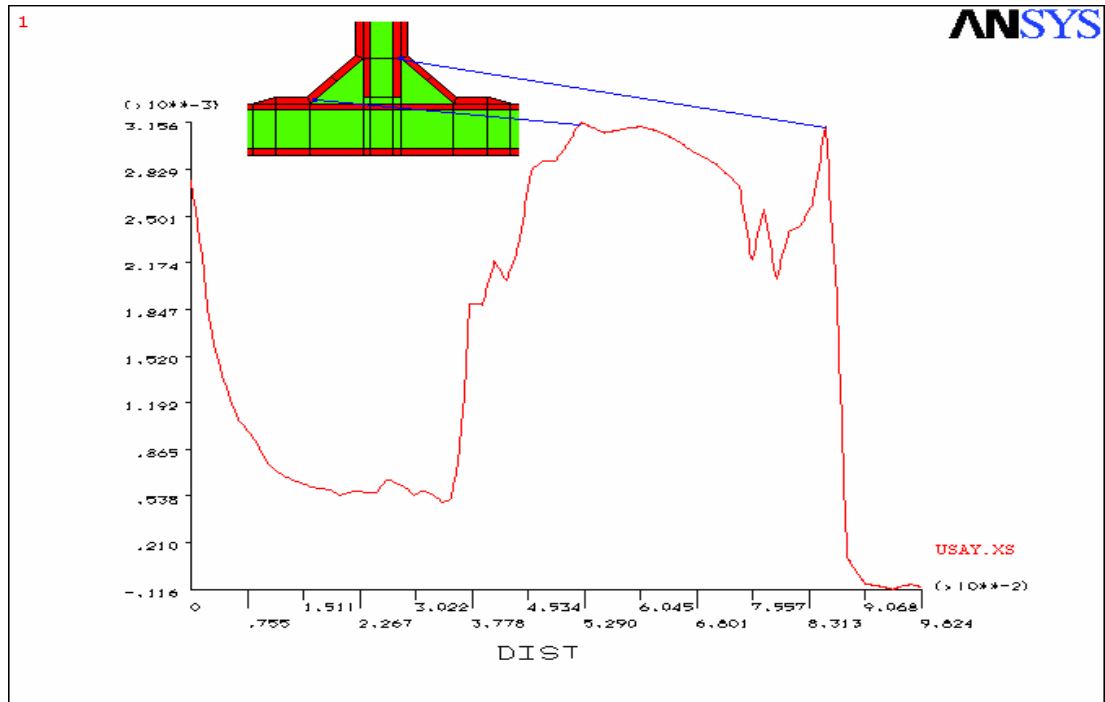


Şekil 4.61 Üçgen 45 sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzeyinde oluşan aksenal gerinim dağılımı

Tekne gövdesi alt yüzeyinde oluşan maksimum aksenal gerinim Şekil 4.59 ve Şekil 49’da olduğu gibi üstkatmanlama-dolgu-tekne gövdesi birleşme noktasının y eksenini doğrultusundaki hizasında meydana gelmiştir (Şekil 4.61).



Şekil 4.62 Üçgen 45 sandviç T bağlantısında üstkatmanlama elemanı üst yüzeyinde oluşan aksenal gerinim dağılımı

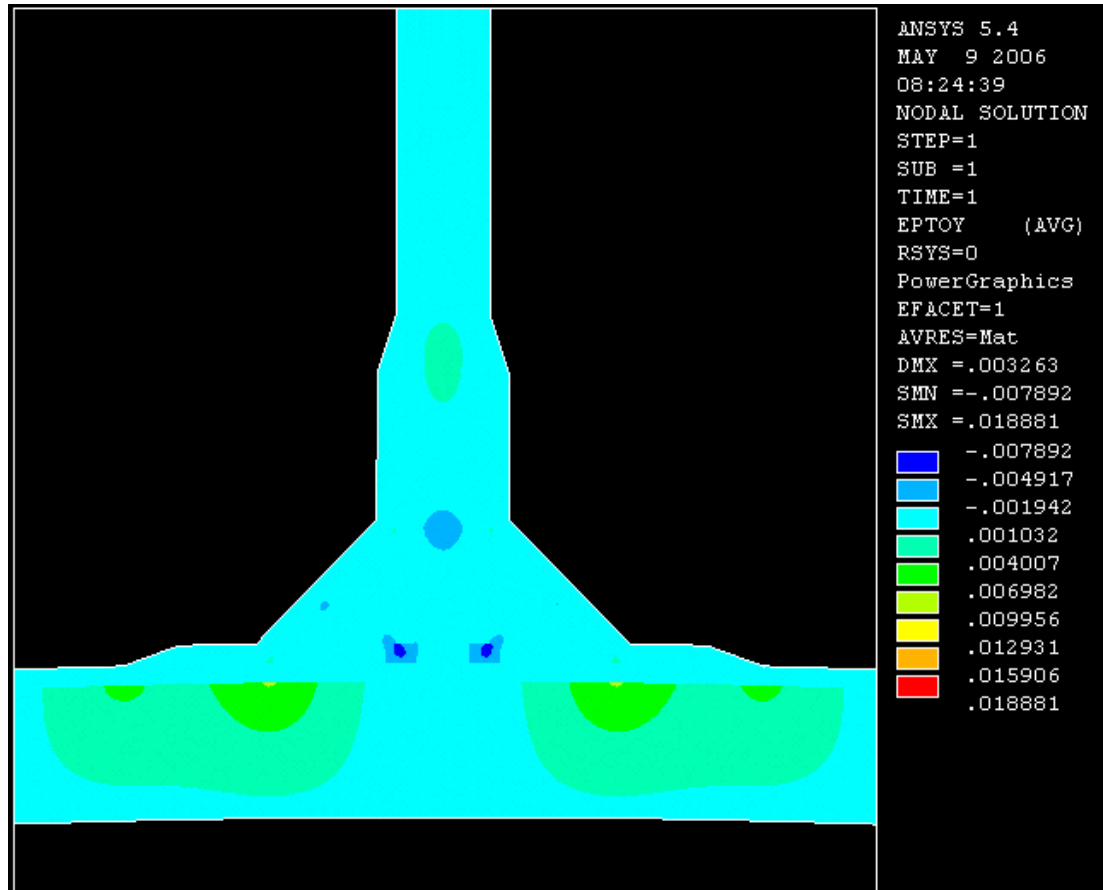


Şekil 4.63 Üçgen 45 sandviç T bağlantısı üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinde oluşan aksenal gerinim dağılımı

Üstkatmanlama elemanı üst yüzeyinde meydana gelen eksenel gerinimler incelendiğinde maksimum gerinim üst yüzeyin alt köşe kısmında ve üstkatmanlamanın uç kısmında meydana gelmiştir (Şekil 4.62).

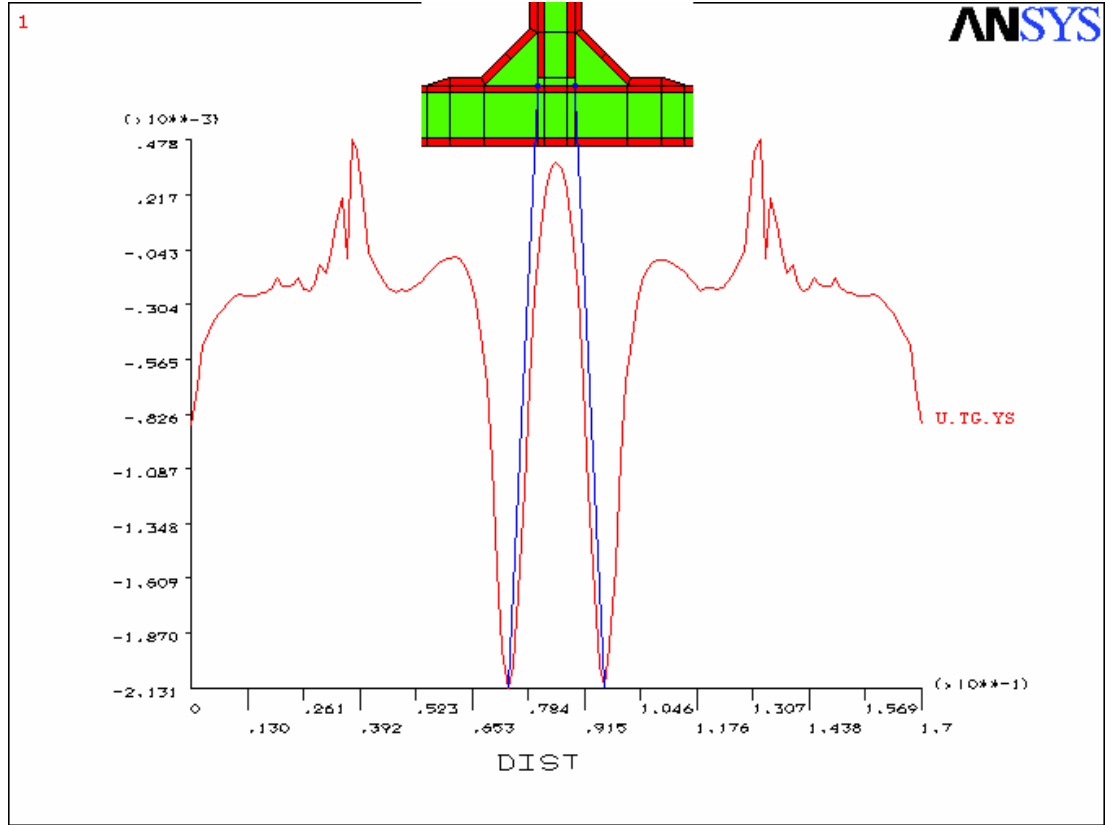
Şekil 4.63'e bakıldığında ise maksimum gerinimler üstkatmanlama-dolgu-tekne bölmesi ve üstkatmanlama-dolgu-tekne gövdesi birleşme bölgelerinde meydana gelmiştir.

Sonuçta eksenel gerinim için incelenen bütün noktalara baktığımızda üstkatmanlama elemanı üst yüzey alt köşe kısmı ve üstkatmanlama-dolgu-tekne gövdesi elemanlarının birleşme bölgesi muhtemel bir hasar başlangıcı oluşum bölgeleri olarak belirlenmiştir.



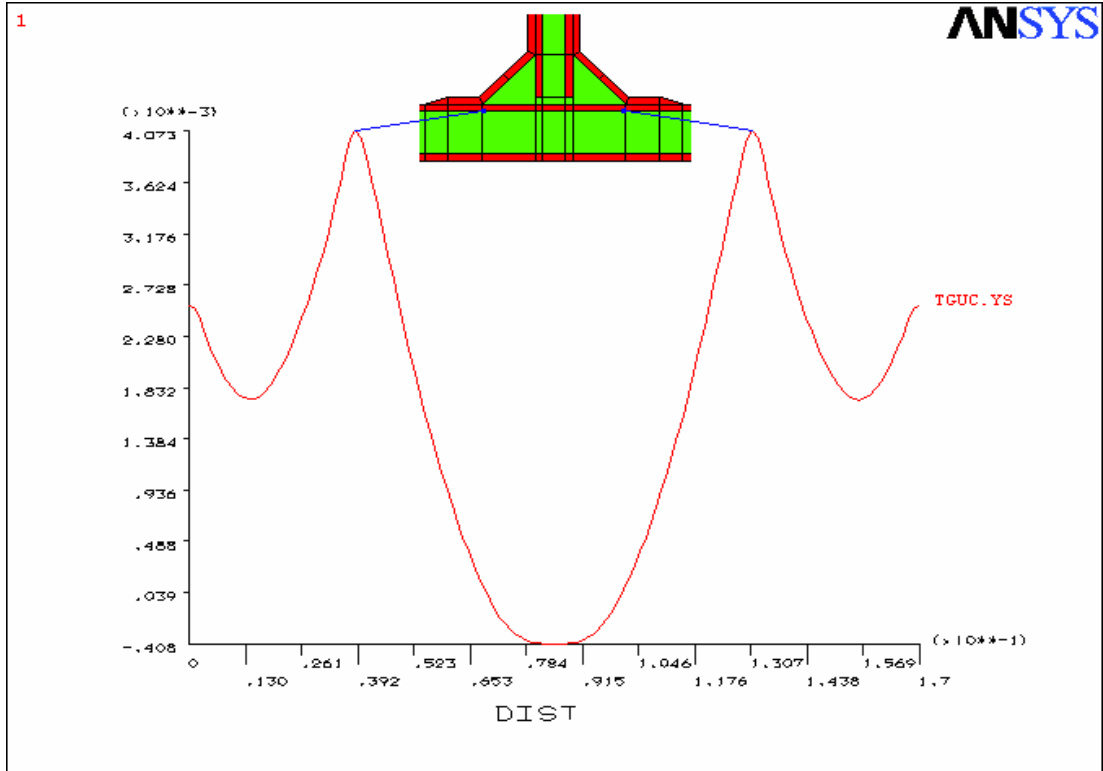
Şekil 4.64 Üçgen 45 sandviç T bağlantısında y ekseni yönünde meydana gelen gerinim dağılımı

Şekil 4.64'te oluşan y yönündeki gerinmelere bakıldığı zaman maksimum çeki geriniminin üstkatmanlama elemanı ile tekne gövdesi arasında, maksimum bası gerinimlerinin ise üstkatmanlamanın alt köşesinde üstkatmanlamayla tekne bölmesinin alt kısmı arasında meydana gelmiştir.

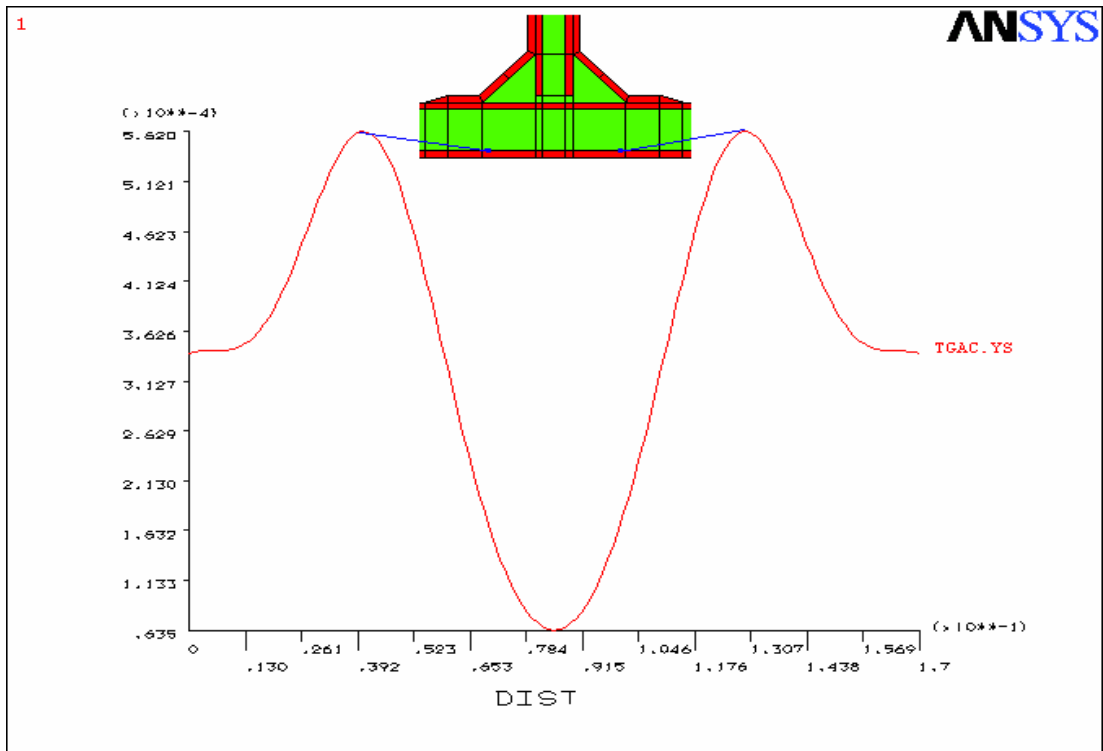


Şekil 4.65 Üçgen 45 sandviç T bağlantısında üstkatmanlama ile tekne gövdesi arasında kalınlık yönünde oluşan gerinim dağılımı

Üstatmanlama ile tekne gövdesi arasında meydana gelen maksimum kalınlık yönündeki gerinim tekne bölmesi-dolgu-tekne gövdesi birleşme bölgesinde meydana gelmiştir (Şekil 4.65). Gerinim değerinin maksimum olduğu bu bölge daha önceden hatırlanacağı üzere aynı noktada yüksek bir değerde eksenel gerinimin olduğu bölge olmuştur. Bu bölgede kalınlık boyu gerinim değerinin maksimum değerde olması delaminasyon olayının bu noktada yüksek bir ihtimal taşıdığını göstermektedir.



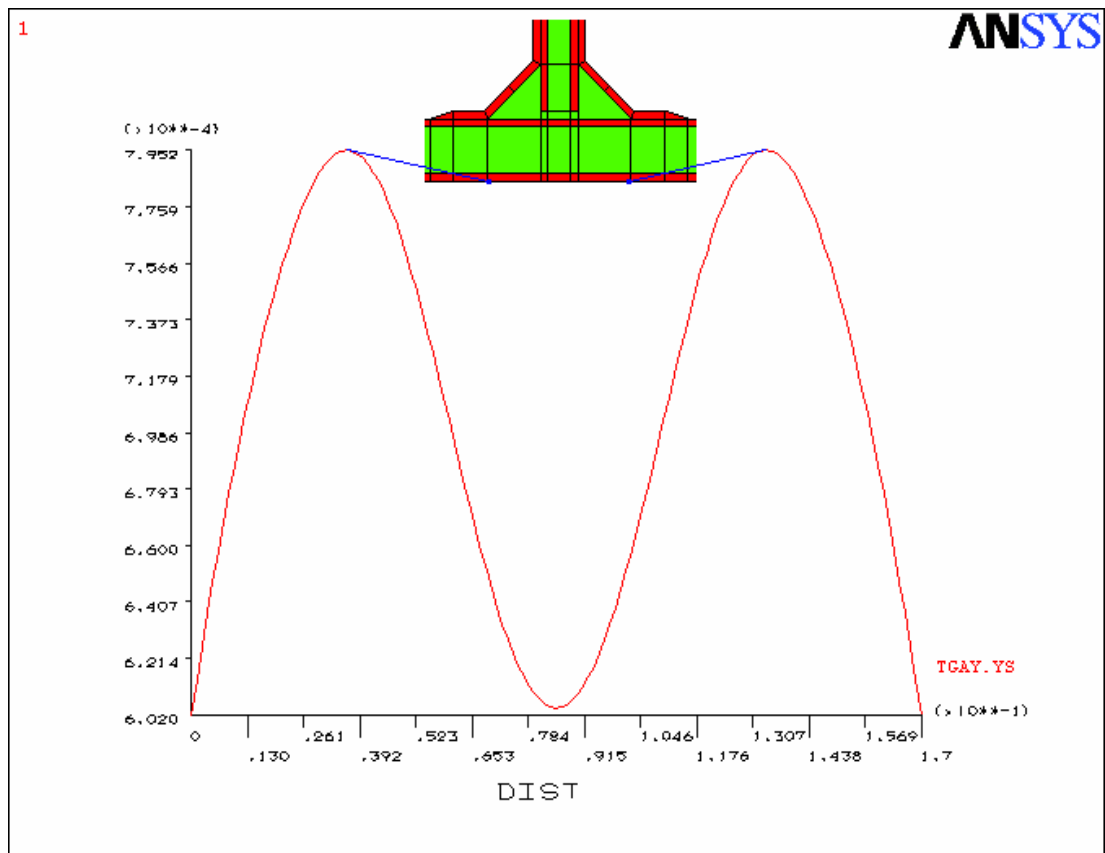
Şekil 4.66 Üçgen 45 sandviç T bağlantısında tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında oluşan kalınlık yönündeki gerinim dağılımı



Şekil 4.67 Üçgen 45 sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek arasında oluşan kalınlık yönündeki gerinim dağılımı

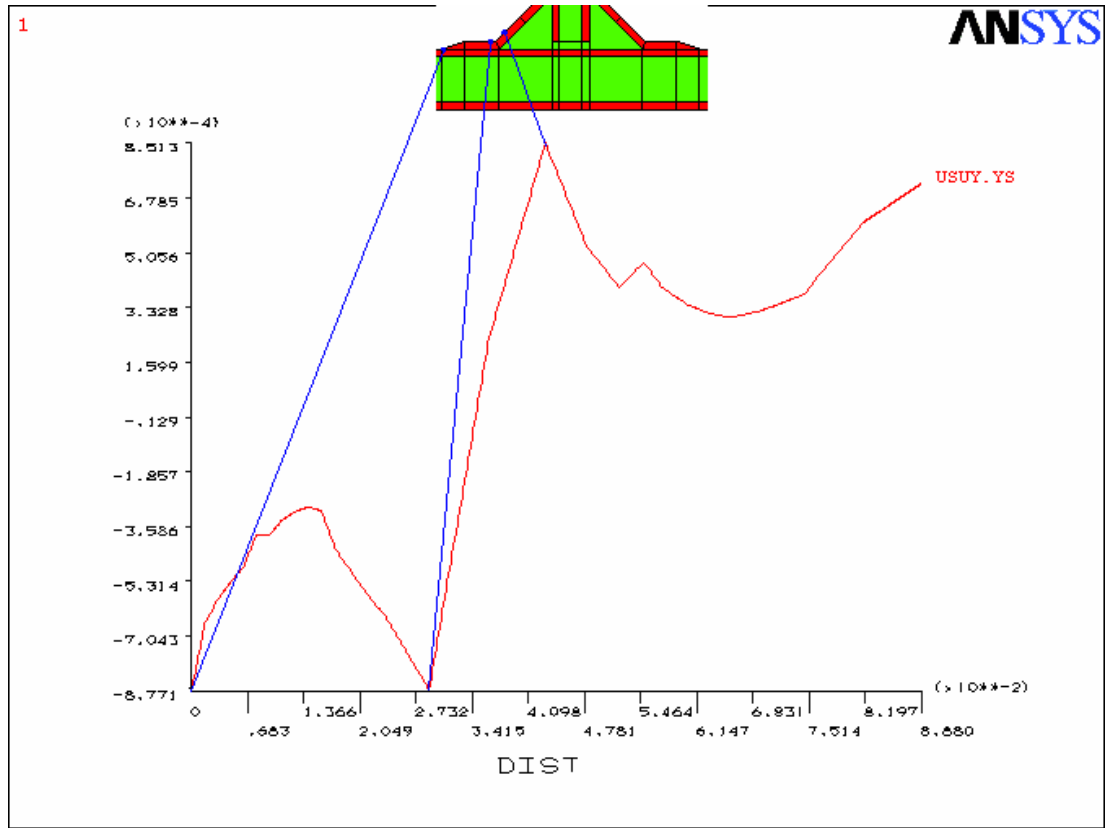
Tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında maksimum kalınlık boyu gerinim yine üstkatmanlama-dolgu-tekne gövdesi elemanlarının birleştiği noktanın –y eksenini doğrultusundaki doğrultusundaki hizasında meydana gelmiştir (Şekil 4.66).

Tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırındaki kalınlık yönündeki maksimum gerinim üst yüzey-çekirdek sınırında olduğu gibi üstkatmanlama-dolgu-tekne gövdesi birleşim noktasının –y eksenini doğrultusundaki hizasında meydana gelmiştir (Şekil 4.67).



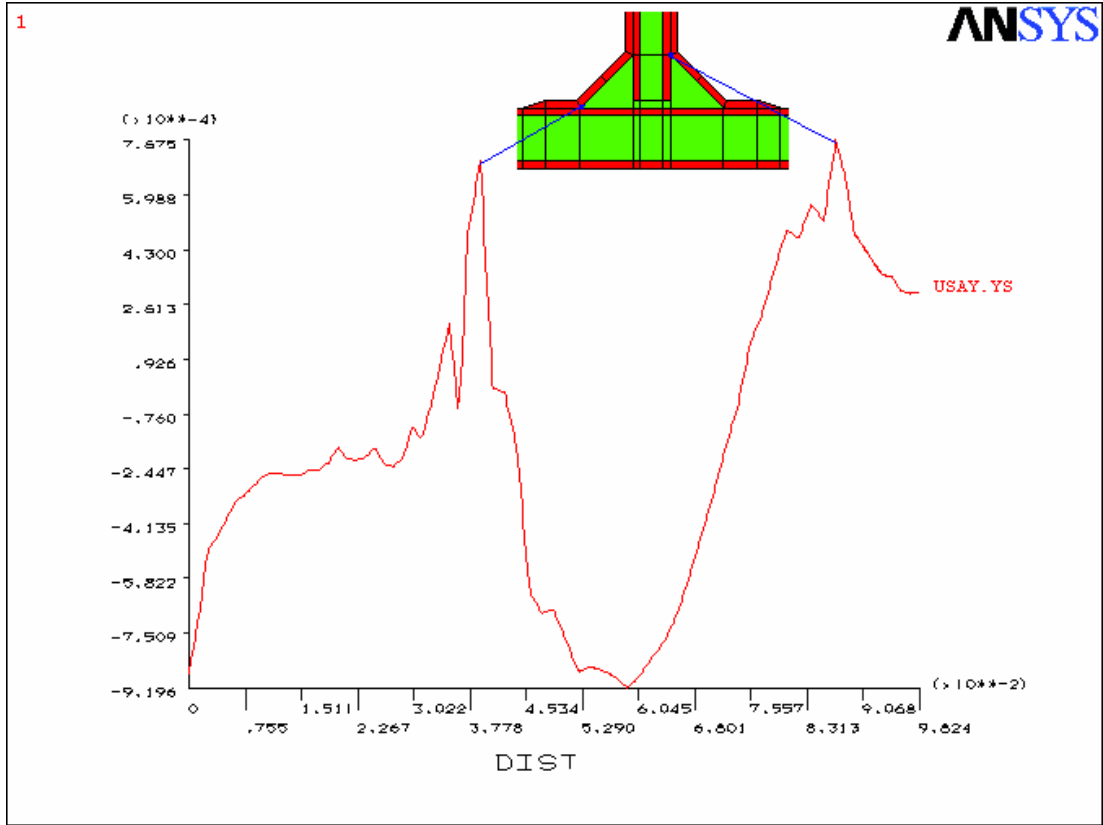
Şekil 4.68 Üçgen 45 sadviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzeyinde kalınlık yönünde oluşan gerinim dağılımı

Şekil 4.68’de görüldüğü gibi tekne gövdesi alt yüzeyinde bütün yüzey boyunca bası gerinimi meydana gelmemiştir. Maksimum gerinim üstkatmanlama-dolgu-tekne gövdesi birleşme noktasının y doğrultusundaki hizasına yakın bir yerde meydana gelmiştir.



Şekil 4.69 Üçgen 45 sandviç T bağlantısında üstkatmanlama elemanı üst yüzeyinde y yönünde oluşan gerinim dağılımı

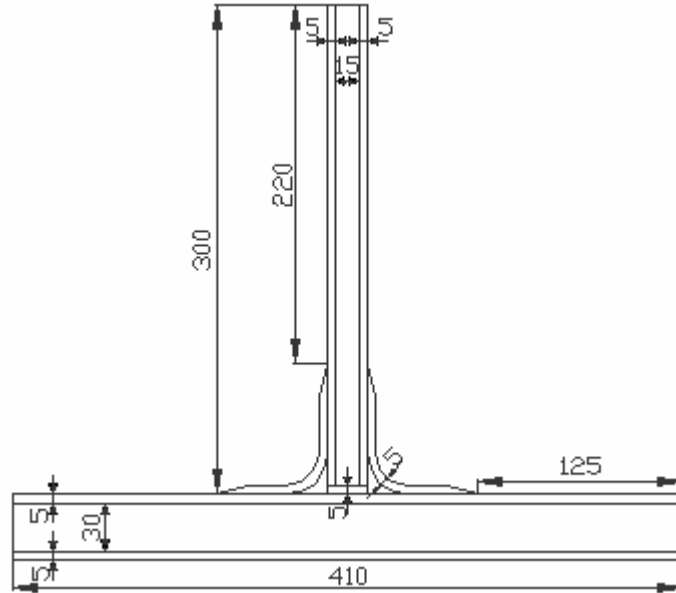
Üstkatmanlama üst yüzeyinde maksimum y yönünde oluşan gerinim üstkatmanlama üst yüzeyinin köşe kısımlarında meydana gelmiştir (Şekil 4.69). Oluşan bu gerinim değeri sadece üstkatmanlama elemanı için değil bütün bir sistem için maksimum y yönündeki gerinim değeri olmuştur. Ayrıca üstkatmanlama elemanı üst yüzey için maksimum eksenel gerinim de alt köşede meydana gelmişti. Dolayısıyla üstkatmanlama elemanı üst yüzeyin alt köşe muhtemel bir hasar riskinin en yüksek olduğu bölge olmuştur.



Şekil 4.70 Üçgen 45 sandviç T bağlantısında üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinde y yönünde oluşan gerinim dağılımı

Üstkatmanlama alt yüzeyinde maksimum y yönündeki gerinimler üstkatmanlama-dolgu-tekne gövdesi ve üstkatmanlama –dolgu-tekne bölmesi arasında meydana gelmiştir. Ancak bu gerinim değerleri sistemde oluşan diğer gerinimler gözönüne alındığında düşük değerler olmuştur (Şekil 4.70).

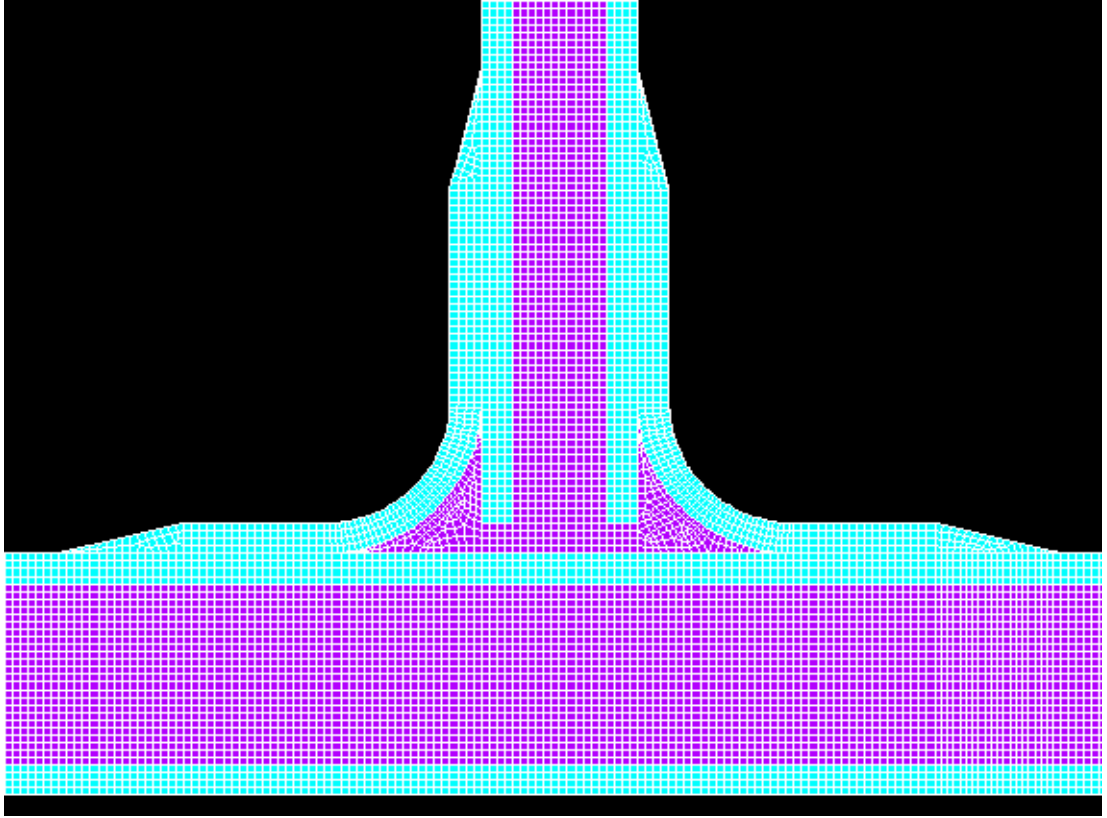
4.3.4 Dönümlü 25 Sandviç T Bağlantısı



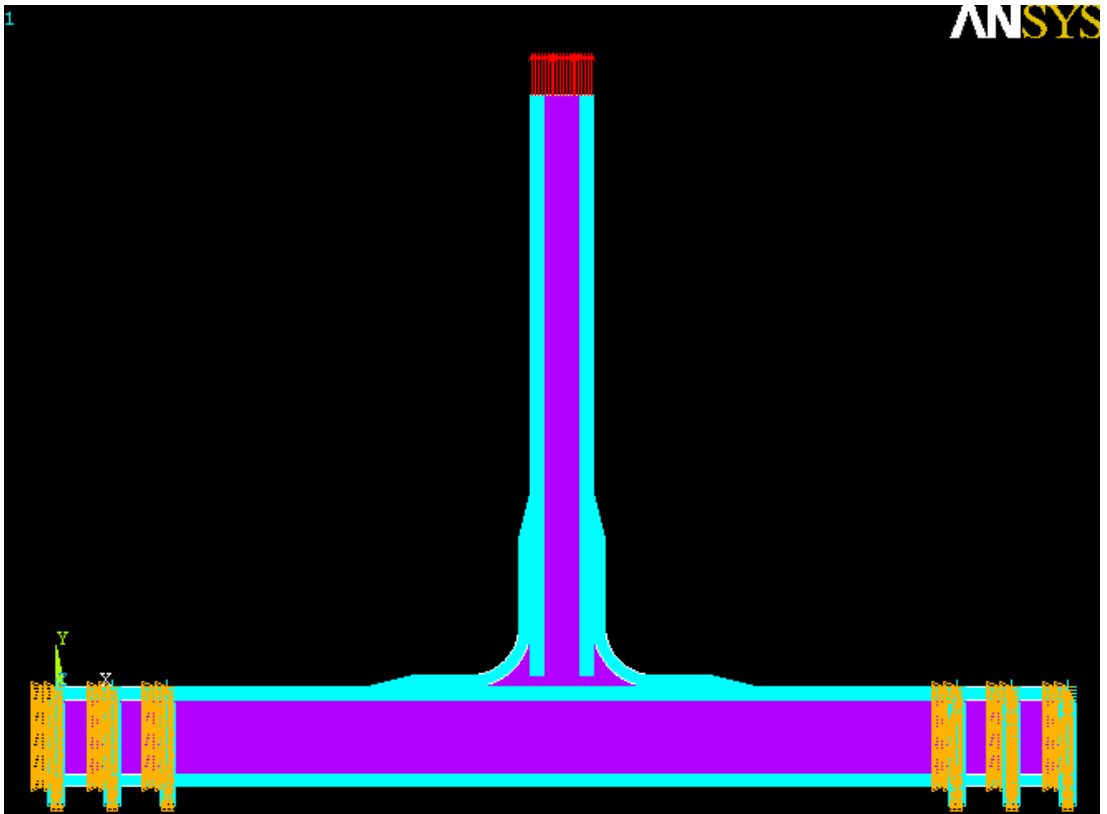
Şekil 4.71 Dönümlü 25 sandviç T bağlantısı uzunluk ölçüleri

Şekil 4.71’de, dönümlü 25 sandviç T bağlantısı boyutları gösterilmiştir. Bu çalışma kapsamında incelenen ilk iki bağlantı tipinden farklı olarak dönümlü 25 sandviç tip T bağlantısında üstkatmanlama-tekne bölmesi-tekne gövdesi arasında PVC’den yapılmış, bağlantıda dolgu olarak adlandırılan 25 mm yarıçapında bir üçgen eleman ve tekne bölmesiyle tekne gövdesi arasına konmuş 5 mm. kalınlığından PVC bir eleman kullanılmıştır.

Şekil 4.72’de sonlu elemanlar modeli gösterilmiştir.

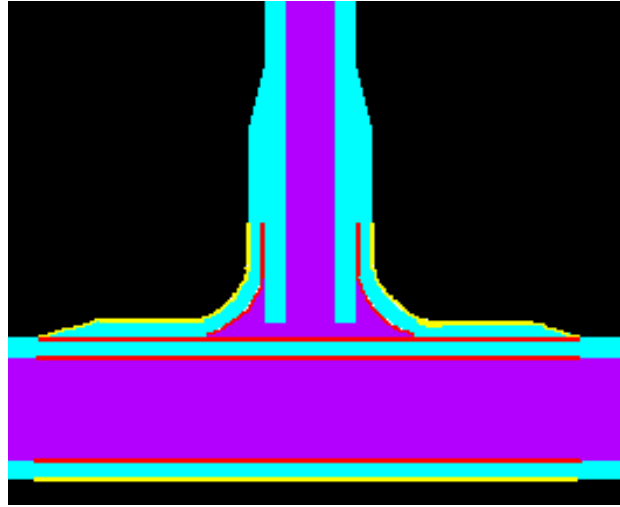


Şekil 4.72 Dönümlü 25 sandviç T bağlantısını sonlu elemanlara bölme



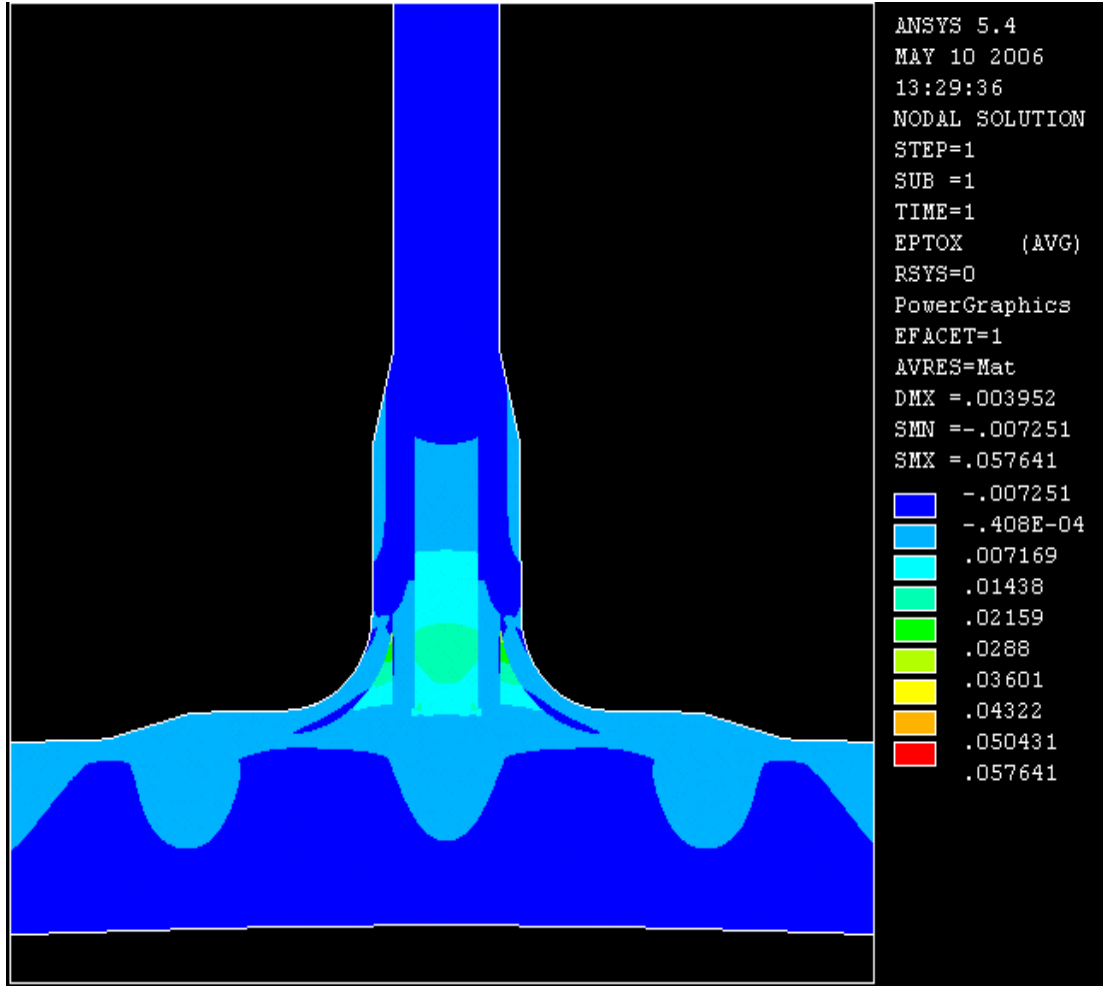
Şekil 4.73 Dönümlü 25 sandviç T bağlantısında mesnetleme ve yükleme durumu

Şekil 4.73 Yükleme ve sınır şartlarını göstermektedir.



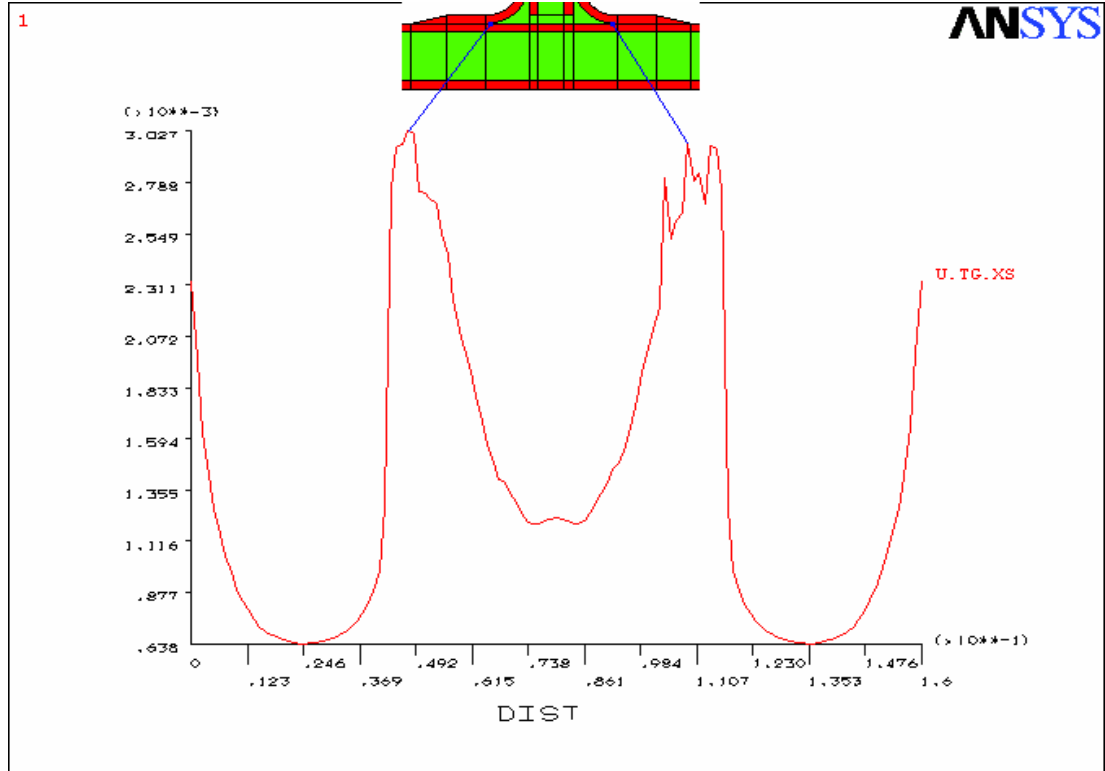
Şekil 4.74 Dönümlü 25 sandviç T bağlantısında muhtemel delaminasyon ve maksimum gerinim oluşum bölgeleri

Bu çalışma kapsamında incelenen T bağlantısında delaminasyona uğrayabilecek bölgeler Şekil 4.74'te gösterilmektedir. Bu bölgeler; üstkatmanlama- tekne yüzeyi sınırı, üstkatmanlama-dolgu yüzeyi sınırı, tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırı ve de tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırıdır(kırmızı çizgiler). Muhtemel bir çatlağa maruz kalabilecek bölgeler olarakta maksimum gerinimlerin oluştuğu bölgeler olarakta tekne gövdesinin alt yüzeyi ile üstkatmanlama elemanı belirlenmiştir (sarı çizgiler).

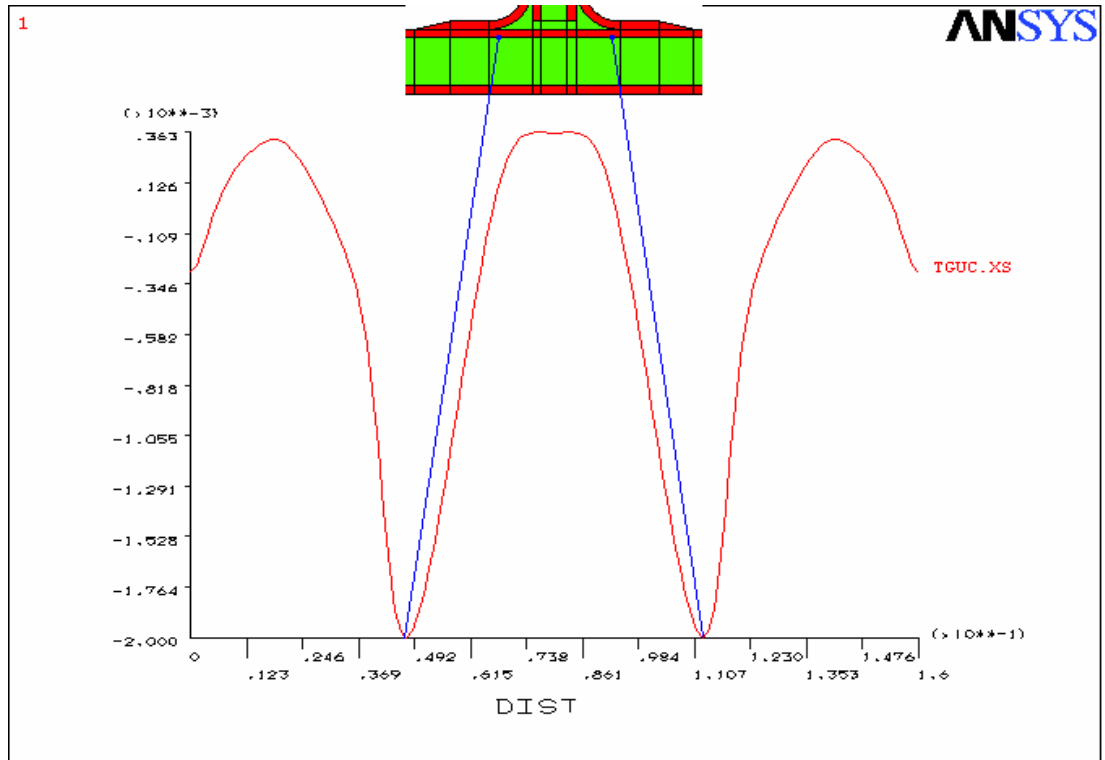


Şekil 4.75 Dönümlü 25 sandviç T bağlantısında oluşan aksenal yöndeki (x yönü) gerinim dağılımı

Dönümlü 25 sandviç T bağlantısında maksimum gerinimler üstkatmanlama-dolgu-tekne bölmesi birleşim noktasında ve bu noktanın x eksenine doğrultusundaki hızasında tekne bölmesi çekirdeğinde meydana gelmiştir (Şekil 4.75).



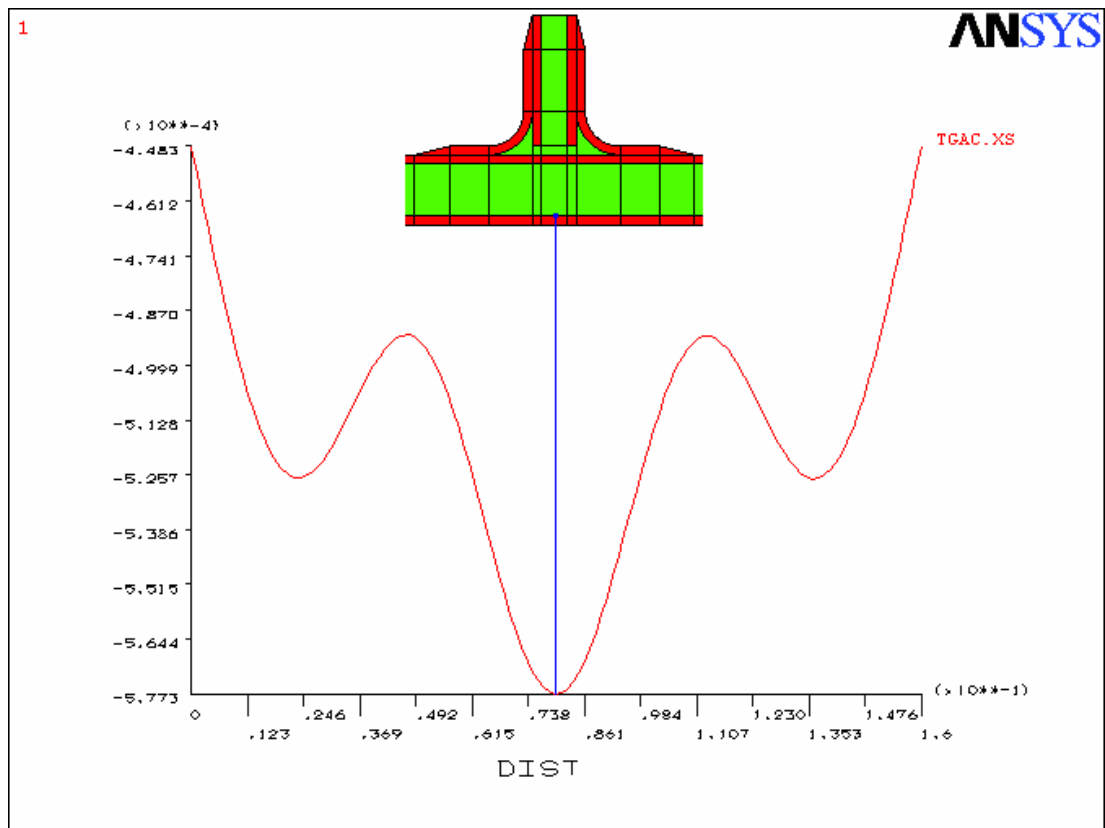
Şekil 4.76 Dönümlü 25 sandviç T bağlantısında üstkatmanlama ile tekne gövdesi arasındaki aksenal (x yönündeki) gerinim dağılımı



Şekil 4.77 Dönümlü 25 sandviç T bağlantısında tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında oluşan aksenal gerinim dağılımı

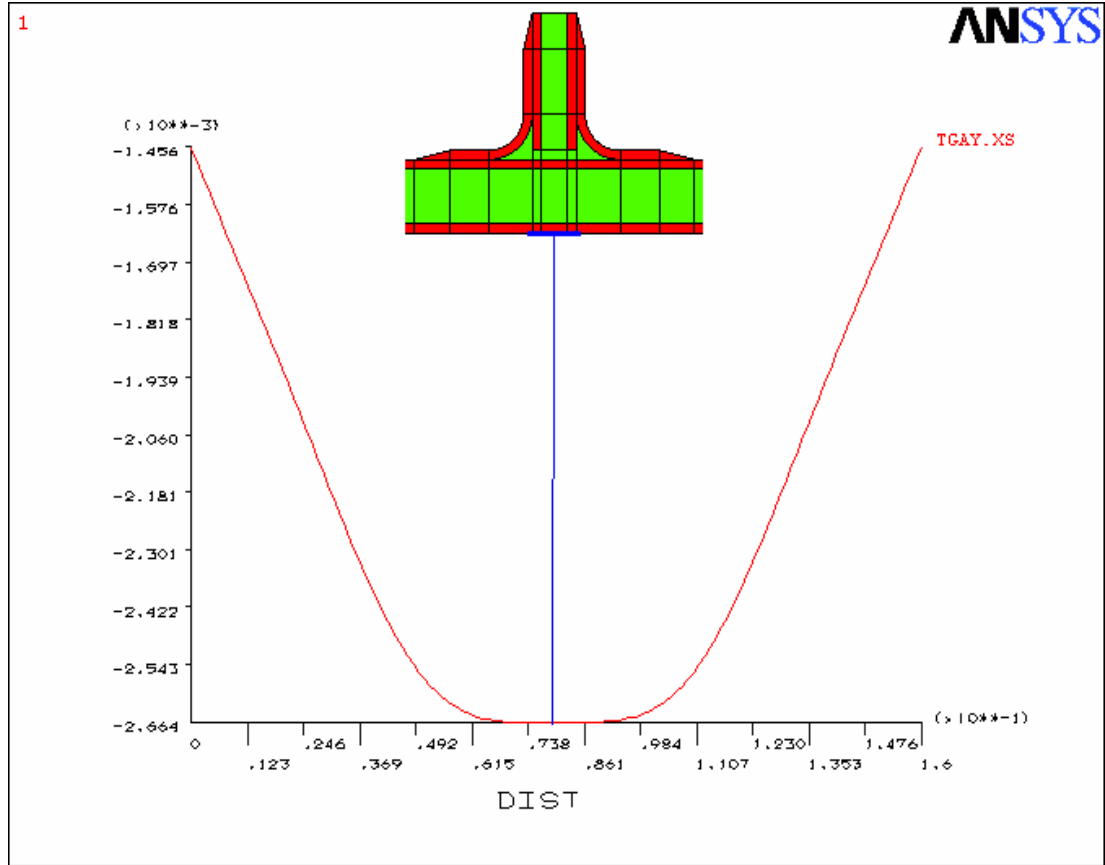
Üstkatmanlama ile tekne gövdesi arasındaki maksimum aksenal gerinim üstkatmanlama-dolgu-tekne gövdesi birleşim noktasında meydana gelmiştir. Dönümlü 25 T bağlantısının bu bölgedeki mekanik davranışı üçgen 45 sandviç T bağlantısının mekanik davranışına benzer bir davranış göstermiştir (Şekil 4.76).

Tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek arasında meydana gelen maksimum aksenal gerinim üstkatmanlama-dolgu-tekne gövdesi birleşme noktasının y doğrultusundaki hizasında meydana gelmiştir (Şekil 4.77).



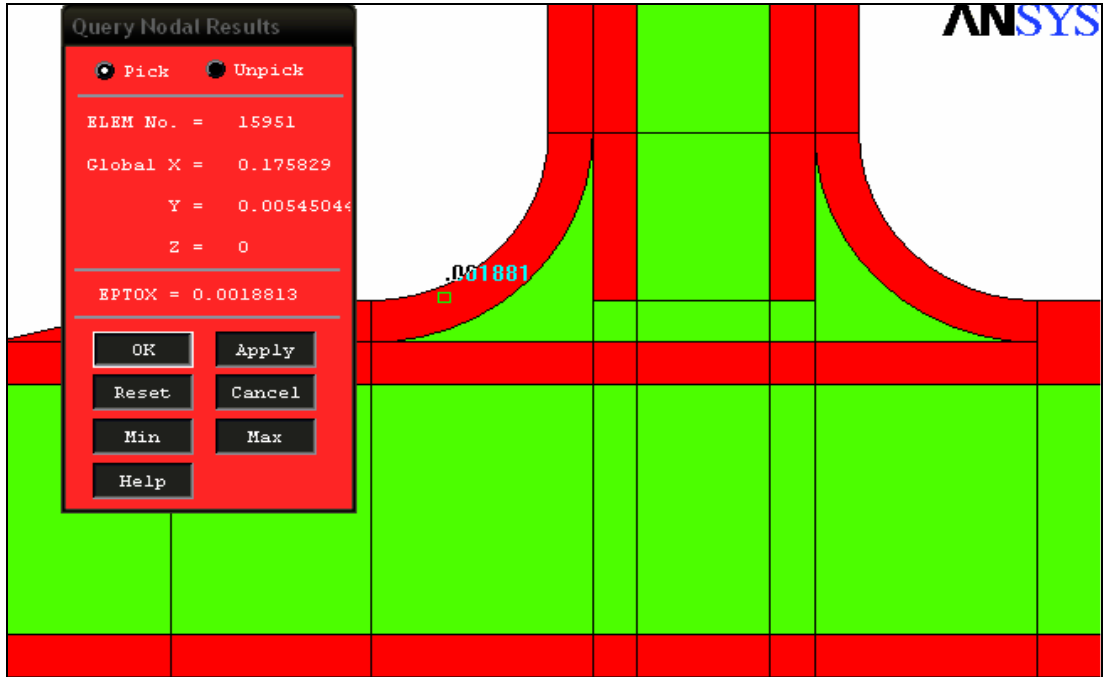
Şekil 4.78 Dönümlü 25 sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek arasında meydana gelen aksenal gerinim dağılımı

Şekil 4.78’de görüldüğü gibi tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek arasında meydana gelen maksimum aksenal gerinim düşük bir değerde tam orta bölgede meydana gelmiştir.

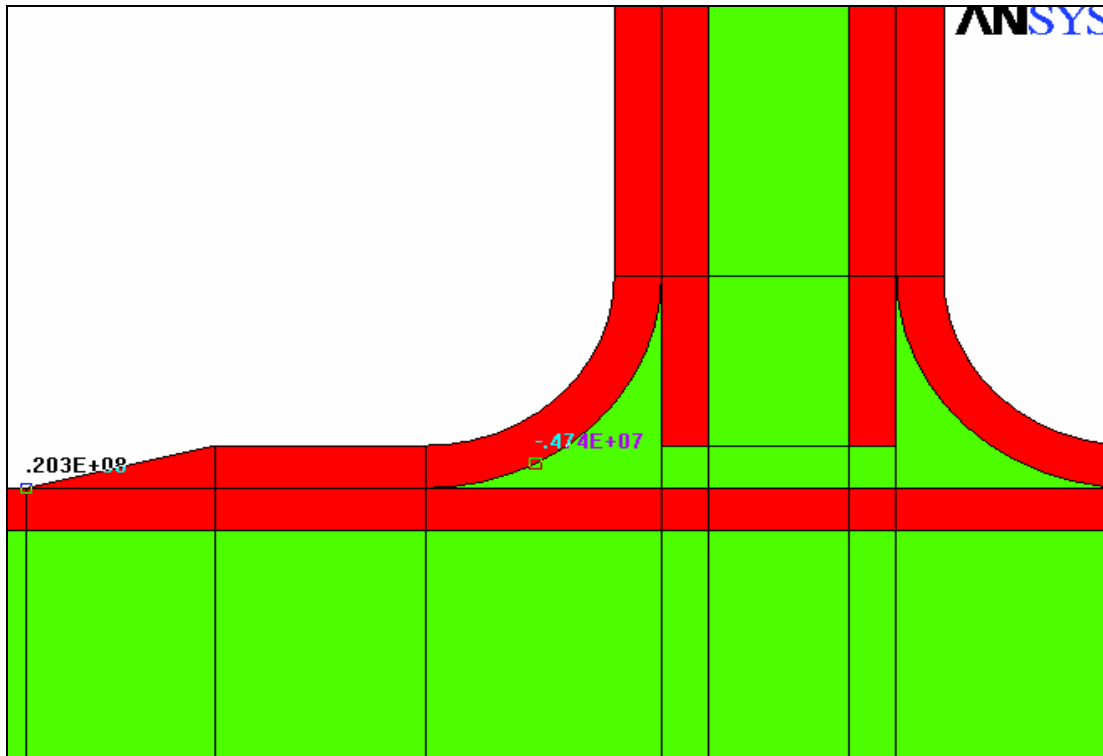


Şekil 4.79 Dönümlü 25 sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzeyinde oluşan aksenal gerinim dağılımı

Tekne gövdesi alt yüzeyinde oluşan maksimum aksenal gerinimler daha önce incelenen bölgelerden farklı olarak tek bir nokta etrafında yoğunlaşmamıştır. İki tarafta bulunan tekne bölmesi-dolgu-tekne gövdesi birleşme noktasının y doğrultusu hizasında tekne gövdesi alt yüzeyi üzerinde olan iki nokta arasında bütün bir uzunluk boyunca maksimum aksenal gerinimler meydana gelmiştir (Şekil 4.79).



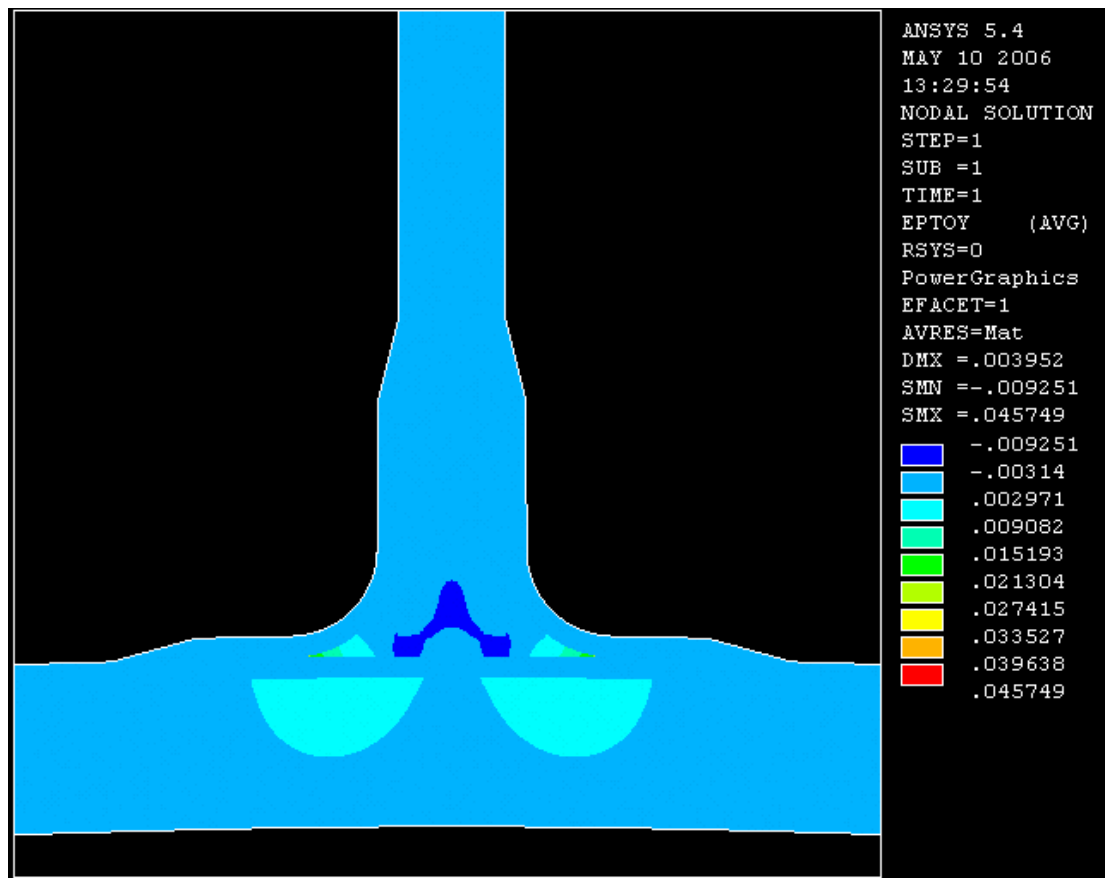
Şekil 4.80 Dönümlü 25 sandviç T bağlantısında üstkatmanlama elemanı üst yüzeyinde oluşan x yönündeki maksimum gerinim bölgesi



Şekil 4.81 Dönümlü 25 sandviç T bağlantısında üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinde oluşan x yönündeki maksimum gerilme bölgesi

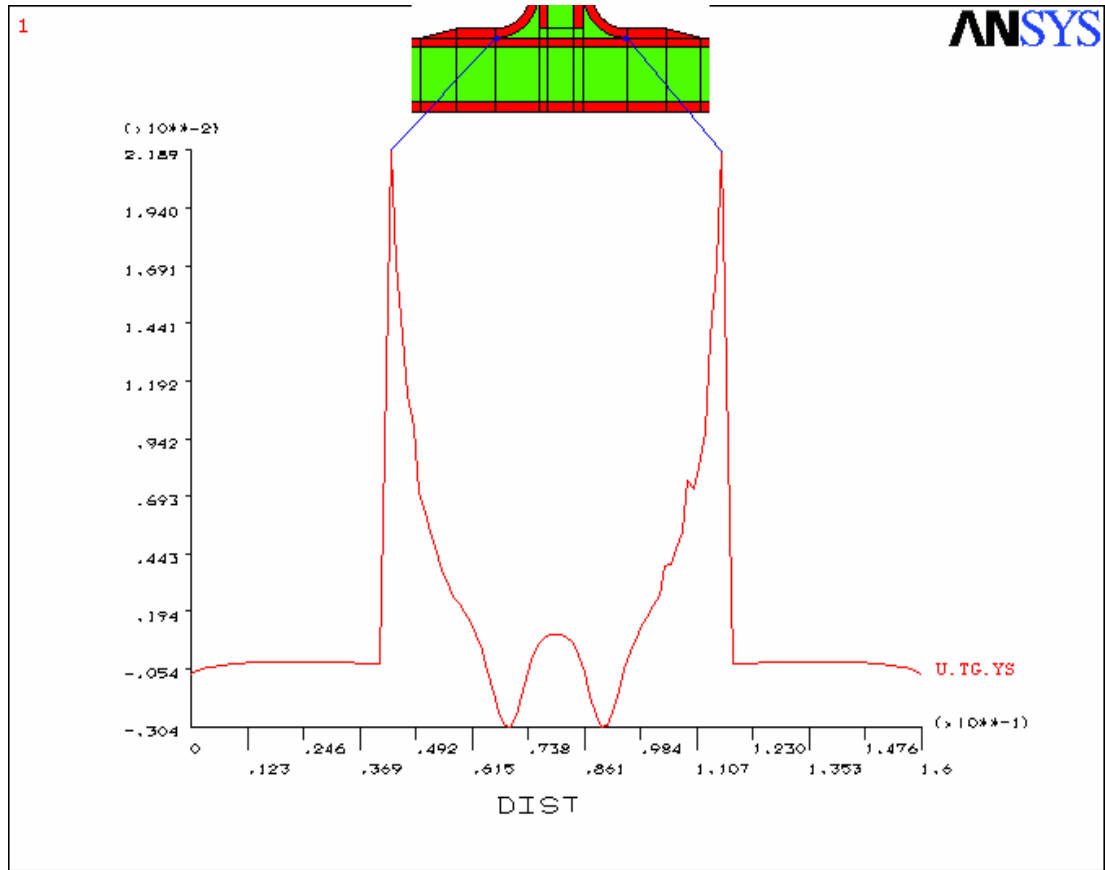
Şekil 4.80’de görüldüğü gibi üstkatmanlama elemanı üst yüzeyi için maksimum gerinim üst katmanlama elemanı üst yüzeyinin orta noktasının biraz aşağı kısmında meydana gelmiştir.

Üstkatmanlama elemanında ise maksimum gerilme değeri üstkatmanlama elemanın üst yüzeyinde oluşan maksimum gerilme bölgesinin hizasında bası gerilmesi olarak meydana gelmiştir. İncelenen bu bölgede maksimum çeki gerilmesi ise üstkatmanlama elemanının uç kısmında meydana gelmiştir (Şekil 4.81).



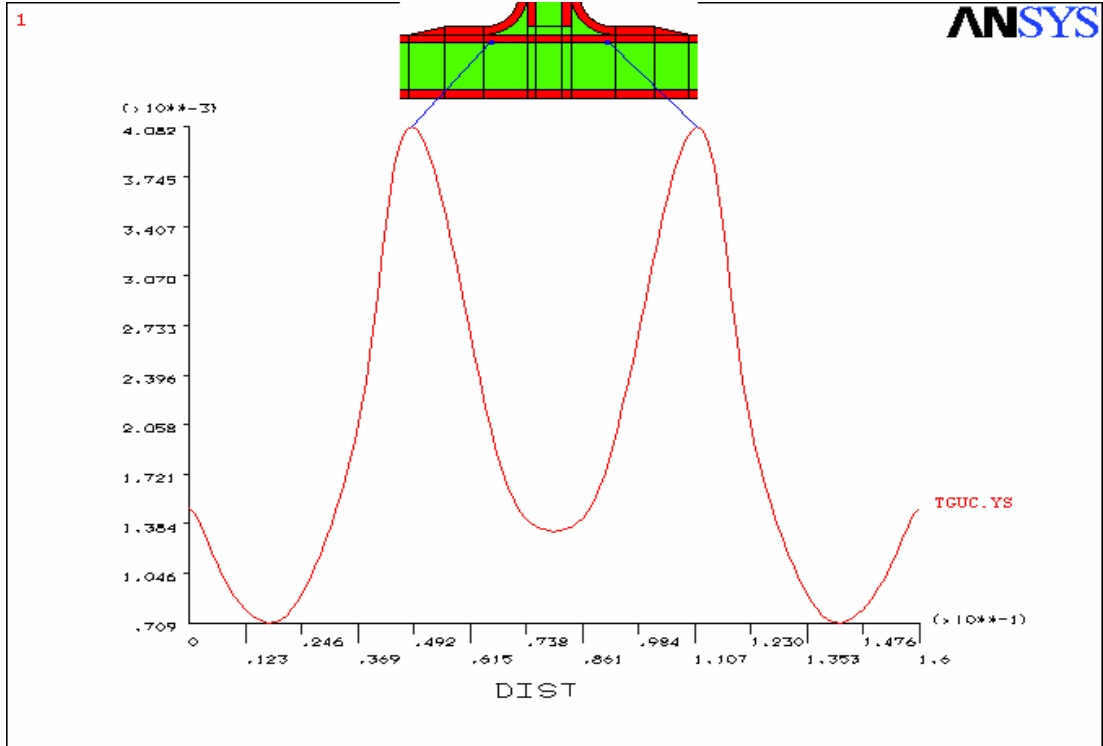
Şekil 4.82 Dönümlü 25 sandviç T bağlantısında (y yönünde) oluşan gerinim dağılımı

Dönümlü 25 sandviç T bağlantısında maksimum gerinimler üstkatmanlama-dolgu-tekne gövdesi birleşim noktalarında ve tekne gövdesi çekirdeğinde meydana gelmiştir (Şekil 4.82).

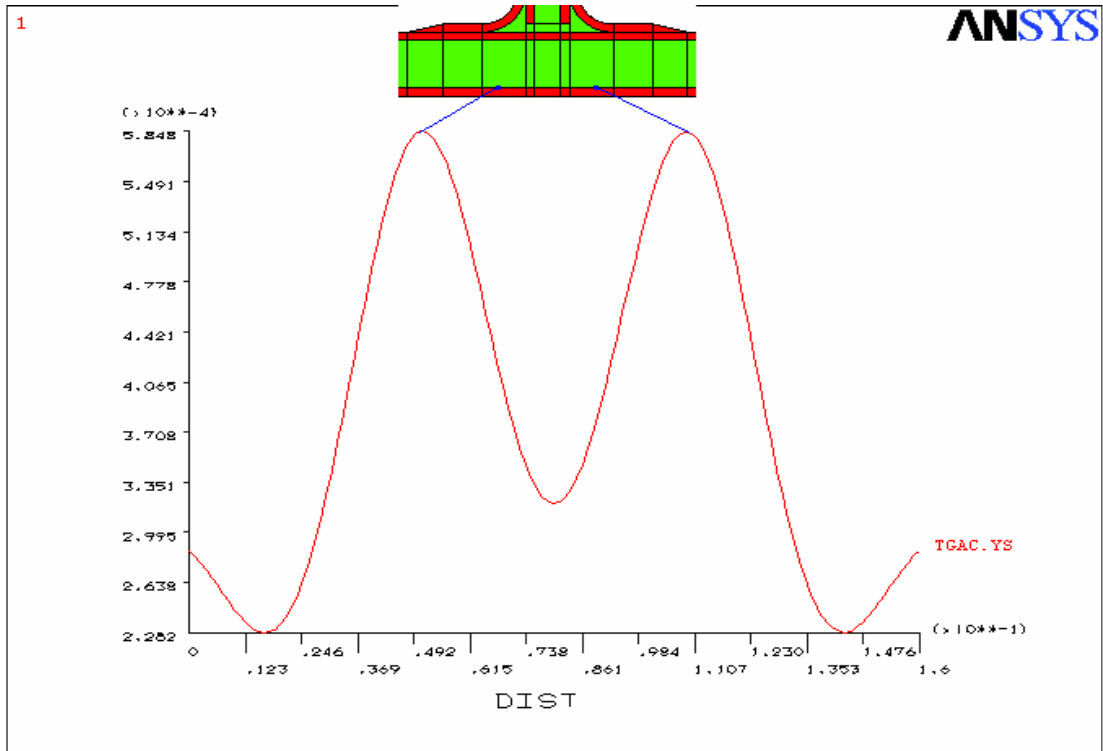


Şekil 4.83 Dönümlü 25 sandviç T bağlantısında üstkatmanlama-tekne gövdesi arasında kalınlık yönünde oluşan gerinim dağılımı

Şekil 4.83'te görüldüğü gibi incelenen bu bölgede maksimum kalınlık yönündeki gerinim üstkatmanlama-dolgu-tekne gövdesi birleşim bölgesine meydana gelmiştir. Bu bölge hem eksenel gerinimin yüksek değerde olması hemde delaminasyona neden olacak olan kalınlık yönündeki gerilmenin bu bölgede maksimum olması nedeniyle incelenmesi gereken bir bölge olarak düşünülmüştür.



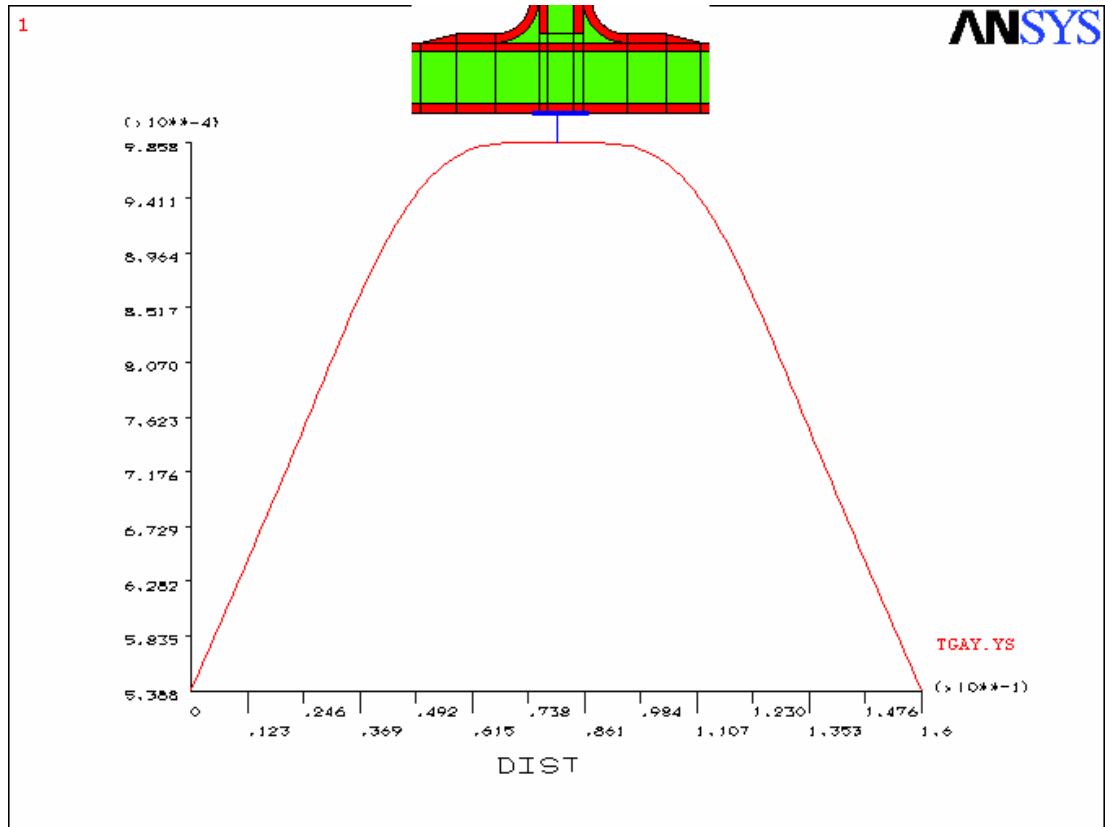
Şekil 4.84 Dönümlü 25 sandviç T bağlantısı tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında kalınlık yönünde oluşan gerinim dağılımı



Şekil 4.85 Dönümlü 25 sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında kalınlık yönünde oluşan gerinim dağılımı

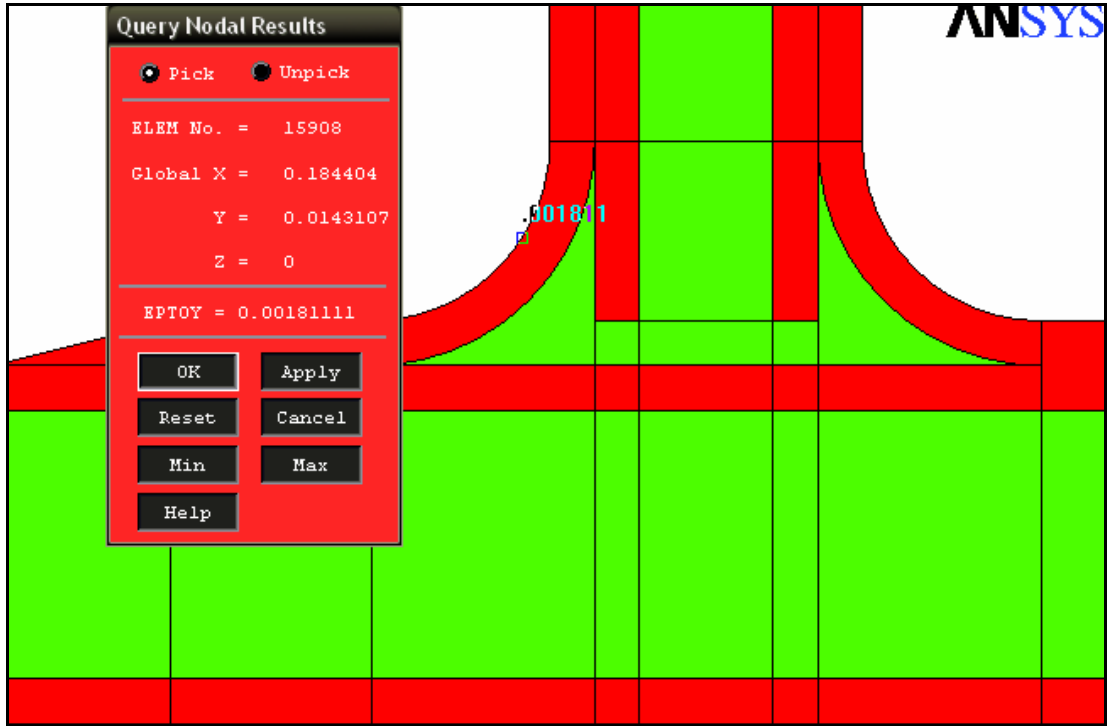
Tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek arasında maksimum kalınlık yönündeki gerinim üstkatmanlama-dolgu-tekne gövdesi birleşim bölgesinin y doğrultusundaki hizasına yakın bir bölgede meydana gelmiştir (Şekil 4.84).

Tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında maksimum gerinim Şekil 4.85'te gösterilen bölgede maksimum değerini almıştır.



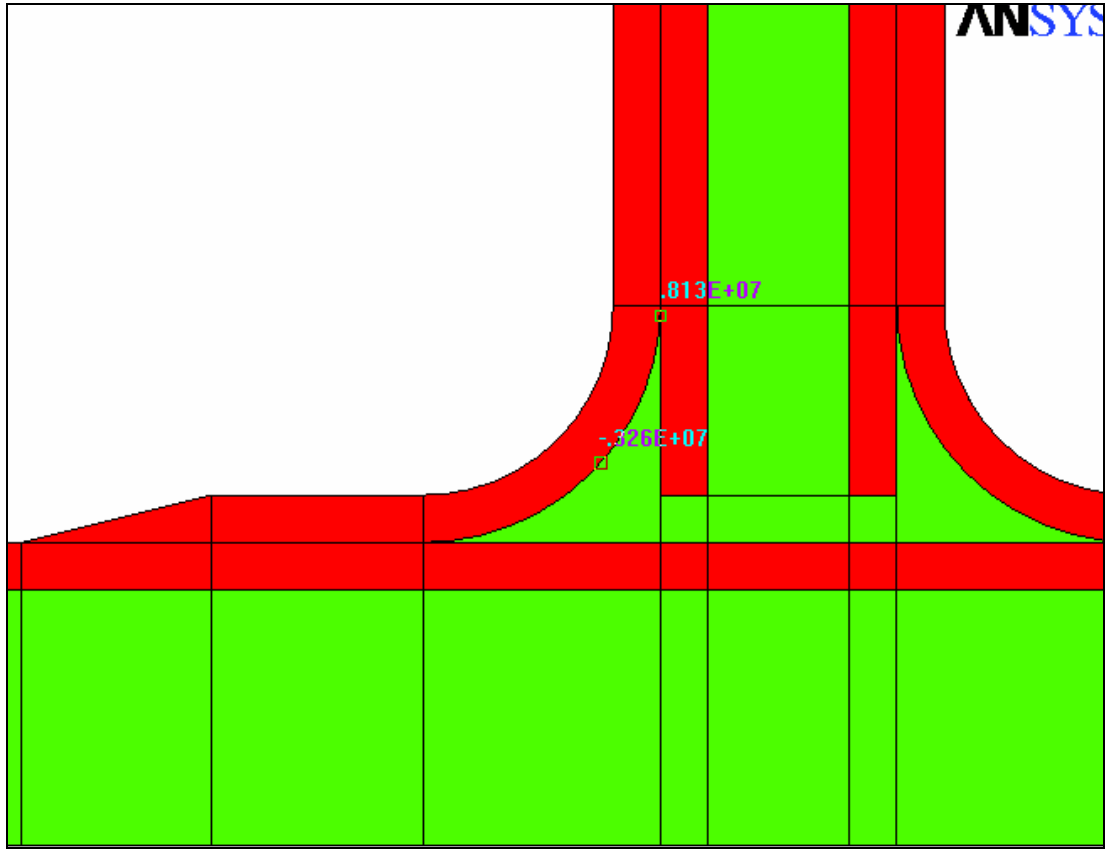
Şekil 4.86 Dönümlü 25 sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzeyinde oluşan kalınlık yönündeki gerinim dağılımı

Dönümlü 25 sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzeyinde kalınlık yönünde oluşan maksimum gerinim, bu bölgede meydana gelen eksenel gerinim dağılımına benzer bir dağılım göstermiştir (Şekil 4.86).



Şekil 4.87 Dönümlü 25 sandviç T bağlantısı üstkatmanlama elemanı üst yüzeyinde y yönünde meydana gelen maksimum gerinim

Üstkatmanlama elemanı üst yüzeyinde kalınlık yönünde maksimum gerinim üst yüzeyin orta kısmına yakın bir bölgede meydana gelmiştir (Şekil 4.87). Bu bölge hem x yönündeki hem de y yönündeki gerilmeler dikkate alındığında bağlantıda olası bir hasar oluşumunun yüksek olduğu bir bölge olmuştur.

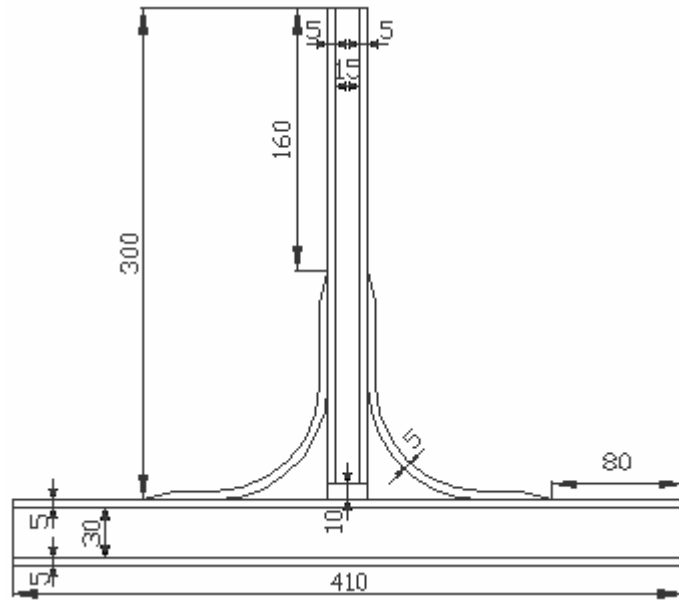


Şekil 4.88 Dönümlü 25 sandviç T bağlantısında üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinde oluşan y yönündeki maksimum gerilmeler

Üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinde maksimum kalınlık yönündeki gerilme üstkatmanlama-dolgu-tekne bölmesi elemanlarının birleştiği bölgede meydana gelmiştir (Şekil 4.88). Oluşan bu çeki gerilmesi bu bölgede delaminasyona neden olabilecek gerilmedir. Alt yüzeyde maksimum bası gerilmesi ise üstkatmanlama elemanının alt yüzeyin orta kısmında meydana gelmiştir.

Sonuç olarak delaminasyona neden olabilecek kalınlık yönündeki gerilmeler gözönüne alındığında en riskli bölgeler üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinin orta bölgesi ile üstkatmanlama-dolgu-tekne bölmesi elemanlarının birleştiği bölge ve üstkatmanlama ile tekne gövdesi arasındaki üstkatmanlama-dolgu-tekne gövdesi elemanları birleşim bölgesi en riskli bölgeler olarak düşünülmüştür.

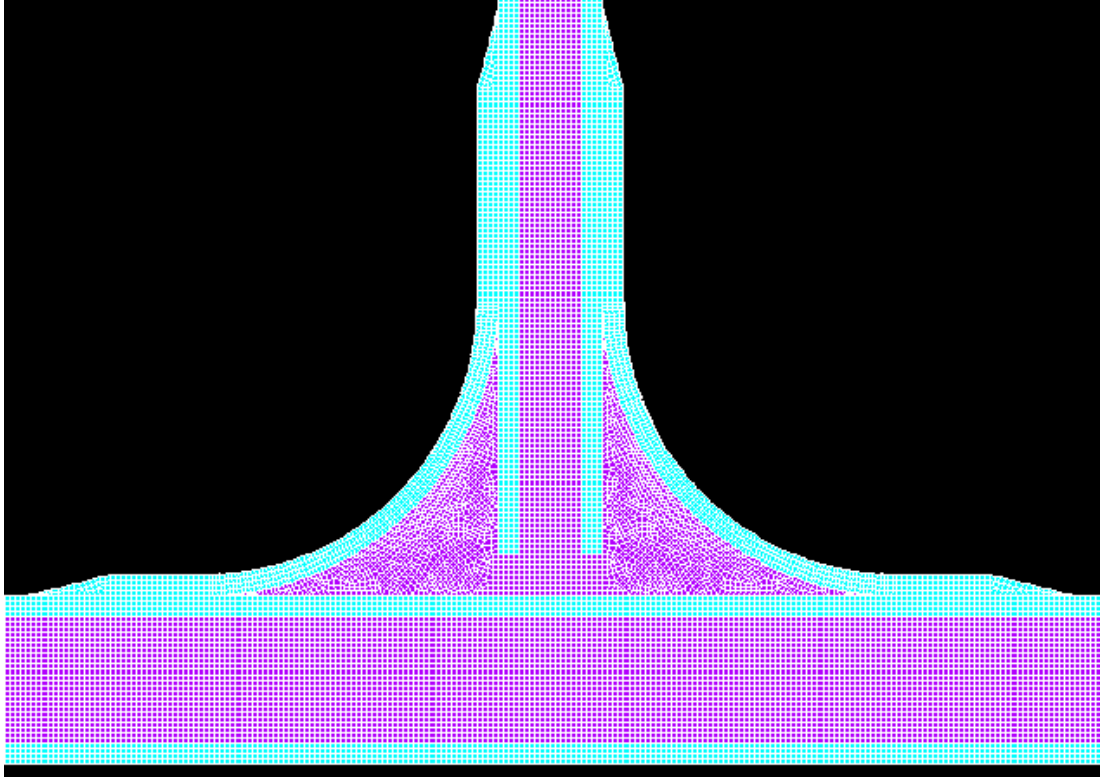
4.3.5 Dönümlü 70 Sandviç T Bağlantısı



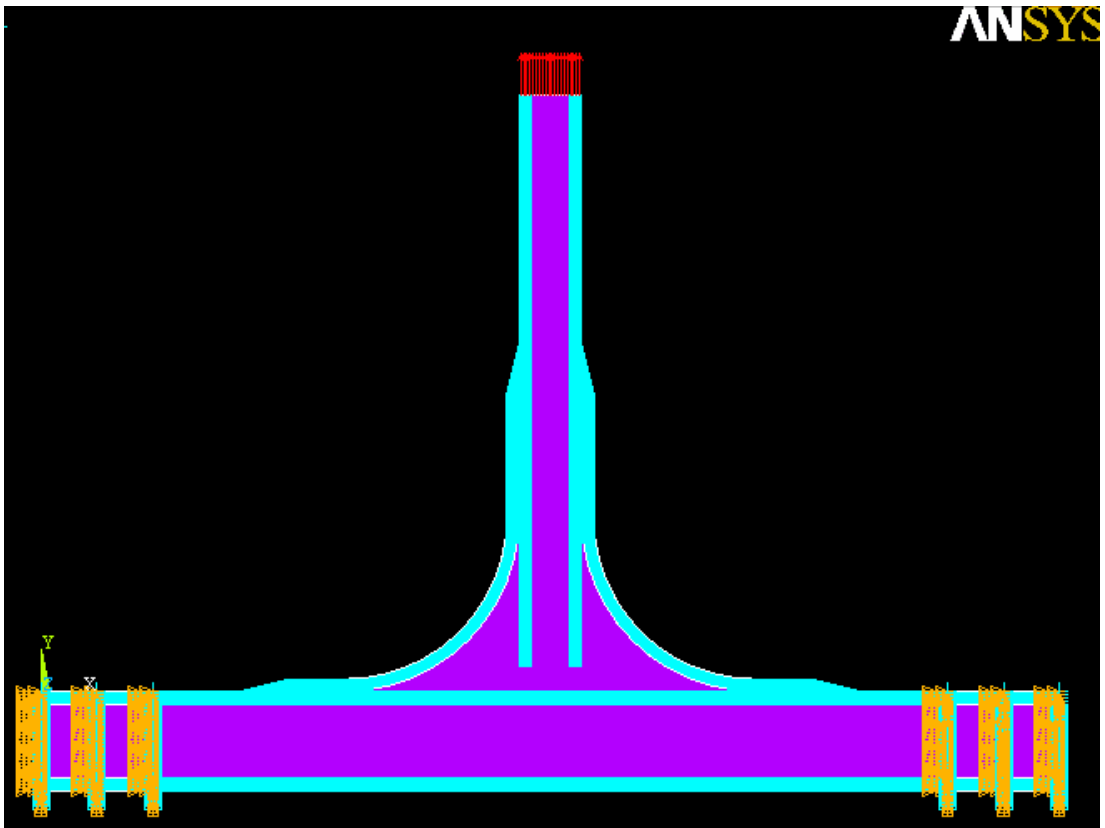
Şekil 4.89 Dönümlü 70 sandviç T bağlantısında uzunluk ölçüleri

Dönümlü 70 sandviç T bağlantısına ait boyutlar Şekil 4.89’ da verilmiştir. Bu çalışma kapsamında incelenen ilk iki bağlantı tipinden farklı olarak dönümlü 25 sandviç tip T bağlantısında üstkatmanlama-tekne bölmesi-tekne gövdesi arasında PVC’den yapılmış, bağlantıda dolgu olarak adlandırılan 70 mm yarıçapında bir üçgen eleman ve tekne bölmesiyle tekne gövdesi arasına konmuş 10 mm kalınlığından PVC bir eleman kullanılmıştır.

İçiçe geçmeli sandviç T bağlantısının sonlu elemanlar modeli Şekil 4.90’da gösterilmektedir.

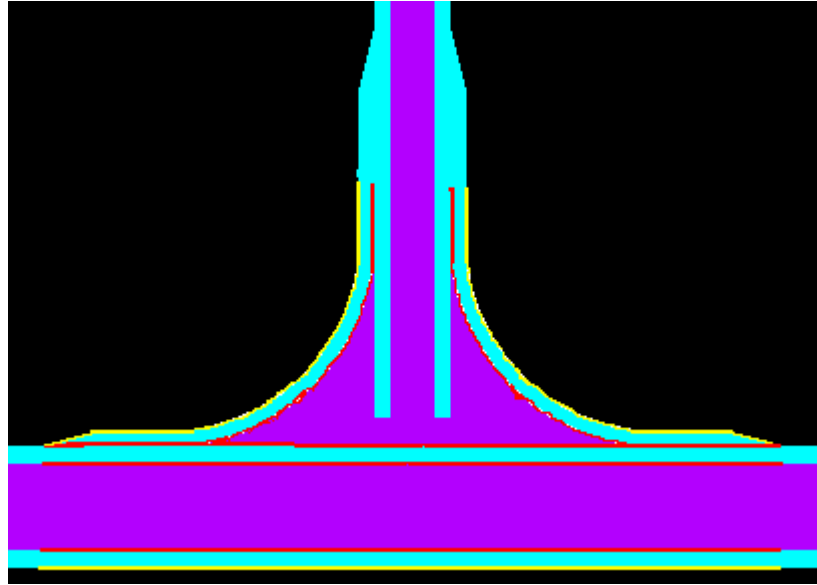


Şekil 4.90 Dönümlü 70 sandviç T bağlantısını sonlu elemanlara bölme



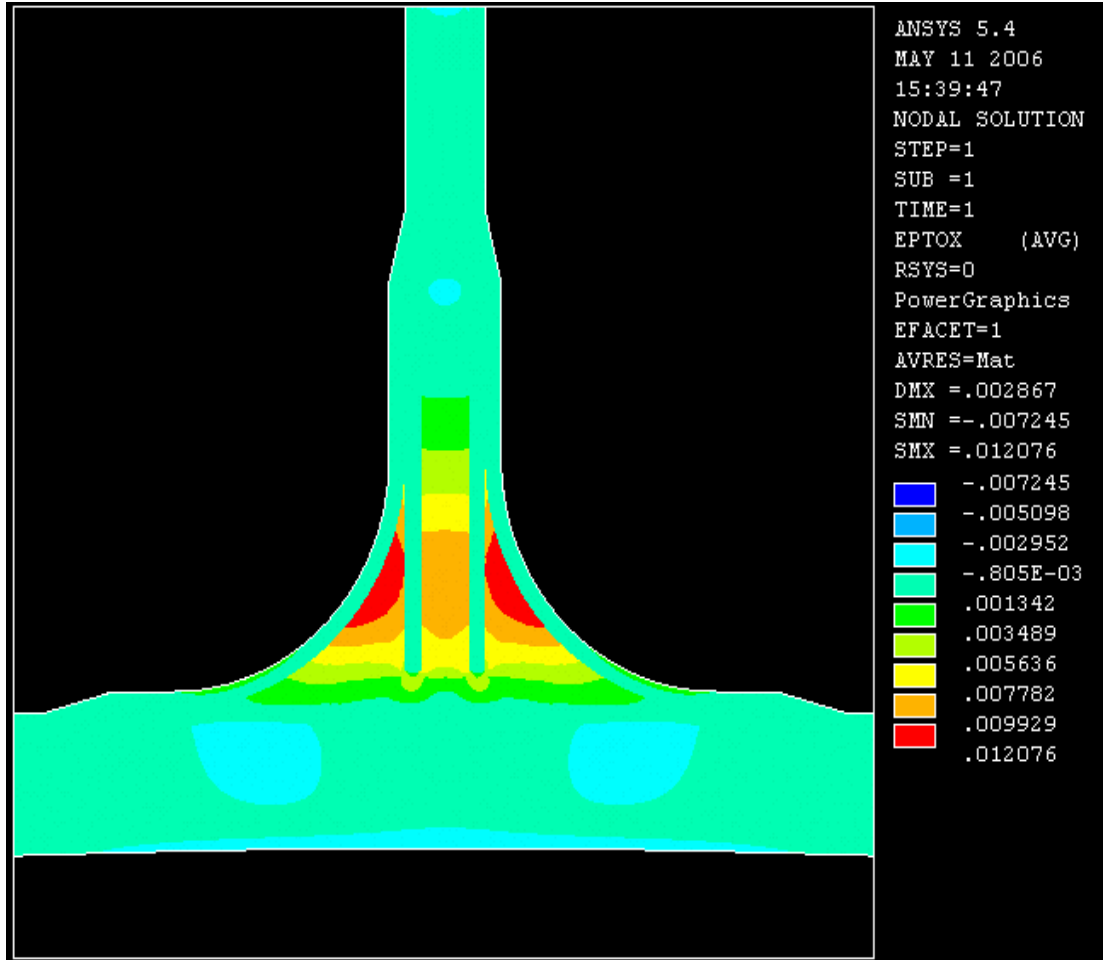
Şekil 4.91 Dönümlü 70 sandviç T bağlantısında mesnetleme ve yükleme durumu

Şekil 4.91’de sınır şartları ve yükler gösterilmiştir.



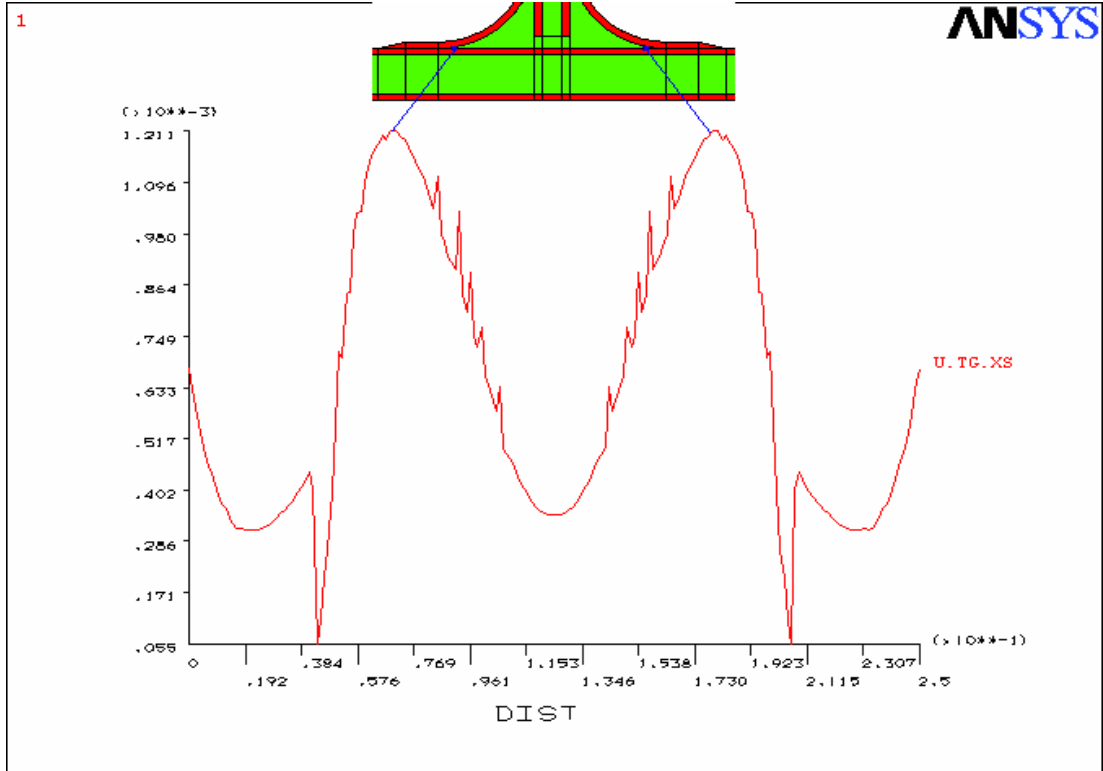
Şekil 4.92 Dönümlü 25 sandviç T bağlantısında muhtemel delaminasyon ve maksimum gerinim oluşum bölgeleri

Bu çalışma kapsamında incelenen T bağlantısında delaminasyona uğrayabilecek bölgeler Şekil 4.92’de gösterilmektedir. Bu bölgeler; üstkatmanlama-tekne yüzeyi sınırı, üstkatmanlama-dolgu yüzeyi sınırı, tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırı ve de tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırındır(kırmızı çizgiler). Muhtemel bir çatlağa maruz kalabilecek bölgeler olarakta maksimum gerinimlerin oluştuğu bölgeler olarakta tekne gövdesinin alt yüzeyi ile üstkatmanlama elemanı belirlenmiştir (sarı çizgiler).

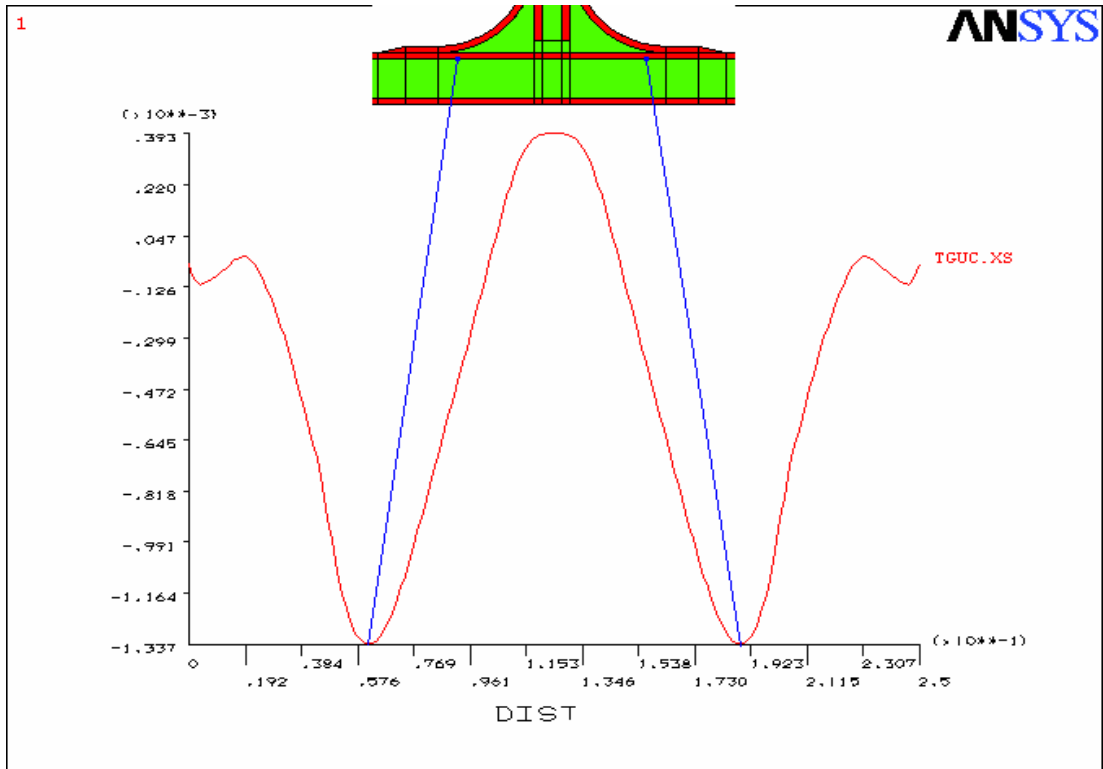


Şekil 4.93 Dönümlü 70 sandviç T bağlantısında x ekseni yönünde oluşan gerinim dağılımı

Şekil 4.93'te dönümlü 70 sandviç T bağlantısında aksenal yönde oluşan gerinim dağılımı gösterilmektedir. Sistemde maksimum aksenal gerinme dönümlü 25 sandviç T bağlantısında olduğu gibi üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinin orta kısmına yakın bir bölgede dolgu elemanında meydana gelmiştir ve üstkatmanlama elemanı üst yüzeyi alt kısmında meydana gelmiştir.



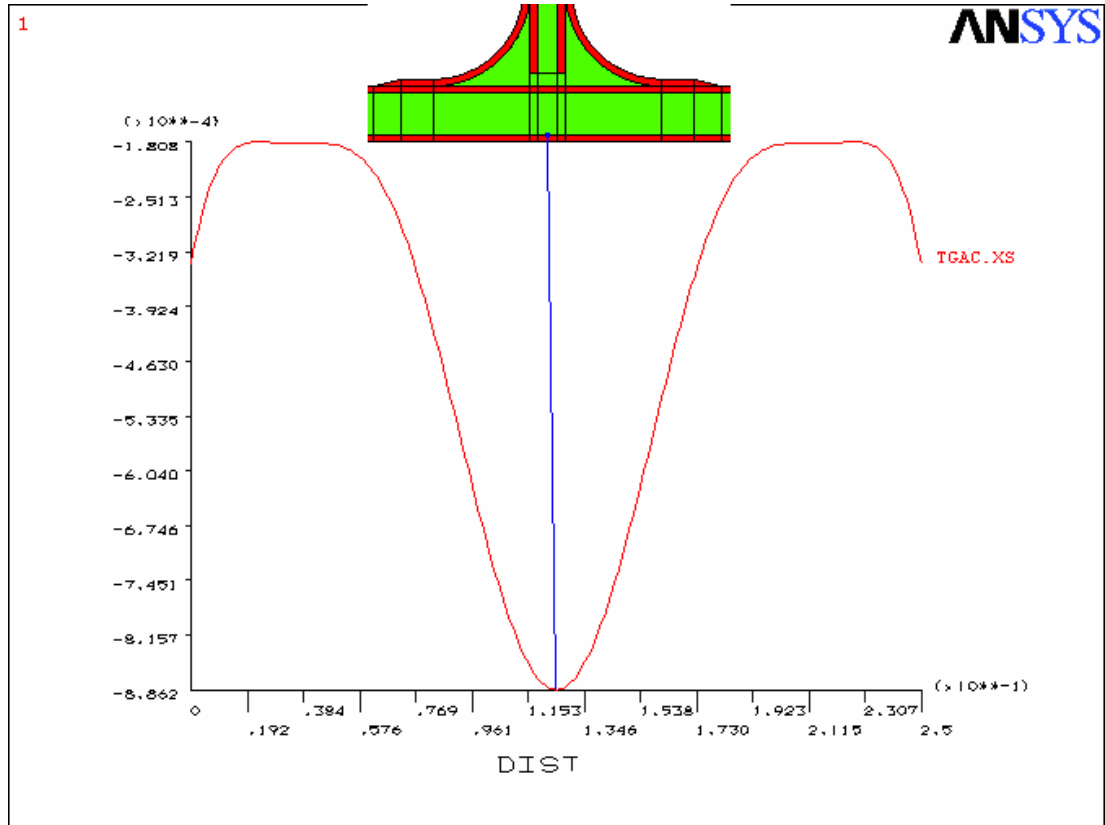
Şekil 4.94 Dönümlü 70 sandviç T bağlantısında üstkamanlama ile tekne gövdesi arasında oluşan aksenal gerinim dağılımı



Şekil 4.95 Dönümlü 70 sandviç T bağlantısında tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında oluşan aksenal gerinim dağılımı

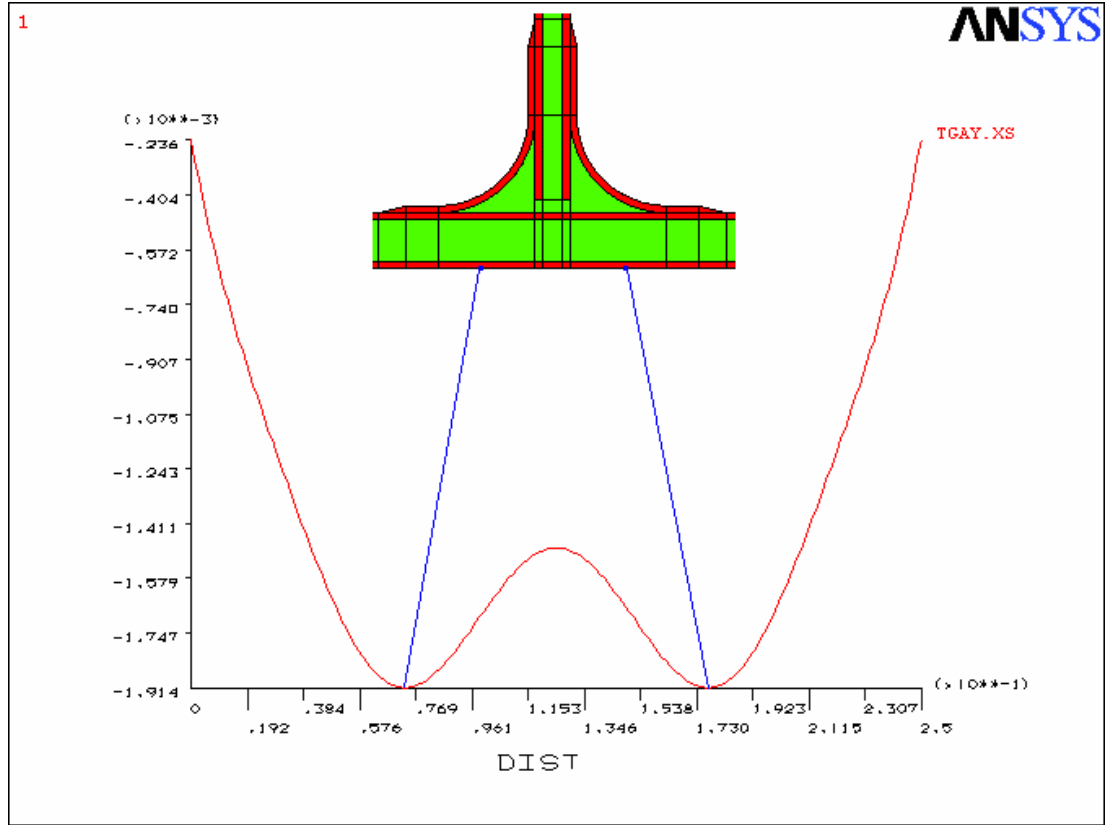
Üstkatmanlama elemanı ile tekne gövdesi arasındaki maksimum aksenal gerinim üstkatmanlama-dolgu-tekne gövdesi elemanlarının birleşim noktasına yakın bir bölgede meydana gelmiştir (Şekil 4.94).

Tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında meydana gelen maksimum aksenal gerinim üstkatmanlama-dolgu-tekne gövdesi elemanlarının birleşim noktasına yakın bir bölgede meydana gelmiştir (Şekil 4.95).

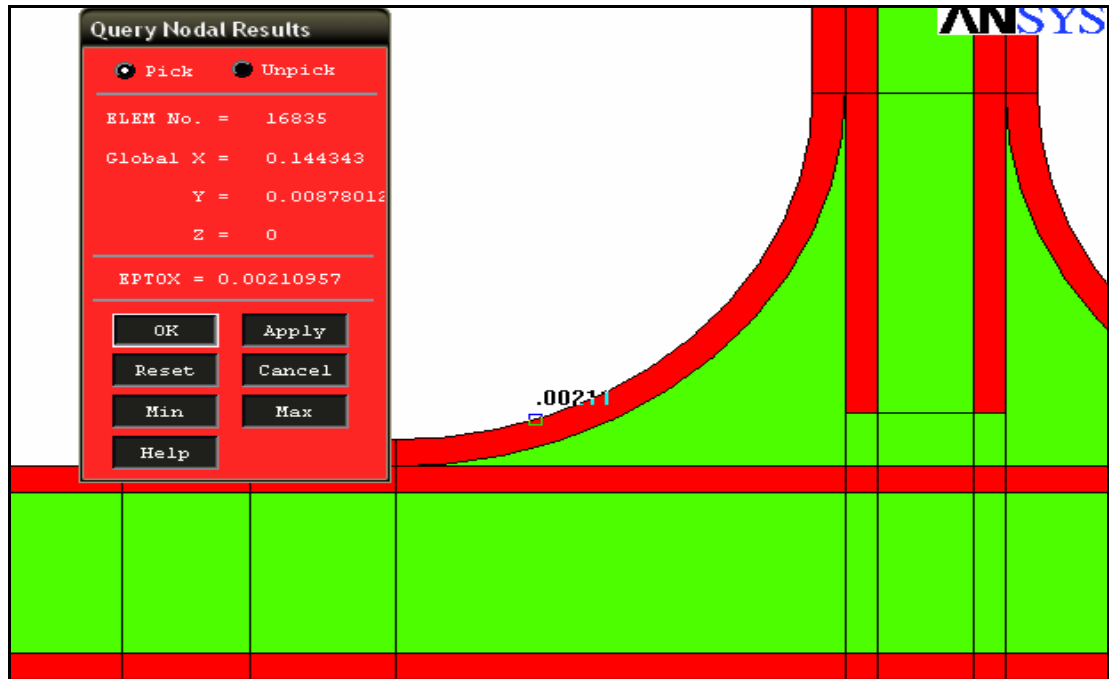


Şekil 4.96 Dönümlü 70 sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında oluşan aksenal gerinim dağılımı

Şekil 4.96'dan görüldüğü gibi tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında maksimum aksenal gerinim sınırın tam orta bölgesinde meydana gelmiştir. Ancak oluşan bu gerinim daha önce incelenen bağlantı tiplerinde olduğu gibi çok düşük değerlerde meydana gelmiştir.



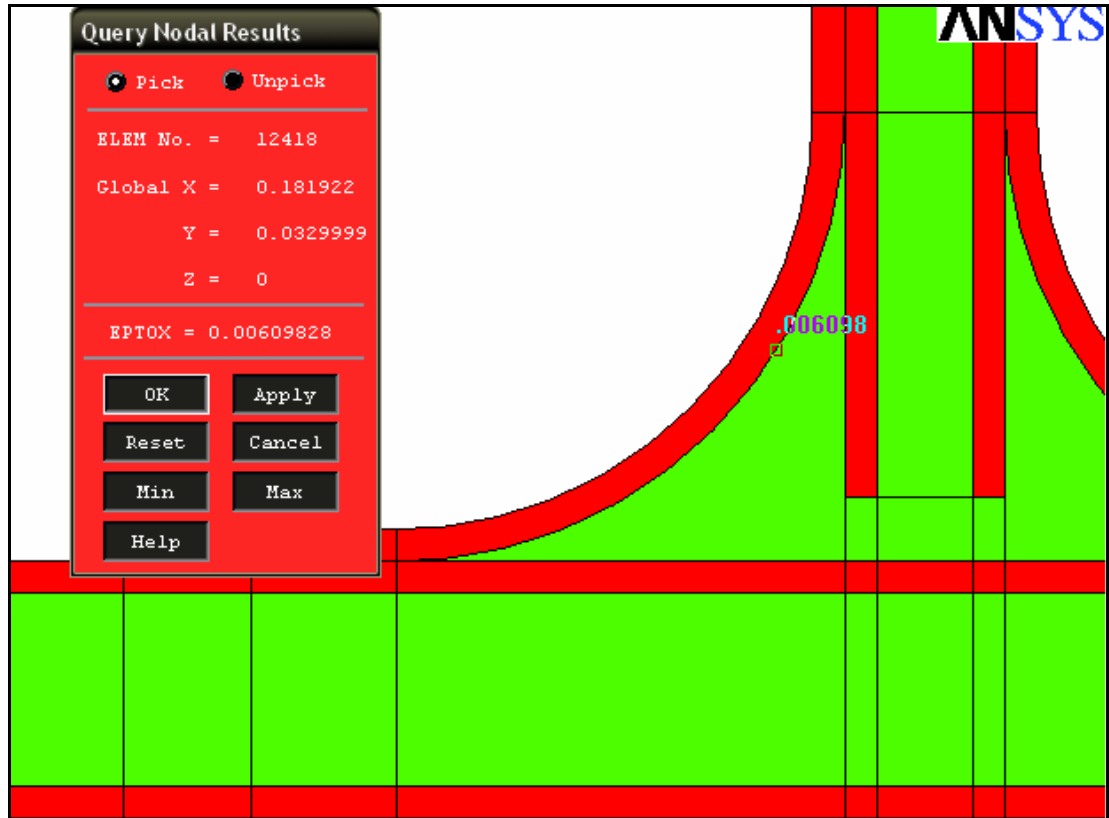
Şekil 4.97 Dönümlü 70 sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzeyinde oluşan aksenal gerinim dağılımı



Şekil 4.98 Dönümlü 70 sandviç T bağlantısında üstkatmanlama elemanı üst yüzeyinde oluşan maksimum aksenal gerinim

Dönümlü 70 sandviç T bağlantısında maksimum eksenel gerinim oluşan diğer gerinim bölgelerinden farklı bir bölgede meydana gelmiştir (Şekil 4.97).

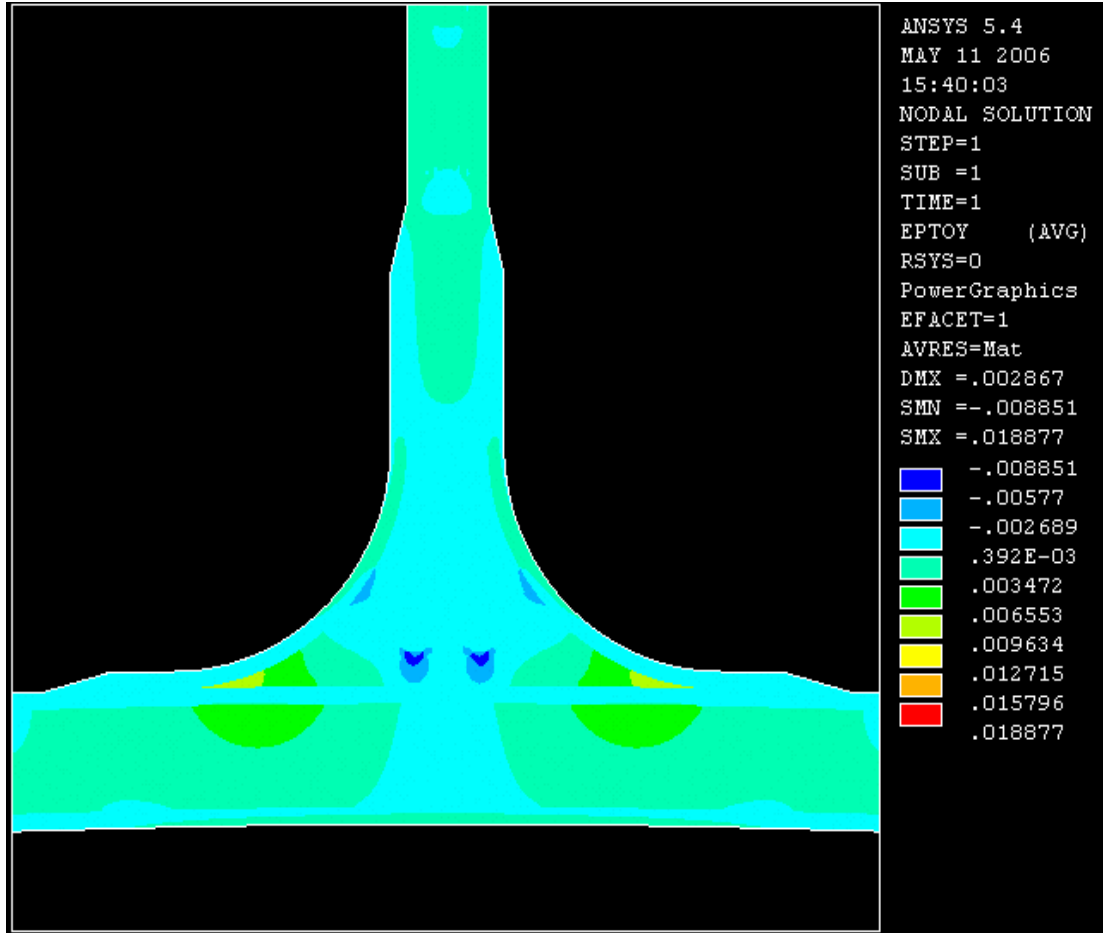
Üstkatmanlama elemanı üst yüzeyinde meydana gelen maksimum gerinim üst yüzeyin orta kısmına yakın bir noktada meydana gelmiştir. Meydana gelen bu yüksek gerinim değerinden dolayı ilk hasarın bu noktada oluşma olasılığı çok yüksektir (Şekil 4.98).



Şekil 4.99 Dönümlü 70 sandviç T bağlantısında üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinde oluşan maksimum eksenel gerinim

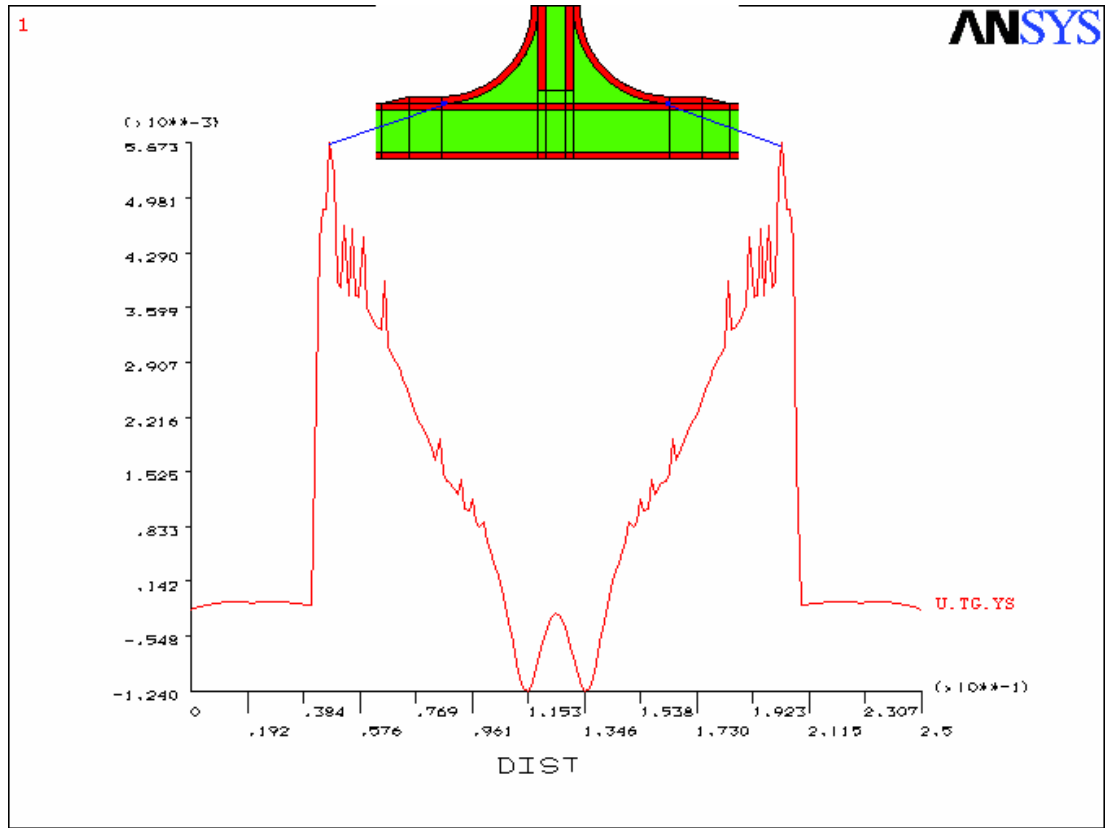
Şekil 4.99’da üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinde oluşan maksimum eksenel gerinim gösterilmektedir.

Üstkatmanlama elemanındaki analiz sonuçları sadece x, y ve z yönlerindeki gerinimleri vermektedir. Ancak bizim için önemli olan elemanların düzlem ve kalınlıkla yönlerindeki gerinim değerleri olduğu için bu değerler mukavemet bilgisinden mohr çemberi yardımıyla hesaplanacaktır.

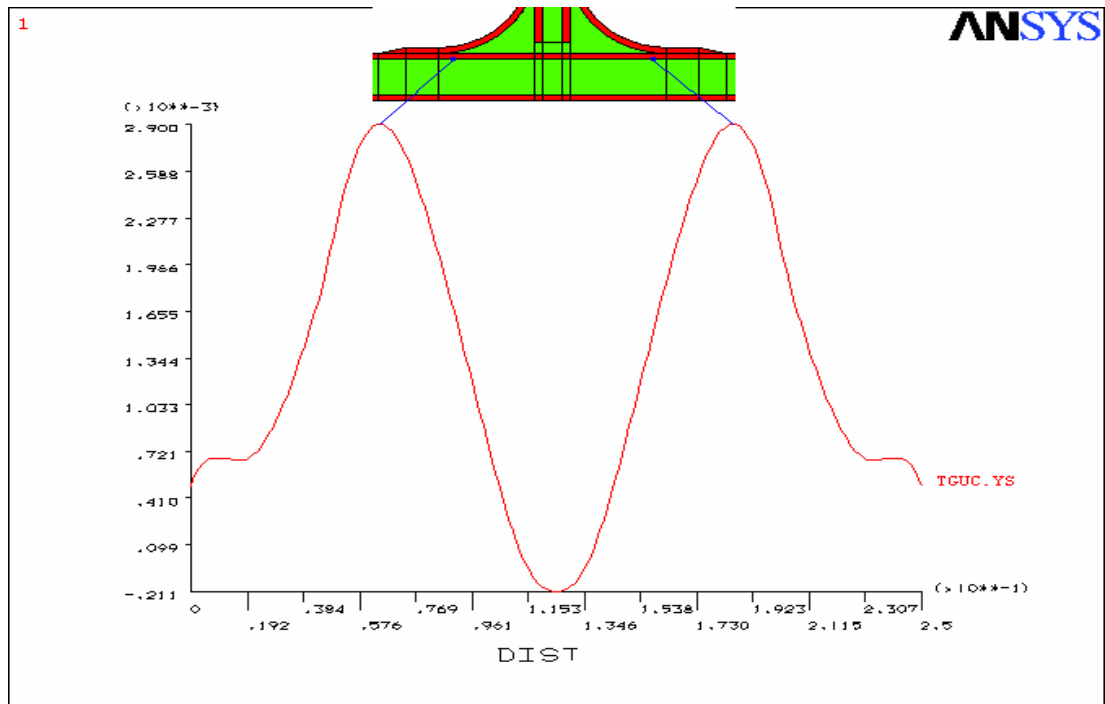


Şekil 4.100 Dönümlü 70 sandviç T bağlantısında y eksenî yönünde oluşan gerinim dağılımı

Dönümlü 70 sandviç T bağlantısında y eksenî yönünde maksimum çeki gerinimi üstkatmanlama elemanı üst yüzeyinde ve yine üstkatmanlama-dolgu-tekne gövdesi birleşim noktasında, tekne gövde çekirdeğinde ve tekne bölmesi alt kısmında meydana gelmiştir (Şekil 4.100).



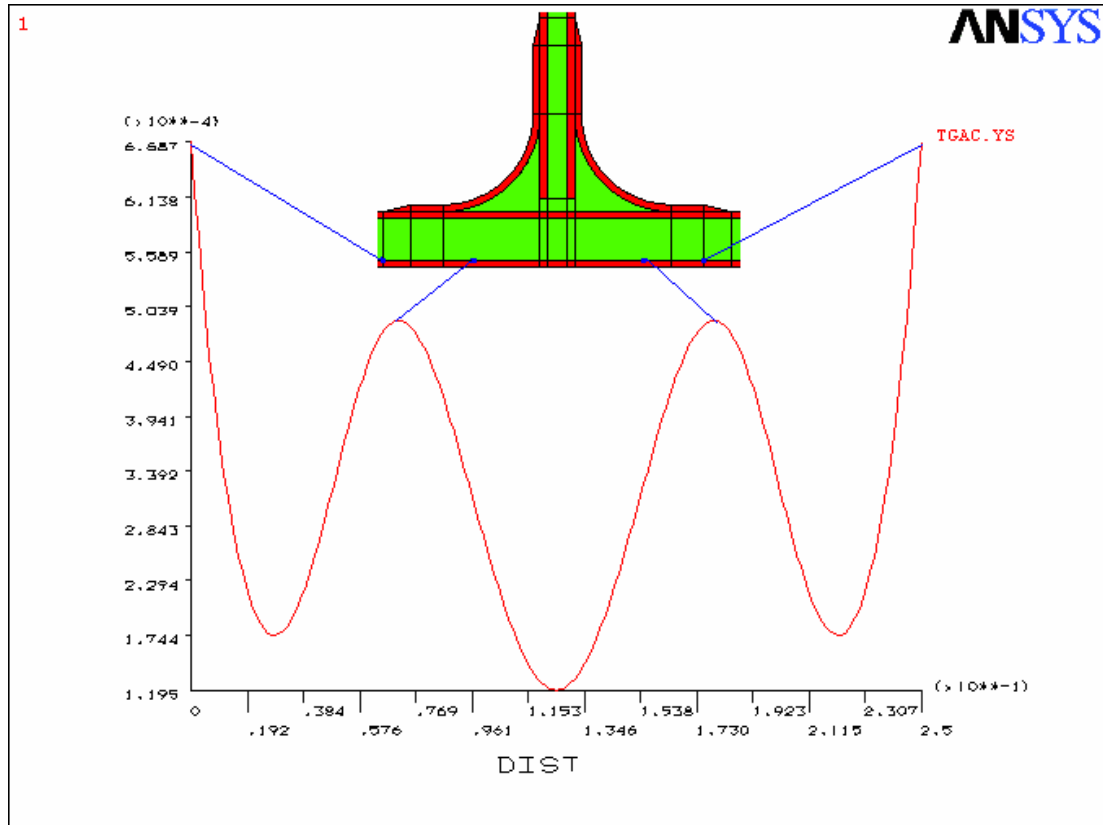
Şekil 4.101 Dönümlü 70 sandviç T bağlantısında üstkatmanlama ile tekne gövdesi arasında kalınlık yönünde oluşan gerinim dağılımı



Şekil 4.102 Dönümlü 70 sandviç T bağlantısında tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında kalınlık yönünde oluşan gerinim dağılımı

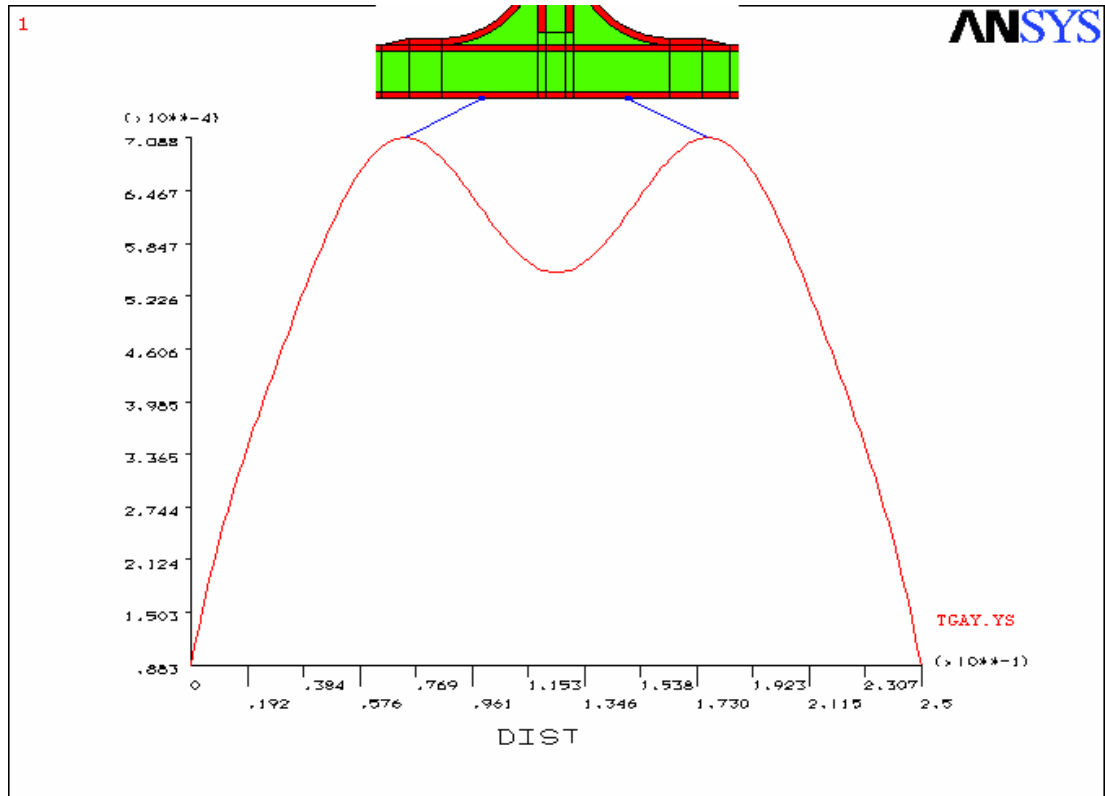
Dönümlü 70 sandviç T bağlantısında üstkatmanlama ile tekne gövdesi arasındaki maksimum kalınlık boyunda gerinim, üstkatmanlama-dolgu-tekne gövdesi elemanlarının birleştiği bölgede meydana gelmiştir (Şekil 4.101).

Tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırındaki maksimum kalınlık yönündeki gerinim üstkatmanlama-dolgu-tekne gövdesi elemanlarının birleştiği noktasının y doğrultusu hizasına yakın bir bölgede meydana gelmiştir (Şekil 4.102).

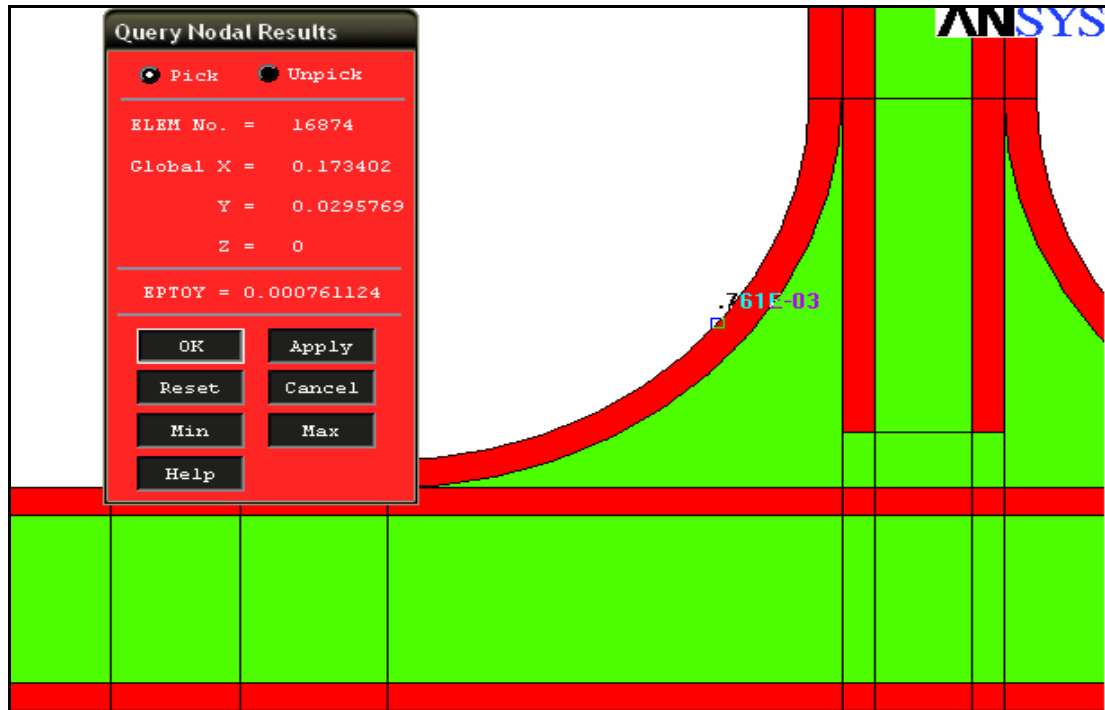


Şekil 4.103 Dönümlü 70 sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında kalınlık yönünde oluşan gerinim dağılımı

Tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında meydana gelen maksimum kalınlık yönündeki gerinim, uç kısımlarda ve üstkatmanlama ucunun y doğrultusundaki hizasında meydana gelmiştir (Şekil 4.103). Ancak meydana gelen bu gerinim değeri incelenen bu bölgede delaminasyona neden olabilecek büyüklükte bir değere sahip değildir.



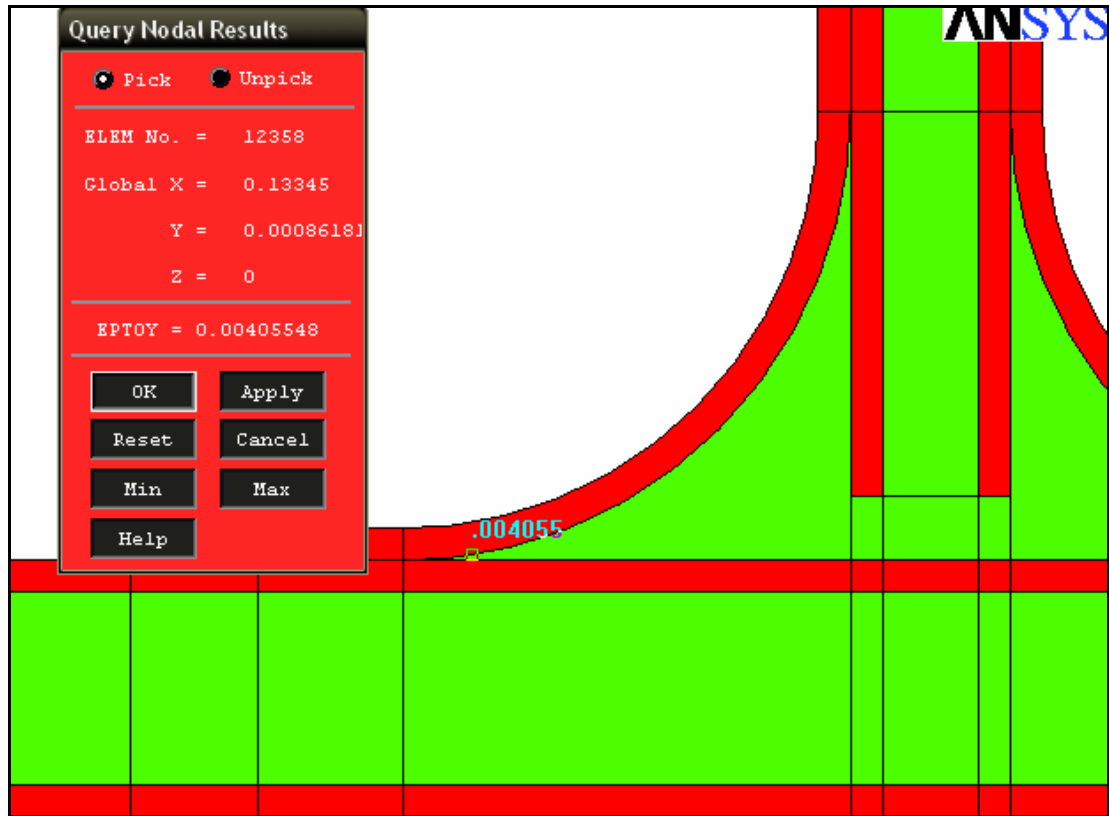
Şekil 4.104 Dönümlü 70 sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzeyinde kalınlık yönünde oluşan gerinim dağılımı



Şekil 4.105 Dönümlü 70 sandviç T bağlantısında üstkatmanlama elemanı üst yüzeyinde y yönünde oluşan maksimum gerinim

Tekne gövdesi alt yüzeyinde kalınlık yönündeki maksimum gerinim üstkatmanlama elemanında maksimum aksenal gerinimin olduğu bölgenin -y eksenini doğrultusundaki hizasında meydana gelmiştir (Şekil 4.104).

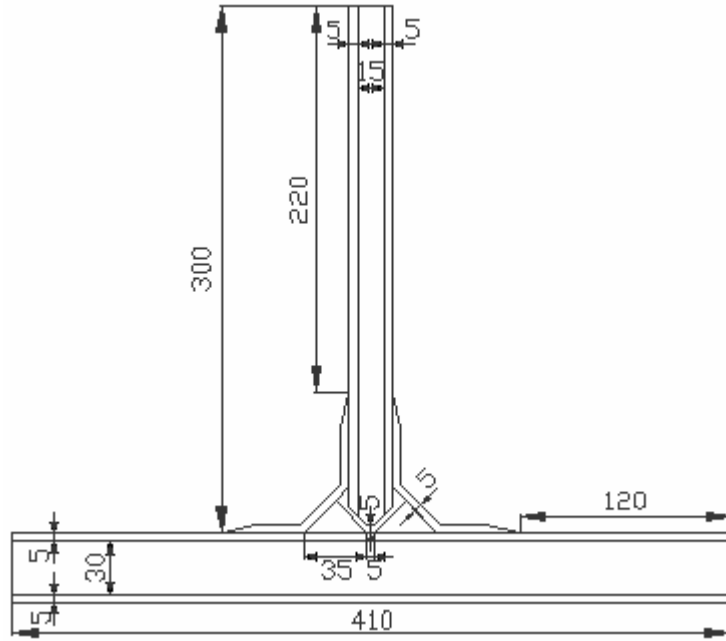
Üstkatmanlama elemanı üst yüzeyinde meydana gelen maksimum y yönündeki gerinim üst yüzeyin orta kısmına yakın bir bölgede meydana gelmiştir (Şekil 4.105).



Şekil 4.106 Dönümlü sandviç T bağlantısında üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinde y yönünde oluşan maksimum gerinim

Şekil 4.106’da üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinde y yönünde oluşan maksimum gerinim gösterilmektedir. Oluşan bu gerinim üstkatmanlama-dolgu-tekne bölmesi elemanlarının birleştiği noktaya yakın bir bölgede meydana gelmiştir.

4.3.6 Yeni Tip Sandviç T Bağlantısı

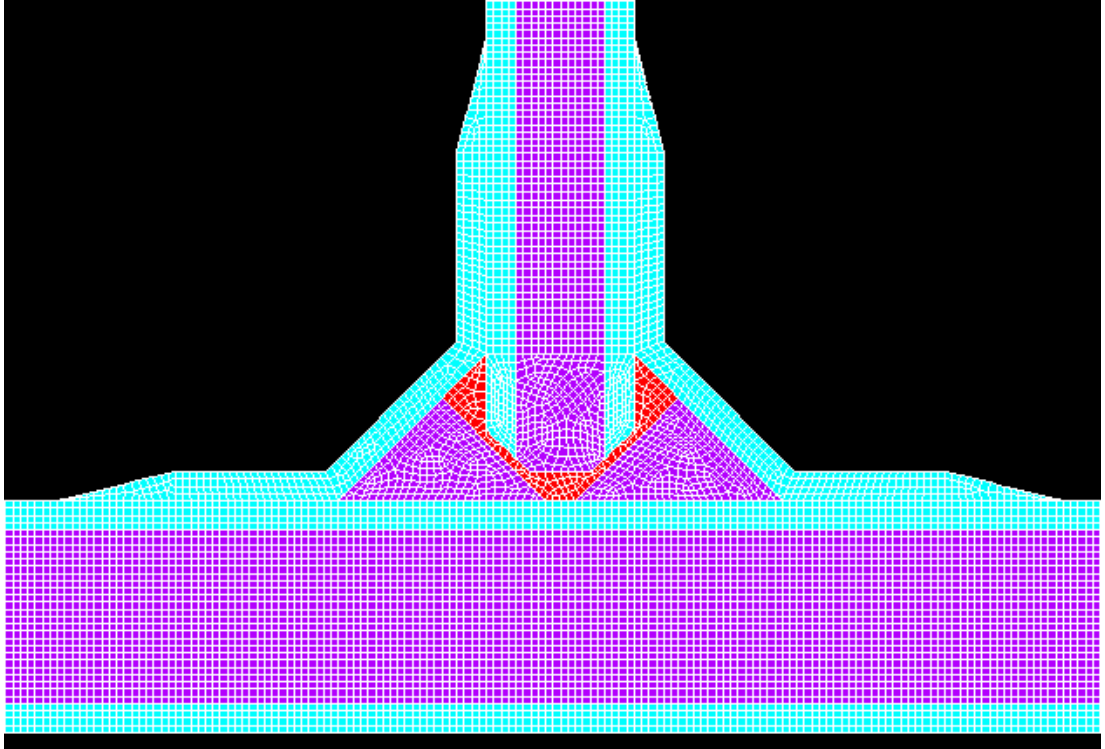


Şekil 4.107 Yeni tip sandviç T bağlantısında uzunluk ölçüleri

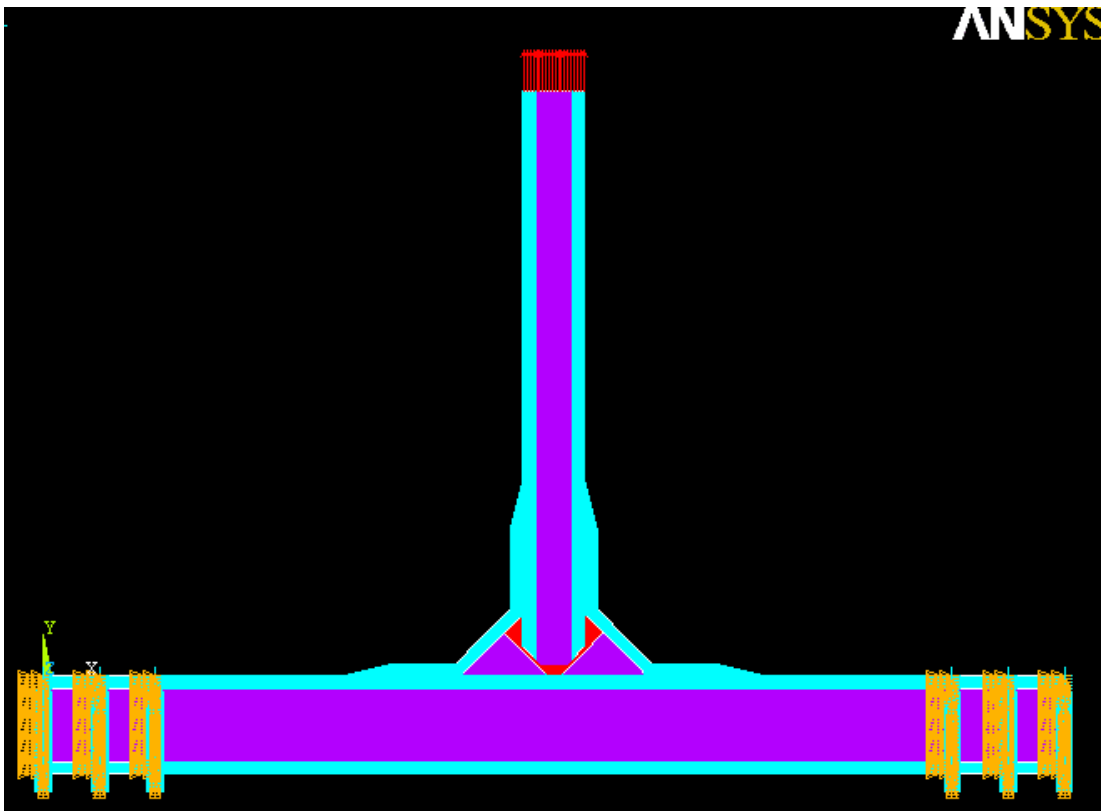
Yeni tip sandviç T bağlantısı, kalınlık değerlerinin belirlenmesinde Şekil 3.1'deki oran değerleri esas alınmıştır. Bu çalışma kapsamında incelenen ilk iki bağlantı tipinden farklı olarak yeni tip sandviç tip T bağlantısında üstkatmanlama-tekne bölmesi-tekne gövdesi arasında PVC'den yapılmış, bağlantıda dolgu olarak adlandırılan 35x25x25 mm boyutlarında iki PVC üçgen eleman kullanılmıştır (Şekil 4.107).

Bu bağlantı tipinde Danimarakalı araştırmacıların (Toftgaard ve Lystrup, 2004) yapmış oldukları tasarım daha da güçlendirilerek ilaveten bir üstkatmanlama yapılmıştır.

İçiçe geçmeli sandviç T bağlantısının sonlu elemanlar modeli Şekil 4.108'de gösterilmektedir.

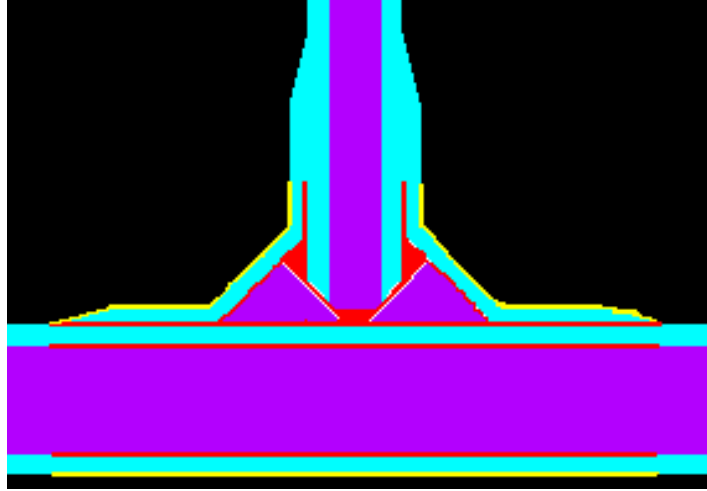


Şekil 4.108 Yeni tip sandviç T bağlantısının sonlu elemanlara bölünmesi



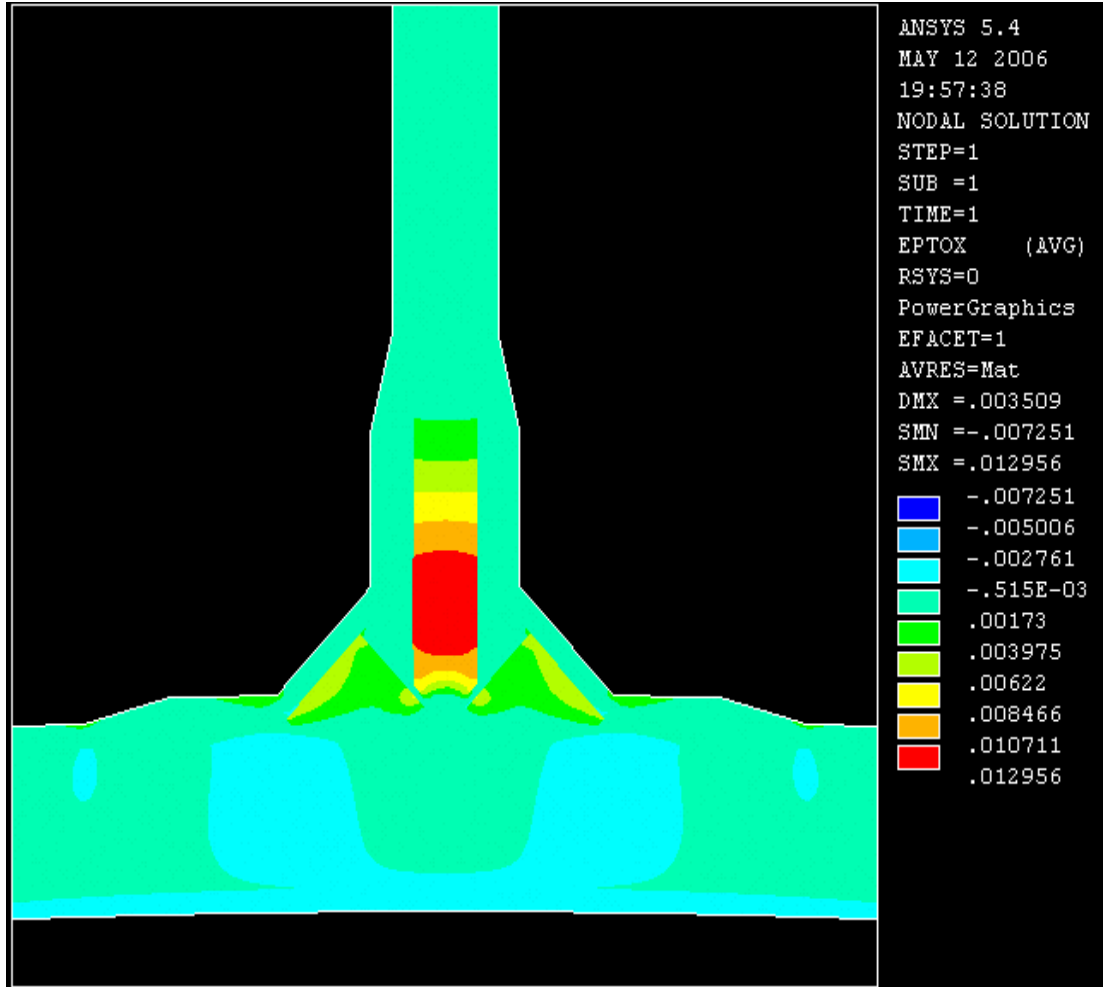
Şekil 4.109 Yeni tip sandviç T bağlantısında mesnetleme ve yükleme durumu

Şekil 4.109’da sınır şartları ve yüklemeler gösterilmiştir.



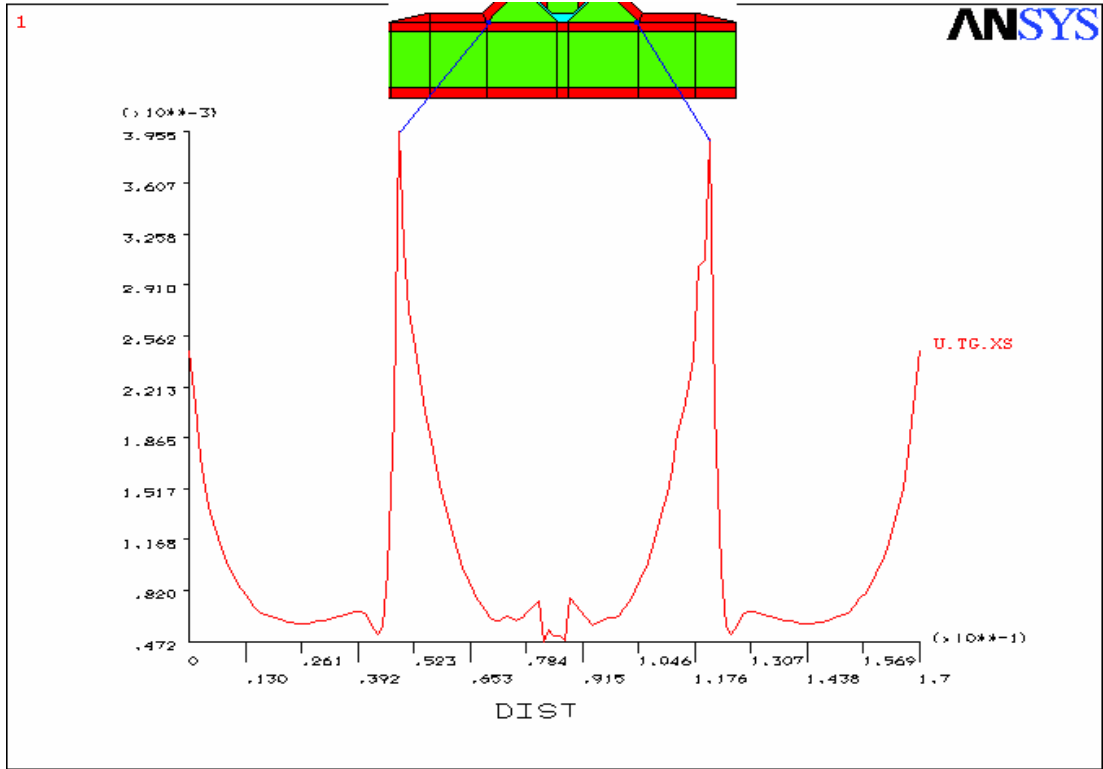
Şekil 4.110 Yeni tip sandviç T bağlantısında muhtemel delaminasyon ve maksimum gerinim oluşum bölgeleri

Bu çalışma kapsamında incelenen T bağlantısında delaminasyona uğrayabilecek bölgeler Şekil 4.110’da gösterilmektedir. Bu bölgeler; üstkatmanlama-tekne yüzeyi sınırı, üstkatmanlama-dolgu yüzeyi sınırı, tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırı ve de tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırındır(kırmızı çizgiler). Muhtemel bir çatlağa maruz kalabilecek bölgeler olarakta maksimum gerinimlerin olduğu bölgeler olarakta tekne gövdesinin alt yüzeyi ile üstkatmanlama elemanı belirlenmiştir (sarı çizgiler).

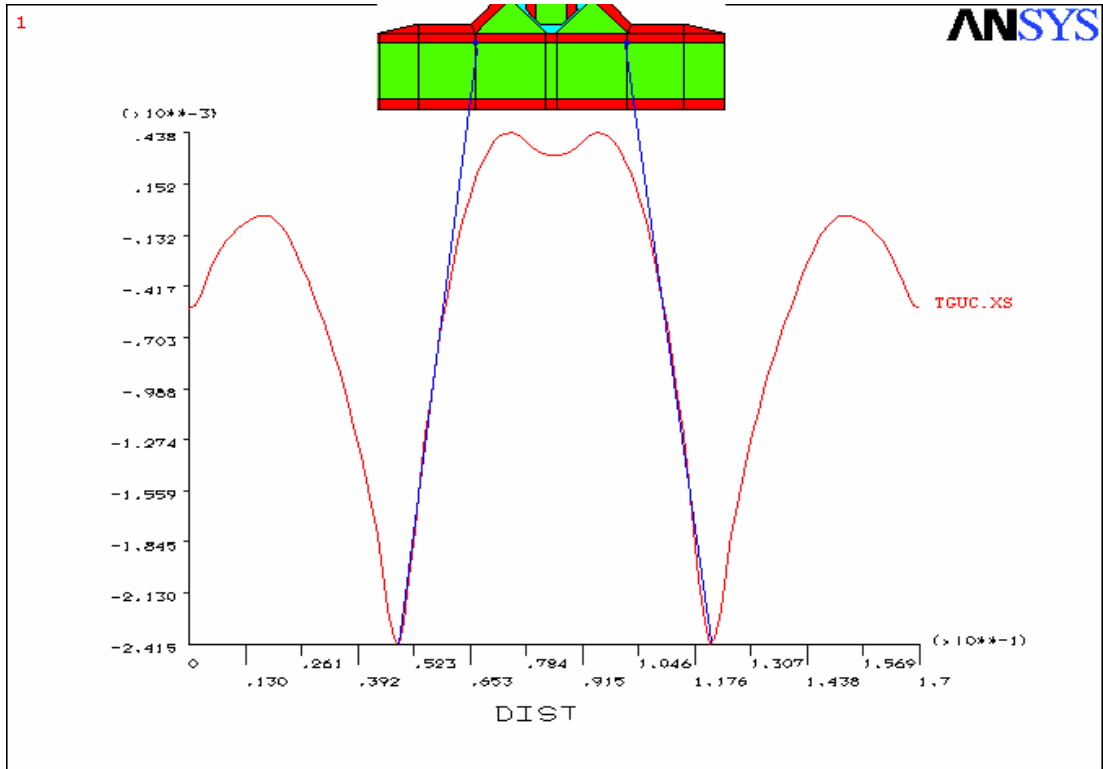


Şekil 4.111 Yeni tip sandviç T bağlantısında oluşan aksenal (x yönündeki) gerinim dağılımı

Şekil 4.111’de yeni bir tip sandviç T bağlantısında aksenal yöndeki gerinim dağılımları gösterilmektedir. Maksimum gerinim üstkatmanlama üst köşesinin x akseni hizasında tekne bölmesi çekirdeğinde üstkatmanlama alt yüzey-çekirdek sınırında meydana gelmiştir.



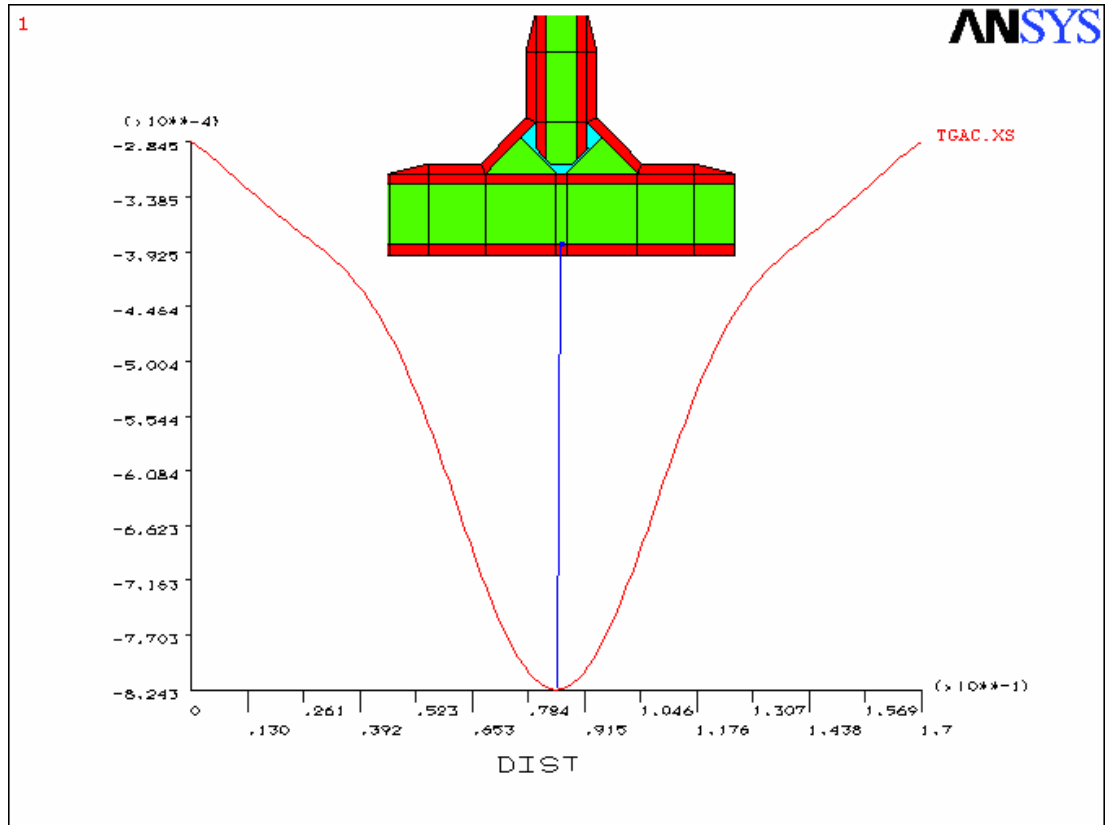
Şekil 4.112 Yeni tip sandviç T bağlantısında üstkatmanlama ile tekne gövdesi arasında oluşan aksenal gerinim dağılımı



Şekil 4.113 Yeni tip sandviç T bağlantısında tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında oluşan aksenal gerinim dağılımı

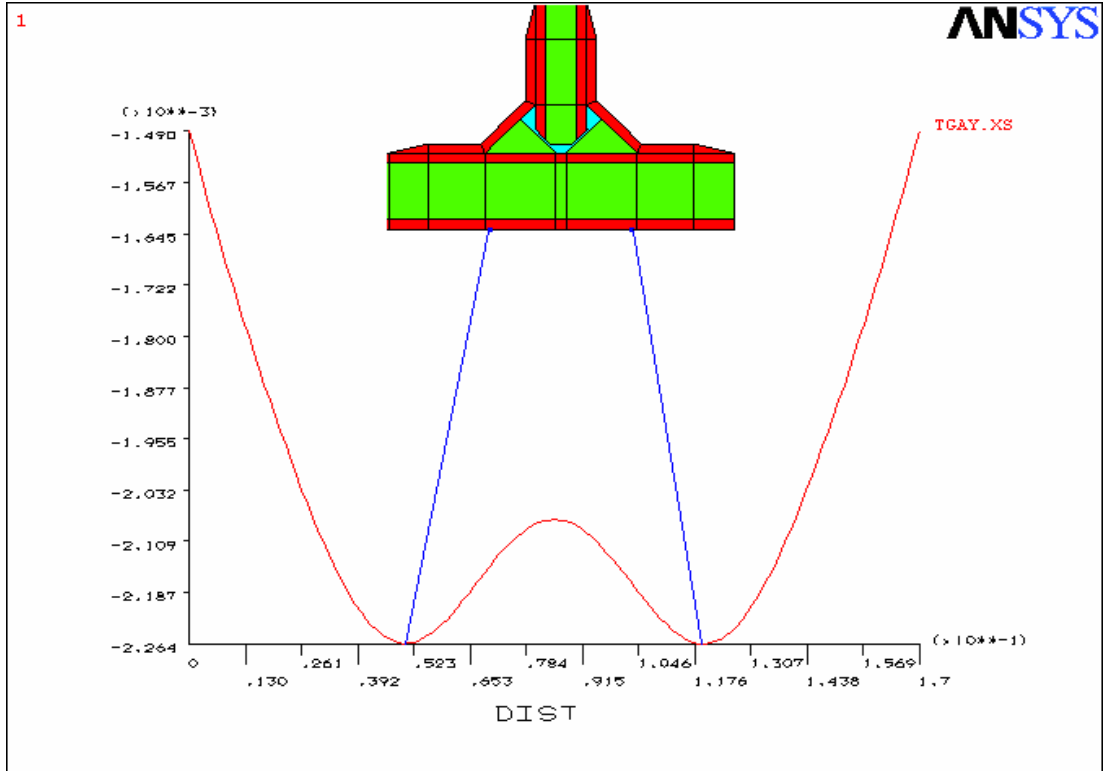
Üstkatmanlama elemanı ile tekne gövdesi arasındaki maksimum aksenal gerinimler üstkatmanlama-üçgen çekirdek-tekne gövdesi birleşme bölgesinde meydana gelmiştir (Şekil 4.112).

Tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında maksimum aksenal gerinim üstkatmanlama-üçgen çekirdek-tekne gövdesi birleşme noktasının $-y$ eksenine doğrultusundaki hizasında meydana gelmiştir (Şekil 4.113).

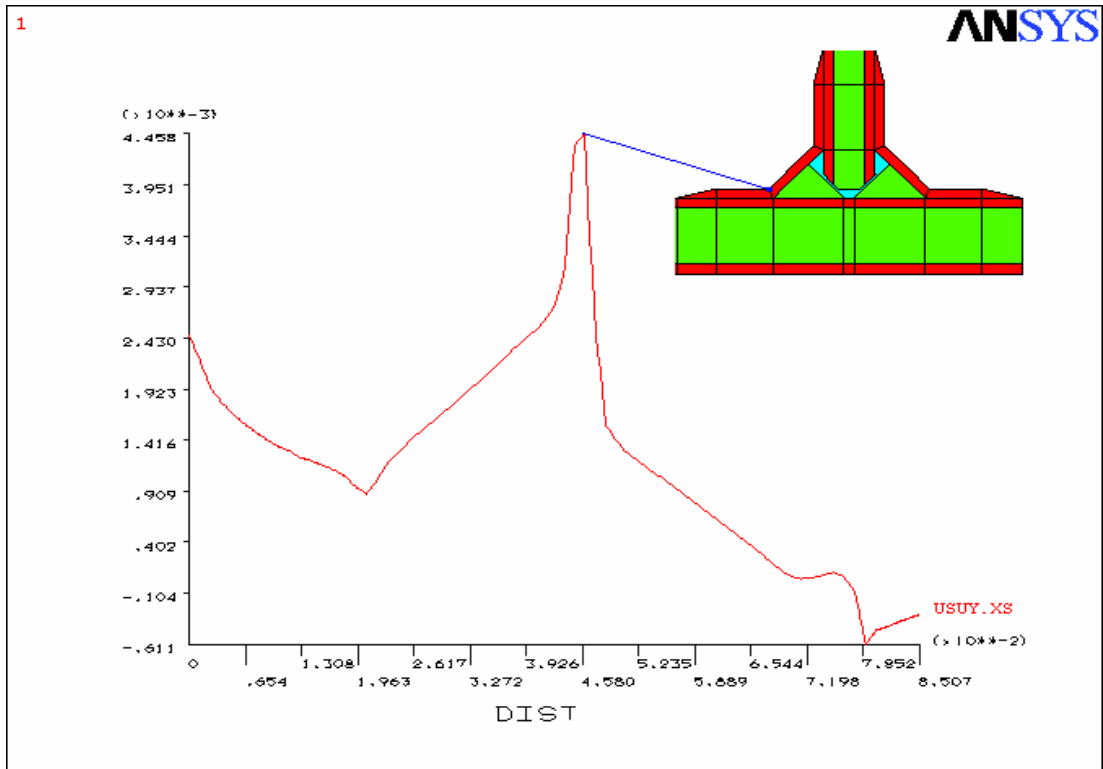


Şekil 4.114 Yeni tip sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında aksenal yönde oluşan gerinim dağılımı

Şekil 4.114'te yeni tip sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında aksenal yönde oluşan gerinim dağılımı gösterilmektedir. Buna göre tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında maksimum aksenal gerinim sınırın tam orta bölgesinde meydana gelmiştir. Ancak oluşan bu gerinim değerleri herhangi bir hasara neden olamayacak kadar düşük değerde olmuştur.



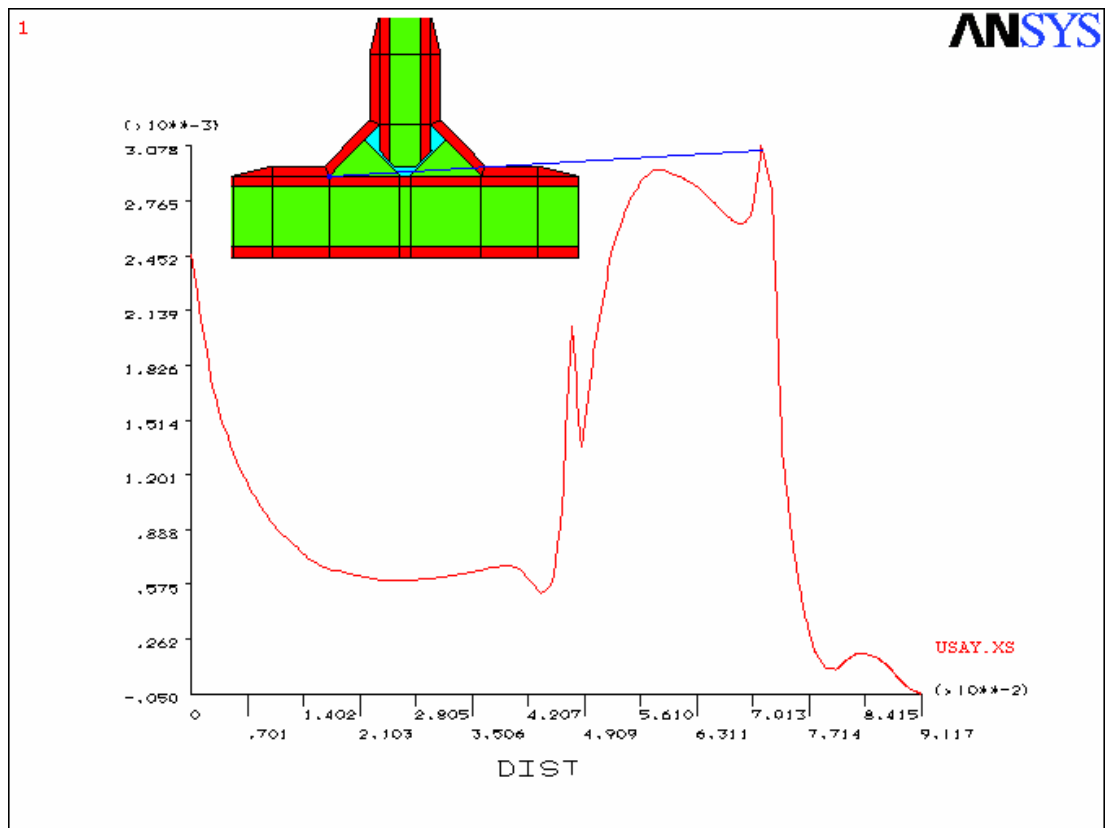
Şekil 4.115 Yeni tip sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzeyinde aksel yönde oluşan gerinim dağılımı



Şekil 4.116 Yeni tip sandviç T bağlantısında üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinde aksel yönde oluşan gerinim dağılımı

Tekne gövdesi alt yüzeyinde maksimum aksenal gerinim Şekil 4.112 ve 4.113'te olduğu gibi üstkatmanlama-üçgen çekirdek-tekne gövdesi birleşme noktasının y doğrultusundaki hizasına yakın bir bölgede meydana gelmiştir (Şekil 4.115).

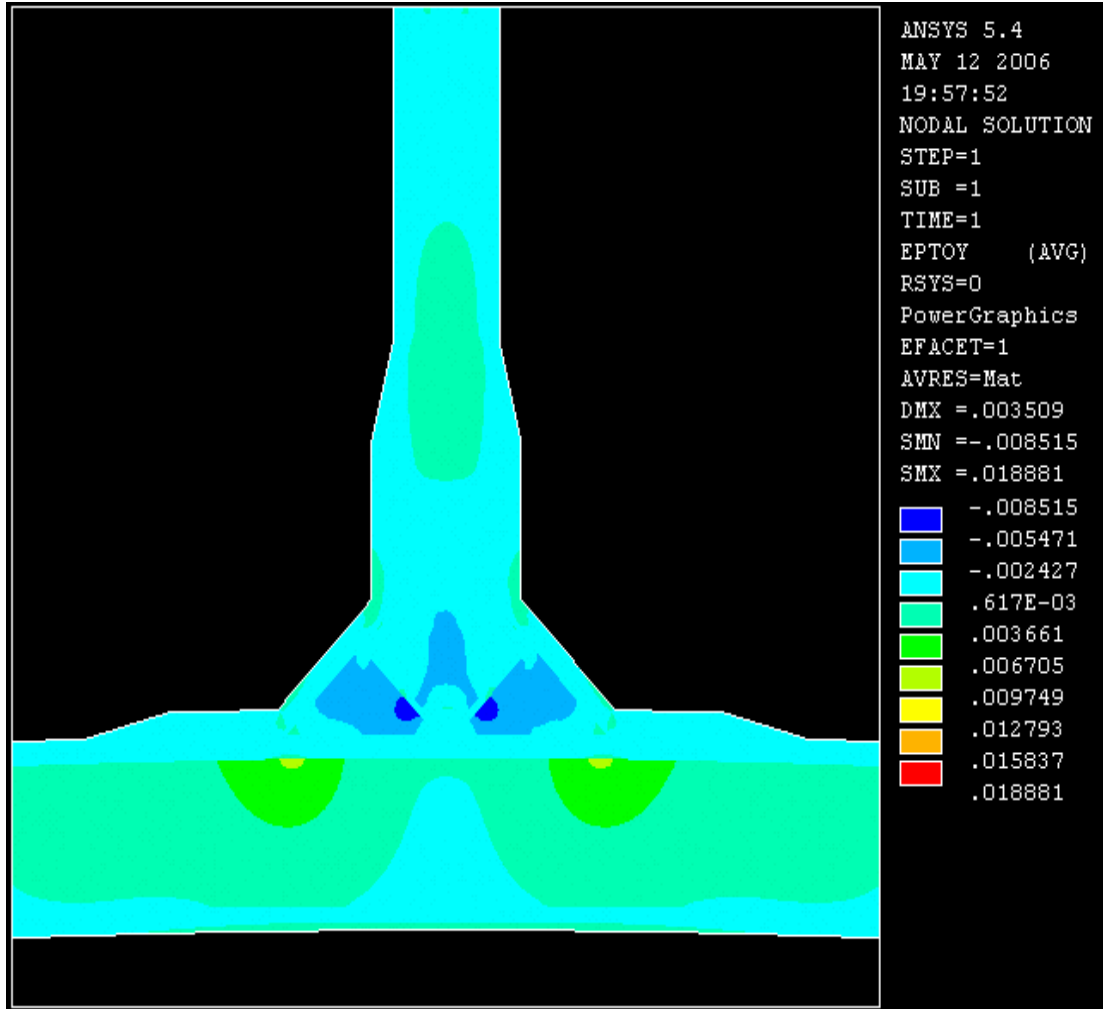
Üstkatmanlama elemanı üst yüzeyinde maksimum aksenal gerinim üst yüzeyin alt köşe kısmında meydana gelmiştir (Şekil 4.116). Oluşan bu gerinim değeri sadece üstkatmanlama için değil bütün bir sistem için maksimum değerine ulaşmıştır. Dolayısıyla bu bölge en fazla hasar riski taşıyan bölge olmuştur.



Şekil 4.117 Yeni tip sandviç T bağlantısında üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinde aksenal yönde oluşan gerinim dağılımı

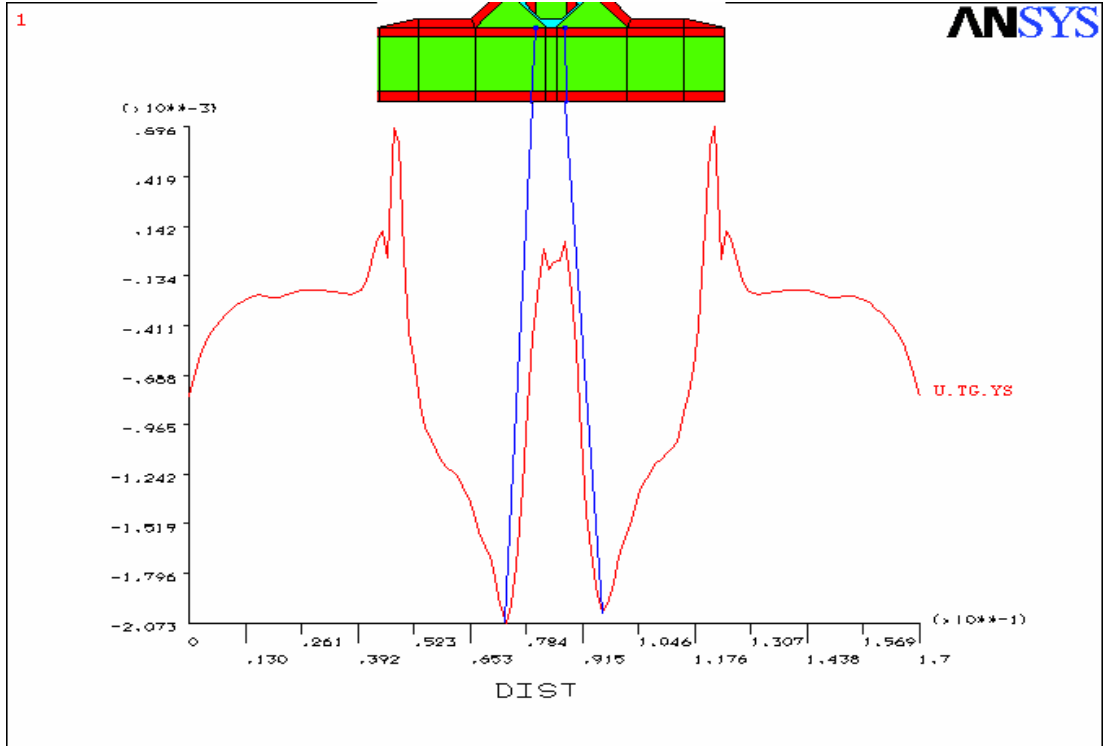
Üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinde maksimum gerinimler üstkatmanlama-üçgen çekirdek-tekne gövdesi birleşme bölgesinde meydana gelmiştir (Şekil 4.117).

İncelenen bütün bölgelerde meydana gelen aksenal gerinimler gözönüne alındığında üstkatmanlama-üçgen çekirdek-tekne gövdesi birleşme noktası en kritik bölge olmuştur.

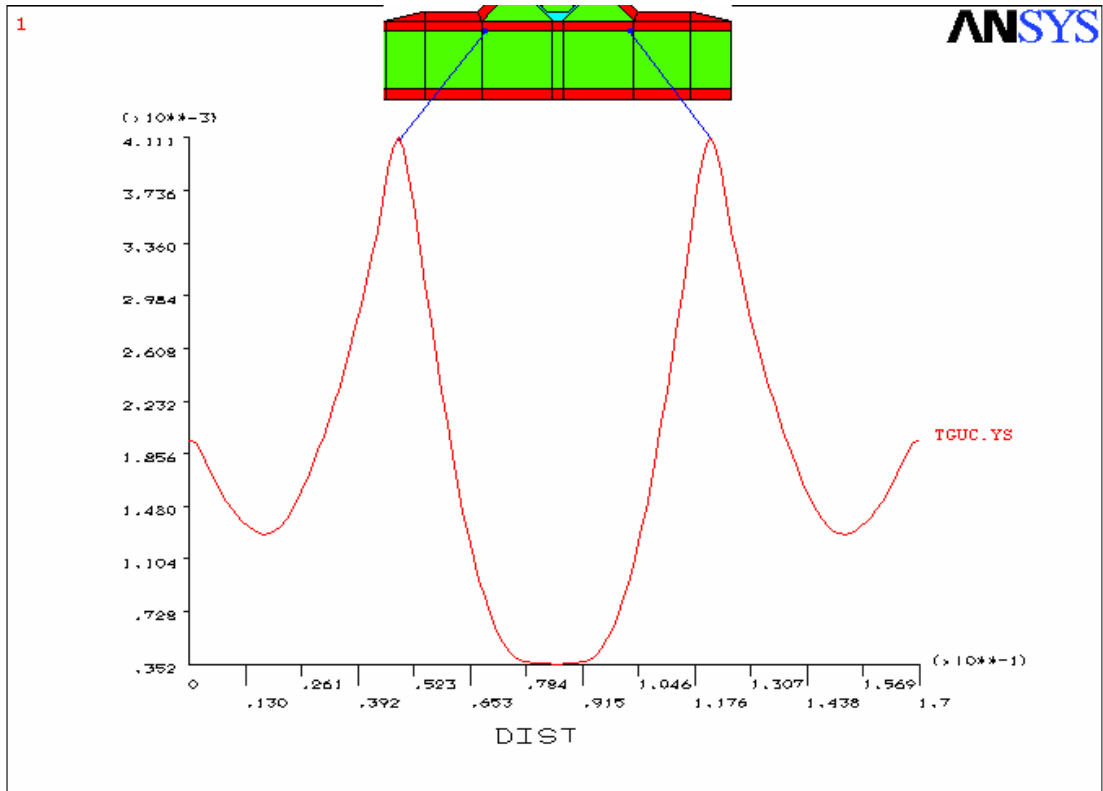


Şekil 4.118 Yeni tip sandviç T bağlantısında y eksenı yönünde meydana gelen gerinim dağılımı

Sistemde kalınlık yönünde (y yönünde) maksimum gerinimler üstkatmanlama elemanı üst ve alt köşesinde, üçgen çekirdek-tekne bölmesi sınırında ve üstkatmanlama elemanı alt köşesinin –y eksenı doğrultusunda tekne gövdesinin yüzey-çekirdek sınırına yakın bir bölgede çekirdekte meydana gelmiştir (Şekil 4.118).



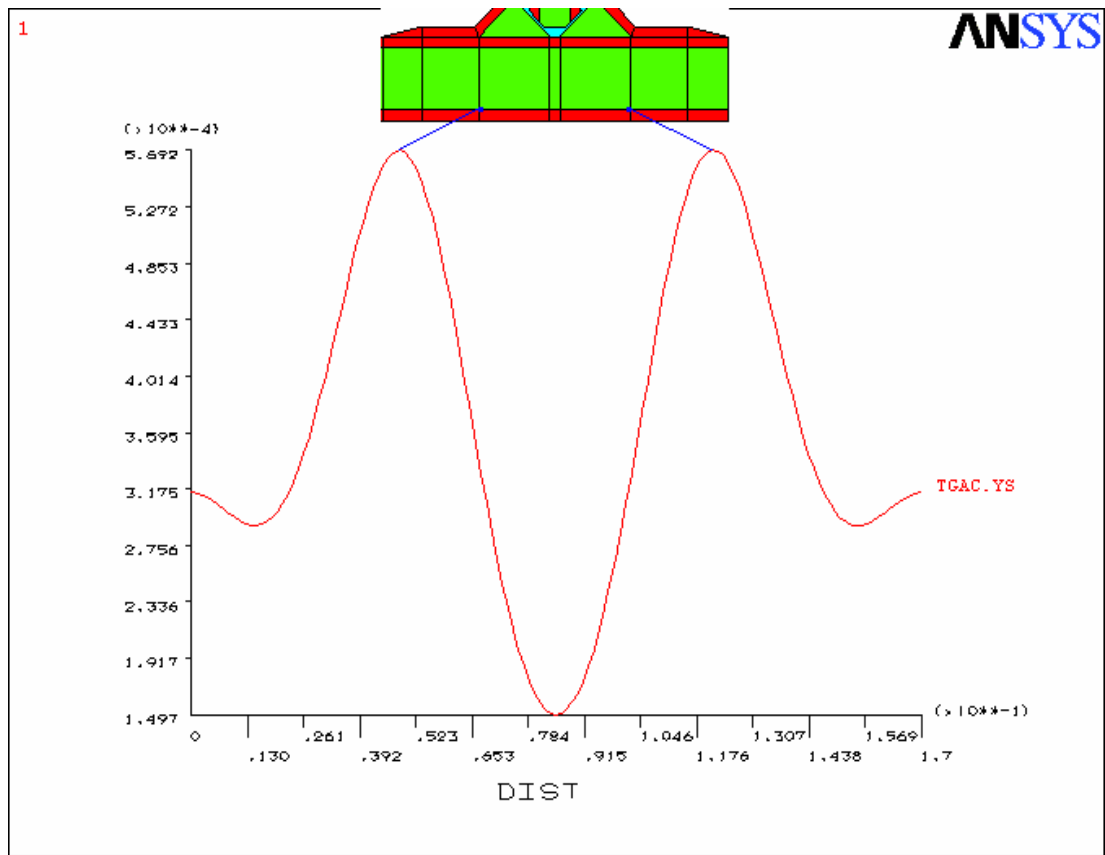
Şekil 4.119 Yeni tip sandviç T bağlantısında üstkatmanlama elemanı ile tekne gövdesi arasında kalınlık yönünde oluşan gerinim dağılımı



Şekil 4.120 Yeni tip sandviç T bağlantısında tekne gövdesi üst yüzey-çakirdek sınırında kalınlık yönünde oluşan gerinim dağılımı

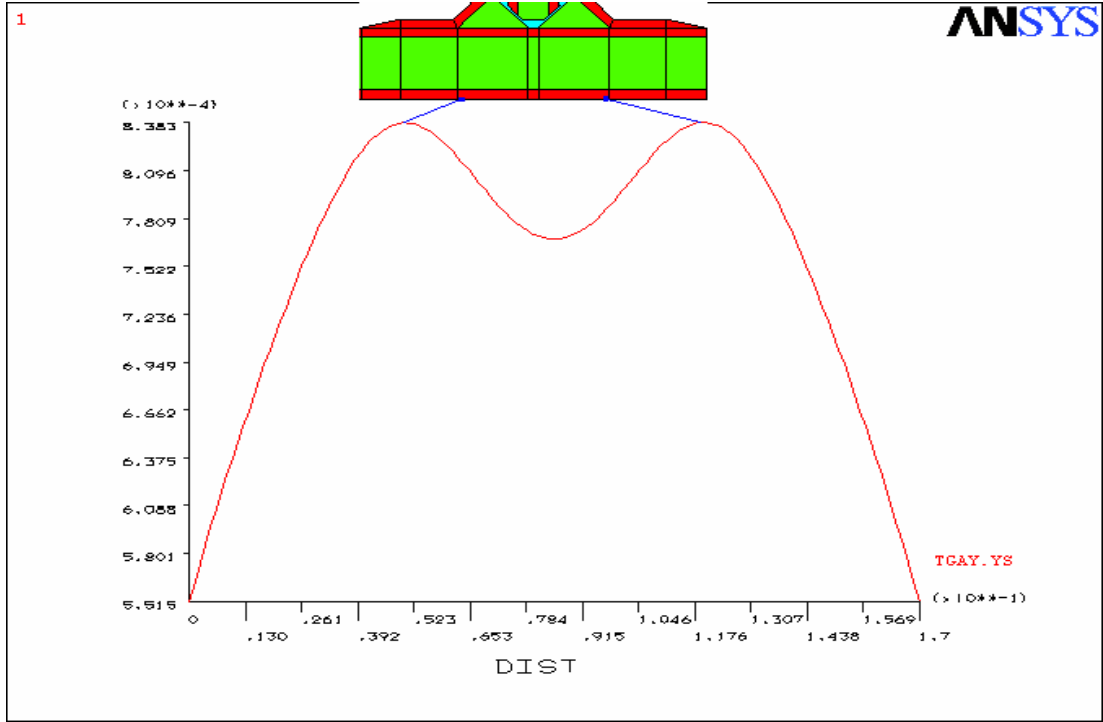
Üstkatmanlama elemanı ile tekne gövdesi arasındaki maksimum y yönündeki gerinim iki üçgen çekirdeğin arasındaki bir bölgede meydana gelmiştir (Şekil 4.119). Oluşan gerilme incelenen bölgede delaminasyon oluşum riskini yükselten bir değere sahiptir.

Tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında maksimum kalınlık yönündeki gerinim üstkatmanlama-üçgen çekirdek-tekne gövdesi birleşim noktasının -y eksenini doğrultusundaki hizasında en yüksek değerine ulaşmıştır (Şekil 4.120).

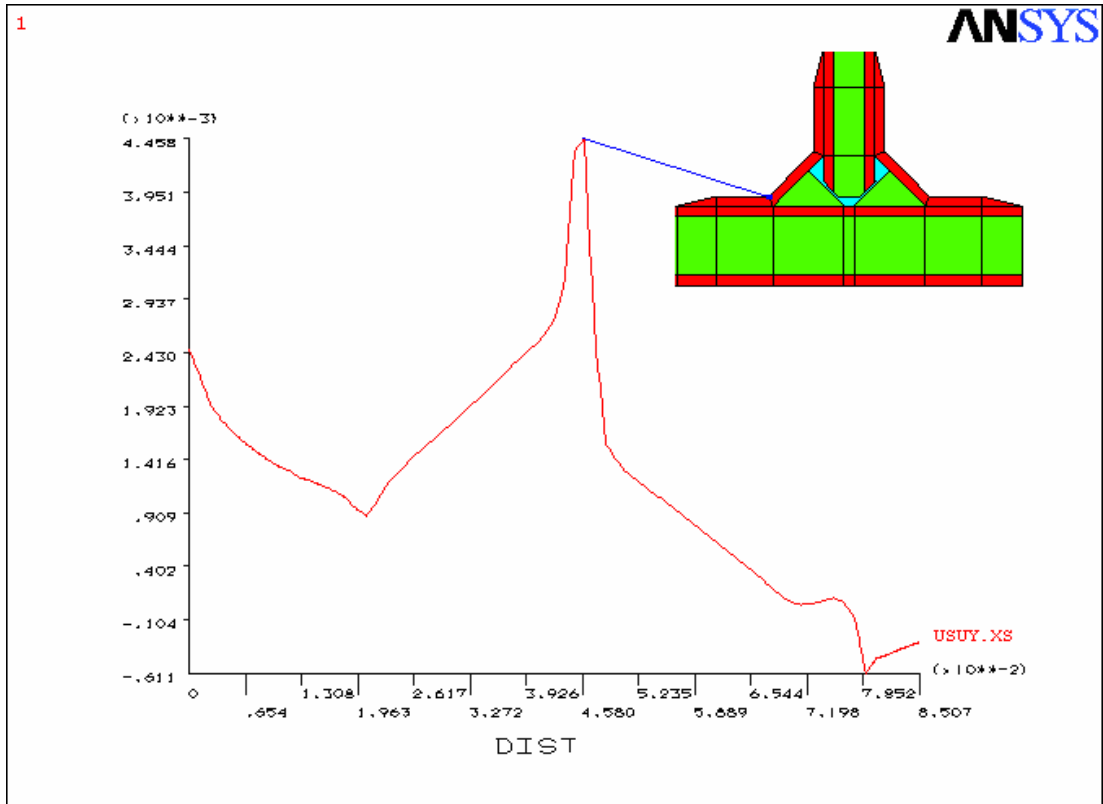


Şekil 4.121 Yeni tip sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında eksenel yönde oluşan gerinim dağılımı

Tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında maksimum kalınlık yönündeki gerinim Şekil 4.120'e benzer şekilde üstkatmanlama-üçgen çekirdek-tekne gövdesi birleşim noktasının -y doğrultusundaki hizasında meydana gelmiştir (Şekil 4.121). Oluşan bu gerinim değeri diğer bağlantı tiplerinde de olduğu gibi meydana gelen diğer gerinim değerlerine göre çok daha düşük değerlere sahip olmuştur.



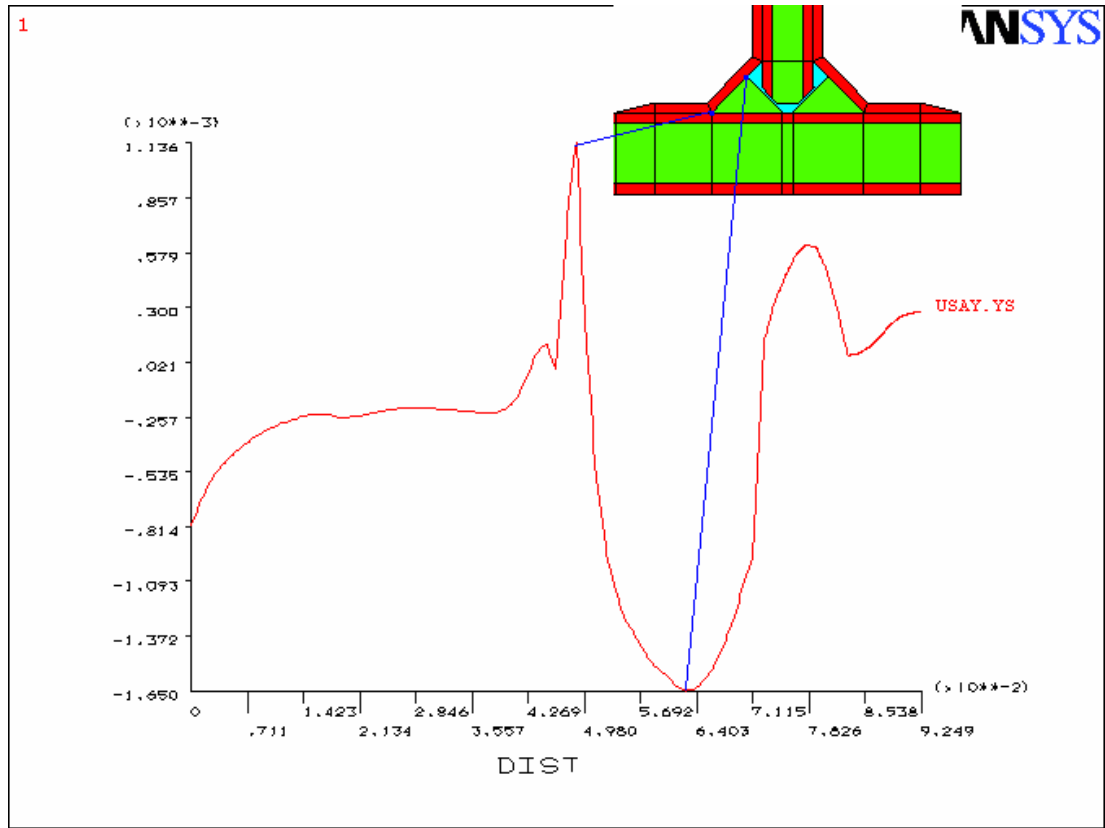
Şekil 4.122 Yeni tip sandviç T bağlantısında tekne gövdesi alt yüzeyinde kalınlık yönünde oluşan gerinim dağılımı



Şekil 4.123 Yeni tip sandviç T bağlantısında üstkatmanlama elemanı üst yüzeyinde y yönünde oluşan gerinim dağılımı

Tekne gövdesi alt yüzeyinde kalınlık yönündeki maksimum gerinim üstkatmanlama-üçgen çekirdek-tekne gövdesi birleşim noktasının y doğrultusundaki hizasında meydana gelmiştir (Şekil 4.122). Ancak oluşan bu gerinim değerleri Şekil 4.121’de olduğu gibi incelenen bölgede delaminasyon olayına neden olabilecek büyüklükte bir değer değildir.

Üstkatmanlama elemanı üst yüzeyinde y yönünde maksimum gerinimler üst yüzeyin alt köşe kısmında meydana gelmiştir (Şekil 4.123). Oluşan bu gerinim değerleri sistemde hasar riskini en yüksek oranda taşıyan bölge olmuştur.



Şekil 4.124 Yeni tip sandviç T bağlantısında üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinde y yönünde oluşan gerinim dağılımı

Üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinde delaminasyona yol açabilecek maksimum gerinim, üstkatmanlama alt yüzey-üçgen çekirdek sınırının alt ve üst birleşme bölgelerinde meydana gelmiştir (Şekil 4.124).

Hem eksenel hemde kalınlık yönündeki gerinimler dikkate alındığında üstkatmanlama-üçgen çekirdek-tekne gövdesi birleşme bölgesi ve bu bölgenin x ve y eksenleri doğrultusundaki hizalarındaki bölgeler muhtemel bir hasar oluşum riskinin en yüksek olduğu bölgeler olmuşlardır.

4.4 Laboratuvar Çalışmaları ve Deneyler

Deneylerde Instron 1114 model universal çekme cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.125).

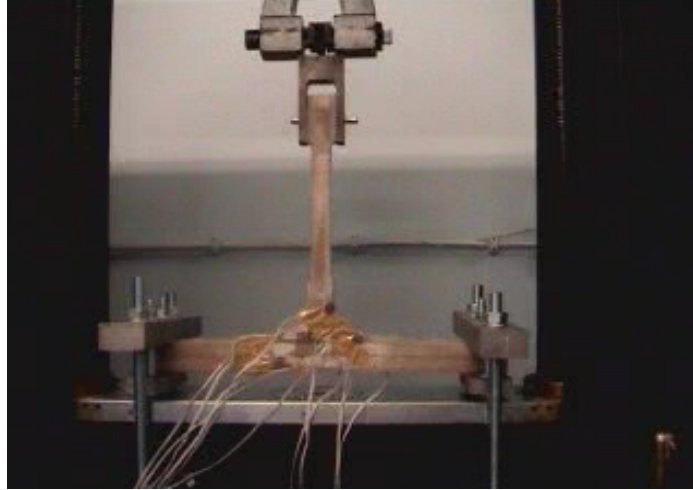


Şekil 4.125 Deneylerde kullanılan çekme cihazı

4.4.1 Numunelerin Çekme Cihazına Tespiti

Deneylerde numunelerin, çekme cihazının üst çenesine bağlanması Şekil 4.126'da gösterilmektedir. Burada numunelerin üst kısımlarında, merkezi üst kısımdan 30 mm. aşağıda olacak şekilde 8 mm. çapında delik açılmıştır. Daha sonrasında numuneler bir pim vasıtasıyla aparata bağlanmışlardır. Aparat, 12.9 kalitesinde 10 mm. çapında bir civata yardımıyla çekme cihazı üst çenesine tutturulmuştur.

Numunelerin üst çene bağlama aparatına bağlanmaları için açılan deliğin numunelerin bu kısımlarında bağlantının zayıflamasına neden olmasından dolayı numunelerin aparata bağlandıkları bölgedeki yüzey kalınlığı 5 mm daha arttırılmıştır.



Şekil 4.126 Numunelerin üst çeneye bağlanması



Şekil 4.127 Numunelerin alt çeneye bağlanması

Numunlerin cihazın hareketli alt çenesine bağlanmaları Şekil 4.127’de gösterilmektedir. Numunelerin tek tarafında iki adet 400x45x30 mm boyutlarında bağlantı aparatı bulunmaktadır. Bu aparatlar birbirlerine M16 mm çapında gijonlarla ve M16 somunlar yardımıyla birbirlerine bağlanmışlardır. Böylece alttaki hareketli tablanın hareketiyle alt tarafta bulunan aparat gijonlar yardımıyla üst plaka vasıtasıyla numuneleri aşağıya doğru çekecektir. Gijonlar ayrıca sistemin y eksenini etrafında dönmesini engellemektedir. Alt tabla bağlama aparatında 90x45x20 mm

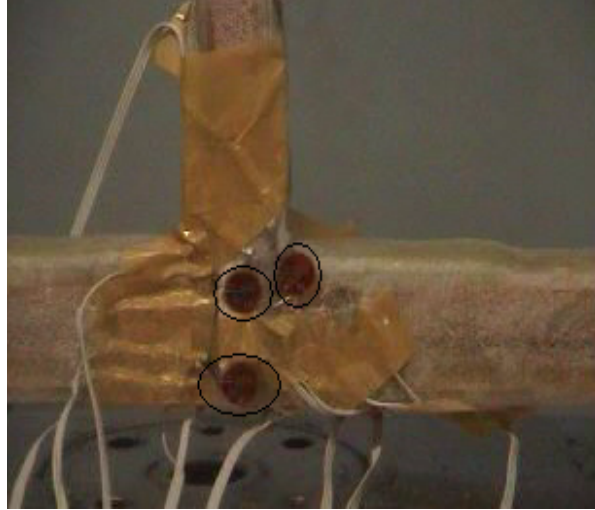
boyutlarında bir plaka daha bulunmaktadır. Bu plaka 400x45x30 mm boyutlarındaki diğer plakayla birbirlerine M12 civatalar yardımıyla bağlanmışlardır. Böylece numunelerin y ve z eksen yönündeki doğrusal hareketleriyle x ve z eksenleri etrafında yük altındaki dönme hareketleri engellenmiştir. 400x45x30 mm boyutlarındaki plakada numunelerin bu plaka yüzeyine oturması için 45x31x5 mm boyutlarında kanal açılmıştır. Böylece numunelerin y eksen etrafında dönme hareketi engellenmiştir.

4.4.2 Gerinim-Ölçerlerin Numunelere ve Gerinim-Ölçer Cihazına Bağlanması

Deney numunelerimizde yük altında oluşan gerinimleri ölçmek amacıyla 3 farklı tipte gerinim-ölçer kullanılmıştır. İlk iki tip gerinim ölçer Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd firmasından alınmış olan genel amaçlı FRA 3-11 ve FRA 5-11'dir. Bu tipteki gerinim-ölçerler sandviç yapıda incelenecek olan yüzey-çekirdek sınırında kullanılmışlardır (Şekil 4.129)ve üç yönde gerim ölçme özelliğine sahiptir. Ancak bu çalışma kapsamında sadece iki yönde gerinimler ölçülmüştür. Bir diğer gerinim-ölçer BFLA 3-11'dir (Şekil 4.128). Bu gerinim-ölçer ise doğranmış cam fiber takviyeli polyester üzerinde incelenecek olan gerinimlerin yüksek olduğu bölgelere yapıştırılmıştır ve sadece tek yönde gerinim ölçme özelliğinden dolayı yapıştırıldıkları bölgede sadece tek yönde gerinim değerleri ölçülmüştür.

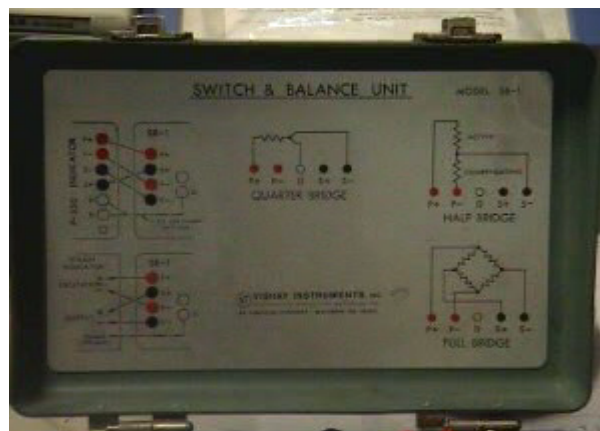


Şekil 4.128 BFLA 3-11 gerinim-ölçer



Şekil 4.129 FRA tipi gerinim-ölçer

Gerinim-ölçerlerin numunelere yapıştırılması için öncelikle numunelerin yapıştırma yüzeyleri iyi bir şekilde zımparalanarak düzgünleştirilmiştir. Daha sonrasında güçlü bir yapıştırıcıyla gerinim-ölçer, incelenmek istenen bölgeye yapıştırılmıştır. Gerinim-ölçer yardımıyla gerinim-ölçer cihazında ölçümleri yapabilmek için iki kablo öncelikle birbirlerine bağlanarak gerinim-ölçerin bir teline, başka bir kabloda gerinim-ölçerin diğer teline lehimlenmiştir. Daha sonrasında gerinim-ölçerin iki teline bağlanan üç kablonun her biri devreyi (Şekil 4.130) tamamlamak için gerinim-ölçer cihazının kanallarına (Şekil 4.131) tek tek bağlanmıştır. Gerinim-ölçme cihazı maksimum 10 bölgede gerinim ölçme kapasitesine sahiptir.



Şekil 4.130 Gerinim-ölçme devresi



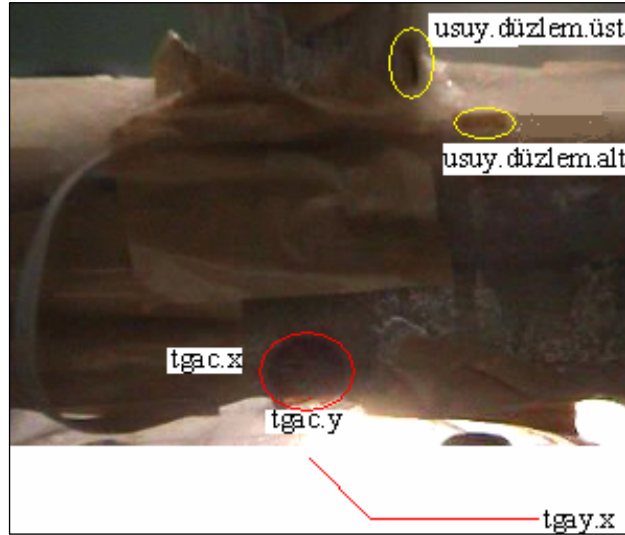
Şekil 4.131 Gerinim-ölçme cihazına bağlantı tellerinin bağlanması

Bütün bu işlemlerden sonra numunelerin çekme cihazına bağlanmasıyla deney 2.0 kN'luk bir çekme yükü ve dakikada 1 mm.'lik bir yer değiştirmeyeyle (1mm /dak) uygulanmıştır.

4.4.3 Deney Numunelerine Bağlanan Gerinim-Ölçerler

Bu çalışma kapsamında altı farklı tipte sandviç T bağlantısı incelenmiştir. Deneylerimizde her bağlantı tipinden ikişer adet numune kullanılmıştır. Düz ve iç içe geçmeli bağlantı tiplerinde dokuzar gerinme bölgesi, diğer bağlantı tiplerinde ise toplam onar bölgedeki gerinimler incelenmiştir. Gerinim-ölçerler bütün numunelerde üstkatmanlama-tekne gövdesi arasında, tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında, tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında, tekne gövdesi alt yüzeyinde ve üstkatmanlama elemanının üst ve alt yüzeylerinde daha önce paket programı ile yapılan analiz sonuçlarına göre gerinimlerin maksimum değerlerini aldıkları yerlere yerleştirilmişlerdir.

4.4.3.1 Düz Sandviç T Bağlantısında Gerinim-Ölçerlerin Bağlandığı Bölgeler ve Yönleri



Şekil 4.132 Düz bağlantı tipinde gerinim-ölçerlerin bağlandığı bölge ve yönleri (ön)



Şekil 4.133 Düz bağlantı tipinde gerinim-ölçerlerin bağlandığı bölge ve yönleri (arka)

Gerinme-ölçerlerin numunelerin tek bir yüzeyinde kullanılmaları deney sırasında bazı problemlere neden olmuştur. Bu problemlerden en fazla karşılaşılan gerinim-ölçerlerin birbirlerine çok yakın olmalarından ötürü tellerin birbirlerine değmeleri ve bu değmenin sonucunda da gerinim-ölçer cihazından sinyal alınamaması olmuştur. Başka bir problem de tellerin lehimli sırasında lehim malzemesinin daha önceden

bağlantıları yapılmış bir başka gerinim-ölçere damlaması ve bu gerinim-ölçerin özelliğini yitirmesine neden olması olmuştur. Bu sebeple gerinim-ölçerlerin bir kısmı deney numunelerinin ön tarafına (Şekil 4.132) bir kısmı da deney numunelerinin arka tarafına (Şekil 4.133) yerleştirilmiştir. Şekil 4.132 ve Şekil 4.133'te gerinim ölçerlerin yerleştirildiği bölgeler ve yönler kısaltma indisleriyle gösterilmektedir. Bu kısaltma indislerinin açıklamaları Tablo 4.10 ve Tablo 4.11'de gösterilmektedir.

Bu bağlantı tipinde dolgu elemanı olmadığı için toplam dokuz bölge incelenmiştir.

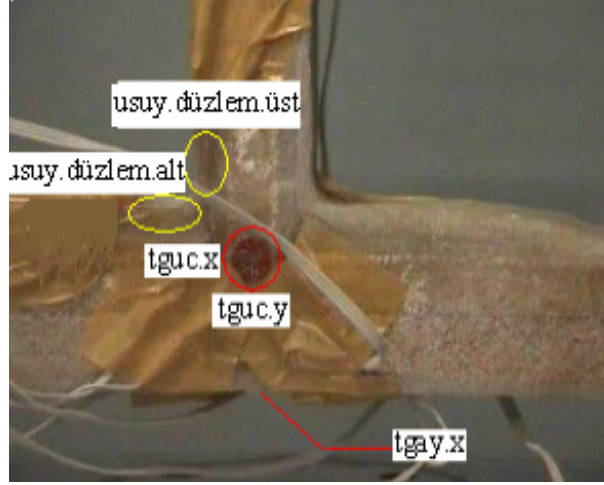
Tablo 4.10 Gerinim-ölçerlerin yerleştirildiği bölgelerde oluşan eksenel gerinim kısaltma indisleri

u.tg.x	Üstkatmanlama ile tekne gövdesi arasında meydana gelen eksenel (X yönündeki) gerinim
tguc.x	Tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında meydana gelen eksenel (X yönündeki) gerinim
tgac.x	Tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında meydana gelen eksenel (X yönündeki) gerinim
tgay.x	Tekne gövdesi alt yüzeyinde meydana gelen eksenel (X yönündeki)gerinim
usuy.düzlem.üst usuy.düzlem.alt	Üstkatmanlama elemanı üst yüzeyinin üst ve alt tarafında elemanın düzlemi yönünde meydana gelen gerinim
usay.düzlem	Üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinin alt ve üst tarafında elemanın düzlemi yönünde meydana gelen gerinim

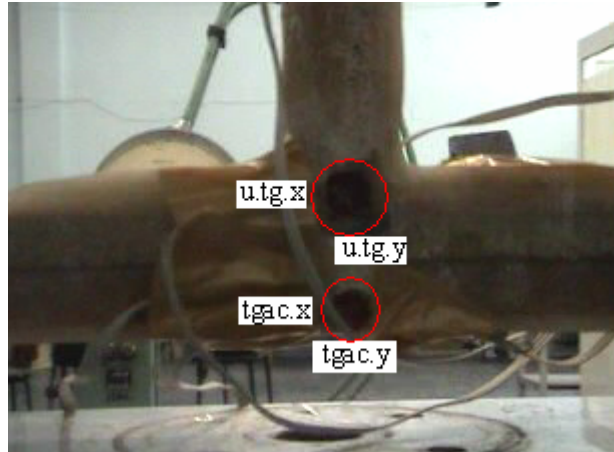
Tablo 4.11 Gerinim-ölçerlerin yerleştirildiği bölgelerde oluşan kalınlık yönündeki gerinim kısaltma indisleri

u.tg.y	Üstkatmanlama ile tekne gövdesi arasında meydana gelen kalınlık yönü (Y yönündeki) gerinim
tguc.y	Tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında meydana gelen kalınlık yönü (Y yönündeki) gerinim
tgac.y	Tekne gövdesi alt yüzey-çekirdek sınırında meydana gelen kalınlık yönü (Y yönündeki) gerinim
tgay.y	Tekne gövdesi alt yüzeyinde meydana gelen kalınlık yönü (Y yönündeki)gerinim
usay.kalınlık yönü	Üstkatmanlama elemanı alt yüzeyinin elemanın kalınlığı yönünde meydana gelen gerinim

4.4.3.2 İçiçe Geçmeli Sandviç T Bağlantısında Gerinim-Ölçerlerin Bağlandığı Böleler ve Yönleri



Şekil 4.134 İçiçe geçmeli bağlantı tipinde gerinim-ölçerlerin bağlandığı böle ve yönleri (ön)

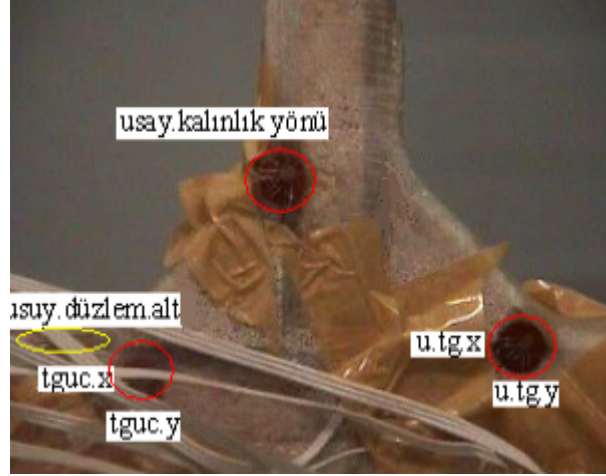


Şekil 4.135 İçiçe geçmeli bağlantı tipinde gerinim-ölçerlerin bağlandığı bölgeler ve yönleri (arka)

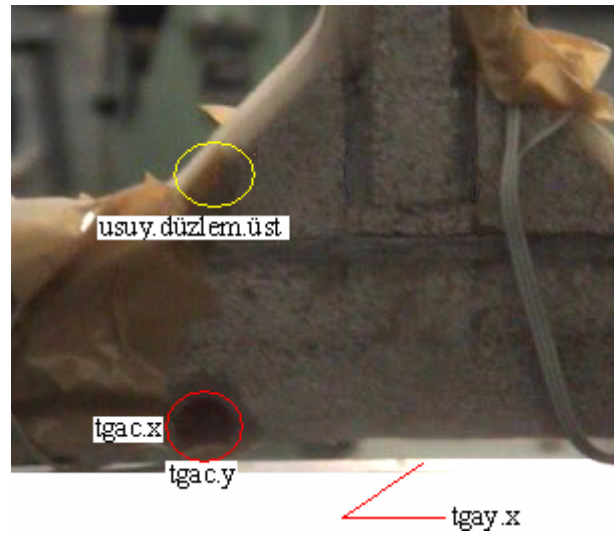
Şekil 4.134 ve Şekil 4.135'te iç içe geçmeli bağlantıda gerinim-ölçerlerin yerleştirildiği bölgeler ve yönleri gösterilmektedir.

Kısaltma indisleri için yine Tablo 4.10 ve Tablo 11'den yararlanılabilir. Bu bağlantı tipinde de düz bağlantı tipine benzer şekilde dolgu elemanı olmadığı için toplam dokuz bölge seçilmiştir.

4.4.3.3 Üçgen 45 Sandviç T Bağlantısında Gerinim-Ölçerlerin Bağlandığı Bölgeler ve Yönleri



Şekil 4.136 Üçgen 45 bağlantı tipinde gerinim-ölçerlerin bağlandığı bölgeler ve yönleri (ön)

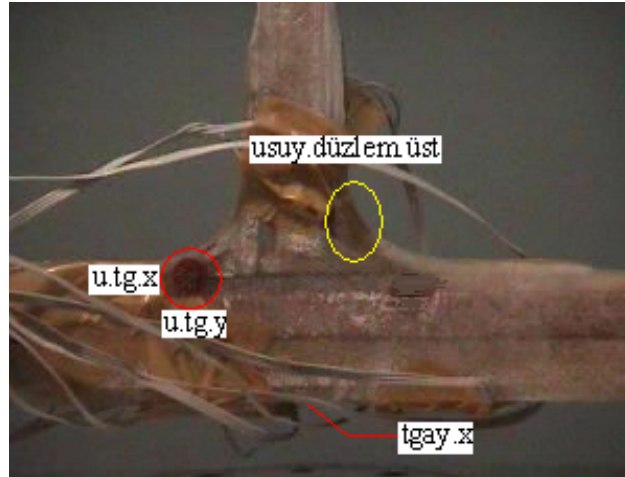


Şekil 4.137 Üçgen 45 bağlantı tipinde gerinim-ölçerlerin bağlandığı bölgeler ve yönleri (arka)

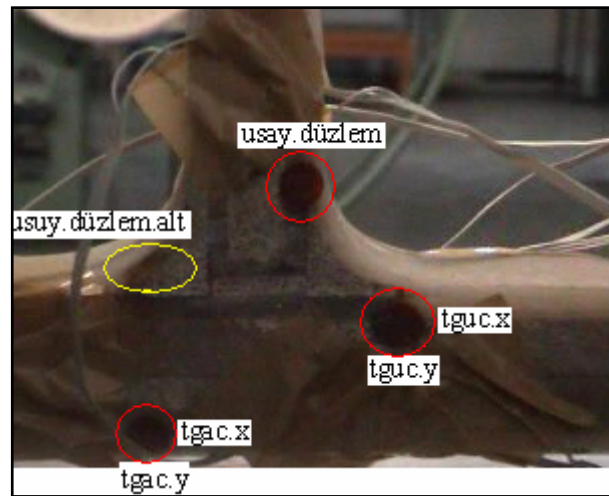
Üçgen 45 tip bağlantıda gerinim-ölçerlerin konulduğu bölgeler ve yönleri Şekil 4.136 ve Şekil 4.137’de gösterilmektedir.

Bu bağlantı tipinde düz ve iç içe geçmeli bağlantı tiplerinden farklı olarak toplamda on bölge seçilmiştir.

4.4.3.4 Dönümlü 25 Sandviç T Bağlantısında Gerinim-Ölçerlerin Bağlandığı Bölgeler ve Yönleri



Şekil 4.138 Dönümlü 25 bağlantı tipinde gerinim-ölçerlerin bağlandığı bölgeler ve yönleri (ön)

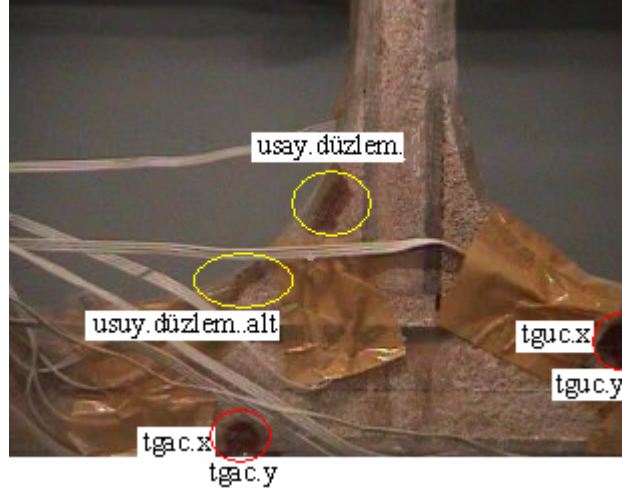


Şekil 4.139 Dönümlü 25 bağlantı tipinde gerinim-ölçerlerin bağlandığı bölgeler ve yerleri (arka)

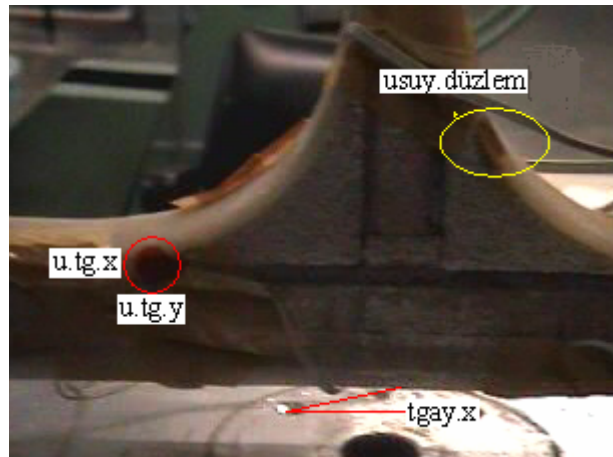
Şekil 4.138 ve Şekil 4.139’da gerinim-ölçerlerin yerleştirildiği bölgeler ve yönleri gösterilmektedir.

Bu bağlantı tipinde de toplam on bölge seçilmiştir.

4.4.3.5 Dönümlü 70 Sandviç T Bağlantısında Gerinim-Ölçerlerin Bağlandığı Bölgeler ve Yönleri



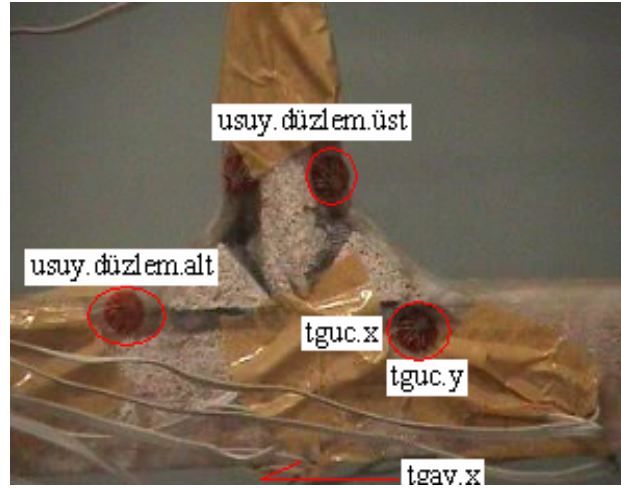
Şekil 4.140 Dönümlü 70 bağlantı tipinde gerinim-ölçerlerin bağlandığı bölgeler ve yönleri (ön)



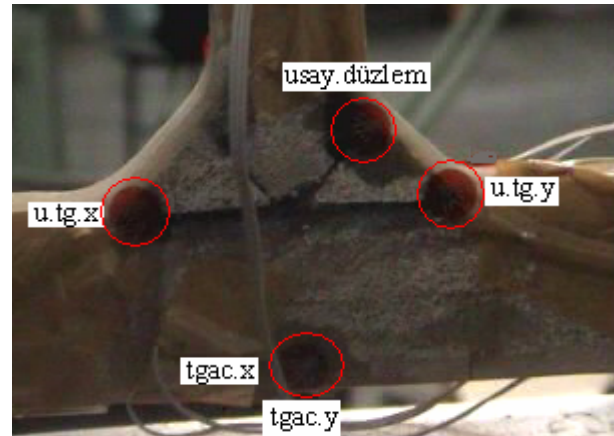
Şekil 4.141 Dönümlü 70 bağlantı tipinde gerinim-ölçerlerin bağlandığı bölgeler ve yönleri (arka)

Bu bağlantı tipinde de dönümlü 25 bağlantı tipinde olduğu gibi toplam on bölgede gerinim-ölçer bulunmaktadır (Şekil 4.140 ve Şekil 4.141).

4.4.3.6 Yeni tip Sandviç T Bağlantısında Gerinim-Ölçerlerin Bağlandığı Bölgeler ve Yönleri



Şekil 4.142 Yeni tip bağlantı tipinde gerinim-ölçerlerin bağlandığı bölgeler ve yönleri (ön)



Şekil 4.143 Yeni tip bağlantı tipinde gerinim-ölçerlerin bağlandığı bölgeler ve yerleri (arka)

Şekil 4.142 ve Şekil 4.143'te yeni tip bağlantı tipinde numunenin ön ve arka tarafında gerinim-ölçerlerin konulduğu bölgeler gösterilmektedir.

Üçgen 45, dönümlü25, dönümlü70 ve yeni tip bağlantı tiplerinde kritik bölge sayısı on olmasına rağmen gerinim-ölçme cihazının maksimum on kanallı olması gerinim-ölçerlerin yerleştirilmesinde daha kritik olan on bölgenin seçilmesine neden olmuştur.

BÖLÜM BEŞ

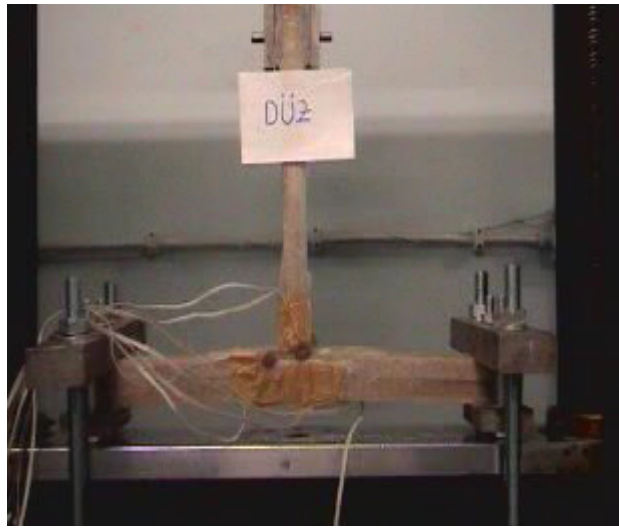
DENEY SONUÇLARI

5.1 Laboratuvar Çalışmaları Sonucunda Bulunan Deneysel Sonuçlar

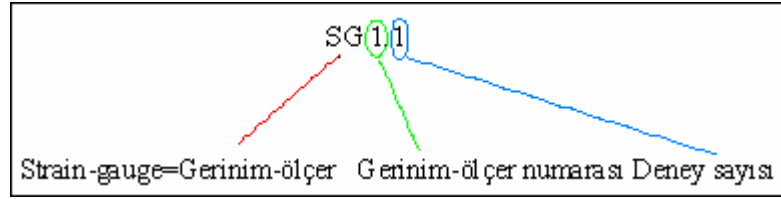
Bu çalışma kapsamında öncelikle numunelerin nümerik olarak analizleri yapılmıştır. Daha sonrasında nümerik analiz sonuçlarına göre deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu kısımda öncelikle deneysel çalışmaların sonuçları verilecek deneysel ve nümerik çalışmaların karşılaştırılması daha sonraki bölümlerde yapılacaktır.

Her tipteki numuneden ikişer deney yapılmıştır. Deneyler yük 2.0 kN'a geldiği anda bitirilmiştir. Yükün 0 N'dan 2000 N'a gelmesine kadar her 250 N'de çekme cihazı durdurularak gerinim değerleri alınmıştır. Böylece her bir deney için 10 adet gerinim değeri alınmıştır. Numunelerde 2000 N'da oluşan gerinim değerinden yüksüz (0 N) halde gerinim-ölçerlerde mevcut gerinim değeri çıkartılarak toplam gerinim değerleri elde edilmiştir. Her bir numuneden iki deney yapıldığı için her iki deneyde bulunan gerinim değerlerinin ortalamaları alınmıştır. Bulunan bu değerler tablolarda ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

5.1.1 Düz Bağlantı Tipinde Elde Edilen Deneysel Sonuçlar



Şekil 5.1 Düz sandviç T bağlantısı



Şekil 5.2 Deney kısaltmaları

Tablo 5.1 Düz sandviç T bağlantısında 1,2 ve 3 numaralı gerinim bölgelerinden alınan veriler

	SG 1.1 ($\mu\epsilon$)	SG 1.2 ($\mu\epsilon$)	SG 2.1 ($\mu\epsilon$)	SG 2.2 ($\mu\epsilon$)	SG 3.1 ($\mu\epsilon$)	SG 3.2 ($\mu\epsilon$)
F (N)	tguc.y		tgac.x		usuy.düzlem.alt	
0	510	52	-104	-198	1542	-1099
250	868	280	-192	-291	1841	-689
500	1190	437	-271	-390	2256	-392
750	1327	674	-355	-430	2501	138
1000	1551	845	-471	-570	2988	514
1250	1729	1105	-526	-703	3371	1110
1500	1992	1271	-599	-784	3681	1556
1750	2267	1504	-646	-869	4090	2135
2000	2581	1793	-705	-934	4379	2579
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	2071	1741	-601	-736	2837	3678
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		1906		-668,5		3257,5

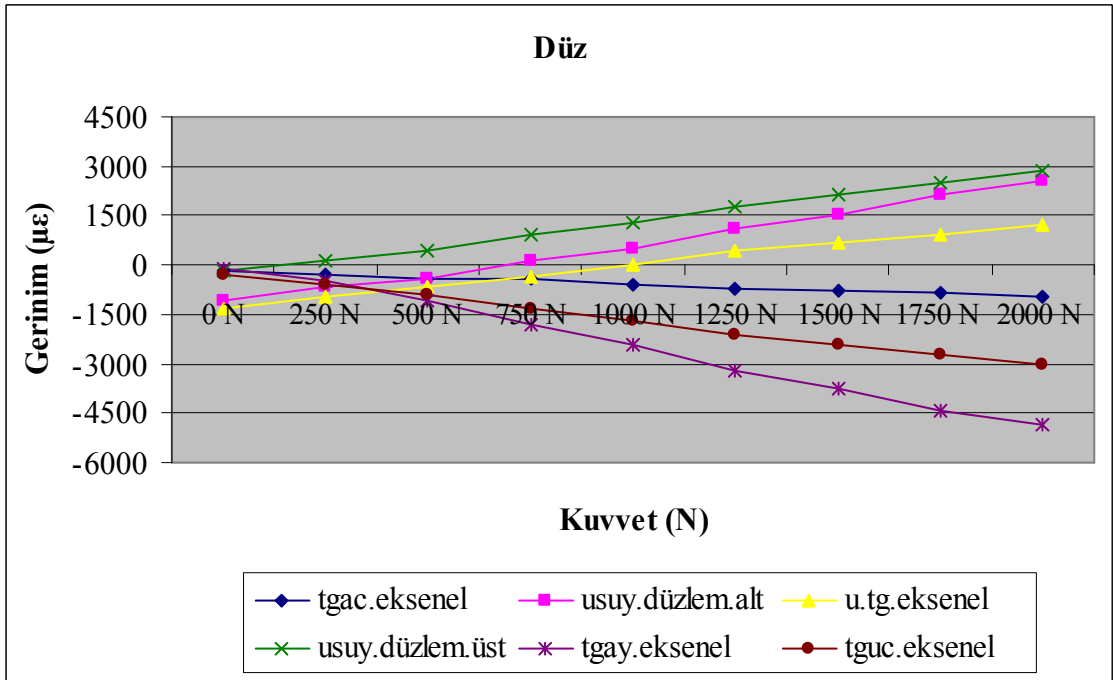
Tablo 5.2 Düz sandviç T bağlantısında 4,5 ve 6 numaralı gerinim bölgelerinden alınan veriler

	SG 4.1 ($\mu\epsilon$)	SG 4.2 ($\mu\epsilon$)	SG 5.1 ($\mu\epsilon$)	SG 5.2 ($\mu\epsilon$)	SG 6.1 ($\mu\epsilon$)	SG 6.2 ($\mu\epsilon$)
F (N)	tgac.y		u.tg.x		u.tg.y	
0	3342	-1055	2893	-1344	-50	-896
250	3690	-981	3317	-939	-212	-1095
500	4681	-924	3944	-661	-355	-1287
750	Sinyal yok	-820	4610	-332	-439	-1580
1000	Sinyal yok	-750	4998	33	-525	-1782
1250	Sinyal yok	-652	5381	445	-637	-2137
1500	Sinyal yok	-610	5690	666	-711	-2431
1750	Sinyal yok	-552	6112	940	-835	-2815
2000	Sinyal yok	-503	6653	1198	-933	-3111
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	—	552	3760	2542	-883	-2215
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		552		3151		-1549

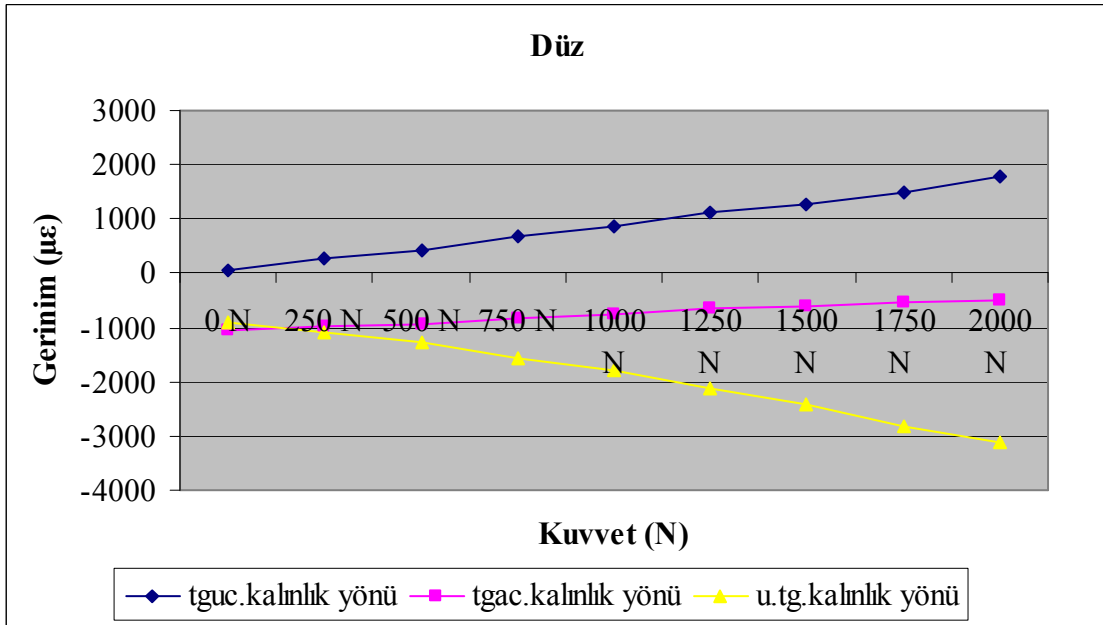
Tablo 5.3 Düz sandviç T bağlantısında 7,8 ve 9 numaralı gerinim bölgelerinden alınan veriler

	SG 7.1 ($\mu\epsilon$)	SG 7.2 ($\mu\epsilon$)	SG 8.1 ($\mu\epsilon$)	SG 8.2 ($\mu\epsilon$)	SG 9.1 ($\mu\epsilon$)	SG 9.2 ($\mu\epsilon$)
F (N)	usuy.düzlem.üst		tgay.x		tguc.x	
0	-443	-148	-712	-105	1203	-287
250	-201	109	-1112	-503	881	-615
500	10	425	-1695	-1054	588	-893
750	341	893	-1981	-1824	190	-1337
1000	656	1312	-2359	-2420	-232	-1688
1250	911	1790	-2709	-3210	-549	-2136
1500	1245	2108	-3200	-3758	-801	-2402
1750	1601	2526	-3652	-4436	-1129	-2750
2000	1989	2835	-4078	-4845	-1398	-3011
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	2432	2983	-3366	-4740	-2601	-2724
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		2707,5		-3954		-2663

Tablo 5.1, Tablo 5.2 ve Tablo 5.3'e bakıldığında düz bağlantı tipinde gerinim ölçerlerden sorunsuz olarak gerinim değerleri alındığı görülmektedir. Bu tablolar incelendiğinde en yüksek gerinim değerleri üstkatmanlama elemanı köşe bölgesinde eksenel yönde, tekne gövdesi alt yüzeyinde eksenel yönde ve üstkatmanlama elemanı ile tekne gövdesi arasında meydana gelmiştir. Burada en yüksek gerinim değeri tekne gövdesi alt yüzeyinde meydana gelmiş olsa da en kritik nokta; sınırda bağlayıcının sistemde süreksizliğe neden olabileceği ve bu bölgede gerinim değerinin yüksek olmasından ötürü üstkatmanlama elemanı ile tekne gövdesi arasındaki sınır bölgesi olmuştur.



Şekil 5.3 Düz bağlantıda gerinim-ölçerlerde eksenel yönde oluşan kuvvet-gerinim grafiği



Şekil 5.4 Düz bağlantıda gerinim-ölçerlerde kalınlık yönünde oluşan kuvvet-gerinim grafiği

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'ten incelenen bölgelerde gerinim değerlerinin artan kuvvet değerleriyle beraber doğrusala yakın bir davranış gösterdiği görülmektedir. Şekil 5.3'te tekne gövdesi alt yüzeyinde gerinimin daha fazla arttığı görülmektedir.

5.1.2 İççe Geçmeli Bağlantı Tipinde Elde Edilen Deneysel Sonuçlar



Şekil 5.5 İççe geçmeli bağlantı

Tablo 5.4 İççe geçmeli bağlantıda 1, 2 ve 3 numaralı gerinim bölgelerinden alınan veriler

	SG 1.1 ($\mu\epsilon$)	SG 1.2 ($\mu\epsilon$)	SG 2.1 ($\mu\epsilon$)	SG 2.2 ($\mu\epsilon$)	SG 3.1 ($\mu\epsilon$)	SG 3.2 ($\mu\epsilon$)
F (N)	usuy.düzlem.alt		tguc.x		tgac.y	
0	-710	-130	-1532	2627	Sinyal yok	-969
250	-454	125	-784	3218	Sinyal yok	-581
500	-296	495	215	3842	Sinyal yok	-353
750	Sinyal zayıf	762	Sinyal zayıf	4004	Sinyal yok	-303
1000	Kırıldı	1110	Kırıldı	4430	Kırıldı	-220
1250	Kırıldı	1472	Kırıldı	4937	Kırıldı	-133
1500	Kırıldı	1825	Kırıldı	5385	Kırıldı	0
1750	Kırıldı	2267	Kırıldı	Sinyal yok	Kırıldı	173
2000	Kırıldı	2599	Kırıldı	Sinyal yok	Kırıldı	305
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	—	2729	—	—	—	1274
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		2729		—		1274

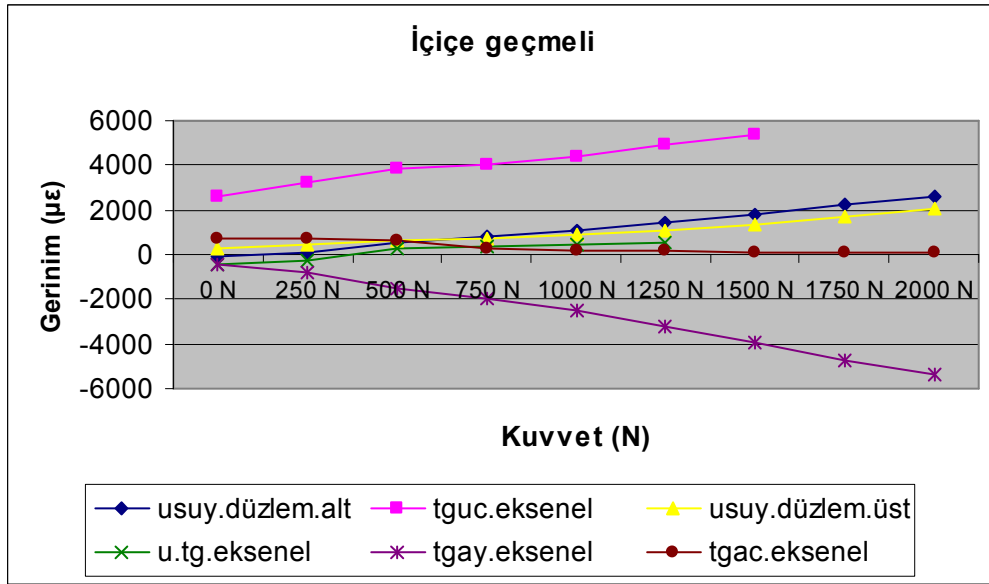
Tablo 5.5 İççe geçmeli sandviç T bağlantısında 4,5 ve 6 numaralı gerinim bölgelerinden alınan veriler

	SG 4.1 ($\mu\epsilon$)	SG 4.2 ($\mu\epsilon$)	SG 5.1 ($\mu\epsilon$)	SG 5.2 ($\mu\epsilon$)	SG 6.1 ($\mu\epsilon$)	SG 6.2 ($\mu\epsilon$)
F (N)	tguc.y		usuy.düzlem.üst		u.tg.x	
0	-542	-851	538	312	3388	-403
250	150	-1063	916	462	1112	-224
500	898	-1262	1427	605	-465	245
750	Sinyal zayıf	-1449	Sinyal zayıf	739	Sinyal zayıf	382
1000	Kırıldı	-1668	Kırıldı	860	Kırıldı	487
1250	Kırıldı	-1979	Kırıldı	1112	Kırıldı	537
1500	Kırıldı	-2270	Kırıldı	1384	Kırıldı	Sinyal yok
1750	Kırıldı	-2610	Kırıldı	1732	Kırıldı	Sinyal yok
2000	Kırıldı	-2989	Kırıldı	2103	Kırıldı	Sinyal yok
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	—	-2138	—	1791	—	—
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		-2138		1791		—

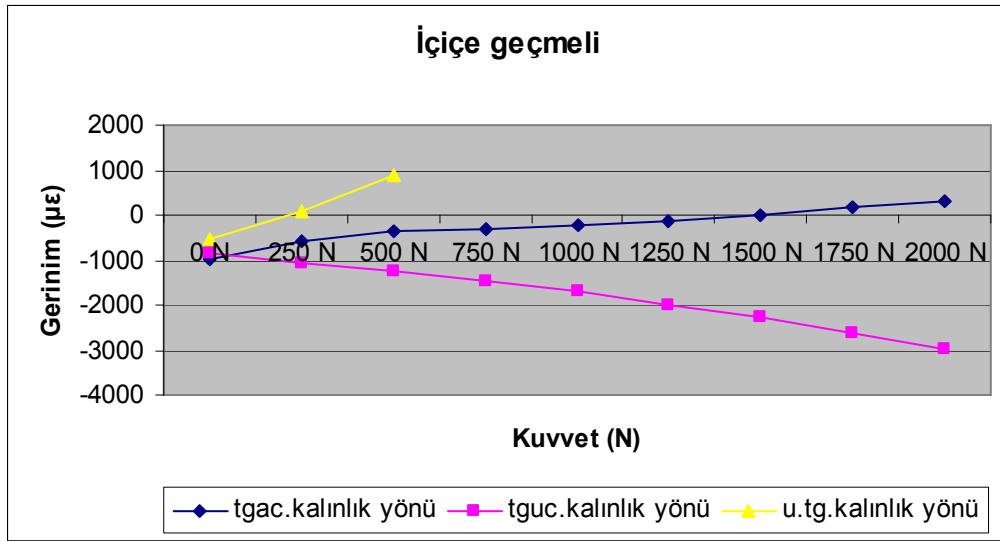
Tablo 5.6 İççe geçmeli sandviç T bağlantısında 7,8 ve 9 numaralı gerinim bölgelerinden alınan veriler

	SG 7.1 ($\mu\epsilon$)	SG 7.2 ($\mu\epsilon$)	SG 8.1 ($\mu\epsilon$)	SG 8.2 ($\mu\epsilon$)	SG 9.1 ($\mu\epsilon$)	SG 9.2 ($\mu\epsilon$)
F (N)	u.tg.y		tgay.x		tgac.x	
0	-542	Sinyal yok	350	-439	1858	716
250	109	Sinyal yok	-1549	-839	2707	679
500	898	Sinyal yok	-3621	-1483	3635	657
750	Sinyal zayıf	Sinyal yok	Sinyal zayıf	-1958	Sinyal zayıf	268
1000	Kırıldı	Sinyal yok	Kırıldı	-2548	Kırıldı	208
1250	Kırıldı	Sinyal yok	Kırıldı	-3202	Kırıldı	135
1500	Kırıldı	Sinyal yok	Kırıldı	-3898	Kırıldı	123
1750	Kırıldı	Sinyal yok	Kırıldı	-4777	Kırıldı	110
2000	Kırıldı	Sinyal yok	Kırıldı	-5337	Kırıldı	102
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	—	—	—	-4898	—	-614
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		—		-4898		-614

Bu bağlantı tipinde ilk olarak yapılan deneyde 750 N'a kadar olan değerler alınabilmiş ve numune 800 N'da kırılmıştır. Üstkatmanlama ile tekne gövdesi arasındaki eksenel ve kalınlık yönündeki gerinimler sinyallerin zayıf alınmasından dolayı alınamamıştır. Ayrıca tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında eksenel yöndeki gerinim ölçecek olan gerinim-ölçerden 1500 N'den sonra sinyal alınamamıştır. Bu bağlantı tipinde gerek ilk deneyde numunenin kırılması gerekse de gerinim ölçer bağlantılarının iyi olmamasından dolayı sağlıklı istatistiki sonuçlar elde edilememiştir.



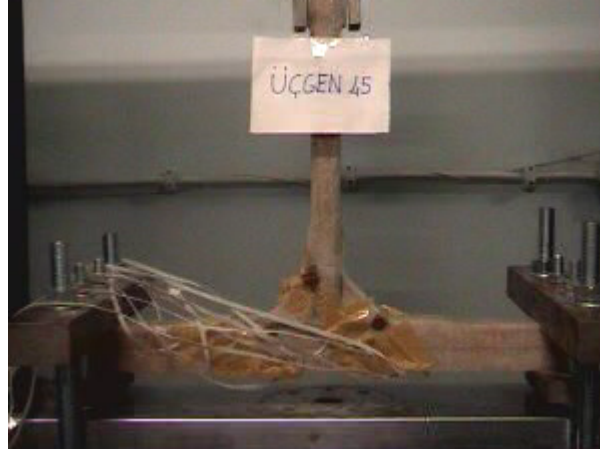
Şekil 5.6 İçiçe geçmeli bağlantıda gerinim-ölçerlerde eksenel yönde oluşan kuvvet-gerinim grafiği



Şekil 5.7 İçiçe geçmeli bağlantıda gerinim-ölçerlerde kalınlık yönünde oluşan kuvvet-gerinim grafiği

Şekil 5.6 ve 5.7 incelendiğinde maksimum gerinim artışı tekne gövdesi alt yüzeyinde eksenel yönde meydana gelmiştir.

5.1.3 Üçgen 45 Bağlantı Tipinde Elde Edilen Deneysel Sonuçlar



Şekil 5.8 Üçgen 45 bağlantısı

Tablo 5.7 Üçgen 45 bağlantısında 1,2,3 ve 4 numaralı gerinim-ölçerlerden alınan sonuçlar

F (N)	SG 1.1 ($\mu\epsilon$)	SG 1.2 ($\mu\epsilon$)	SG 2.1 ($\mu\epsilon$)	SG 2.2 ($\mu\epsilon$)	SG 3.1 ($\mu\epsilon$)	SG 3.2 ($\mu\epsilon$)	SG 4.1 ($\mu\epsilon$)	SG 4.2 ($\mu\epsilon$)
	usuy.düzlem.alt		tgay.x		tguc.x		tguc.y	
0	6713	353	380	131	21	-183	255	-337
250	6905	597	-114	-218	-212	-382	589	-37
500	7019	922	-430	-655	-436	-590	984	434
750	7215	1275	-855	-1122	-655	-890	1354	857
1000	7410	1602	-1113	-1532	-801	-1052	1760	1242
1250	7870	1949	-1299	-1967	-1114	-1227	2104	1658
1500	8241	2290	-1454	-2392	-1305	-1431	2598	2075
1750	8702	2681	-1785	-2852	-1554	-1650	2909	2564
2000	8963	2996	-1959	-3157	-1874	-1855	3356	2932
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	2058	2643	-2339	-3288	-1895	-1672	3101	3269
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		2350,5		-2813,5		-1783,5		3185

Tablo 5.8 Üçgen 45 bağlantısında 5,6 ve 7 numaralı gerinim-ölçerlerden alınan sonuçlar

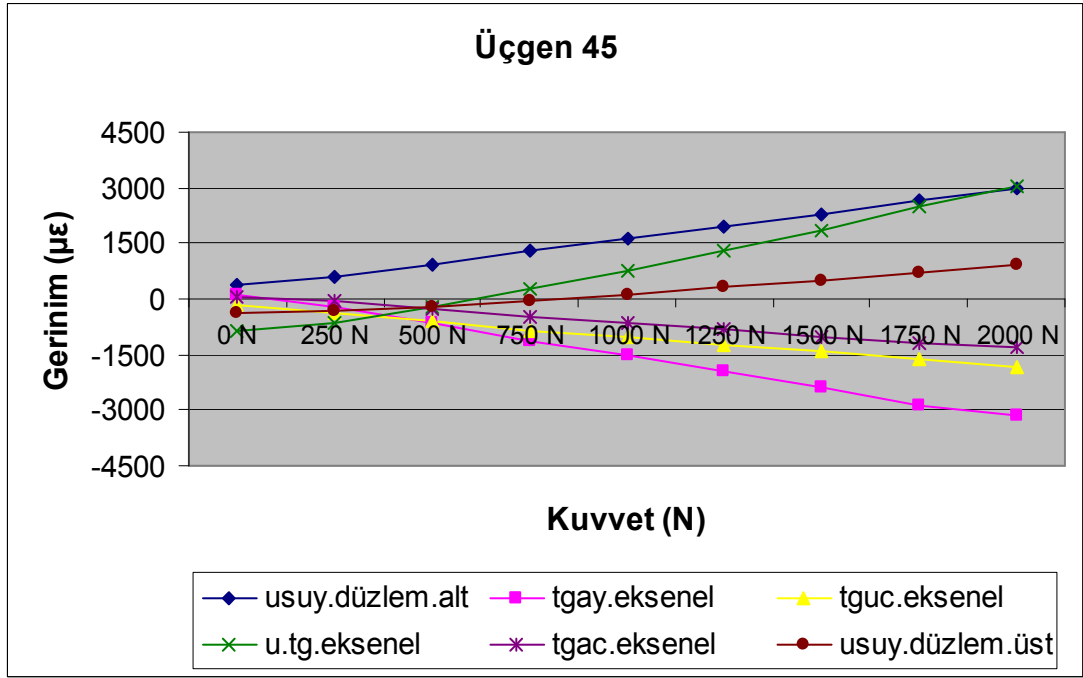
	SG 5.1 ($\mu\epsilon$)	SG 5.2 ($\mu\epsilon$)	SG 6.1 ($\mu\epsilon$)	SG 6.2 ($\mu\epsilon$)	SG 7.1 ($\mu\epsilon$)	SG 7.2 ($\mu\epsilon$)
F (N)	u.tg.x		usay.kalınlık yönü		tgac.y	
0	44	-882	1961	-2114	448	-990
250	395	-641	2113	-2031	521	-910
500	751	-193	2205	-1945	611	-855
750	1043	288	2306	-1832	684	-804
1000	1495	770	2410	-1698	795	-754
1250	1956	1299	2613	-1559	846	-730
1500	2459	1842	2771	-1424	921	-661
1750	2910	2480	2823	-1255	992	-630
2000	3626	3010	2931	-1171	1053	-604
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	3582	3892	970	943	605	386
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		3737		956,5		495,5

Üçgen 45 tip bağlantı tipinde kullanılan gerinim-ölçerlerin hepsinden deney sonuna kadar sağlıklı istatistiki veriler alınmıştır.

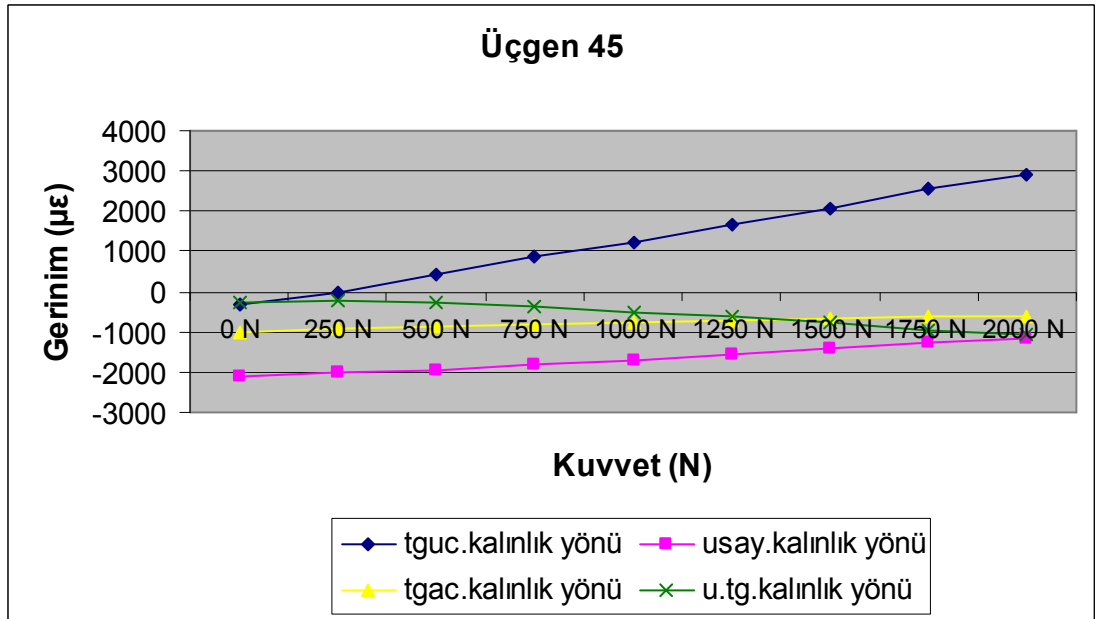
Tablo 5.9 Üçgen 45 bağlantısında 8,9 ve 10 numaralı gerinim-ölçerlerden alınan sonuçlar

	SG 8.1 ($\mu\epsilon$)	SG 8.2 ($\mu\epsilon$)	SG 9.1 ($\mu\epsilon$)	SG 9.2 ($\mu\epsilon$)	SG 10.1 ($\mu\epsilon$)	SG 10.2 ($\mu\epsilon$)
F (N)	usuy.düzlem.üst		u.tg.y		tgac.x	
0	240	-361	2235	-280	499	37
250	410	-345	2156	-212	159	-47
500	479	-212	1949	-247	-185	-258
750	569	-63	1879	-380	-352	-479
1000	717	116	1743	-498	-584	-655
1250	801	304	1695	-638	-765	-832
1500	916	505	1584	-774	-941	-1039
1750	1003	718	1656	-942	-1208	-1180
2000	1134	903	1721	-1081	-1310	-1322
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	894	1264	-514	-801	-1809	-1359
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		1079		-657,5		-1584

Üçgen 45 tip bağlantı tipinde kullanılan gerinim-ölçerlerin hepsinden deney sonuna kadar sağlıklı sonuçlar alınmıştır.



Şekil 5.9 Üçgen 45 bağlantıda gerinim-ölçerlerde eksenel yönde oluşan kuvvet-gerinim grafiği



Şekil 5.10 Üçgen 45 bağlantıda gerinim-ölçerlerde kalınlık yönünde oluşan kuvvet-gerinim grafiği

Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 incelendiğinde en yüksek gerinimler üstkatmanlama elemanı ile tekne gövdesi arasında eksenel yönde ve tekne gövdesi alt yüzeyinde yine eksenel yönde meydana gelmiştir.

5.1.4 Dönümlü 25 Bağlantı Tipinde Elde Edilen Deneysel Sonuçlar



Şekil 5.11 Dönümlü 25 bağlantısı

Tablo 5.10 Dönümlü 25 bağlantısında 1, 2, 3 ve 4 numaralı gerinim-ölçerlerden alınan sonuçlar

	SG 1.1 ($\mu\epsilon$)	SG 1.2 ($\mu\epsilon$)	SG 2.1 ($\mu\epsilon$)	SG 2.2 ($\mu\epsilon$)	SG 3.1 ($\mu\epsilon$)	SG 3.2 ($\mu\epsilon$)	SG 4.1 ($\mu\epsilon$)	SG 4.2 ($\mu\epsilon$)
F (N)	u.tg.x		tguc.y		u.tg.y		tgay.x	
0	131	-436	725	-734	-321	-1173	3474	-159
250	544	204	1224	-243	356	-1845	2994	-694
500	914	701	1700	148	749	-2280	2436	-1250
750	1368	1110	2080	425	1121	-2538	2011	-1789
1000	1788	1481	2344	653	1349	-2742	1573	-2313
1250	2105	1909	2741	866	1564	-2974	1191	-2912
1500	2613	2350	3030	1049	1714	-3175	787	-3455
1750	2905	2689	3451	1197	1889	-3321	290	-3895
2000	3401	3002	3965	1355	1967	-3451	-187	-4300
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneyssel)	3270	3438	3240	2089	2288	-2278	-3890	-4141
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneyssel)		3354		3115		YANLIŞ		-3901

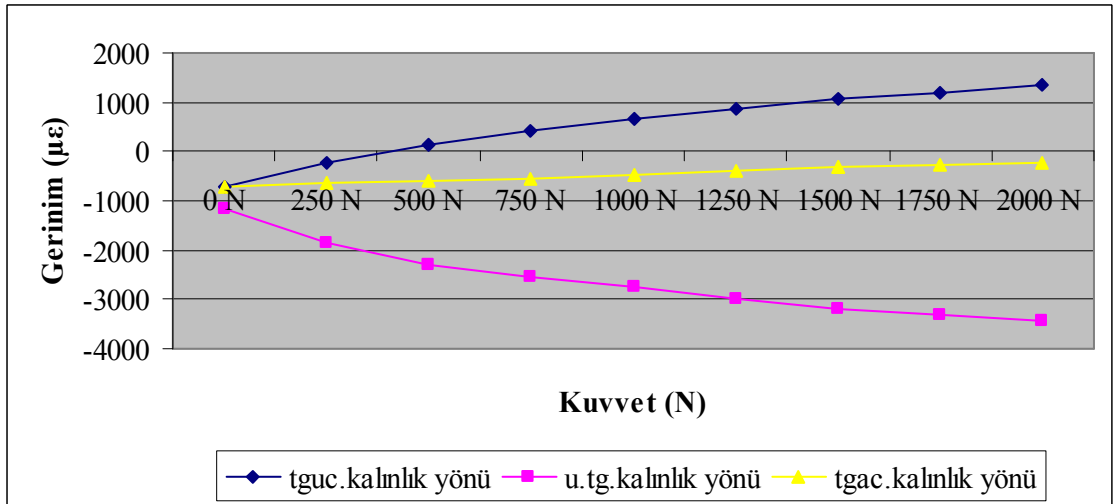
Tablo 5.11 Dönümlü 25 bağlantısında 5, 6 ve 7 numaralı gerinim-ölçerlerden alınan sonuçlar

	SG 5.1 ($\mu\epsilon$)	SG 5.2 ($\mu\epsilon$)	SG 6.1 ($\mu\epsilon$)	SG 6.2 ($\mu\epsilon$)	SG 7.1 ($\mu\epsilon$)	SG 7.2 ($\mu\epsilon$)
F (N)	usuy.düzlem.üst		tguc.x		tgac.y	
0	-110	229	1656	600	-1025	-711
250	2	308	1389	315	-898	-645
500	198	470	1111	133	-815	-600
750	315	690	864	-13	-738	-542
1000	499	926	713	-124	-657	-486
1250	712	1189	585	-281	-591	-376
1500	921	1507	374	-466	-467	-308
1750	1110	1749	265	-600	-399	-266
2000	1299	1967	109	-743	-324	-221
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	1409	1738	-1547	-1343	701	490
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		1573,5		-1445		595,5

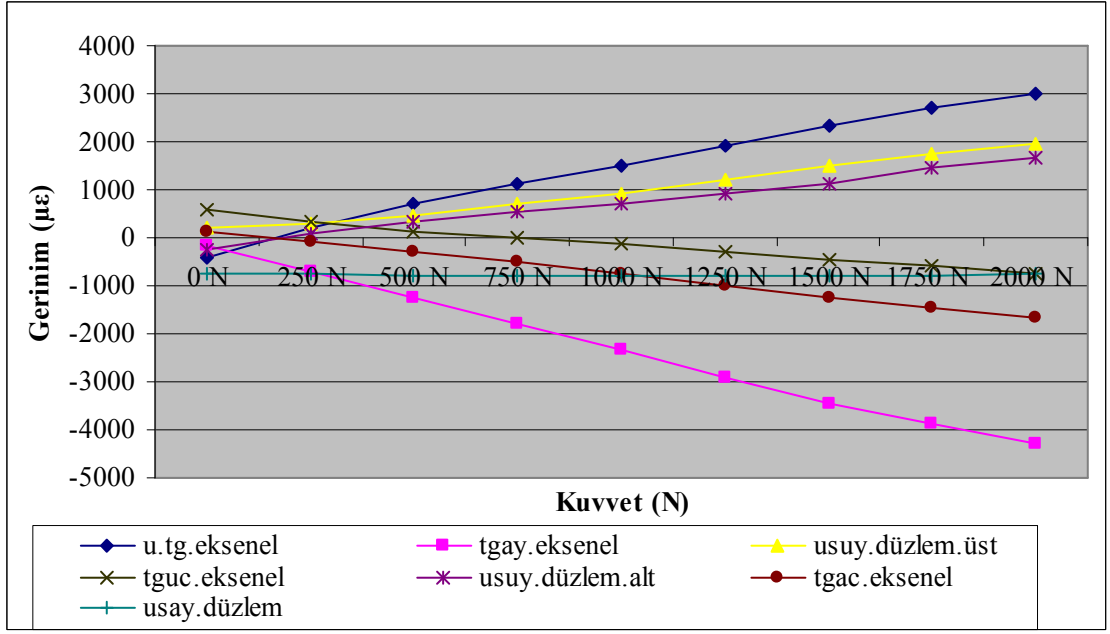
Tablo 5.12 Dönümlü 25 bağlantısında 8, 9 ve 10 numaralı gerinim-ölçerlerden alınan sonuçlar

	SG 8.1 ($\mu\epsilon$)	SG 8.2 ($\mu\epsilon$)	SG 9.1 ($\mu\epsilon$)	SG 9.2 ($\mu\epsilon$)	SG 10.1 ($\mu\epsilon$)	SG 10.2 ($\mu\epsilon$)
F (N)	usuy.düzlem.alt		tgac.x		usay.düzlem	
0	-1111	-268	-1196	117	-868	-739
250	-754	71	-1352	-75	-818	-766
500	-491	321	-1571	-284	-732	-788
750	-167	521	-1759	-517	-675	-792
1000	115	697	-1851	-747	-627	-802
1250	617	916	-2096	-1003	-637	-790
1500	959	1145	-2284	-1259	-611	-800
1750	1331	1445	-2415	-1469	-581	-772
2000	1542	1669	-2601	-1671	-557	-731
Toplam gerinim($\mu\epsilon$) (Deneysel)	2653	1937	-1405	-1788	311	8
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		2295		-1596,5		159,5

Tablo 5.10 incelendiğinde 3 numaralı gerinim-ölçer olan üstkatmanlama elemanı ile tekne gövdesi arasındaki gerinim değeri her iki deneyde farklı bir eğilim göstermiştir. Bu gerinim-ölçerin dışındaki diğer bütün gerinim-ölçerlerden veriler deney sonuna kadar alınabilmektedir.



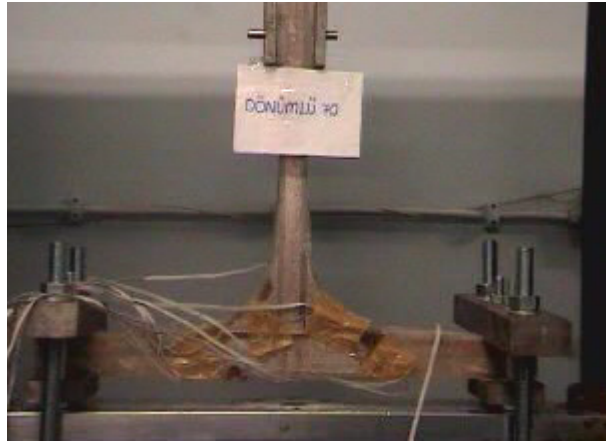
Şekil 5.12 Dönümlü 25 bağlantısında gerinim-ölçerlerde kalınlık yönünde oluşan kuvvet-gerinim grafiği



Şekil 5.13 Dönümlü 25 bağlantıda gerinim-ölçerlerde eksenel yönünde oluşan kuvvet-gerinim grafiği

Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'ten görüldüğü üzere gerinimlerin yüksek olduğu bölgeler üstkatmanlama elemanı ile tekne gövdesi arasında eksenel yöndeki gerinim, tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında kalınlık yönünde meydana gelmiştir. En yüksek gerinim ise tekne gövdesi alt yüzeyinde eksenel yönde meydana gelmiştir. Ancak tekne gövdesi üst yüzey-çekirdek sınırında kalınlık yönünde meydana gelen gerinme değeri bu bölgede olası bir delaminasyon riskini yüksek tutan bir değere sahip olmuştur.

5.1.5 Dönümlü 70 Bağlantı Tipinde Elde Edilen Deneysel Sonuçlar



Şekil 5.14 Dönümlü 70 bağlantısı

Tablo 5.13 Dönümlü 70 bağlantısında 1, 2, 3 ve 4 numaralı gerinim-ölçerlerden alınan sonuçlar

F (N)	SG 1.1 ($\mu\epsilon$)	SG 1.2 ($\mu\epsilon$)	SG 2.1 ($\mu\epsilon$)	SG 2.2 ($\mu\epsilon$)	SG 3.1 ($\mu\epsilon$)	SG 3.2 ($\mu\epsilon$)	SG 4.1 ($\mu\epsilon$)	SG 4.2 ($\mu\epsilon$)
	usuy.düzlem.alt		tgac.x		tgac.y		usay.düzlem	
0	201	57	863	-101	139	-1661	596	-181
250	278	224	798	-307	214	-1583	781	-1
500	364	331	724	-479	264	-1512	974	170
750	487	413	645	-631	301	-1460	1165	300
1000	590	559	602	-815	369	-1382	1211	493
1250	691	688	548	-961	409	-1314	1562	635
1500	802	797	499	-1116	489	-1273	1799	782
1750	915	953	461	-1289	527	-1209	2061	966
2000	1002	1107	428	-1442	591	-1172	2292	1130
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	801	1050	-435	-1341	452	489	1696	1311
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		925,5		-888		470,5		1503,5

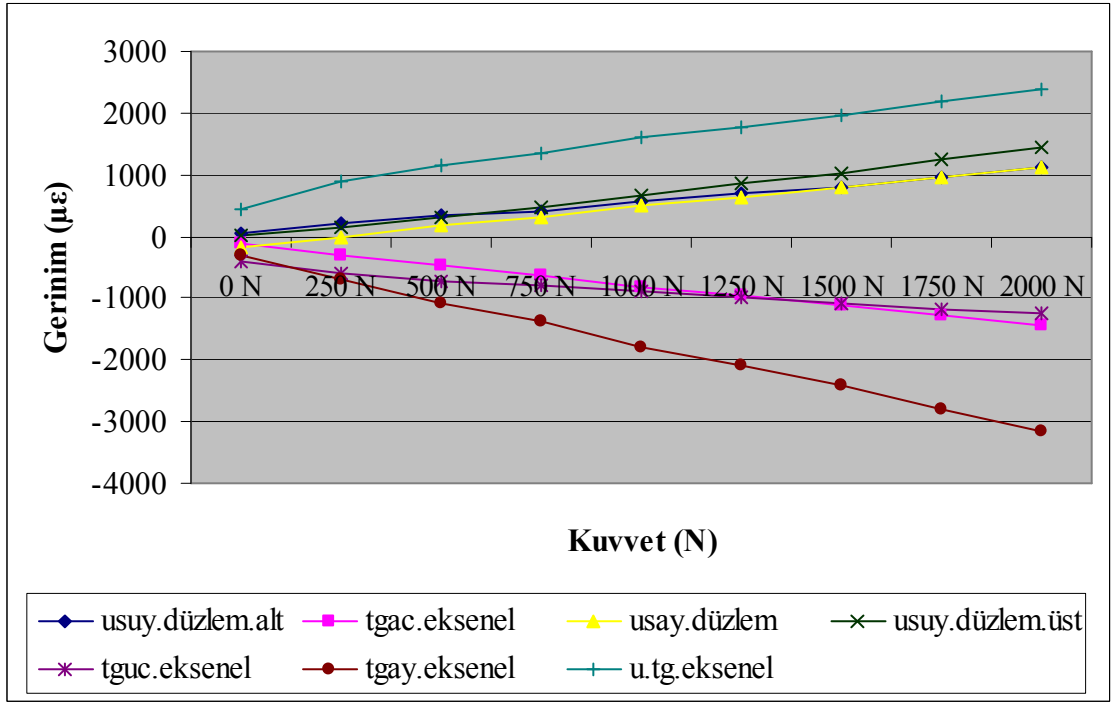
Tablo 5.14 Dönümlü 70 bağlantısında 5, 6 ve 7 numaralı gerinim-ölçerlerden alınan sonuçlar

	SG 5.1 ($\mu\epsilon$)	SG 5.2 ($\mu\epsilon$)	SG 6.1 ($\mu\epsilon$)	SG 6.2 ($\mu\epsilon$)	SG 7.1 ($\mu\epsilon$)	SG 7.2 ($\mu\epsilon$)
F (N)	usuy.düzlem.üst		tguc.x		u.tg.y	
0	323	14	-628	-389	131	-1776
250	456	135	-702	-613	566	-1945
500	602	303	-822	-712	Sinyal yok	-1958
750	699	465	-968	-801	Sinyal yok	-1945
1000	785	677	-1158	-905	Sinyal yok	-1934
1250	851	845	-1385	-979	Sinyal yok	-1919
1500	937	1023	-1514	-1068	Sinyal yok	-1891
1750	1011	1239	-1665	-1173	Sinyal yok	-1870
2000	1129	1432	-1743	-1254	Sinyal yok	-1897
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	806	1418	-1115	-865	—	-121
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		1112		-990		

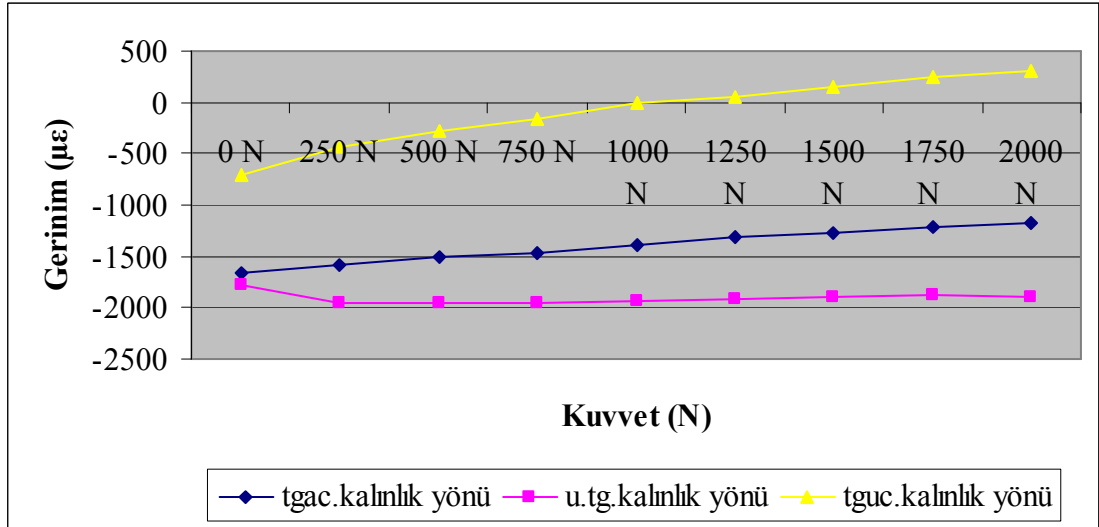
Tablo 5.15 Dönümlü 70 bağlantısında 8, 9 ve 10 numaralı gerinim-ölçerlerden alınan sonuçlar

	SG 8.1 ($\mu\epsilon$)	SG 8.2 ($\mu\epsilon$)	SG 9.1 ($\mu\epsilon$)	SG 9.2 ($\mu\epsilon$)	SG 10.1 ($\mu\epsilon$)	SG 10.2 ($\mu\epsilon$)
F (N)	tguc.y		tgay.x		u.tg.x	
0	-241	-700	1061	-299	-202	445
250	-118	-434	709	-699	132	896
500	101	-275	469	-1080	456	1160
750	256	-155	133	-1383	699	1361
1000	418	-11	-59	-1793	901	1605
1250	591	59	-376	-2092	1056	1773
1500	746	152	-691	-2408	1258	1961
1750	923	251	-1019	-2795	1523	2183
2000	1052	305	-1313	-3172	1801	2397
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	1034	1005	-2374	-2873	2003	1952
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		1019,5		-2623,5		1977,5

Tablo 5.13, Tablo 5.14 ve Tablo 5.15'ten görüldüğü üzere 7.1 numaralı gerinim-ölçerden 500 N'dan sonra sinyal alınamamıştır. Ancak diğer bütün gerinim-ölçerlerden deney sonuna kadar veriler alınabilmektedir.



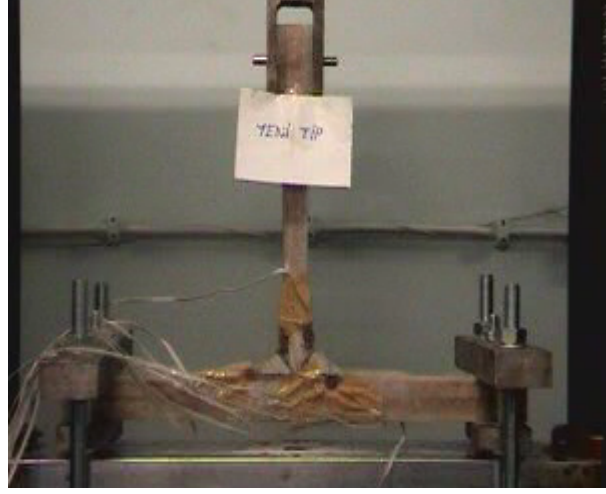
Şekil 5.15 Dönümlü 70 bağlantısında gerinim-ölçerlerde eksenel yönde oluşan kuvvet-gerinim grafiği



Şekil 5.16 Dönümlü 70 bağlantısında gerinim-ölçerlerde kalınlık yönünde oluşan gerinim-kuvvet grafiği

Bu bağlantı tipinde incelenen bölgelerde oluşan gerinim değerleri, aynı bölgeler için, diğer bağlantı tiplerine göre daha düşük değerde çıkmıştır. Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'ya bakıldığında maksimum gerinme diğer bağlantı tiplerine benzer şekilde tekne gövdesi alt yüzeyinde eksenel yönde meydana gelmiştir.

5.1.6 Yeni Tip Bağlantı Tipinde Elde Edilen Deneysel Sonuçlar



Şekil 5.17 Yeni tip bağlantı

Tablo 5.16 Yeni tip bağlantıda 1, 2, 3 ve 4 numaralı gerinim-ölçerlerden alınan sonuçlar

	SG 1.1 ($\mu\epsilon$)	SG 1.2 ($\mu\epsilon$)	SG 2.1 ($\mu\epsilon$)	SG 2.2 ($\mu\epsilon$)	SG 3.1 ($\mu\epsilon$)	SG 3.2 ($\mu\epsilon$)	SG 4.1 ($\mu\epsilon$)	SG 4.2 ($\mu\epsilon$)
F (N)	usuy.düzlem.alt	u.tg.x		usuy.düzlem.üst		tguc.x		
0	-1111	-83	231	-1160	-868	-425	-1455	-1120
250	-741	336	756	-633	-799	-315	-1631	-1362
500	-491	649	1137	-221	-732	-233	-1920	-1572
750	-167	1080	1784	350	-675	-102	-2100	-1987
1000	115	1597	2250	918	-627	2	-2412	-2244
1250	607	2022	2841	1314	-637	53	-2697	-2416
1500	1021	2422	3220	1815	-614	89	-2987	-2654
1750	339	2835	3749	2380	-598	140	-3152	-2862
2000	1656	3226	4333	2714	-554	159	-3416	-3010
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	2767	3309	4102	3874	314	584	-1961	-1890
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		3038		3988		449		-1925,5

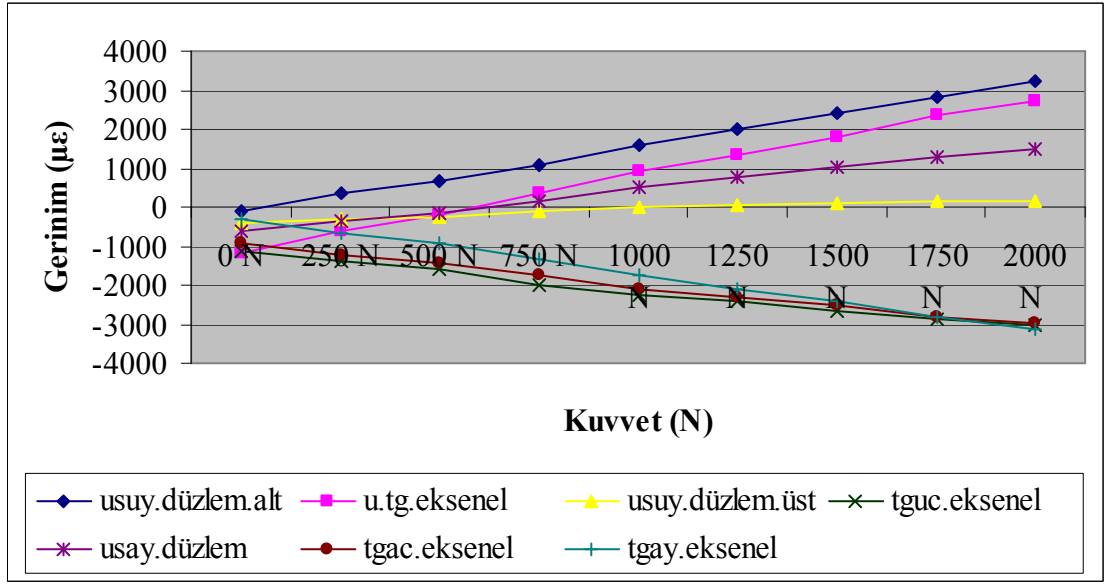
Tablo 5.17 Yeni tip bağlantıda 5, 6 ve 7 numaralı gerinim-ölçerlerden alınan sonuçlar

	SG 5.1 ($\mu\epsilon$)	SG 5.2 ($\mu\epsilon$)	SG 6.1 ($\mu\epsilon$)	SG 6.2 ($\mu\epsilon$)	SG 7.1 ($\mu\epsilon$)	SG 7.2 ($\mu\epsilon$)
F (N)	tgac.y		usay.düzlem		tgac.x	
0	139	-1025	-229	-595	863	-937
250	166	-952	-51	-348	725	-1213
500	251	-920	159	-140	645	-1433
750	331	-833	246	165	588	-1749
1000	419	-750	321	501	511	-2077
1250	499	-687	384	745	467	-2319
1500	564	-620	455	1003	413	-2538
1750	616	-553	701	1296	371	-2795
2000	659	-502	893	1498	280	-2986
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	520	523	1122	2093	-583	-2049
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		521,5		1607,5		-1316

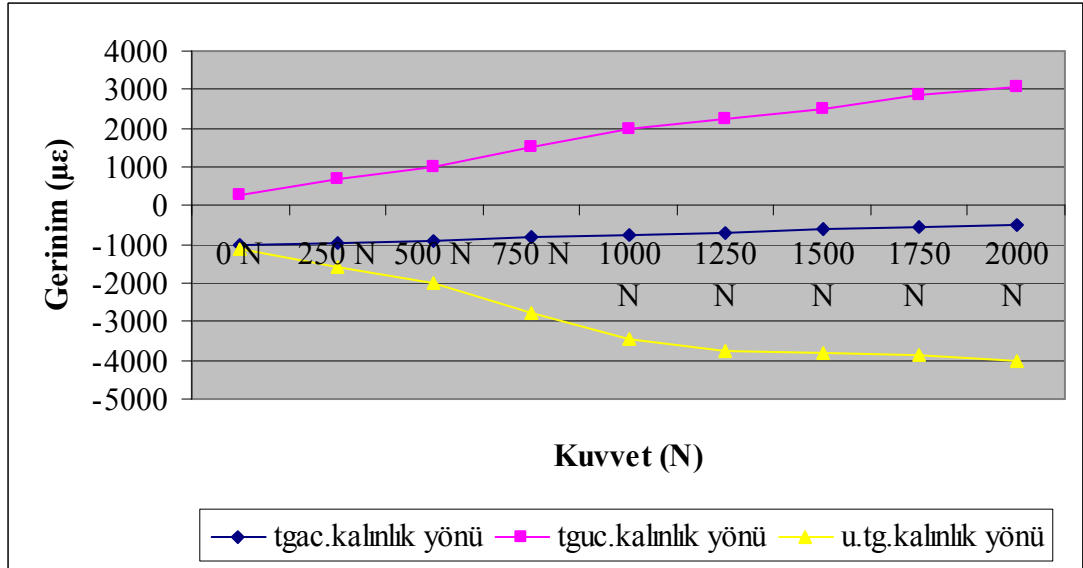
Tablo 5.18 Yeni tip bağlantıda 8, 9 ve 10 numaralı gerinim-ölçerlerden alınan sonuçlar

	SG 8.1 ($\mu\epsilon$)	SG 8.2 ($\mu\epsilon$)	SG 9.1 ($\mu\epsilon$)	SG 9.2 ($\mu\epsilon$)	SG 10.1 ($\mu\epsilon$)	SG 10.2 ($\mu\epsilon$)
F (N)	tguc.y		tgay.x		u.tg.y	
0	-241	267	317	-295	Sinyal yok	-1127
250	-14	687	16	-659	Sinyal yok	-1592
500	256	1021	-445	-943	Sinyal yok	-2023
750	485	1528	-798	-1319	Sinyal yok	-2776
1000	851	1965	-1104	1752	Sinyal yok	-3451
1250	1132	2218	-1484	-2105	Sinyal yok	-3775
1500	1455	2502	-1805	-2434	Sinyal yok	-3813
1750	1818	2865	-2109	-2822	Sinyal yok	-3868
2000	2241	3049	-2558	-3139	Sinyal yok	-4011
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	2482	2782	-2875	-2844	Sinyal yok	-2884
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		2632		-2859,5		-2884

Yeni tip bağlantı tipinde 10.1 numaralı gerinim-ölçerden deney başlangıcından deney sonuna kadar sinyal alınamamıştır. Diğer bütün gerinim-ölçerlerden deney sonuna kadar istatistiki veriler elde edilmiştir.



Şekil 5.18 Yeni tip bağlantıda gerinim-ölçerlerde eksenel yönde oluşan kuvvet-gerinim grafiği



Şekil 5.19 Yeni tip bağlantıda gerinim-ölçerlerde kalınlık yönünde oluşan kuvvet-gerinim grafiği

Şekil 5.18 ve Şekil 5.19 incelendiğinde bu bağlantı tipinde diğer bağlantı tiplerinden farklı olarak yüksek gerinim değerleri meydana gelmiştir. Bu bölgeler ve yönleri; üstkatmanlama elemanı tekne gövdesi arasında eksenel yön, üstkatmanlama elemanı alt kısım düzlemi, tekne gövdesi alt yüzeyinde eksenel yön ve üstkatmanlama elemanı tekne gövdesi kalınlık yönleridir. En yüksek gerinim üstkatmanlama elemanı tekne gövdesi arasında eksenel yönde meydana gelmiştir.

5.2 Deneysel ve Nümerik Sonuçların Birbirleriyle Karşılaştırılması

5.2.1 Düz Bağlantı Tipinde Deneysel ve Nümerik Sonuçların Birbirleriyle Karşılaştırılması

Tablo 5.19 Düz bağlantı tipinde 1, 2 ve 3 numaralı gerinim bölgelerinde oluşan deneysel ve nümerik gerinim sonuçları

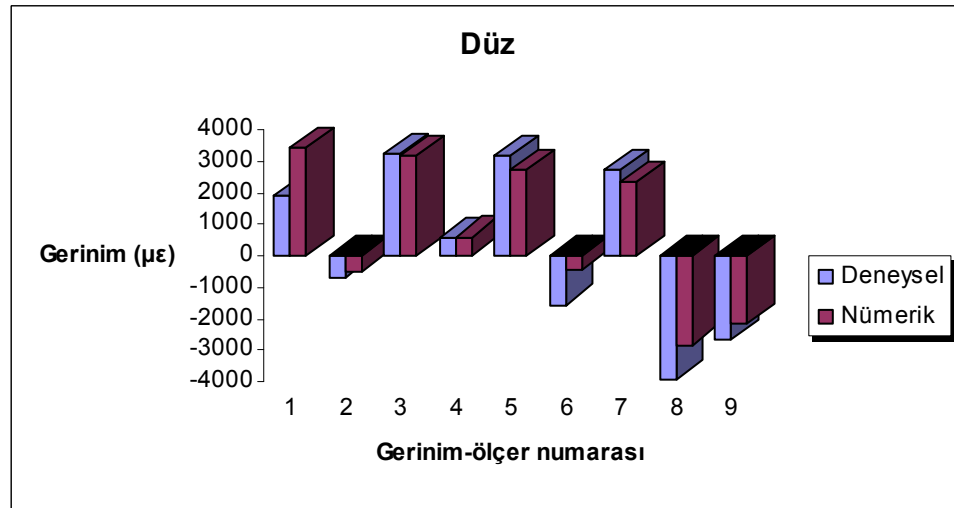
	SG 1.1 ($\mu\epsilon$)	SG 1.2 ($\mu\epsilon$)	SG 2.1 ($\mu\epsilon$)	SG 2.2 ($\mu\epsilon$)	SG 3.1 ($\mu\epsilon$)	SG 3.2 ($\mu\epsilon$)
	tguc.y		tgac.x		usuy.düzlem.alt	
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	2071	1741	-601	-736	2837	3678
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		1906		-669		3258
Ansys ($\mu\epsilon$)		3446		-492		3146

Tablo 5.20 Düz bağlantı tipinde 4, 5 ve 6 numaralı gerinim bölgelerinde oluşan deneysel ve nümerik gerinim sonuçları

	SG 4.1 ($\mu\epsilon$)	SG 4.2 ($\mu\epsilon$)	SG 5.1 ($\mu\epsilon$)	SG 5.2 ($\mu\epsilon$)	SG 6.1 ($\mu\epsilon$)	SG 6.2 ($\mu\epsilon$)
	tgac.y		u.tg.x		u.tg.y	
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	—	552	3760	2542	-883	-2215
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		552		3151		-1549
Ansys ($\mu\epsilon$)		601		2732		-420

Tablo 5.21 Düz bağlantı tipinde 7, 8 ve 9 numaralı gerinim bölgelerinde oluşan deneysel ve nümerik gerinim sonuçları

	SG 7.1 ($\mu\epsilon$)	SG 7.2 ($\mu\epsilon$)	SG 8.1 ($\mu\epsilon$)	SG 8.2 ($\mu\epsilon$)	SG 9.1 ($\mu\epsilon$)	SG 9.2 ($\mu\epsilon$)
	usuy.düzlem.üst		tgay.x		tguc.x	
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	2432	2983	-3366	-4740	-2601	-2724
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		2708		-3954		-2663
Ansys ($\mu\epsilon$)		2327		-2824		-2136



Şekil 5.20 Düz tip bağlantıda deneysel ve nümerik sonuçların karşılaştırılması

Şekil 5.20’de görüldüğü üzere düz bağlantı tipinde yapılan analizlerde, incelenen bölgeler için, deneysel ve nümerik sonuçlar birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. Deneysel ve nümerik sonuçların birbirinden en farklı çıktığı gerinim, üstkatmanlama elemanı ile tekne gövdesi arasında kalınlık yönünde meydana gelen gerinim olmuştur.

5.2.2 İç içe Geçmeli Bağlantı Tipinde Deneysel ve Nümerik Sonuçların Birbirleriyle Karşılaştırılması

Tablo 5.22 İç içe geçmeli bağlantı tipinde 1, 2 ve 3 numaralı gerinim bölgelerinde oluşan deneysel ve nümerik gerinim sonuçları

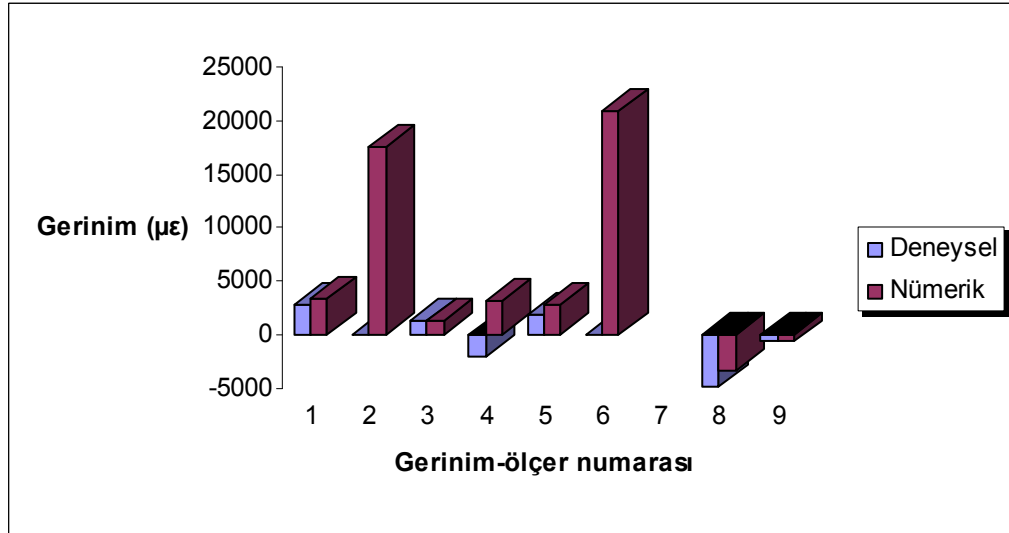
	SG 1.1 ($\mu\epsilon$)	SG 1.2 ($\mu\epsilon$)	SG 2.1 ($\mu\epsilon$)	SG 2.2 ($\mu\epsilon$)	SG 3.1 ($\mu\epsilon$)	SG 3.2 ($\mu\epsilon$)
	usuy.düzlem.alt		tguc.x		tgac.y	
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	—	2729	—	—	—	1274
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		2729		—		1274
Ansys ($\mu\epsilon$)		3415		17571		1250

Tablo 5.23 İç içe geçmeli bağlantı tipinde 4, 5 ve 6 numaralı gerinim bölgelerinde oluşan deneysel ve nümerik gerinim sonuçları

	SG 4.1 ($\mu\epsilon$)	SG 4.2 ($\mu\epsilon$)	SG 5.1 ($\mu\epsilon$)	SG 5.2 ($\mu\epsilon$)	SG 6.1 ($\mu\epsilon$)	SG 6.2 ($\mu\epsilon$)
	tguc.y		usuy.düzlem.üst		u.tg.x	
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	—	-2138	—	1791	—	—
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		-2138		1791		—
Ansys ($\mu\epsilon$)		3099		2800		20960

Tablo 5.24 İççe geçmeli bağlantı tipinde 7, 8 ve 9 numaralı gerinim bölgelerinde oluşan deneysel ve nümerik gerinim sonuçları

	SG 7.1 ($\mu\epsilon$)	SG 7.2 ($\mu\epsilon$)	SG 8.1 ($\mu\epsilon$)	SG 8.2 ($\mu\epsilon$)	SG 9.1 ($\mu\epsilon$)	SG 9.2 ($\mu\epsilon$)
	u.tg.y		tgay.x		tgac.x	
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	—	—	—	-4898	—	-614
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		—		-4898		-614
Ansys ($\mu\epsilon$)				-3454		-680



Şekil 5.21 İççe geçmeli tip bağlantıda deneysel ve nümerik sonuçların karşılaştırılması

İç içe geçmeli tip bağlantıda tasarlanan yük değerinden önce numunelerde kopma meydana geldiği için özellikle 2 (tguc.x), 6 (u.tg.x) ve 7 (u.tg.y) numaralı gerinim-ölçerlerden deneysel olarak herhangi bir veri alınamamıştır. Bu sebeple özellikle üstkatmanlama elemanı ile tekne gövdesi arasında hem eksenel hem de kalınlık yönünde deneysel olarak bir sonuca varılamamıştır. Ayrıca 4 (tguc.y) numaralı bölgede deneysel ve nümerik olarak birbirinden çok farklı sonuçlar alınmıştır.

Sonuç olarak bu bağlantı tipi yapılan çalışmalar içinde en sağlıksız verilerin elde edildiği bağlantı tipi olmuştur.

5.2.3 Üçgen 45 Bağlantı Tipinde Deneysel ve Nümerik Sonuçların Birbirleriyle Karşılaştırılması

Tablo 5.25 Üçgen 45 bağlantı tipinde 1, 2, 3 ve 4 numaralı gerinim bölgelerinde oluşan deneysel ve nümerik gerinim sonuçları

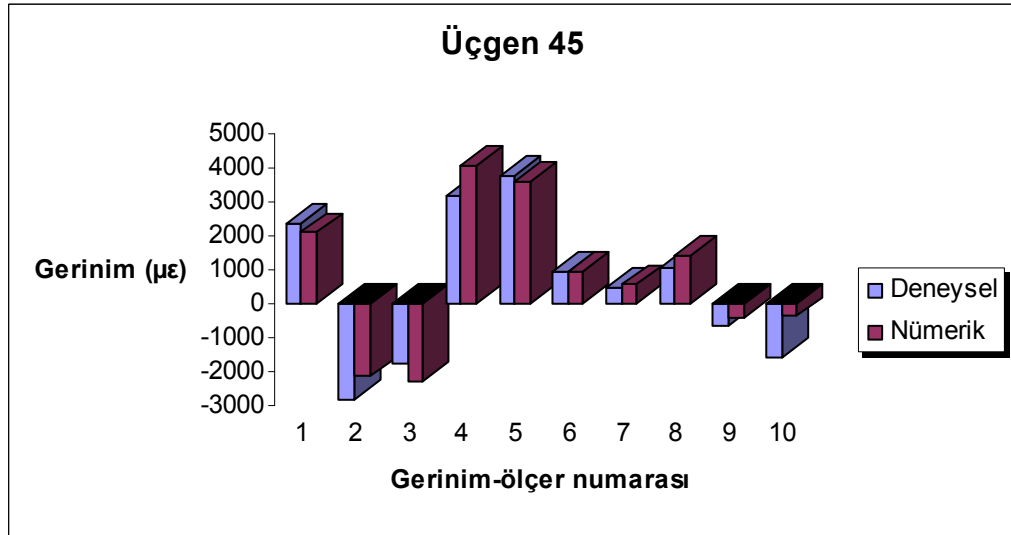
	SG 1.1 ($\mu\epsilon$)	SG 1.2 ($\mu\epsilon$)	SG 2.1 ($\mu\epsilon$)	SG 2.2 ($\mu\epsilon$)	SG 3.1 ($\mu\epsilon$)	SG 3.2 ($\mu\epsilon$)	SG 4.1 ($\mu\epsilon$)	SG 4.2 ($\mu\epsilon$)
	usuy.düzlem.alt		tgay.x		tguc.x		tguc.y	
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	2058	2643	-2339	-3288	-1895	-1672	3101	3269
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		2351		-2814		-1784		3185
Ansys ($\mu\epsilon$)		2087		-2145		-2315		4071

Tablo 5.26 Üçgen 45 bağlantı tipinde 5,6 ve 7 numaralı gerinim bölgelerinde oluşan deneysel ve nümerik gerinim sonuçları

	SG 5.1 ($\mu\epsilon$)	SG 5.2 ($\mu\epsilon$)	SG 6.1 ($\mu\epsilon$)	SG 6.2 ($\mu\epsilon$)	SG 7.1 ($\mu\epsilon$)	SG 7.2 ($\mu\epsilon$)
	u.tg.x		usay.kalınlık yönü		tgac.y	
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	3582	3892	970	943	605	386
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		3737		956,5		495,5
Ansys ($\mu\epsilon$)		3602		963		562

Tablo 5.27 Üçgen 45 bağlantı tipinde 8,9 ve 10 numaralı gerinim bölgelerinde oluşan deneysel ve nümerik gerinim sonuçları

	SG 8.1 ($\mu\epsilon$)	SG 8.2 ($\mu\epsilon$)	SG 9.1 ($\mu\epsilon$)	SG 9.2 ($\mu\epsilon$)	SG 10.1 ($\mu\epsilon$)	SG 10.2 ($\mu\epsilon$)
	usuy.düzlem.üst		u.tg.y		tgac.x	
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	894	1264	-514	-801	-1809	-1359
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		1079		-657,5		-1584
Ansys ($\mu\epsilon$)		1421		-429		-378



Şekil 5.22 Üçgen 45 tip bağlantıda deneysel ve nümerik sonuçların karşılaştırılması

Üçgen 45 tip bağlantı tipinde Şekil 5.22’den de görüldüğü üzere deneysel ve nümerik sonuçlar birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Bu bağlantı tipinde deneysel ve nümerik sonuçların birbirinden en farklı olduğu bölge 10 numaralı (tgac.x) bölge olmuştur.

5.2.4 Dönümlü 25 Bağlantı Tipinde Deneysel ve Nümerik Sonuçların Birbirleriyle Karşılaştırılması

Tablo 5.28 Dönümlü 25 bağlantı tipinde 1, 2, 3 ve 4 numaralı gerinim bölgelerinde oluşan deneysel ve nümerik gerinim sonuçları

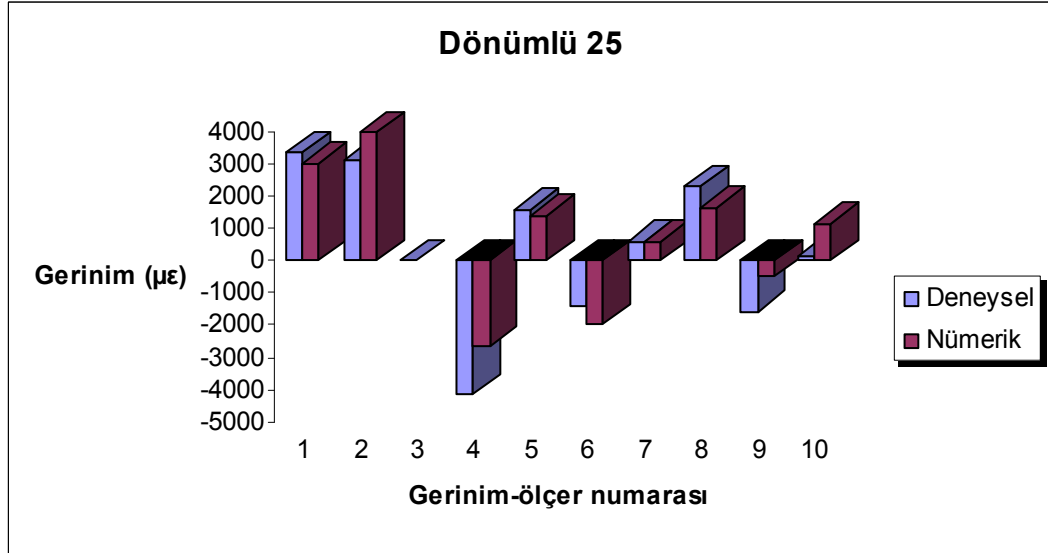
	SG 1.1 ($\mu\epsilon$)	SG 1.2 ($\mu\epsilon$)	SG 2.1 ($\mu\epsilon$)	SG 2.2 ($\mu\epsilon$)	SG 3.1 ($\mu\epsilon$)	SG 3.2 ($\mu\epsilon$)	SG 4.1 ($\mu\epsilon$)	SG 4.2 ($\mu\epsilon$)
	u.tg.x		tguc.y		u.tg.y		tgay.x	
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	3270	3438	3240	2089	2288	-2278	-3661	-4141
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		3354		3115		#####		-3901
Ansys ($\mu\epsilon$)		3019		3975				-2664

Tablo 5.29 Dönümlü 25 bağlantı tipinde 5, 6 ve 7 numaralı gerinim bölgelerinde oluşan deneysel ve nümerik gerinim sonuçları

	SG 5.1 ($\mu\epsilon$)	SG 5.2 ($\mu\epsilon$)	SG 6.1 ($\mu\epsilon$)	SG 6.2 ($\mu\epsilon$)	SG 7.1 ($\mu\epsilon$)	SG 7.2 ($\mu\epsilon$)
	usuy.düzlem.üst		tguc.x		tgac.y	
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	1409	1738	-1547	-1343	701	490
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		1573,5		-1445		595,5
Ansys ($\mu\epsilon$)		1405		-1976		583

Tablo 5.30 Dönümlü 25 bağlantı tipinde 8, 9 ve 10 numaralı gerinim bölgelerinde oluşan deneysel ve nümerik gerinim sonuçları

	SG 8.1 ($\mu\epsilon$)	SG 8.2 ($\mu\epsilon$)	SG 9.1 ($\mu\epsilon$)	SG 9.2 ($\mu\epsilon$)	SG 10.1 ($\mu\epsilon$)	SG 10.2 ($\mu\epsilon$)
	usuy.düzlem.alt		tgac.x		usay.düzlem	
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	2653	1937	-1405	-1788	311	8
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		2295		-1597		159,5
Ansys ($\mu\epsilon$)		1633		-494		1140



Şekil 5.23 Dönümlü 25 tip bağlantıda deneysel ve nümerik sonuçların karşılaştırılması

Dönümlü 25 tip bağlantı tipinde genellikle deneysel ve nümerik sonuçlar birbirine yakın çıkmıştır (Şekil 5.23). Ancak üstkatmanlama elemanı tekne gövdesi arasındaki sınırın deneysel olarak incelenmesinde bu bölgede birinci ve ikinci deneylerde alınan sonuçlar birbirlerinden çok farklı olduğu için 3 numaralı (u.tg.y) bölgenin deneysel ve nümerik olarak karşılaştırılması yapılmamıştır. Ayrıca 9 (tgac.x) numaralı gerinim-ölçerden deneysel olarak nümerik analiz sonucundan çok farklı bir sonuç elde edilmiştir.

5.2.5 Dönümlü 70 Bağlantı Tipinde Deneysel ve Nümerik Sonuçların Birbirleriyle Karşılaştırılması

Tablo 5.31 Dönümlü 70 bağlantı tipinde 1, 2, 3 ve 4 numaralı gerinim bölgelerinde oluşan deneysel ve nümerik gerinim sonuçları

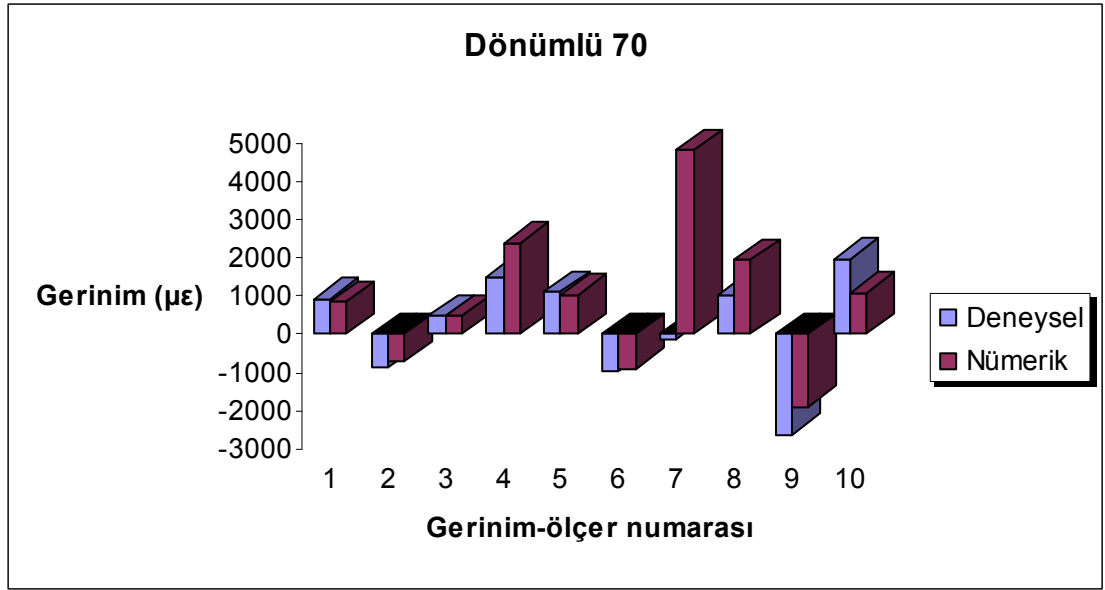
	SG 1.1 ($\mu\epsilon$)	SG 1.2 ($\mu\epsilon$)	SG 2.1 ($\mu\epsilon$)	SG 2.2 ($\mu\epsilon$)	SG 3.1 ($\mu\epsilon$)	SG 3.2 ($\mu\epsilon$)	SG 4.1 ($\mu\epsilon$)	SG 4.2 ($\mu\epsilon$)
	usuy.düzlem.alt		tgac.x		tgac.y		usay.düzlem	
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	801	1050	-435	-1341	452	489	1696	1311
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		925,5		-888		470,5		1504
Ansys ($\mu\epsilon$)		838		-729		476		2394

Tablo 5.32 Dönümlü 70 bağlantı tipinde 5, 6 ve 7 numaralı gerinim bölgelerinde oluşan deneysel ve nümerik gerinim sonuçları

	SG 5.1 ($\mu\epsilon$)	SG 5.2 ($\mu\epsilon$)	SG 6.1 ($\mu\epsilon$)	SG 6.2 ($\mu\epsilon$)	SG 7.1 ($\mu\epsilon$)	SG 7.2 ($\mu\epsilon$)
	usuy.düzlem.üst		tguc.x		u.tg.y	
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	806	1418	-1115	-865	—	-121
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		1112		-990		-121
Ansys ($\mu\epsilon$)		1016		-913		4811

Tablo 5.33 Dönümlü 70 bağlantı tipinde 8, 9 ve 10 numaralı gerinim bölgelerinde oluşan deneysel ve nümerik gerinim sonuçları

	SG 8.1 ($\mu\epsilon$)	SG 8.2 ($\mu\epsilon$)	SG 9.1 ($\mu\epsilon$)	SG 9.2 ($\mu\epsilon$)	SG 10.1 ($\mu\epsilon$)	SG 10.2 ($\mu\epsilon$)
	tguc.y		tgay.x		u.tg.x	
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	1034	1005	-2374	-2873	2003	1952
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		1020		-2624		1977,5
Ansys ($\mu\epsilon$)		1935		-1913		1096



Şekil 5.24 Dönümlü 70 tip bağlantıda deneysel ve nümerik sonuçların karşılaştırılması

Şekil 5.24 dönümlü 70 bağlantı tipinde deneysel ve nümerik sonuçların birbirlerine göre karşılaştırılmasını göstermektedir. Bu bağlantı tipinde deneysel ve nümerik olarak birbirine oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir. Sadece 7 numaralı (u.tg.y) bölgede sadece tek bir deneyden veri elde edilebilmesi bu bölgede deneysel ve nümerik sonuçların birbirlerinden oldukça farklı sonuçlara ulaşılmasına neden olmuştur.

5.2.6 Yeni Tip Bağlantı Tipinde Deneysel ve Nümerik Sonuçların Birbirleriyle Karşılaştırılması

Tablo 5.34 Yeni tip bağlantı tipinde 1, 2, 3 ve 4 numaralı gerinim bölgelerinde oluşan deneysel ve nümerik gerinim sonuçları

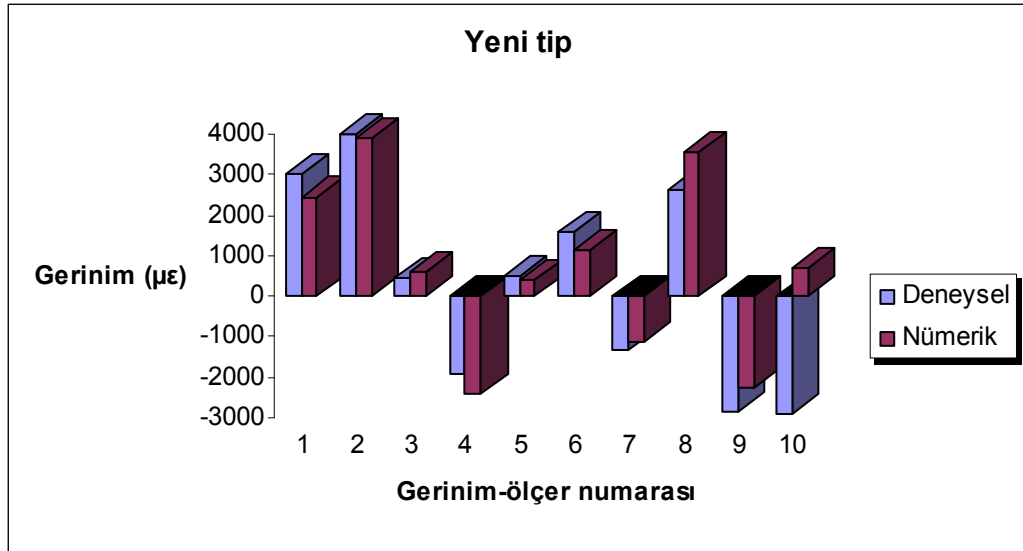
	SG 1.1 ($\mu\epsilon$)	SG 1.2 ($\mu\epsilon$)	SG 2.1 ($\mu\epsilon$)	SG 2.2 ($\mu\epsilon$)	SG 3.1 ($\mu\epsilon$)	SG 3.2 ($\mu\epsilon$)	SG 4.1 ($\mu\epsilon$)	SG 4.2 ($\mu\epsilon$)
	usuy.düzlem.alt		u.tg.x		usuy.düzlem.üst		tguc.x	
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	2767	3309	4102	3874	314	584	-1961	-1890
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		3038		3988		449		-1926
Ansys ($\mu\epsilon$)		2452		3911		581		-2416

Tablo 5.35 Yeni tip bağlantı tipinde 5, 6 ve 7 numaralı gerinim bölgelerinde oluşan deneysel ve nümerik gerinim sonuçları

	SG 5.1 ($\mu\epsilon$)	SG 5.2 ($\mu\epsilon$)	SG 6.1 ($\mu\epsilon$)	SG 6.2 ($\mu\epsilon$)	SG 7.1 ($\mu\epsilon$)	SG 7.2 ($\mu\epsilon$)
	tgac.y		usay.düzlem		tgac.x	
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	520	523	1122	2093	-583	-2049
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		521,5		1608		-1316
Ansys ($\mu\epsilon$)		419		1136		-1137

Tablo 5.36 Yeni tip bağlantı tipinde 8, 9 ve 10 numaralı gerinim bölgelerinde oluşan deneysel ve nümerik gerinim sonuçları

	SG 8.1 ($\mu\epsilon$)	SG 8.2 ($\mu\epsilon$)	SG 9.1 ($\mu\epsilon$)	SG 9.2 ($\mu\epsilon$)	SG 10.1 ($\mu\epsilon$)	SG 10.2 ($\mu\epsilon$)
	tguc.y		tgay.x		u.tg.y	
Toplam gerinim ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	2482	2782	-2875	-2844	Sinyal yok	-2884
Ortalama değer ($\mu\epsilon$) (Deneysel)		2632		-2860		-2884
Ansys ($\mu\epsilon$)		3576		-2263		697



Şekil 5.25 Düz tip bağlantıda deneysel ve nümerik sonuçların karşılaştırılması

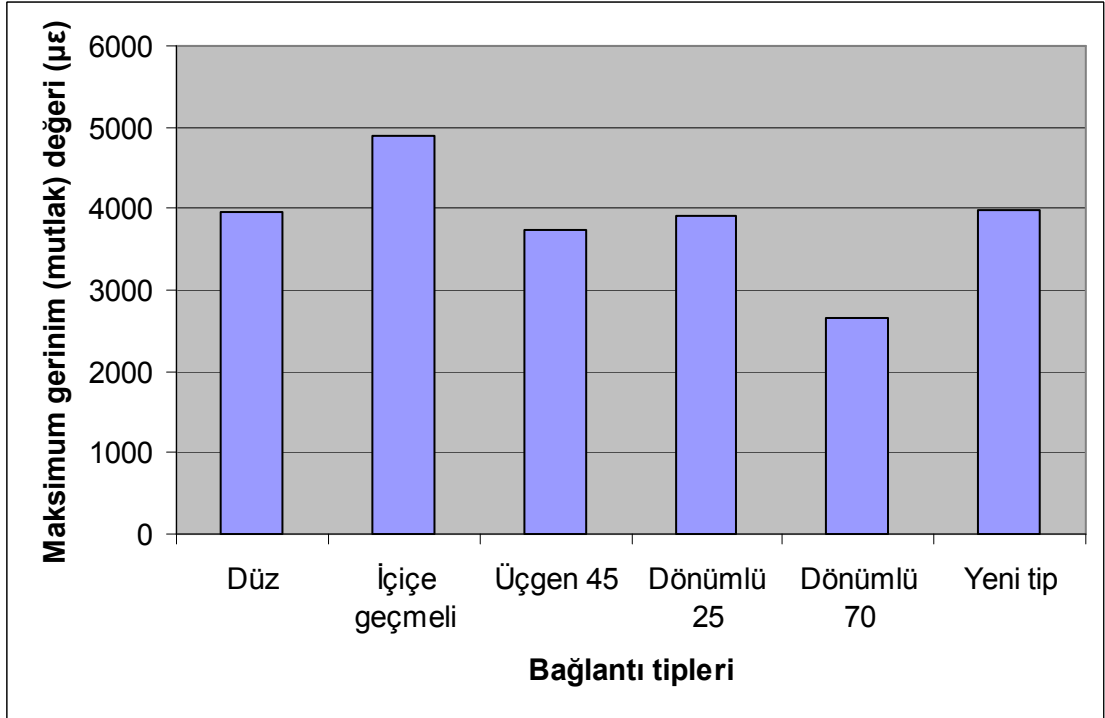
Yeni tip bağlantı tipinde de deneysel ve nümerik olarak birbirlerine oldukça yakın sonuçlar alınmıştır. Ancak 10 (u.tg.y) numaralı bölgede deneysel ve nümerik olarak birbirlerinden oldukça farklı sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 5.25).

Sonuç olarak iç içe geçmeli bağlantı tipinin dışında bütün bağlantı tiplerinde incelenen bütün bölgelerde deneysel sonuçlarla nümerik sonuçlar birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. Ancak hemen hemen bütün bağlantı tiplerinde üstkatmanlama elemanı ile tekne gövdesi arasındaki sınırda meydana gelen gerinme değerleri deneysel ve nümerik olarak birbirlerinden oldukça farklı değerlerde sonuçlar vermiştir.

5.3 İncelenen Bütün Bağlantı Tiplerinin Birbirleri İle Karşılaştırılması

Tablo 5.37 İncelenen bağlantı tiplerinde oluşan deneysel maksimum mutlak gerinme değerleri

	Bağlantı tipi					
	Düz	İççe geçmeli	Üçgen 45	Dönümlü 25	Dönümlü 70	Yeni tip
Maksimum mutlak gerinim değeri ($\mu\epsilon$) (Deneysel)	3954	4898	3737	3901	2653,5	3988



Şekil 5.26 İncelenen bağlantı tiplerinde oluşan maksimum mutlak gerinme değerleri (deneysel)

Tablo 5.37’de yapılan deneysel çalışmalar sonucunda incelenen bağlantı tiplerinde oluşan maksimum mutlak gerinim değerleri verilmiştir. Her bağlantı tipinin sahip olduğu maksimum mutlak gerinim değerleri dikkate alınarak Şekil 5.26’daki grafik elde edilmiştir. Buna göre en sağlam bağlantı tipi dönümlü 70 sandviç T bağlantısı olmuştur. Deneyler sırasında belirlenen maksimum yük

değerine gelmeden kırılan iç içe geçmeli sandviç T bağlantısı ise Şekil 5.26'dan görüleceği üzere incelenen bağlantı tipleri arasında en zayıf bağlantı tipi olmuştur.

Dayanıma bağlı olarak bağlantıları en güçlü bağlantıdan en zayıf bağlantıya doğru şu şekilde sıralayabiliriz:

Dönümlü 70> Üçgen 45> Dönümlü 25> Düz> Yeni tip> İç içe geçmeli

BÖLÜM ALTI

DEĞERLENDİRME

Yapılan bu çalışmada; kompozit tekne yapılarında teknenin yük altında herhangi bir hasara uğramadan güvenilirliğinin sürdürülebilmesi açısından birincil nitelikte yapılar olan T-bağlantıları incelenmiştir. Tekne imalatında en yaygın kullanılan beş çeşit sandviç yapıda T-bağlantısının yanında yeni tipte tasarlanmış bir başka T-bağlantısı da olmak üzere toplam altı çeşit T bağlantısı üzerinde nümerik ve deneysel olarak araştırmalar yapılmıştır. Özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde tekne imalatında ekonomik nedenler ve konuyla ilgili araştırmaların çok sınırlı olması sebebiyle sandviç yapıda T-bağlantıları çok fazla tercih edilmemektedir. Bu sebeple öncelikle sandviç yapılardan imal edilmiş bağlantıların tek yüzey yapılardan imal edilen bağlantılardan çok daha avantajlı olduğu ve daha sonrasında da farklı geometrik yapılarda bulunan sandviç yapılardan imal edilmiş olan bağlantılardan da hangi geometrik yapıdaki bağlantının en avantajlı bağlantı tipi olduğuna yapılan bu çalışmayla bilimsel bir karar verilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda şu değerlendirmeler yapılmıştır:

- Düz sandviç T bağlantısı tekne imalatında diğer bağlantı tiplerine göre daha kolay olması açısından en yaygın kullanılan bağlantı tipi olarak tercih edilmektedir. Ancak mekanik güvenilirlik açısından bu bağlantı tipinin, diğer bağlantı tiplerine göre orta güvenilirlikte olması, imalat aşamasında diğer bağlantı tiplerinin imalatlarına göre daha kolay imal edilebilir olması ve ayrıca incelenen diğer bağlantı tipleri içinde en hafif yapıda olanı olması düz sandviç T bağlantı tipinin çok fazla yüke maruz kalmayan ve hafifliğin önemli olduğu yapılarda en avantajlı bağlantı tipi olduğu sonucuna varılmıştır.
- İç içe geçmeli sandviç T bağlantısı gerek nümerik analizlerde gerekse de deneysel çalışmalarda incelenen bağlantı tipleri içinde en kötü mekanik performansa sahip olan bağlantı tipi olmuştur. Bu bağlantı tipinde tekne gövdesinde oturtma boşluğu olması bu kısımdan tekne gövdesi üst yüzeyinin eksenel yönde süreksizliğini

yitirmesine ve oturtulacak olan tekne bölmesinin bu kısımda yüzey elemanı yerine çekirdek elemanı bulunmasına neden olmuştur. Deneysel çalışmalar sırasında iç içe geçmeli bağlantı tipinin çatlaması ilk olarak bu bölgeden başlamıştır. Sonuçta bu bağlantı tipinin, çeki yüklerine maruz kaldığı taktirde uygulama amacı ne olursa olsun kullanılmasının çok daha sağlıklı bir karar olacağı sonucuna varılmıştır.

- Üçgen 45 sandviç bağlantı tipi incelenen bağlantı tipleri içerisinde mekanik performansı en yüksek ikinci bağlantı tipi olmuştur. Ancak bu bağlantı tipinde maksimum gerinmenin üstkatmanlama-dolgu-birleşme noktasında meydana gelmesi bu noktadaki mukavemetin büyük ölçüde bu noktada bulunan elemanları birbirine bağlayan yapıştırma malzemesinin özelliklerine bağlı olmasına neden olmaktadır. Bu sebeple bütün bir sistemin mekanik davranışının yapıştırma elemanı malzemesine bağlı olması bu tipte bir bağlantının en büyük sakıncası olmuştur. Yapıştırma elemanın, mekanik özellikleri daha güçlü bir malzemeden seçilmesi maliyetleri arttırsa da üçgen 45 bağlantı tipinin dönümlü70 bağlantı tipi dışındaki diğer bağlantı tipleri karşısındaki mekanik performansının üstün oluşu bu bağlantı tipinin kullanılmasının imalatçıya önerilmesinin uygun olacağı sonucuna ulaşılmasını sağlamıştır.
- Dönümlü 25 sandviç bağlantı tipi, mekanik performansı orta sırada olan bir sonuç vermiştir. Bu bağlantı tipinde maksimum gerinme tekne gövdesi alt yüzeyinde meydana gelmiştir. Dolayısıyla elemanları birbirlerine yapıştıran yapıştırma elemanı malzemesinin bulunduğu sınır bölgelerinde olası bir hasar başlangıcının meydana gelme riskinin çok düşük olması dönümlü25 bağlantı tipini, daha büyük yüklerde delaminasyon riskinin daha yüksek olacağı üçgen 45 bağlantı tipinden daha avantajlı bir konuma getirmiştir. Bu sebeple dönümlü 25 bağlantı tipi imalatçıya üçgen 45 bağlantı tipinden daha avantajlı olarak önerilebilir.
- Dönümlü 70 sandviç bağlantı tipi bu çalışma kapsamında incelenen bağlantı tipleri içerisinde mekanik performansı en yüksek bağlantı tipi olmuştur. Bu bağlantı tipinin diğer bağlantı tiplerinin en hafif olanından ağırlıkça yaklaşık yüzde on iki daha ağır bir yapı olması dönümlü 70 bağlantı tipinin bir dezavantajı

gibi görülebilir. Ancak sandviç yapıdan imal edilmiş bir bağlantı aynı mekanik performansa sahip tek yüzey bir yapıdan yapılmış bir bağlantıdan çok daha hafif bir ağırlığa sahiptir. Bu sebeple dönümlü 70 sandviç bağlantı tipinin mekanik performansının çok yüksek olmasından dolayı büyük yüklere maruz kalan uygulamalarda incelenen bütün bağlantı tipleri içerisinde kesinlikle ilk başta seçilmesi gereken bağlantı tipi olduğu sonucuna varılmıştır.

- Yeni tip bağlantı tipi incelenen bağlantı tipleri içerisinde iç içe geçmeli bağlantı tipinden sonra mekanik performansı düşük en kötü ikinci bağlantı tipi olmuştur. Hem deneysel hem de nümerik analiz sonuçlarında bu bağlantı tipinde maksimum gerinim tekne gövdesi ile üstkatmanlama arasındaki sınırdaki sınırdaki meydana gelmiştir. Dolayısıyla sistemin mekanik performansı tamamen bu elemanları birbirlerine yapıştıran yapıştırıcının mekanik özelliklerine bağlıdır. Bu yeni bağlantı tipi sandviç bağlantı tipleri içerisinde kötü bir mekanik performansa sahip olsa da hafifliğin önemli olduğu uygulamalarda tek yüzey yapıya göre çok daha avantajlıdır. Bu özelliğinden dolayı bu sandviç yapıdaki bir bağlantı tipinin sadece tek yüzey bağlantı yerine çok fazla yüke maruz kalmayan ve hafifliğin önemli olduğu uygulamalarda kullanılması imalatçıya önerilebilir.

Sonuç olarak Türkiye’de tekne imalatında çok az kullanılan sandviç yapıdaki T-bağlantılarının altı tipi mekanik performansları yönünden birbirleriyle karşılaştırılarak tasarımcı firmaların artan rekabet ortamında daha başarılı olmaları için faydalanabilecekleri veriler olarak ortaya konmuştur. Bu veriler ışığında ileride sandviç T-bağlantılarında daha farklı malzeme kombinasyonlarının da denenerek her bağlantı tipinin farklı bütün uygulamalarda kullanılabilmesine olanak sağlayacak verilere ulaşılması gerekliliği de bu fırsatta vurgulanmalıdır.

KAYNAKLAR

Canadian Building Digest CBD-205. Glass-Fiber-Reinforced Polyester Composites, (Temmuz 1979). 09 Ocak 2006, http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/cbd./cbd2005_e.html

Chopped Strand Mat, (22 Temmuz 2006). 03 Ağustos 2006, http://drywallmesh.en.alibaba.com/product/50025829/50061616/Fiberglass_Woven_Roving/Chopped_Strand_Mat.html

Composite materials, (19 Aralık 2005). 24 Ocak 2006, http://www.oceanica.ufrj.br/ocean/cursosead/materiaiscompositos/compositomaterials/g_composite_materials.pdf.

Composite sandwich core, (b.t). 20 Ağustos 2004, <http://www.oneoceankayaks.com/Sandcore.htm>

Dharmawan, F., Thomson, R. S., Li, H., Herszberg, I., Gellert, E. (10 Haziran 2004). *Geometry and damage effects in a composite marine T-joint*. 5 Ağustos 2005, www.elsevier.com/locate/compstructure.

Divinycell H Technical Manual Technical Data Characteristics, (Temmuz 2006). 09 Ağustos 2006, http://www.diabgroup.com/europe/literature/e_pdf_files/man_pdf/H_man.pdf.

Sandwich composites, (16 Ocak 2006). 20 Şubat 2006, http://www.eng.uab.edu/compositesLab/F_sandwch3.html.

Shenoi, R. A. ve Wellicome, J. F. (Ed.). 1993. *Composite materials in maritime structures*. Cambridge: Cambridge University Press.

Smith, W. F. (2001). *Malzeme bilimi ve mühendisliği*. (3. Baskı). (N. G. Kınıkoğlu, Çev.). İstanbul: Literatür Yayıncılık. (Orijinal çalışma basım tarihi 2001).

Toftegaard, H., Lystrup, A., (25 Ekim 2004). *Design and test of lightweight sandwich T-joint for naval ships*. 11 Ağustos 2005, www.elsevier.com/locate/compositesa.

Woven Roving, (13 Ağustos 2006). 14 Ağustos 2006, http://fiberglass_china.en.alibaba.com/offerdetail/52665097/Sell_Woven_Roving.html.