

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

**PVC / CTP DENİZEL SANDVIÇ**  
**T – BAĞLANTILARININ BASI YÜKÜ**  
**ALTINDAKİ PERFORMANSLARI**

**Özgen AYDIN**

**Ağustos, 2009**

**İZMİR**

**PVC / CTP DENİZEL SANDVIÇ  
T – BAĞLANTILARININ BASI YÜKÜ  
ALTINDAKİ PERFORMANSLARI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Deniz Bilimleri Ve Teknolojisi Enstitüsü Gemi İnşaatı Anabilim Dalı**

**Özgen AYDIN**

**Ağustos, 2009**

**İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ÖZGEN AYDIN tarafından YRD. DOÇ. DR. ÇİÇEK ÖZES yönetiminde hazırlanan “PVC / CTP DENİZEL SANDVIÇ T – BAĞLANTILARININ BASI YÜKÜ ALTINDAKİ PERFORMANSLARI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Çiçek ÖZES

Danışman

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 Tezime ilgili olarak tez çalışmaları esnasında yönlendirmeleri dolayısıyla Sayın Doç. Dr. Gökdeniz NEŞER'e, numunelerimizin üretim aşamasında başta Sayın Mehmet Emin TACAR olmak üzere Tacar ailesine ve Tacar Teknecilik personeline, numunelerin mekanik testlerinin uygulanması aşamasındaki destek ve ilgisinden dolayı Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Laboratuvarı Araştırma görevlisi Sayın Yusuf ARMAN'a, Yüksek Lisans eğitimim boyunca desteklerini gördüğüm, bilgilerinden ve tecrübelerinden yararlandığım değerli Öğretim görevlisi hocalarıma, ve son olarak tüm eğitim hayatım boyunca maddi manevi her türlü desteği veren sevgili eşime teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Özgen AYDIN

# PVC/CTP DENİZEL SANDVIÇ T-BAĞLANTILARININ BASI YÜKÜ ALTINDAKİ PERFORMANSLARI

## ÖZ

Bu çalışmanın amacı, PVC/CTP denizel sandviç T bağlantılarının Bası Yüğü altındaki performanslarının incelenmesidir.

Bu çalışma kapsamında altı farklı geometrik yapıda imal edilen sandviç T-bağlantılarının bası yükü altındaki mekanik performansları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Öncelikle Bağlantıların Burkulma Yükleri deneysel ve nümerik olarak araştırılmıştır. Daha sonra sabit bir bası yükü altında T- bağlantılarında meydana gelen gerilme dağılımları incelenmiştir. Nümerik ve Deneysel sonuçlar, T-bağlantı geometrisinin kritik burkulma yükü üzerinde etkili olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Sözcükler :** Sandviç yapı, T- bağlantısı, Sonlu Elemanlar analizi.

# **PERFORMANCE IN PVC / GRP MARINE SANDWICH T-JOINTS UNDER COMPRESSION LOAD**

## **ABSTRACT**

The aim of this study is to investigate the effect of PVC/GRP marine sandwich T-joints geometries on performance of joints.

In this study, six sandwich T-joints manufactured from various geometric structures were compared to each other from mechanical performances point of view. First, critical buckling loads in T-joints was analyzed by finite element method. Then, T-joints 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.

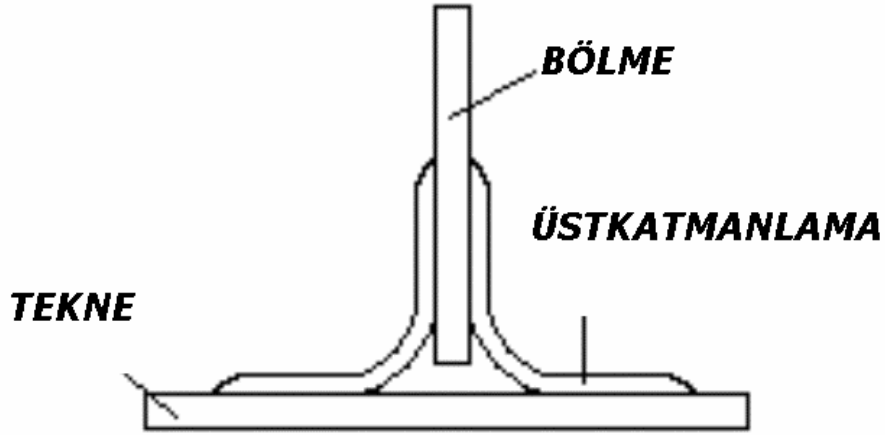
**Keywords:** Sandwich structure, T-joints, Finite Elements Method.

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
<b>BÖLÜM BİR – GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Sandviç Yapılar.....	2
1.2 T-Bağlantıların Önemi.....	5
1.2.1 Çalışmanın Amacı.....	5
<b>BÖLÜM İKİ – MATERYAL VE METOD.....</b>	<b>7</b>
2.1 Numunelerin Hazırlanışı.....	8
2.2 Deney Düzenegi ve Deneyin Yapılışı.....	9
2.2 Sonlu Elemanlar Analizi.....	9
2.2 Düz bir sandviç kolonun kritik burkulma yükünün hesabı.....	10
<b>BÖLÜM ÜÇ – T-BAĞLANTILAR İÇİN DENEY VE ANALİZ SONUÇLARI..</b>	<b>12</b>
3.1 Sonuçlar.....	12
<b>BÖLÜM DÖRT – DEĞERLENDİRME.....</b>	<b>19</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>21</b>

## BÖLÜM BİR GİRİŞ

Denizel uygulamalarda kompozit yapıların oluşturulması, etkin birleştirme yöntemlerinin kullanılmasını gerektirmektedir. Yapısal uygulamalarda kullanılan en yaygın tip bağlantı bir tekne ve gemi bölmesi arasında oluşturulan kompozit T-bağlantıdır. Bu bağlantı büyük bir dolgu ile, kompozit katmanlamadan oluşmaktadır(şekil 1.1) (Dharmawan F, ve diğerleri, 2004). Denizel uygulamalarda, çeşitli yükler altında geminin bütünlüğünü sağlayacak, geminin ana yapıları olan tekne ve gemi bölmesi arasında **eksenel-flexural, kesme-shear, ve kayma-tensile** yüklerin aktarılmasını sağlamak için T-bağlantılar kullanılırlar. Bu yükler dalga etkisi, yapısal ağırlık ve yük ağırlığı vs. den kaynaklanıyor olabilir (Dharmawan F, ve diğerleri, 2004).



Şekil 1.1 T Bağlantı

Araştırma sandviç yapıların sanayide yaygın kullanımı nedeniyle; yapısal davranışları üzerinde yoğunlaşmıştır (Newaz, 1999), (Frostig, Baruch, 1993), (Shenoi, Violette, 1990), (Shenoi, Hawkins, 1992), (Theotokoglou, Moan, 1996), (Theotokoglou, 1997), (Theotokoglou, 1999). Bu araştırmaların sonunda, deney ve Sonlu Elemanlar analizi kombinasyonu ile tasarım parametrelerinin etkisi belirlenmiştir.



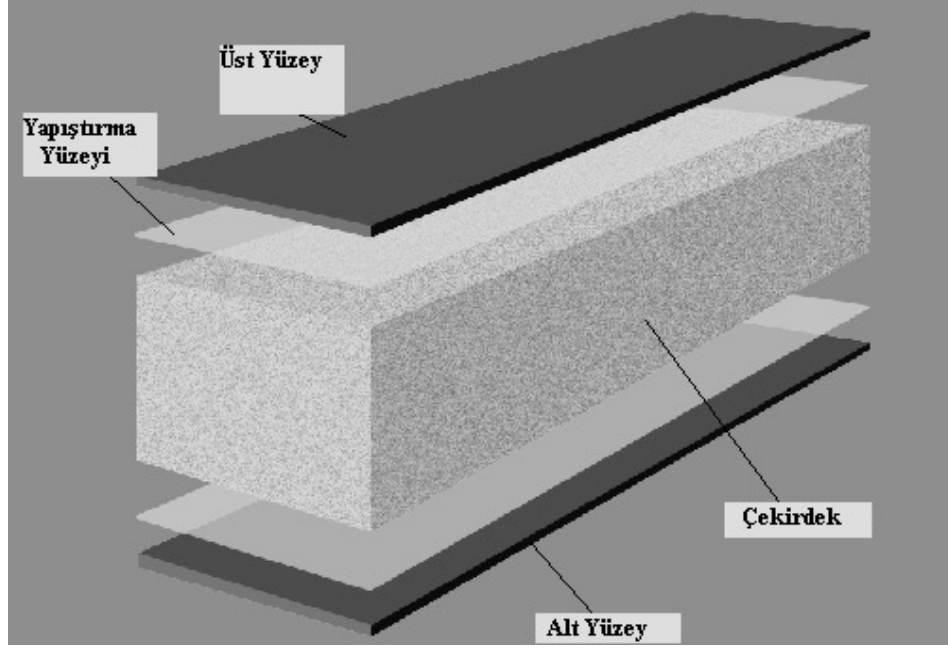
T bağlantıların güvenilirliğini sağlamak için, çeşitli yükleme koşulları altında davranışları ve performansları bilinmelidir. Hawkins ve Shenoı (1993), dolgunun yarıçapı ve sandviç T bağlantılarda üstkatmanlama kalınlıkları gibi geometri etkilerini araştırmışlardır. Dharmawan ve diğerleri (2004), sonlu eleman analizi kullanarak T bağlantılar ve geometri etkisi araştırıldı. Bu araştırmanın sonuçları, kritik gerilmelerin önemli ölçüde bağlantı geometrisinden etkilendiğini gösterdi.

Bazant ve Cedolin (1991) gibi birçok yazar sandviç bağlantılara etkileyen burulma yükünü araştırmak için çalışmalar gerçekteşirmiş. Bunun sonucunda sandviç bağlantılara için burulma formülü geliştirdiler. Çeşitli burulma formülü ve tahminler arasındaki farklar üzerinde çalışıldı. (Bazant, 2003), Bazant ve diğerleri (2004). Haung ve Kardomateas (2000), çapraz kesme etkileri dahil sandviç ve burulma davranışı için bir çözüm sundu. Sandviç sütunlar için metal ve lamine önyüz ve köpük çekirdekli ile burulma yükleri üzerine Kardomateas ve diğerleri (2002), tarafından teorik tahmin çalışmaları oldu. Ve burulma karşısında T bağlantıların analizi MUC ve Zuchara (2000) tarafından incelenmiştir. Yine basma karşısında dayanım Østergaard (2008) tarafından doğrusal olmayan sonlu eleman modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Heimbs ve diğerleri (2007), bası altında kompozit katlı sandviç yapıların deneysel ve sayısal analizi gerçekteşirmiş. Attard ve Hunt (2008) sandviç sütun için geliştirilmiş makro burulma denklemi geliştirmişlerdir.

## 1.1 Sandviç Yapılar

Hava-uzay sanayi ve denizcilik sektöründeki mühendislik tasarımlarında yaygın olarak kullanılan kompozit malzemelerin teknolojik uygulamaları sandviç kompozitlerdir.

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. Şekil 1.2 de sandviç bir yapının temel elemanları gösterilmiştir.



Şekil 1.2 Sandviç bir yapının temel elemanları (Diab tanıtım kataloğu)

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. Yüzeyler normal streslere dayanarak yapıya koruyucu sertleştirilmiş yüzey kazandırır.

Sandviç yapıyı oluşturan çekirdek, kayma gerilmelerine direnç gösterir ve ayrıca yüzeylere kesintisiz destek vererek rijit bir yapı oluşturur. Çekirdek malzeme geniş bir alana etkiyen kesme yüklerini emer.

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](http://www.eng.uab.edu/compositesLab/F_sandwch3.htm)).

Sandviç yapı kanıtlanmış bir konstrüksiyon tekniğidir: Sandviç kompozitler hem proje hem uygulama alanında mühendislere form oluşturmada ve fonksiyon gereklerini sağlamada muazzam özgürlük ve harika imkanlar sunar. Aynı zamanda dış yüzeyler yüke göre düzenlendiğinden yapısal bütünlük ve performans maksimize

edilebilmektedir. Böylece çok geniş uygulama alanlarında denizcilik, rüzgar enerjisi, ulaşım ve endüstriyel kullanıma idealdir. Çekirdek malzeme yüksek mukavemetli kabuklarla kullanıldığında ideal mukavemet, tokluk ve sertlik sağlar. Ağırlığı optimize ederken kompozit parçaların performansını artırır.

Tek kabuklu laminasyonlarla mukayese edildiğinde sandviç konstrüksiyonun rijitlik ve mukavemet açısından daha üstün özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Hele hele çekirdek malzeme kalınlığının artırılması ile malzemede çok küçük bir ağırlık artışına karşı çok daha üstün özellikler elde edileceği kanıtlanmıştır. Aynı zamanda basit kompozit yapılarla karşılaştırıldığında inşa süresinin de azaldığı görülmektedir. Çünkü sandviç yapının bileşenlerinin bir araya gelmesiyle ortaya çıkan kendine has mukavemet; destekleyici elemanların sayısını düşürmektedir. Dahası sandviç yapılar düşük su absorpsiyonu ile iyi dinamik mukavemet ve mükemmel izolasyon sunar. Aynı zamanda minimum montaj ister ve yapısal bütünlüğü bozmadan kolaylıkla tamir edilebilir.

İleri kompozit malzemeler; düşük kütleleri, korozyona karşı mükemmel dayanıklılıkları, karmaşık biçimlerde kolay şekillendirilebilmelerine sağladıkları yüksek mukavemet ve eğilme rijitlikleri nedeniyle, uzay çalışmaları da dahil hava, deniz, yer altı nakli, inşaat yapıları gibi birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca denizcilik sektörü için kompozitler, yüksek korozyon direnci, artan yakıt verimi ve azalan manyetik imza gibi nedenlerden ötürü tercih edilirler. Azalan manyetik imza sayesinde kompozit tekneler; çelik gemilerin bıraktığı manyetik izle harekete geçen mayınlardan kurtulmaktadırlar.

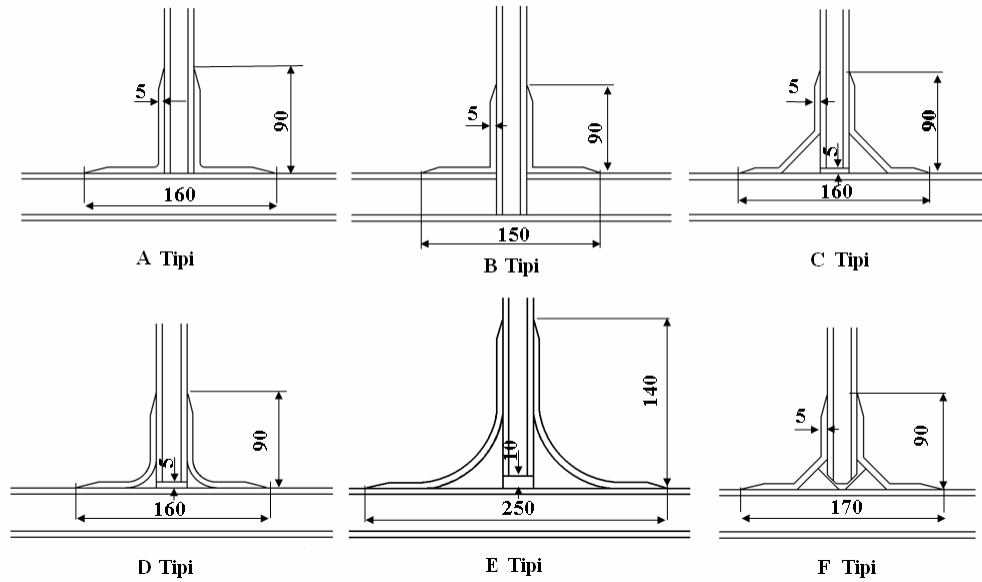
Çelik, alüminyum veya basit polyester laminasyonlarla karşılaştırıldığında sandviç konstrüksiyon ağırlığı azaltır, tokluğu artırır, mukavemeti sağlar. Çekirdeğin kalınlığı artırılarak daha yüksek mukavemet ve tokluk özellikleri de sağlanabilir. Yüksek tokluk yapısal desteğin azaltılmasına ve böylece ağırlığın azaltılarak optimizasyona imkan verir. Sandviç yapıların mükemmel mukavemetin ağırlığa oranı oranları daha yüksek sürat, yakıt tasarrufuyla daha uzun menzil, daha büyük taşıma kapasitesi ve daha az güç ihtiyacı yanında daha iyi işletme ekonomisi sağlar.

Sandviç kompozit tekneler yüksek güvenlik ve konfor imkanı yaratır. Sahip olduğu yüksek kalıcı dengeyle sandviç yapı; çarpışma nedeniyle oluşacak hasarlarda bile ekstra güvenlik sağlar. Aynı zamanda çekirdek malzemeler mükemmel enerji soğurma karakteristikler ile ve çarpışma halinde oluşacak hasarları sınırlar. Çekirdek malzemenin izolasyon özellikleri yoğunlaşma problemlerini elemine ederek, denizel ortamda oluşan sesleri absorbe eder. Polimer çekirdek malzemeler suyu emmezler ve çürümezler.

## 1.2 T Bağlantıların Önemi

### 1.2.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, farklı geometriye sahip sandviç T bağlantıların burkulma yükleri ve bası yükü altındaki davranışları deneysel ve nümerik olarak araştırılmıştır. Bağlantı tipleri Şekil 1.3 te gösterilmiştir.



Şekil 1.3 T Bağlantı geometrileri (Diler, 2006)

Kompozitler ve sandviç yapılar analitik ve nümerik metotlarla çözüm gerektirir. Nümerik çözümler; kompleks şekilli ve komplike yüklerin altındaki objelerin yapısal

dizaynında optimizasyon için çok yararlı iken, analitik metodlar önümüze çıkan problemlerin hızlı çözümüne yardımcı olmaktadır. Böylece her bir özel durum için karşılık gelen dizayn prosedürünü seçmek gerekmektedir. Bunu laboratuvar sonuçları ile doğruluğunu sınamak gerekmektedir.

## BÖLÜM İKİ

### MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada 45 mm kalınlığında sandviç gövde ile 25 mm sandviç gemi perdesinin CTP yüzeyler ve üstkatmanlama yardımıyla dik açılı olarak birleştirildiği T bağlantılar göz önüne alınmıştır. Tüm numuneler 30 mm, genişliğindedir. Malzeme özellikleri deneysel olarak tespit edilmiştir. Çekirdek ve kabuk malzeme karakteristik özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 Malzeme Özellikleri

Özellik	Çekirdek Malzeme H80	Kabuk Malzemesi GRP
Yoğunluk(kg/m <sup>3</sup> )	80	1500
Elastisite Modülü (MPa)	Ec= 80	Ef= 11000
Kayma Modülü (MPa)	Gc=29	Gf= 4010

Deneysel numunelerimizin üretiminde mekanik özelliklerinin yeterli ve daha ucuz olması nedeniyle doğranmış cam elyaf kullanılmıştır. Yüzey malzemesini oluşturmada kullanılan diğer bir malzemede polyesterdir. Hem yüzey yapısının oluşturulmasında hem de yüzey yapısının çekirdek malzemeye yapıştırılmasında polyester malzemesi olarak Dewilux Crystic 196 tipi genel amaçlı polyester kullanılmıştır.

Çekirdek malzeme olarak sandviç uygulamalarda çokça kullanılan PVC köpük (divinycell H80) kullanılmıştır. ([http://www.diabgroup.com/americas/u\\_prods\\_2.html](http://www.diabgroup.com/americas/u_prods_2.html)) Kullanılan PVC çapraz bağlıdır. Çapraz bağlı PVC'ler, kapalı tip hücre yapısına sahiptir. Bu tip bir yapıyla, sandviç sistemi oluşturan yüzeyle çekirdek arasında yapıştırma yüzeyini arttırarak daha iyi bir bağlantı sağlamaktadır. Aynı malzeme Tip-C, D, E, F bağlantılarda dolgu malzemesi olarak da kullanılmıştır.

Deneysel numunesi olarak kullanılan gemi perdesi ve gövde bölümleri el yatırması yöntemiyle İzmir'de bir tekne üreticisi (Sn. M. Emin TACAR) atölyesinde imal

edilmiştir. Üstkatmanlama bir tabaka hasır kullanılarak yapılmıştır. Numuneler işçilik hatalarını en aza indirmek için aynı usta tarafından imal edilmiştir.

## 2.1 Numunelerin hazırlanışı

Cam elyaf istenilen boyutlarda kesilerek bir fırça yardımıyla polyester emdirilmektedir. Doğranmış cam elyaf karışımının belirli bir süre kürlenmesi için beklenirken, çekirdek malzemesi uygun boyutlarda kesilmiştir.. 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 sürülür. Polyester yardımıyla çekirdek ile cam elyaf-polyester karışımının yani yüzeyin birbirlerine yapışması sağlanmıştır. Aynı işlem çekirdeğin diğer yüzeyi için de uygulanır. Bir falçata yardımıyla taşan polyester ya da cam fiber artıkları temizlendikten sonra yüzeyler zımpara yardımıyla düzgün hale getirilir. Bu şekilde hazırlanan sandviç yapılar farklı üst katmanlamalar ile birbirine dik olarak birleştirilerek T-bağlantılar meydana getirilir.

Bası Yüğü taşıma kapasitesini tanımlayacak deneysel çalışmalar altı farklı geometriye sahip bağlantılarda gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada dikkate alınan T-bağlantılar Şekil 2.3'de gösterilmektedir. Bu geometrik şekillerin her birinin tanımı Tablo 2.2 de verilmiştir.

Tablo 2.2 T-bağlantıların geometri tanımlamaları

Tip A	Tip B	Tip C	Tip D	Tip E	Tip F
Düz bağlantı	İçiçe geçmeli bağlantı	45 derece üçgen dolgu bağlantı	25 mm dönümlü dolgu bağlantı	70 mm dönümlü dolgu bağlantı	DK-CND1, Toftegaard and Lystrup (2005)

## 2.2 Deney Düzeneği ve Deneyin Yapılışı

Bası testleri Instron (model 1114) evrensel test makinesinde gerçekleştirilmiştir. Yükleme hızı 2mm/min olarak uygulanmıştır. Deney düzeneği şekil 2.1 de gösterilmiştir.



şekil 2.1 Deney düzeneği

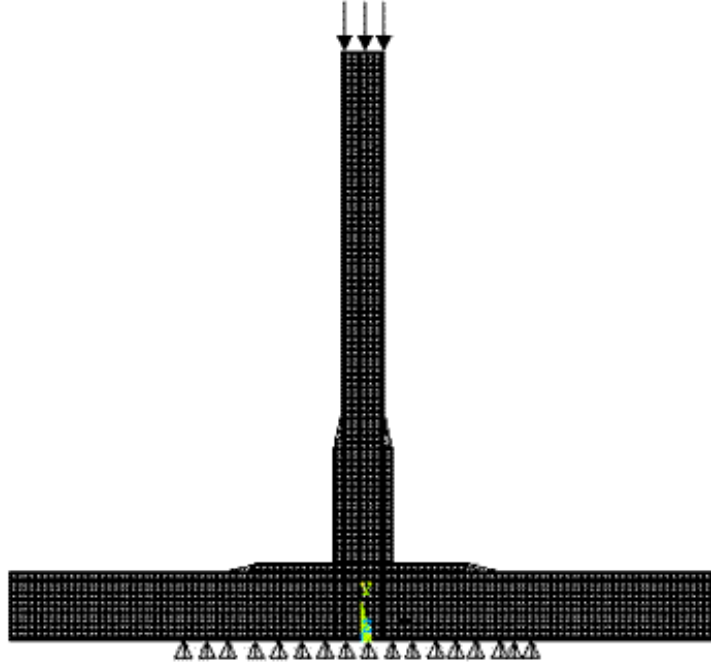
İlk aşamada, birinci burkulma modunun meydana geldiği andaki yük burkulma yükü olarak kaydedilmiştir. İkinci aşamada yine aynı boyutlarda aynı geometrilere hazırlanan T-bağlantılar 2000 N' luk kuvvet altında test edilmiştir.

## 2.3 Sonlu Elemanlar Analizi

ANSYS sonlu elemanlar paket programı kullanılarak lineer burkulma analizi yapılmıştır. Kullanılan malzemeler lineer elastik olarak kabul edilmiştir. Bağlantılar iki boyutta modellenmiş olup, dört düğümlü Plane42 elemanlar ile meshlenmiştir.



Sonlu elemanlar modeli A tipi bağlantı için Şekil 2.2 te gösterilmiştir. Model 1 eleman ve 12790 düğün noktasından oluşmaktadır.



Şekil 2.2 A tipi bağlantı için Sonlu Elemanlar Modeli

#### 2.4 Düz bir sandviç kolonun kritik burkulma yükünün hesabı

Literatürlerde verilen kritik burkulma yükü için teorik hesaplamalar düz kolonlar içindir. Bu nedenle, FEM modelin doğruluğunu kanıtlamak için, 300 mm uzunluğunda ve 25 mm kalınlıkta (5mm kalınlığındaki katmanlama) düz bir sandviç sütun göz önüne alınmış ve kritik burkulma yükleri deneysel, teorik ve sonlu elemanlar yardımı ile bulunmuştur.

Bazant ve Cedolin (1991) göre; Genişlik  $B$ , yüzey kalınlığı  $h$ , çekirdek kalınlığı  $c$ , sütun uzunluğu  $L$  bir sütun olarak kabulü ile kritik burkulma yükü şu şekilde hesaplanır:

$$P_{cr} = (EI)_{\alpha} k_{cr}^2 / \left[ 1 + \frac{k_{cr}^2 (EI)_b}{GA_1} \right] \quad (1)$$

burada,

konsol sütünlar için;  $k_{cr} = \pi/(2L)$ ,

$$(EI)_{\alpha} = E_f' (I_1 + I_f)$$

$$(EI)_b = E_f' I_1,$$

burada,

$$E_f' = E_f / (1 - \nu_f^2)$$

$$I_1 = (h/2)(c+h)^2 B, \quad I_f = (h^3/12)B$$

Ve kompozit yüzeyler için;

$$\nu_f^2 = \nu_{12} \nu_{21}$$

$$GA_1 = G_c (h+c)B$$

Tablo 2.3 kritik burkulma yükü için Bazant ve Cedolin Formülü, deneysel ve sonlu elemanlar analizi ile elde edilen sonuçları göstermektedir. Tablodan görüldüğü gibi sonuçlar birbiri ile uygun çıkmıştır.

Tablo 2.3 Sandviç Kolonda Burkulma Yük değerleri (Newton)

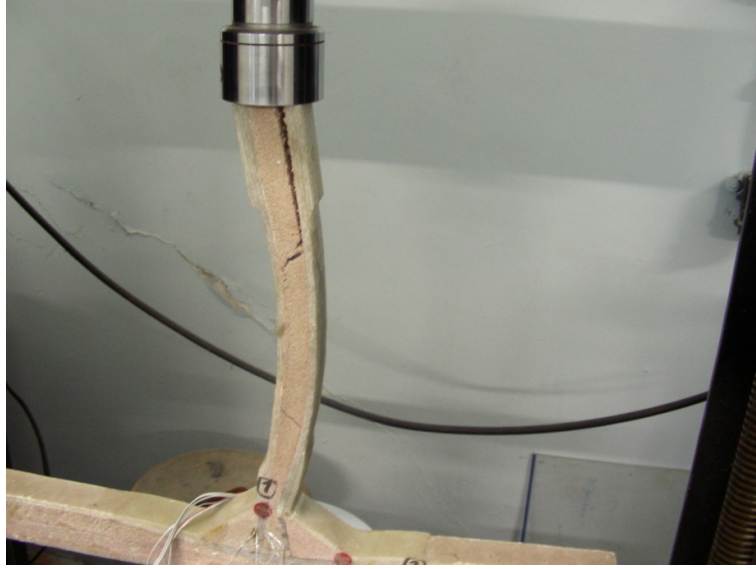
Bazant and Cedolin Formülü	FEM	Deneysel
6632	6780	6630

## BÖLÜM ÜÇ

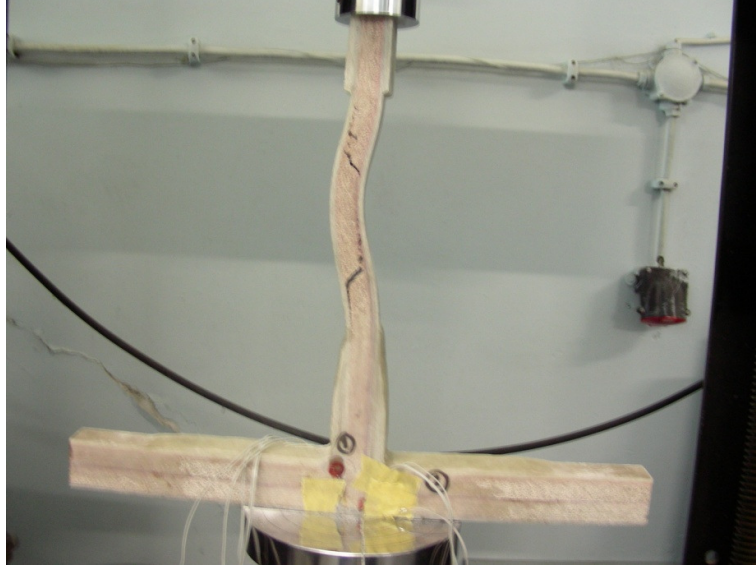
### T BAĞLANTILAR İÇİN DENEY VE ANALİZ SONUÇLARI

#### 3.1 Sonuçlar

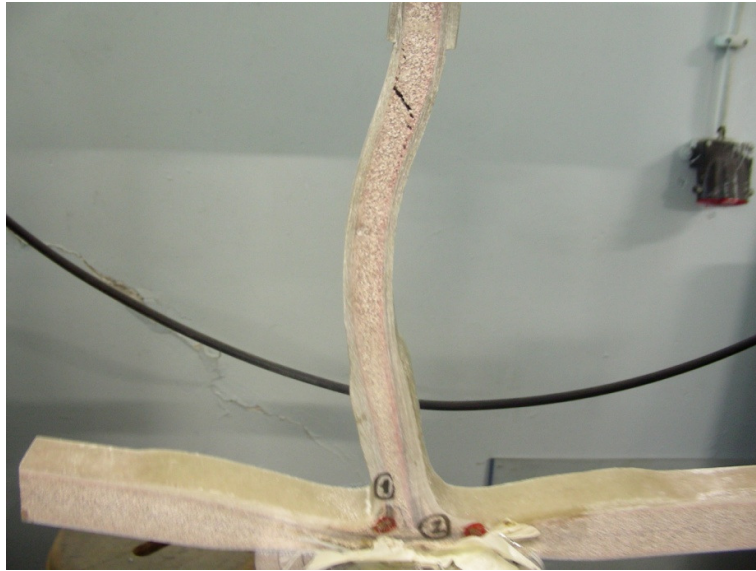
Bu çalışmada denizel uygulamalarda kullanılan T-bağlantıların kritik burkulma yükleri deneysel ve nümerik olarak araştırılmıştır. Şekil 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 de bazı bağlantı tipleri için deney ile elde edilen burkulma şekilleri gösterilmiştir. Tüm bağlantı tipleri için kritik burkulma yüklerine ait deney sonuçları Tablo 3.1 te verilmiştir.



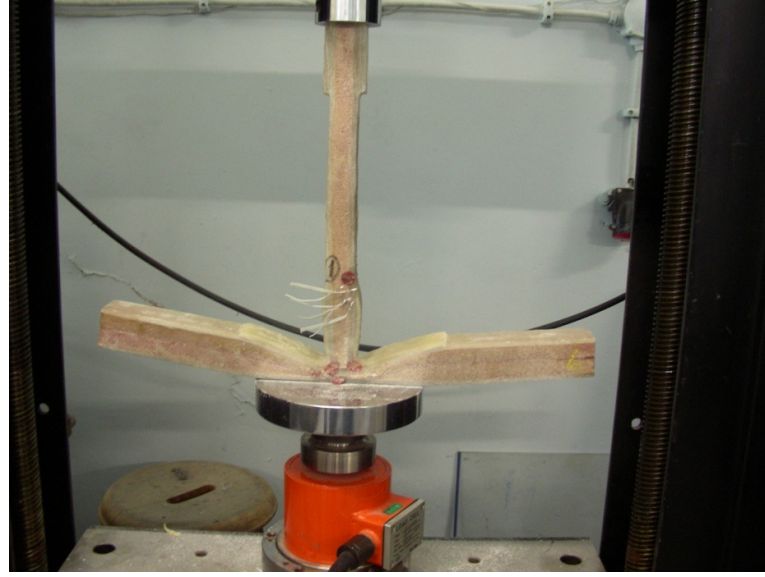
Şekil 3.1 Bazı bağlantı tiplerine ait deney sonuçları



Şekil 3.2 Bazı bağlantı tiplerine ait deney sonuçları

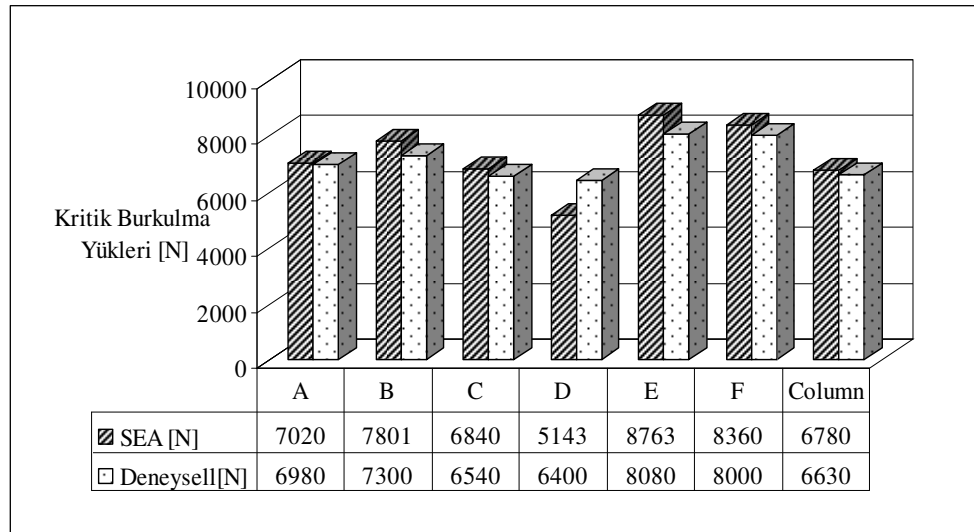


Şekil 3.3 Bazı bağlantı tiplerine ait deney sonuçları



Şekil 3.4 Bazı bağlantı tiplerine ait deney sonuçları

Tablo 3.1 Kritik burkulma yüklerine ait deney sonuçları



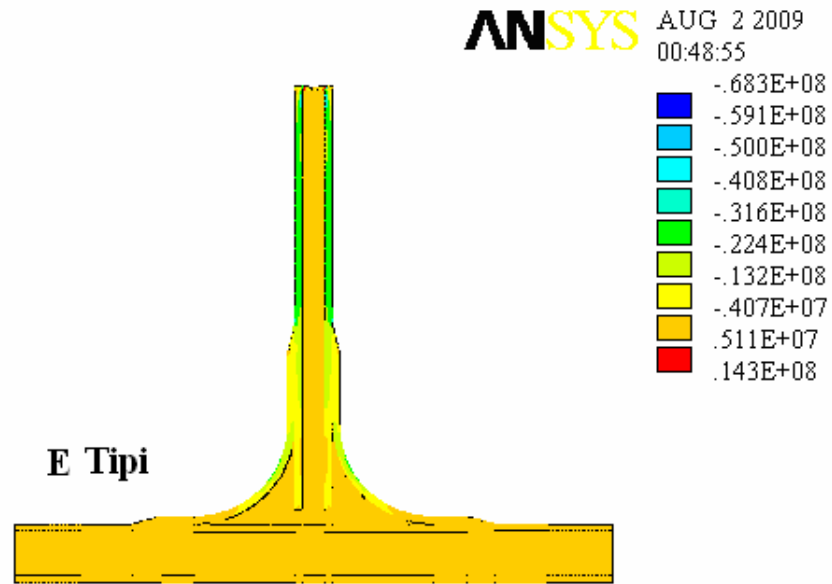
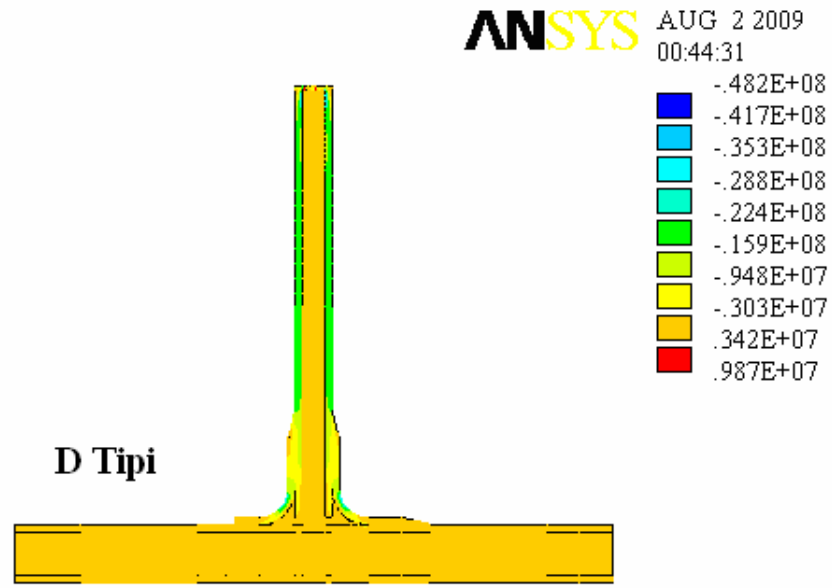
Şekil 3.5 de görüldüğü gibi burkulma yükleri aşıldığında meydana gelen hasarlar tüm bağlantı tipleri için benzer şekilde olmuştur. Çatlak kabuk çekirdek ara yüzeyinde başlayıp, çekirdek içine doğru ilerlemiş ve diğer yüzeyde aynı şekilde sonlanmıştır.



Şekil 3.5 Deney sırasında burkulma örnekleri(sırasıyla; Tip D, B, A)

Sonlu elemanlar analizi ile elde edilen sonuçlarda Tablo 3.1 te gösterilmiştir. Deneysel ve nümerik sonuçlar T-bağlantı geometrisinin kritik burkulma yükü üzerinde etkisi olduğunu göstermektedir. Her iki sonuçtan da E tipi bağlantının burkulma yükü açısından en iyi bağlantı tipi olduğu görülmektedir. Büyük radyüsten dolayı burkulma uzunluğunun azalması ve atalet momentinin artması kritik burkulma yükünü arttırmaktadır. D tipi bağlantı ise en düşük kritik burkulma yüküne sahip bağlantı tipi çıkmıştır.

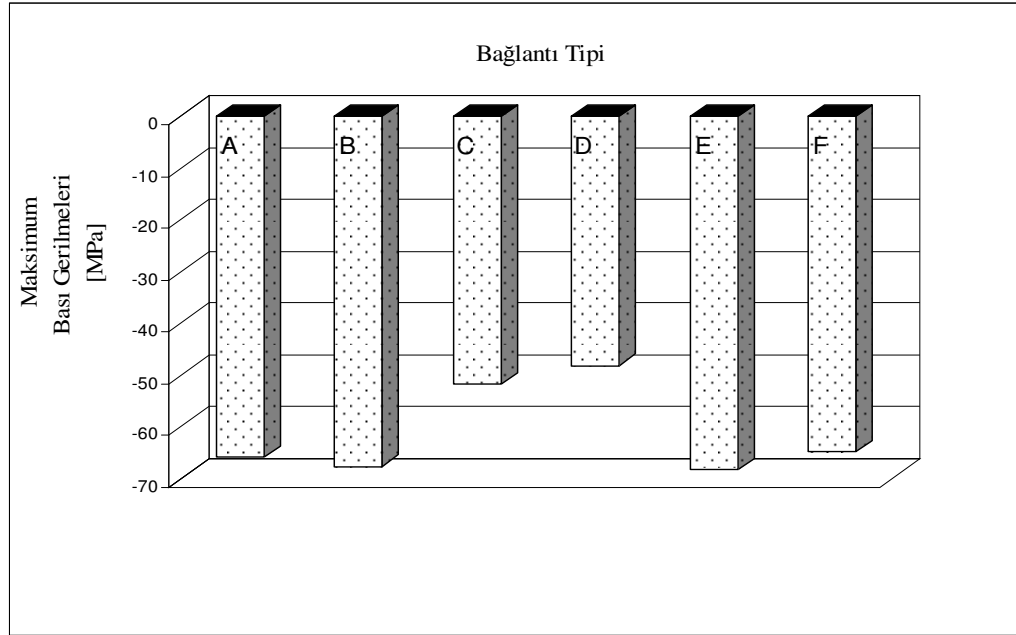
Kritik burkulma yükü altında elde edilen gerilme dağılımları D ve E tip bağlantılar için Şekil 3.6 de gösterilmiştir.



Şekil 3.6 D ve E tipi bağlantılarda kritik burkulma yükü altında elde edilen bası gerilmeleri

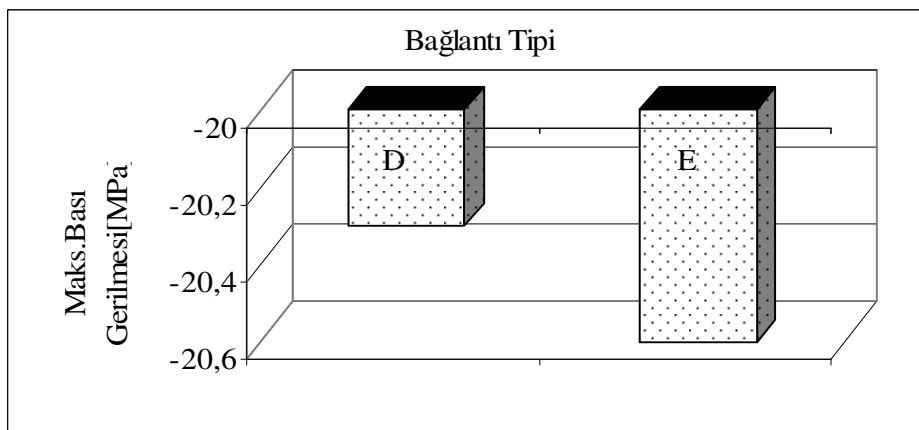
Şekilden de görüldüğü gibi, kritik yükü büyük olan bağlantı üzerindeki gerilme daha fazladır.

Tüm bağlantı tipleri için bası gerilmeleri Şekil 3.7 de gösterilmiştir. D Tipi bağlantı üzerindeki gerilme en azdır.



Şekil 3.7 Tüm bağlantı tipleri için elde edilen maksimum bası gerilmeleri

Şekil 3.8 D ve E tipi bağlantıların 2000 N luk sabit bir bası yükü altındaki gerilme değerlerini göstermektedir. Şekilden sabit bası yükünü altında, D tipi ve E tipi bağlantı geometrilerinin bası gerilmeleri üzerinde çok etkili olmadığını söyleyebiliriz.



Şekil 3.8 F=2000 N yük altında D ve E tipi bağlantı için elde edilen maksimum bası gerilmeleri



Deneysel ve sayısal sonuçları Tip-E, 70 mm yarıçap dolguya sahip çekir bağlantının, burkulma yükü açısından en iyi geometri olduğunu gösteriyor.

## BÖLÜM DÖRT DEĞERLENDİRME

Denizcilik Sektöründe denizel ortamda çalışan yapıların belirli dönemlerde bakım tutumu yapılması bir zorunluluktur. Bu zorunluluk çalışma ve seyir izinleri için birbirini izleyen muayeneler şeklindedir. Bu muayeneler denizde can ve mal emniyetini temin için gereklidir. İşte bu bakım ve tutumun bir parçası olarak denizel yapılar belirli tarihlerde karaya çekilir. Karaya çekilme işlemi çeşitli vasıtalarla yapılmaktadır. Klasik bakım tutum; kızaklar vasıtasıyla denizel yapının karaya çekilmesidir. Ancak kızak ve benzeri araçlarla karaya çekilen denizel yapıda çeşitli esnemeler meydana gelmesi kaçınılmazdır. Bu nedenle kompozit ve/veya sandviç konstrüksiyonla imal edilen denizel yapılar için travel lift, genre kreyn gibi denizel ortamdan teması dengeli olarak kesecek vasıtalar tercih edilir.(Şekil 4.1)



Şekil 4.1 Travel Lift

Karaya çekme işlemi sırasında istenmeyen gerilmelerin ve yüklerin oluşmasına izin verilmez. Öyle ki kimi teknelerde üretici tarafından teknenin hangi noktalarından kaldırılması gerektiği tekne üzerine konulan işaretlerle belirlenmiştir. Üretici tarafından öngörülen yerlerden kaldırılması teknenin yapısal bütünlüğünün korunması ve hasar görmemesi açısından bir zorunluluktur. Aksi takdirde tekne

gövdesinde oluşan yüklerden dolayı ezilmeler, deformasyonlar, can ve mal emniyeti açısından tehlike doğuracak görünür veya görünmez hasarlar oluşabilmektedir.

Burada belirtilmesi gereken üretici tarafından öngörülen kaldırma yerleri teknelerde perde ve gövde birleşmesinden oluşan T bağlantıdır. Bu bakımdan teknenin ağırlığının bineceği bu T bağlantılarının basma kuvvetine dayanması büyük önem arz eder.

Yapılan deneyler sırasında ayrıca deney malzemelerinde basma yükü altındaki kabuğa karşılık gelen sandviç yapıda önce çekirdek malzemenin ezilmeye başladığını görülmüştür. Bu ezilmeyi takiben yüzey elemanlarında çatlamlar meydana gelmektedir. Yüzey elemanları ile yapıştırma yüzeyleri arasında çatlamlar ve birbirinden ayrılmalar ya bu aşamada yada bunu izleyen anlarda görülmüştür.

**KAYNAKLAR**

Attard, M. M., ve Hunt, G. W. (2008). Sandwich column buckling – A hyperelastic formulation, *International Journal Of Solids Structures*, 45/21, 5540-5555.

Bazant, Z. P., ve Cedolin, L. (1991). *Stability of structures*, New York:Oxford University Press.

Bazant, Z. P. (2003). Shear buckling of sandwich, fiber-composite and lattice columns, bearings and helical springs:paradox resolved, *Journal Of Applied Mechanism ASME*, 70, 75-83.

Bazant, Z. P., ve Beghini, A. (2004). Sandwich buckling formulas and applicability of standard computational algorithm for finite strain, *Composites: Part B*:35, 573-581.

Caprino, G., ve Teti, R. (1989). *Sandwich Structures Handbook*, Italy: II Prato Publ.

Dharmawan, F., Thomson, R. S., Li, H., Herszberg, I., ve Gellert, E. (2004). Geometry And Damage Effects İn A Composite Marine T-Joint, *Composite Structures*, 66, 181-187.

Diler, E. A. (2006). PVC/CTP Denizel sandviç T-bağlantıların geometri-performans ilişkisi, Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Frostig, Y., ve Baruch, M., (1993). Buckling of simply supported sandwich beams with transversely flexible core- a high order theory, *ASCE J. EM Division* 119,5 955-972.

Haug, H., ve Kardomateas, G. A., (2000). Buckling and initial postbuckling behavior of sandwich beams including transverseshear, *AAAI J*, 40(11), 2331-2335.

- Hawkins, G. L., ve Sheno, R. A. (1993). A parametric study to determine the influence of geometric variations on the performance of a bulkhead to shell plating joint, *Proceedings of the 9th International Conference on Composite Materials*, Madrid, 4, , Woodhead Publishing Ltd., 97–104.
- Heimbs, S., Middendorf, P., Kilchert, S., Johnson, A., ve Maier, M. (2007). Experimental and numerical analysis of composite folded sandwich core structures under compression, *Applied Composite Materials* 14/5, 363-377.
- Kardomateas, G. A., Simitses, G. J., Shen, L., ve Li, R. (2002). Buckling of Sandwich wide columns, *International Journal Of Nonlinear Mechanism*, 37, 1239-1247.
- Ley, R. P., Lin, W., ve Mbanefo, U. (1999). *Facesheets wrinkling in sandwich structures*, NASA/CR: 208994.
- Muc, A., ve Zuchara, P. (2000). Buckling and failure analysis of FRP faced sandwich plates, *Composite Structures*, 48, 145-150.
- Neşer, G., Özes, Ç., Diler, E.A., ve Aydın, Ö. (2008). Performance of glass reinforced plastics GRP/PVC sandwich T-joints in marine use under tension and compression loads. (TEAM 2008,6-9 October 2008, İstanbul).
- Newaz G (ed.). (1999). Advances in aerospace materials and structures, *ASME, AD-58*, New York:ASME, 1-18.
- Sandwich composites*, (16 Ocak 2006). 20 Şubat 2006, [http://www.eng.uab.edu/compositesLab/F\\_sandwch3.html](http://www.eng.uab.edu/compositesLab/F_sandwch3.html)
- Savage, G., ve Oxley, M. (2008). Repair of composite structures on Formula 1 race cars, *Engineering Failing Analize*.

- Shenoi, R. A. ve Wellicome, J. F. (Ed.). (1993). *Composite materials in maritime structures*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Shenoi, R. A., ve Violette, F. L. M. (1990). A Study Of Structural Composite Tee Joints In Small Boats, *Journal of Composite Materials*, 24, 644–666.
- Shenoi, R. A., ve Hawkins, G. L. (1992). Influence Of Material And Geometry Variations On The Behaviour Of Bonded Tee Connections In FRP Ships, *Composites*, 23, 335–345.
- Smith, W. F. (2001). *Malzeme bilimi ve mühendisliği*. (3. Baskı). (N. G. Kınıkoğlu, Çev.). İstanbul: Literatür Yayıncılık. (2001).
- Stickler, P. B., ve Ramulu, M. (2001). Investigation Of Mechanical Behavior Of Transverse Stitched T-Joints With PR520 Resin In Flexure And Tension, *Composite Structures*, 52, 307-314.
- St John, N., Grabovac, I., Gellert, E., Shah Khan, Z., Mouritz, A., ve Burchill, P. (2000). Fiber-Resin Composite Research In Support Of Current And Future Royal Austrian Navy Vessels, *International Conference On Lightweight Construction Latest Developments*, London.
- Tada, Y., ve Ishikawa, T. (1989). Experimental Evaluation of the Effects of Stitching on CFRP Laminate Specimens with Various Shapes and Loading, *Key Engineering Materials*, 37, 305-316.
- Theotokoglou, E. E., ve Moan, T. J. (1996). Experimental And Numerical Study Of Composite Tee-Joints, *Journal of Composite Materials*, 30, 190–209.
- Theotokoglou, E. E. (1997). Strength of composite T-joints under pull-out loads, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 16, 503–518.

Theotokoglou, E. E. (1999). Study of Numerical Fracture Mechanics Analysis of Composite T-joints, *Journal of Reinforced Plastics and Composites* ,18, 215–223.

Toftegaard, H., ve Lystrup, A. (2005). Design And Test Of Lightweight Sandwich T-Joint For Naval Ships, *Composites Part A:Applied Science and Manufacturing*, 36, 1055–1065.

Østergaard, R. C. (2008). Buckling driven debonding in sandwich columns, *International Journal Of Solids Structures*, 45, 1264-1282.