

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

**FARKLI BİRLEŞTİRİLMİŞ KOMPOZİT**  
**TAŞIYICI KİRİŞLERİN ANALİZİ**

**Mehmet Kamil SARI**

**Mart, 2010**

**İZMİR**

# **FARKLI BİRLEŞTİRİLMİŞ KOMPOZİT TAŞIYICI KİRİŞLERİN ANALİZİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Makina Mühendisliği Bölümü, Konstrüksiyon İmalat Ana Bilim Dalı**

**Mehmet Kamil SARI**

**Mart, 2010**

**İZMİR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU**

**MEHMET KAMİL SARI**, tarafından **PROF. DR. MİNE DEMİRSOY** yönetiminde hazırlanan “**FARKLI BİRLEŞTİRİLMİŞ KOMPOZİT TAŞIYICI KİRİŞLERİN ANALİZİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....  
Prof. Dr. Mine DEMİRSOY  
\_\_\_\_\_

Danışman

.....  
\_\_\_\_\_  
Jüri Üyesi

.....  
\_\_\_\_\_  
Jüri Üyesi

\_\_\_\_\_  
Prof.Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi çalışmalarımı yöneten, çalışma boyunca sürekli ilgi ve desteklerini benden esirgemeyen, olumlu eleştiri ve önerileri ile çalışmama büyük katkılarda bulunan danışmanım Sayın Prof. Dr. Mine DEMİRSOY'a, deneysel çalışma aşamalarında ilgi ve desteğinden dolayı Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliğı Bölümü Titreşim ve Ses Laboratuvarı Araştırma Görevlisi Sayın Dr. Levent MALGACA'ya, deneysel çalışmalar sırasında kullanılan taşıyıcı kirişlerin imalatını üstlenen ARMAPLAST Polyester San. Ve Tic. Ltd. Şti'ne ve montaj imalat konusunda yardımlarından dolayı Sayın Evren ERBAŞ'a, tez çalışmasında kullanılan mühendislik yazılımlarının kullanımı ve desteğı konusunda imkanlarını esirgemeyen FIGES A.Ş.'ye ve Sevgili Ufuk PENEKLİ'ye son olarak tüm öğrenim hayatım boyunca her türlü maddi ve manevi desteğı sağlayan ve sürekli yanımda olan aileme ve İlknur ASLAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Kamil SARI

# FARKLI BİRLEŞTİRİLMİŞ KOMPOZİT TAŞIYICI KİRİŞLERİN ANALİZİ

## ÖZ

Bu çalışmanın amacı, pultrüzyon yöntemiyle üretilmiş CTP profillerin yine aynı malzemedен imal edilmiş lamalarla, birleştirilmesinden oluşan profilin, köprülü kren ana taşıyıcı kirişi olarak kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bağlantı noktaları basit mafsallı sabit uzunluktaki profilin, belirlenen faydalı yüklerde ve hareket yükleri altında nümerik ve deneysel olarak dinamik eğilme gerilmeleri tespit edilmiştir.

Araştırma konusunda kullanılan ve dinamik davranışı araştırılan profil, son yıllarda kullanımı giderek yaygınlaşan özellikle uzay, uçak, denizcilik ve otomotiv sanayileri gibi hafiflik/sağlamlık oranının yüksek olarak sağlanması şart olan sektörlerde kullanımı artan bir mühendislik malzemesi olan kompozit malzemedен imal edildiği için genel anlamda kompozitlerin gelişim süreci, kullanım alanları, imalat yöntemleri ve kompozitlerin mekanik özellikleri hakkında bilgi verilmiştir.

Yapılan nümerik çalışmalarda kirişler Unigraphics (Versiyon 3.0) ve ANSYS Workbench Design Modeler (Versiyon 11.0) yazılımlarında modellenmiştir. Sonlu eleman modellemesi AnsysWorkbench, ANSYS (Versiyon 11.0) yazılımlarında gerçekleştirilmiş, portal kren sisteminin dinamik yükler altındaki davranışı RecurDyn (Versiyon 7.0) yazılımında incelenmiştir. Bu çalışmada kirişlerde meydana gelen emniyetli sehım oranı dikkate alınmış olup, emniyetli sehım oranı “kiriş uzunluğu/1000” olarak belirlenmiştir.

Kullanılan CTP profiller EN13706’da EN23 olarak sınıflandırılmış E-camı fiber ve polyester resinden imal edilmiştir. Yapılan nümerik ve deneysel analizlerden elde edilen değerler sonuç bölümünde belirtilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** CTP Profiller, Pultrüzyon, Köprülü Kren, Sonlu Eleman Yöntemi, Dinamik Analiz.

# ANALYSES OF DIFFERENT CONSOLIDATED COMPOSITE BEAMS

## ABSTRACT

The aim of this thesis is to find out, employability of the different consolidated composite beams as a main frame in overhead crane which are made from pultruded Double T glass fiber reinforced profile. In numeric and experimental studies, dynamic shear stresses of beams have been tried to be find out for the simply supported beam configuration under a defined motion load.

The profiles which have been investigated for their dynamic behaviors were made from composite material which is gradually becoming more important in engineering applications. In recent years, composite materials have been used widely in aerospace, automotive and marine industries which require decreasing ratio of lightness/robustness. Therefore, in this study development process, field of usage, manufacturing methods and mechanical properties of composite materials were investigated and explained.

The profiles employed in the numerical studies were modeled utilizing the softwares Unigraphics (Version 3.0) and ANSYS Workbench Design Modeler (Version 11.0). Finite element modeling of the profiles was conducted by using ANSYS Workbench and ANSYS (11.0). The behavior of the portal crane which is under dynamic loads has been investigated by using RecurDyn (Version 7.0). In this study, the results of secure elasticity ratio over the beams were considered and then determined as “length of beam /1000”.

In this thesis, CTP profiles are classified as EN23 under the EN13706 category and E-glass was made from fiber and polyester. Results of the numeric and experimental analyses can be found in the conclusion part of this thesis.

**Key words:** Glass Fiber Reinforced Profiles, Pultrusion, Overhead Crane, Finite Element Method, Dynamic Analysis.

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ .....	iv
ABSTRACT.....	v
<b>BÖLÜM BİR-GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>BÖLÜM İKİ-KOMPOZİT MALZEMELER .....</b>	<b>6</b>
2.1Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları.....	6
2.1.1 Yüksek Mukavemet.....	6
2.1.2 Kolay Şekillendirebilme .....	6
2.1.3 Elektriksel Özellikler .....	7
2.1.4 Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Mukavemet .....	7
2.1.5 Isıya ve Ateşe Dayanıklılığı.....	7
2.1.6 Kalıcı Renklendirme .....	7
2.1.7 Titreşim Sönümlendirme .....	8
2.2Kompozit Türleri ve Sınıflandırılması .....	8
2.2.1 Yapılarını Oluşturan Malzemelere Göre Kompozitler .....	9
2.2.1.1 Plastik-Plastik Kompozitler .....	9
2.2.1.2 Plastik-Cam Elyaf Kompozitler .....	9
2.2.1.3 Plastik-Metal Fiber Kompozitler.....	10
2.2.1.4 Plastik-Köpük Kompozitler .....	10
2.2.1.5 Metal Matrisli Kompozitler.....	10

2.2.1.6 Seramik Kompozitler .....	11
2.2.1.7 Kağıt.....	11
2.3 Matris Malzemeleri .....	12
2.3.1 Reçineler ve Özellikleri .....	13
2.3.1.1 Epoksi Reçineleri .....	13
2.3.1.2 Polyesterler.....	13
2.3.1.3 Üretan Reçineleri .....	13
2.3.1.4 Fenolik Reçineler .....	13
2.4 Elyaf Çeşitleri ve Özellikleri .....	14
2.4.1 Cam Elyaflar .....	14
2.4.1.1 Cam Elyafların Bazı Özellikleri.....	15
2.4.2 Bor Elyaflar.....	16
2.4.3 Silisyum Karbür Elyaflar .....	17
2.4.4 Alumina Elyaflar.....	17
2.4.5 Grafit (Karbon) Elyaflar .....	18
2.4.6 Aramid Elyaflar .....	19
2.5 Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Makromekanik Davranışı.....	20
2.5.1 Anizotrop Malzemelerin Elastik Davranışı .....	20
2.5.1.1 Anizotropik (21 bağımsız sabit).....	25
2.5.1.2 Monoklinik (13 bağımsız sabit, z=0 simetri düzlemi için).....	26
2.5.1.3 Ortotropik (9 bağımsız sabit) .....	26
2.5.1.4 Transvers izotropik (5 bağımsız sabit, 1-2 simetri düzlemi hali için). 26	
2.5.1.5 İzotropik (2 bağımsız sabit) .....	27
2.5.2 Elastiklik Matrisinin Bileşenlerinin Malzeme Özellikleri Yardımıyla Saptanması.....	27
2.5.2.1 Takviye Yönünde Çekme.....	27



2.5.2.2 Takviye Yönünde Çekme.....	28
2.5.3 Ortotropik Tabakalarda Düzlem Gerilme Durumu.....	28
2.5.4 Mekanik Davranışın Yöne Bağlı Olarak Değişimi.....	29

## **BÖLÜM ÜÇ - KÖPRÜLÜ KRENLER VE KÖPRÜLÜ KREN KONSTRÜKSİYON HESAPLARI..... 33**

3.1 Giriş.....	33
3.2 Krenlerin Sınıflandırılması.....	33
3.2.1 Köprülü Krenler.....	33
3.2.2 Portal Krenler.....	35
3.2.3 Oklu-Döner Krenler.....	37
3.2.4 Kablolü Krenler.....	39
3.3 Krenlerde Konstrüksiyon ve Ölçülendirme Esasları.....	39
3.3.1 Kren hesabında sisteme etkiyen yükler.....	39
3.3.2 Yükleme Durumu Grupları.....	41
3.3.3 Genel Emniyet Gerilme Değerleri.....	43
3.3.4 Taşıyıcı Elemanların Yük Durumuna Göre Eğilme Gerilmeleri.....	43
3.3.5 Kren Hesabındaki Katsayılar.....	44
3.3 Kutu Kiriş Hesapları.....	47
3.3.1 Kiriş Momentleri Ve Gerilmeleri.....	48
3.3.1.1 Ana Kuvvetlerden Meydana Gelen.....	48
3.3.1.2 Yan Kuvvetlerden Meydana Gelen.....	48
3.3.2 Sehim Hesabı.....	50

## **BÖLÜM DÖRT- FARKLI BİRLEŞTİRİLMİŞ CTP TAŞIYICI KİRİŞLERİN TASARIM, İMALAT VE MONTAJI..... 51**

4.1 CTP Profillerin Tasarımı .....	51
4.1.1 CTP Kutu Profillerin Modellenmesi .....	54
4.1.2 CTP Kutu Profillerin İmalat ve Montajı .....	55
4.2 Araba Tasarımı ve İmalatı .....	56
4.2.1 Araba Teknik Değerleri .....	56
4.2.2 Tel Halat Mukavemet Hesabı .....	57
4.2.3 Tel Halat Tambur Mukavemet Hesabı.....	58
4.2.4 Tel Halat Makarası Mukavemet Hesabı .....	60
4.2.5 Denge Makarası Mukavemet Hesabı.....	60
4.2.6 Kanca Seçimi .....	61
4.2.7 Kaldırma Motoru ve Fren Momenti Hesabı .....	62
4.2.8 Araba Yürütme Sistemi Tekerlek Çapı Hesabı.....	63
4.2.9 Araba Yürütme Sistemi Motor Güç Hesabı.....	66
4.3 Kren Montajı .....	67

## **BÖLÜM BEŞ - FARKLI BİRLEŞTİRİLMİŞ KOMPOZİT TAŞIYICI KİRİŞLER İÇİN DENEYSEL ÇALIŞMA VE NÜMERİK ANALİZLER..... 68**

5.1 Farklı Birleştirilmiş Taşıyıcı Kirişler İçin Nümerik Dinamik Gerilme Analizi	69
5.1.1 Katı Modelin Analize Hazırlanması .....	69
5.1.2 Sonlu Eleman Modelinin Hazırlanması .....	70
5.1.3 Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması .....	71
5.1.4 Dinamik Analizin Hazırlanması .....	73
5.1.5 Ölçüm Noktalarının Tanımlanması .....	75

5.2 Farklı Birleştirilmiş Taşıyıcı Kirişler İçin Deneysel Dinamik Gerilme Analizi .....	76
5.3 Nümerik ve Deneysel Dinamik Analiz Sonuçları .....	80
5.3.1 Nümerik Dinamik Analiz Sonuçları .....	80
5.3.1.1 0 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Nümerik Ölçüm Değerleri .....	80
5.3.1.2 100 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Nümerik Ölçüm Değerleri .....	82
5.3.1.3 200 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Nümerik Ölçüm Değerleri .....	84
5.3.1.4 300 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Nümerik Ölçüm Değerleri .....	86
5.3.2 Deneysel Dinamik Analiz Sonuçları.....	88
5.3.2.1 0 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Deneysel Ölçüm Değerleri .....	88
5.3.2.2 100 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Deneysel Ölçüm Değerleri .....	91
5.3.2.3 200 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Deneysel Ölçüm Değerleri .....	93
5.3.2.4 300 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Deneysel Ölçüm Değerleri .....	95
5.3.3 Deneysel Dinamik Analiz Lazer Sonuçları .....	97
5.3.3.1 0 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Deneysel Ölçüm Değerleri .....	97
5.3.3.2 100 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Deneysel Ölçüm Değerleri .....	98
5.3.3.3 200 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Deneysel Ölçüm Değerleri .....	99
5.3.3.4 300 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Deneysel Ölçüm Değerleri ....	100
5.4 Nümerik ve Deneysel Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	101
5.4.1 0 kg'lık Ağırlık İle Gerçekleştirilen Deneysel ve Nümerik Çalışmaların Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	101
5.4.2 100 kg'lık Ağırlık İle Gerçekleştirilen Deneysel ve Nümerik Çalışmaların Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	103
5.4.3 200 kg'lık Ağırlık İle Gerçekleştirilen Deneysel ve Nümerik Çalışmaların Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	104

5.4.4 300 kg'lık Ağırlık İle Gerçekleştirilen Deneysel ve Nümerik Çalışmaların Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	105
<b>BÖLÜM ALTI-DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>107</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>109</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>112</b>

## BÖLÜM BİR

### GİRİŞ

Malzemeler genellikle metaller seramikler ve organik malzemeler olarak üç ana gruba ayrılırlar. Bu üç grubun birbirlerine göre üstün ve zayıf yönleri vardır. Dayanım ve tokluk özellik çiftinin en uygun olduğu grup olan metaller makine mühendisliğinde en yaygın olarak kullanılan malzeme türüdür.

Bu üç ana grubun yanında, aynı ya da farklı gruplardan iki ya da daha fazla malzemenin uygun olan özelliklerini tek malzemedeki toplamak, ya da yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi ile oluşturulan malzemeler karma malzemeler (kompozitler) olarak adlandırılırlar. Karma malzemelerin avantajı, bileşenlerinin en iyi özelliklerini bir araya getirmesidir. Atomal veya molekül düzeyde birleştirilen malzemeler (örneğin alaşımlar) makroskobik olarak homojen olduklarından karma malzeme olarak sınıflandırılmazlar (Aran, 1990).

Kompozit aslında karışım anlamına gelmekle birlikte çözünen ve çözen bileşenlerden oluşmaz. Bileşenle arasında atom alışverişi bulunmamaktadır. Geleneksel malzemelerde mevcut olmayan ya da sınırlı olan bazı özellikleri geliştirmek amacıyla birbiri içerisinde çözünemeyen farklı özelliklere sahip en az iki bileşenden oluşan malzemelere kompozit malzemeler denir. Kompozit bileşenleri kimyasal olarak birbirlerini etkilemezler ve özellikle insan tarafından dizayn edilerek üretilirler. Kompozit bileşenlerinin atom boyutu 300 nano altında ise bu tür kompozitlere nano kompozit denir. Malzemeler birbiri içerisinde çözünürse bu tür malzemeler kompozit değil alaşım olur. Kompozit malzemelerde yapıyı oluşturan bileşenlerin birbiri içinde çözünmeleri istenmez, özellikle metalik sistemlerde bir miktar çözünme bileşenler arasında güçlü bağlanımların oluşmasına katkı sağlar.

Kompozit malzemelerde çeşitli form ve oranlarda takviye fazı ile bu malzemenin çevresinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan matriks malzeme bulunmaktadır. Bu iki malzeme grubundan, takviye malzemesi kompozit malzemenin mukavemet ve

yük taşıma özelliğini, matriks malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir.

Matriks olarak kullanılan malzemenin bir amacı da fiber malzemeleri yük altında bir arada tutabilmek ve yükü lifler arasında homojen olarak dağıtmaktır. Böylece fiber malzemelerde plastik deformasyon gerçekleştiğinde ortaya çıkacak çatlak ilerlemesi olayının önüne geçilmiş olur. Kompozit malzemelerin üretimi ile aşağıdaki özelliklerin bir ya da birkaçının geliştirilmesi amaçlanır (Soy, 2009).

- Yüksek mukavemet
- Aşınma dayanımı
- Yorulma dayanımı
- Kırılma tokluğu
- Korozyon dayanımı
- Yüksek sıcaklık performansı
- Isıl ve akustik iletkenlik
- Maliyet
- Estetik görünüm
- İmalat kolaylığı

Günümüzde çok gelişmiş olan bu malzemeler, aslında binlerce yıldan beri kullanılmaktadır. Örneğin çamur içine karıştırılan saman çöpleri ile yapılan kerpiç bir karma malzemedir. Ok yayı yapılırken üst üste konulan, özellikleri ve lif yönleri farklı ağaç levhalar karma bir malzeme oluştururlar. Ayrıca karma malzemeler doğada da farklı biçimlerde bulunmaktadır (ahşap malzemeler, kemik v.s.).

Karma malzeme üretiminin bilinçli olarak ele alınması ve bilimsel yaklaşımlarla yeni malzemelerin geliştirilmesi ancak 1940'lı yıllarda cam takviyeli plastiklerin kullanımı ile başlamıştır. Önemli ilk uygulamalara örnek olarak radar kubbeleri gösterilebilir. Cam takviyeli plastikler elektromanyetik geçirgenlik, hafiflik, atmosfer koşullarına dayanıklılık ve mekanik özellikleri nedeniyle bu amaç için

kullanılabilecek en uygun malzemedir. İlk CTP tekne 1942'de yapılmış, ilk elyaf sarma patenti ise 1946'da A.B.D.'de alınmıştır. 1950'lerde ise uçak pervaneleri karma malzemedен yapılmaya başlanmıştır. Bugün uçak endüstrisinde %30'a varan oranlarda kullanılan karma malzemelere örnek olarak, çeşitli polimerler (plastikler) içerisine gömülmüş karbon lifleri, alüminyum içerisine dizilmiş boron lifleri veya 1000°C üzerindeki sıcaklıklarda çalışan ve nikel-alüminyum alaşımı içerisinde oluşturulmuş nikel-niobiyum levhaları ile kuvvetlendirilen malzemeler gösterilebilir. Bu üstün nitelikli karma malzemelerin yanında ucuzluğu ve elde edilmesi oldukça kolay olan cam elyaf-polyester (CTP) malzeme oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Verilen örneklerden de anlaşılacağı üzere kullanılacak karma malzeme istenen mekanik özellikler, çevre şartlarına dayanıklılık, görünüm, maliyet vb. özellikler ile çok çeşitli olabilmekte ve hemen hemen her şartı karşılayabilecek uygun bir takviye matris çifti oluşturulabilmektedir (Aran, 1990).

CTP malzeme temel olarak kalıp görevi gören reçine içine gömülmüş sürekli veya kırılmış elyaflardan oluşmaktadır ve çeşitli üretim metotları kullanılarak üretilmektedir. Bu metotlardan Pultrüzyon metodu, CTP kalıplamasında, özellikle inşaat sektöründe hem ana malzeme hem de tamamlayıcı malzeme olarak kullanılan profil türündeki ürünlerin yapımında kullanılmaktadır. CTP malzemenin üstün mekanik dayanımının yanı sıra, hafifliği, korozyon dayanımı ve kimyasallara karşı yüksek direnç göstermesi, elektrik yalıtımı, düşük yoğunluk ve dayanım/yoğunluk oranının yüksekliği, düşük ısı iletkenliğine sahip olması, uzun yıllar bakım ve boya gibi ek bir hizmete ihtiyaç duymaması, elektromanyetik alan oluşturmaması nedeni ile radyo ve mikro dalga frekanslarını etkilememesi v.b. özellikler CTP profilleri inşaat sektöründe birçok malzemenin alternatifi olma yönünde hızla ilerlemektedir (Sarıbiyık ve Öztürk, 2005).

Pultrüzyon yöntemi ile standart şekillerde olan kutu, boru, I, L, U gibi ve özel şekillerde olan profiller üretilmektedir.

CTP profiller ile ilgili olarak yapılmış bazı çalışmalar;

A. J. Mendes Ferreira, M. C. S. Ribeiro, A. Torres Marques yaptıkları çalışmada; cam elyaf takviyeli hibrit kompozitlerin nümerik ve deneysel analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan analizlerde makine ve inşaat yapılarında kullanılan, optimum şekilde tasarlanmış olan kutu profiller üzerinde oluşan kesme, çekme ve bası gerilmeleri incelenmiştir. Malzemenin analiz modelinde sonlu eleman olarak shell elemanlar kullanılmış olup, malzemenin orthotropik yapısı göz önünde bulundurulmuştur. Deneysel ve nümerik analizler birbirine çok yakın değerler olarak tespit edilmiştir

J. R. Correia, S. Cabral-Fonseca, F. A. Branco, J. G. Ferreira, M. I. Eusebio, M. P. Rodrigues, yaptıkları çalışmada; pultruzyon yoluyla üretilmiş camelyaf takviyeli kompozit profillerin yapısal uygulamalar için dayanıklılığını incelemiştir. Pultruzyon yoluyla üretilmiş olan profillere, nem, sıcaklık ve ultraviyole ışınlar altında hızlı yaşlandırma testi uygulanmış, fiziksel, kimyasal ve mekanik davranışlarındaki değişimler gözlenmiştir. Yapılan testler altında pultruzyon yoluyla üretilmiş olan profiller için iyi yönde davranışlar gözlemlenmiştir.

Lian-Hong Gan, Lin Ye, Yiu-Wing Mai, yaptıkları çalışmada; pultruzyon yolu ile üretilmiş kutu profillerin optimum kesit dizaynı incelenmiştir. Eğilme yükü altında kompozit profillerde bölgesel olarak meydana gelen eğilmelerin, profillerin erken deforme olmasına sebep olmaktadır. Bölgesel eğilme dayanımını arttırmak amacıyla optimum kesite sahip olacak profiller tasarlanmıştır. Beş farklı kesit tasarlanarak sonlu eleman analizi yolu ile sabit ve ani yükler altındaki bölgesel eğilme davranışları incelenmiştir.

T. J. Chotard ve M. L. Benzeggagh, yaptıkları çalışmada; pultruzyon yolu ile üretilmiş kompozit profillerin dinamik yükler altındaki davranışlarını deneysel olarak incelemiştir. İki ayrı tipteki, farklı kinetik enerjilere sahip düşük hızlardaki darbe yükleri deney numunelerine uygulanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda darbe hızı ve ağırlığının profiller üzerindeki etkisi gözlenmiş ve deneysel ölçüm sonuçları straingaugeler yardımıyla alınmıştır.



Kin Liao, Carl R. Schultheisz, Donald L. Hunston, yaptıkları çalışmada; pultrüzyon yoluyla üretilmiş kompozit profillerin eğilme yükleri altındaki, uzun süreli çevresel yorulma davranışını incelemiştir. Alt yapı uygulamalarında kullanılabilen pultrüzyon yoluyla üretilmiş cam elyaf takviyeli plastiklerin değişken çevresel şartlar altındaki eğilme dayanımları incelenmiştir. Bunun için deney numuneleri %5 ile %10 tuz içeren, tuzlu su çözeltisinde, 6570 saat süreyle bekletilmiş, daha sonra hava ve tuz çözeltisi içinde kuru haldeki çekme dayanımının %45'i kadar değişken kuvvet uygulanmıştır. Bu şartlar altında yorulma ömründe herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. Tam kesin olmamakla beraber suyun sıcaklığı 75 °C'ye yükseltildiğinde çekme dayanımında değişiklikler tespit edilmiştir.

Kren ana kirişleri ve krenlerle ilgili yapılacak çalışmalar hakkında örnek vermek gerekirse;

Tadeusz Niezgodzinski, Tomasz Kubiak, yaptıkları çalışmada; kutu profil ana kirişli krenlerdeki saç tabakaların stabilite problemlerini incelemiştir. Yaptıkları çalışmalarda kutu profillerde meydana gelen lokal hasarları analiz etmişlerdir. Kutu profillerde yüklemelerden meydana gelen hasarların kutu profil saç yüzeylerinde bölgesel deformasyon oluşturduğunu gözlemlemiş, ANSYS programıyla sonlu elemanlar metodunu kullanarak oluşan hasarları tespit etmişlerdir.

V.A.Kopnov, yaptığı çalışmada; gezer köprü krenlerdeki metal konstrüksiyon yorulma ömrünü incelemiştir. Atölye şartları altındaki bir krenden tekrarlanan yüklemeler altında, straingaugeler yardımıyla ölçümler almış ve bu değerleri kullanarak metal içindeki elementlerin yorulma ömrüne olan etkilerini incelemiştir.

Yapılan araştırmalar, kompozit kutu profillerin kren ana taşıyıcı kirişi olarak kullanılmasının, daha önceden yapılmamış ve denenmemiş bir konu olduğunu göstermiştir. Araştırmalar üzerine bu çalışmada kompozit profillerin kren ana taşıyıcı kirişi olarak kullanımının denetlenmesi için deneysel ve nümerik dinamik gerilme analizleri yapılmıştır.

## BÖLÜM İKİ

### KOMPOZİT MALZEMELER

#### 2.1 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozit malzemelerin birçok özelliklerinin metallerinkine göre çok farklılıklar göstermesinden dolayı, metal malzemelere göre önem kazanmışlardır. Kompozitlerin özgül ağırlıklarının düşük oluşu hafif konstrüksüyonlarda kullanımda büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bunun yanında, fiber takviyeli kompozit malzemelerin korozyona dayanımları, ısı, ses ve elektrik izolasyonu sağlamaları da ilgili kullanım alanları için bir üstünlük sağlamaktadır.

Aşağıda bu malzemelerin avantajı olan ve olmayan yanları kısaca ele alınmıştır. Kompozit malzemelerin dezavantajlı yanlarını ortadan kaldırmaya yönelik teorik çalışmalar yapılmakta olup, bu çalışmaların olumlu sonuçlanması halinde kompozit malzemeler metalik malzemelerin yerini alabilecektir.

##### 2.1.1 Yüksek Mukavemet

Kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemeti birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir. Ayrıca kalıplama özelliklerinden dolayı kompozitlere istenen yönde ve bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylece malzemedan tasarruf yapılarak, daha hafif ve ucuz ürünler elde edilir.

##### 2.1.2 Kolay Şekillendirebilme

Büyük ve kompleks parçalar tek işleme bir parça halinde kalıplanabilir. Bu da malzeme ve işçilikten kazanç sağlar.

### ***2.1.3 Elektriksel Özellikler***

Uygun malzemelerin seçilmesiyle çok üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilebilir. Bugün büyük enerji nakil hatlarında kompozitler iyi bir iletken ve gerektiğinde de başka bir yapıda, iyi bir yalıtkan malzemesi olarak kullanılabilirler.

### ***2.1.4 Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Mukavemet***

Kompozitler, hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilerden zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörler, tekne ve diğer deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır. Özellikle korozyona karşı mukavemetli olması, endüstride birçok alanda avantaj sağlamaktadır.

### ***2.1.5 Isıya ve Ateşe Dayanıklılığı***

Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanıklılık özelliği, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozitlerin ısıya dayanımı artırılabilir.

### ***2.1.6 Kalıcı Renklendirme***

Kompozit malzemeye, kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renk verilebilir. Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmez.

### **2.1.7 Titreşim Sönümlendirme**

Kompozit malzemelerde süneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönümlenme ve şok yutabilme özelliği vardır. Çatlak yürümesi olayı da böylece minimize edilmiş olmaktadır.

Bütün bu olumlu yanların dışında kompozit malzemelerin uygun olmayan yanları da şu şekilde sıralanabilir:

- Kompozit malzemelerdeki hava zerrecikleri malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz etkilemektedir.
- Kompozit malzemeler değişik doğrultularda değişik mekanik özellikler gösterirler.
- Aynı kompozit malzeme için çekme, basma, kesme ve eğilme mukavemet değerleri farklılıklar gösterir.
- Kompozit malzemelerin delik delme, kesme türü operasyonları liflerde açılmaya neden olduğundan, bu tür malzemelerde hassas imalattan söz edilemez.

Görüldüğü gibi kompozit malzemeler, bazı dezavantajlarına rağmen çelik ve alüminyuma göre birçok avantaja sahiptir. Bu özellikleri ile kompozitler otomobil gövde ve tamponlarından deniz teknelerine, bina cephe ve panolarından komple banyo ünitelerine, ev eşyalarından tarım araçlarına kadar bir çok sanayi kolunda problemleri çözümlenecek bir malzemedir.

### **2.2 Kompozit Türleri ve Sınıflandırılması**

Kompozit malzemeler yapılarını oluşturan malzemeler ve yapım metotlarına göre iki ayrı şekilde sınıflandırılmıştır. Bunları sıralayacak olursak;

### **2.2.1 Yapılarını Oluşturan Malzemelere Göre Kompozitler**

Fiber ve matris olarak kullanılabilen malzemeler amaca uygun olarak çok çeşitli olabilmektedirler. Fakat genellikle cam, seramik, plastik ve metaller kullanılmaktadır.

#### **2.2.1.1 Plastik-Plastik Kompozitler**

Fiber olarak kullanılan plastik yük taşıyıcı bir özelliğe sahip iken, matris olarak kullanılan plastik esneklik verici, darbe emici ya da istenen amaca göre kullanılan plastiğin özelliğine sahip olmaktadır. Kullanılabilecek plastik türleri de iki ayrı grupta incelenebilir:

- *Termoplastikler:* Bu tür plastikler ısıtıldığında yumuşar ve şekillendirildikten sonra soğutulduğunda sertleşir. Bu işlem sırasında plastiğin mikro yapısında bir değişiklik olmaz. Genellikle 5-50 ° C arasında kullanılabilirler. Bu gruba giren plastikler naylon, polietilen, polistren, karbonflorür akrilikler, selülozikler, viniller sayılabilir.
- *Termoset Plastikler:* Bu tür plastikler ise ısıtılıp şekillendirildikten sonra soğutulduklarında artık mikro yapıda oluşan değişim nedeniyle eski yapıya dönüşüm mümkün olmamaktadır. Bu grubun belli başlı plastikleri ise polyesterler, epoksiler, alkitler, aminler olarak verilebilir.

#### **2.2.1.2 Plastik-Cam Elyaf Kompozitler**

İsteğe göre termoplastikler veya termoset plastikten oluşan matris ve cam liflerin uygun kompozisyonundan üretilmektedir. Mekanik ve fiziksel özellikleri nedeniyle cam lifler birçok durumda metal, asbest, sentetik elyaf ve pamuk ipliği gibi liflere tercih edilebilirler. Ancak cam elyafı kompozitler, büyük kuvvetleri iletmelerine

rağmen camın kırılğan olmasından dolayı çok düşük dirençlidirler. Bu tür malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, kullanılan plastik reçineler uygun seçilerek arzu edilen şekle sokulabilir. Plastik reçineler de termoplastik ve termoset türünde olmaktadır. Termoset plastikler, fiberlerinde düzgün oryantasyonu ile yüksek mukavemete ulaşabilirler. Cam elyaf takviyeleri ile en çok kullanılan plastik reçineler, polyesterlerdir. Polyesterlerinde bu amaçla kullanılan bir çok türü mevcuttur.

### *2.2.1.3 Plastik-Metal Fiber Kompozitler*

Endüstride çok kullanılan metal fiber takviyeli plastikten oluşan kompozitler oldukça hafif ve mukavim bir ürün olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kompozitler, metal fiberlerin ( Bakır, Bronz, Alüminyum. Çelik v.s. ) poli - etilen ve poli - propilen plastiklerini takviyelendirmesi amacı ile elde edilmekte ve kullanılmaktadır. Özellikle deformasyon yönünden takviyelendirme yaygın olarak kullanılmakta ve iyi bir verim alınmaktadır.

### *2.2.1.4 Plastik-Köpük Kompozitler*

Bu tür kompozitlerde plastik, fiber olarak görev yapmakta; Köpük ise matris, reçine konumunda olmaktadır. Köpükler, hücreli yapıya sahip, düşük yoğunlukta, gözenekli ve doğal halde bulunduğu gibi, büyük kısmı sentetik olarak elde edilmiş hafif maddelerdir. Köpük, hücre yapısına göre sert, kırılğan, yumuşak ya da elastik olabilmektedir. Matris olarak kullanılan bu köpük türleri, kullanılan plastiğin çeşitlenebilmesiyle değişik özellikte kompozitlerin oluşumunu sağlar.

### *2.2.1.5 Metal Matrisli Kompozitler*

Metallerin ve metal alaşımlarının birçoğu yüksek sıcaklıkta bazı özellikleri sağlamalarına rağmen kırılğan olmaktadır. Fakat metalik fiberler ile takviye

edilmiş metal matrisli kompozitler her iki fazın uyumlu çalışması ile yüksek sıcaklıkta da yüksek mukavemet özelliklerini vermektedir.

Bakır ve alüminyum matrisli, Wolfram ve Molibden fiberli kompozitler ve Al-Cu kompoziti bize bu kompozisyonu en iyi veren örneklerdir. Bu tip kompozitler, matrisin özelliklerini iyileştirdiği gibi bu özelliklere daha ekonomik ulaşılmasını sağlar.

Fiberlerin malzemeyi kuvvetlendirme derecesi, yüzeysel boşlukların olmayışına bağlıdır. Böylece teorik duruma yaklaşılabilir. Fiberlerin çaplarına ve matrisle olan adezyon kuvvetinin niteliğine bağlı olarak belli bir kritik uzunluktan daha kısa olmalıdır. Bu kompozitlerde metal matris içine gömülen ikinci faz, sürekli lifler şeklinde olabildiği gibi gelişi güzel olarak dağıtılmış küçük parçalar halinde de olabilmektedir.

#### *2.2.1.6 Seramik Kompozitler*

Metal veya metal olmayan malzemelerin bileşiminden oluşan seramik kompozitler, yüksek sıcaklıklara karşı çok iyi dayanım göstermekle birlikte rijit ve gevrek bir yapıya sahiptirler. Ayrıca elektriksel olarak çok iyi bir yalıtkanlık Özelliği gösterirler.

#### *2.2.1.7 Kağıt*

Kompozit malzemelerin günümüzde en çok kullanılan örneklerinden biri olan kağıt, selüloz liflerinin reçine ve yapıştırıcılarla bir arada tutulması ile oluşturulmaktadır. Dolgu maddesi içindeki selüloz lifleri şişerek keçeleşmekte ve ezilip sıcak preslendikten sonra kağıt haline gelmektedir.

### 2.3 Matris Malzemeleri

Kompozit yapılarda matrisin üç temel fonksiyonu vardır. Bunlar, elyafları bir arada tutmak, yükü elyaflara dağıtmak ve elyafları çevresel etkilerden korumaktır. İdeal bir matris malzemesi başlangıçta düşük viskoziteli bir yapıda iken daha sonra elyafları sağlam ve uygun bir şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir.

Kompozit yapılarda yükü taşıyan elyafların fonksiyonlarını yerine getirmeleri açısından matrisin mekanik özelliklerinin rolü çok büyüktür. Örneğin matris malzemesi olmaksızın bir elyaf demeti düşünülüğünde yük bir yada birkaç elyaf tarafından taşınacaktır. Matrisin varlığı ise yükün tüm elyaflara eşit olarak dağılımını sağlayacaktır. Kesme yükü altındaki bir gerilmeye dayanım, elyaflarla matris arasında iyi bir yapışma ve matrisin yüksek kesme mukavemeti özelliklerini gerektirir. Elyaf yönlenmelerine dik doğrultuda, matrisin mekanik özellikleri ve elyaf ile matris arasındaki bağ kuvvetleri, kompozit yapının mukavemetini belirleyici önemli hususlardır. Matris elyafa göre daha zayıf ve daha esnektir. Bu özellik kompozit yapıların tasarımında dikkat edilmesi gereken bir husustur. Matrisin kesme mukavemeti ve matris ile elyaf arası bağ kuvvetleri çok yüksek ise elyaf yada matriste oluşacak bir çatlak yön değiştirmeksizin ilerlemesi mümkündür. Bu durumda kompozit gevrek bir malzeme gibi davranacağından kopma yüzeyi temiz ve parlak bir yapı gösterir. Eğer bağ mukavemeti çok düşükse elyaflar boşluktaki bir elyaf demeti gibi davranır ve kompozit zayıflar. Orta seviyede bir bağ mukavemetinde ise elyaf veya matristen başlayan enlemesine doğrultuda bir çatlak elyaf/matris ara yüzeyine dönüp elyaf doğrultusunda ilerleyebilir. Bu durumda kompozit sünek malzemelerin kopması gibi lifli bir yüzey sergiler.



### **2.3.1 Reçineler ve Özellikleri**

#### *2.3.1.1 Epoksi Reçineleri*

Epoksi reçineleri bifenol A ile epiklorhidridin reaksiyon ürünü olup sertleştirici (katalist) ile karıştırıldığında adi sıcaklıkta veya fırınlama ile (70 – 90 derece) bir sonucu belli bir sürede sertlesir ve bir plastik görünümü alır. Önemli özellikleri olarak sıvı, viskoz sıvı veya katı hallerde bulunabilmeleri, elektrik, ısı, kimyasal dirençleri ile mekanik özelliklerinin yüksek olması, hava şartlarından etkilenmemeleridir. Depolanma süreleri oda sıcaklığında 24 aydır.

#### *2.3.1.2 Polyesterler*

Dibazik asitlerle gliserin, glikol gibi polialkollerin reaksiyonundan elde edilirler. Katı, sıvı termostat, termoplast gibi türlerde bulunur. Sıvı polyesterler, katalist ve hızlandırıcı kullanılarak kür edilirler. Sert, kimyasal maddelere ve hava şartlarına direnci çok yüksektir. Katı polisterler (LPET gibi) darbe dayanımlıdır.

#### *2.3.1.3 Üretan Reçineleri*

Bir izosiyanatla bir polialkolün oda sıcaklığında katılma polimerizasyonu ile elde edilen üretanlar daha çok köpük lastik (esnek ve rijit) yapımında kullanılırlar. Kimyasal direnci iyidir. Yazılım özellikleri yüksektir.

#### *2.3.1.4 Fenolik Reçineler*

Fenol formaldehit kondenzasyon ürünü olup, bu ham maddelerin bazen türevlerinde kullanılmaktadır. Katı ve sıvı türleri vardır. Yurdumuzda sıvı reçine üretimi vardır.

## 2.4 Elyaf Çeşitleri ve Özellikleri

Matris malzeme içinde yer alan elyaf takviyeler kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastite modülüne ve sertliğe sahip olan elyaflar kimyasal korozyona da dirençlidir. Günümüzde kompozit yapılarda kullanılan en önemli takviye malzemeleri sürekli elyaflardır. Bu elyaflar özellikle modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli bir yer tutarlar. Cam elyaflar teknolojiye kullanılan en eski elyaf tipleridir. Son yıllarda geliştirilmiş olan bor, karbon, silisyum karbür ve aramid elyaflar ise gelişmiş kompozit yapılarda kullanılan elyaf tipleridir. Elyafların ince çaplı olarak üretilmeleri ile, büyük kütleli yapılara oranla yapısal hata olasılıkları en aza indirilmiştir. Bu nedenle üstün mekanik özellikler gösterirler. Ayrıca, elyafların yüksek performanslı mühendislik malzemeleri olmalarının nedenleri aşağıda verilen özelliklere de bağlıdır.

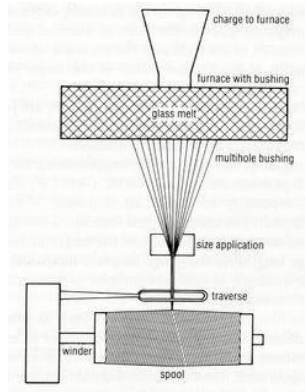
- Üstün mikroyapısal özellikler, tane boyutlarının küçük olması ve küçük çapta üretilmeleri.
- Boy/çap oranı arttıkça matris malzeme tarafından elyaflara iletilen yük miktarının artması.
- Elastisite modülünün çok yüksek olması.

### 2.4.1 Cam Elyaflar

Cam elyaflar, sıradan bir sise camından yüksek saflıktaki kuartz camına kadar pek çok tipte imal edilirler. Cam amorf bir malzemedir ve polimerik yapıdadır. Üç boyutlu moleküler yapıda, bir silisyum atomu dört oksijen atomu ile çevrilmiştir. Silisyum metalik olmayan hafif bir malzemedir, doğada genellikle oksijenle birlikte silis ( $\text{SiO}_2$ ) şeklinde bulunur. Cam eldesi için silis kumu, katkı malzemeleri ile birlikte kuru halde iken  $1260\text{ }^\circ\text{C}$  civarına ısıtılır ve soğumaya bırakıldığında sert bir yapı elde edilir.

### 2.4.1.1 Cam Elyafların Bazı Özellikleri

- Çekme mukavemeti yüksektir, birim ağırlık başına mukavemeti çeliğinkinden yüksektir.
- Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar.
- Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler.
- Nem absorbe etme özellikleri yoktur, ancak cam elyafı kompozitlerde matris ile cam elyaf arasında nemin etkisi ile bir çözülme olabilir. Özel elyaf kaplama işlemleri ile bu etki ortadan kaldırılabılır.
- Elektriği iletmezler. Bu özellik sayesinde elektriksel yalıtımın önem kazandığı durumlarda cam elyafı kompozitlerin kullanılmasına imkan tanırırlar.



Şekil 2.1 Cam elyafı üretimi

([http://www.argeportal.com/images/stories/polimer/camelyaf\\_uretim.jpg](http://www.argeportal.com/images/stories/polimer/camelyaf_uretim.jpg))

Cam elyaf imalinde silis kumuna çeşitli katkı malzemeleri eklendiğinde yapı bu malzemelerin etkisi ile farklı özellikler kazanır. Dört farklı tipte cam elyaf mevcuttur.

A (Alkali) Camı - A camı yüksek oranda alkali içeren bir camdır. Bu nedenle elektriksel yalıtkanlık özelliği kötüdür. Kimyasal direnci yüksek, en yaygın cam tipidir.

C (Korozyon) Camı – Kimyasal çözeltilere direnci çok yüksektir.

E (Elektrik) Camı - Düşük alkali oranı nedeniyle elektriksel yalıtkanlığı diğer cam tiplerine göre çok iyidir. Mukavemeti oldukça yüksektir. Suya karşı direnci de oldukça iyidir. Nemli ortamlar için geliştirilen kompozitlerde genellikle E camı kullanılır.

S (Mukavemet) Camı - Yüksek mukavemetli bir camdır. Çekme mukavemeti E camına oranla %33 daha yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda oldukça iyi bir yorulma direncine sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle havacılıkta ve uzay endüstrisinde tercih edilir. Cam elyaflar genellikle plastik veya epoksi reçinelerle kullanılırlar.

Tablo 2.1 Cam elyafların mekanik özellikleri ve bileşimleri ( Ersoy, 2001,s.56)

Özellikler	Cam Tipi			
	A	C	E	S
Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	2.50	2.49	2.54	2.48
Elastik modül (GPa)	-	69.0	72.4	85.5
Çekme mukavemeti(MPa)	3033.0	3033.0	3448.0	4585.0
Isıl genleşme katsayısı (m/m/°Cx10 <sup>6</sup> )	8.6	7.2	5.0	5.6
Yumuşama sıcaklığı (°C)	727.0	749.0	841.0	970.0
Katki Malzemeleri (%)				
SiO <sub>2</sub>	72.0	64.4	52.4	64.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.6	4.1	14.4	25.0
CaO	10.0	13.4	17.2	-
MgO	2.5	3.3	4.6	10.3
Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O	14.2	9.6	0.8	0.3
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	4.7	10.6	-
BaO	-	0.9	-	-

#### 2.4.2 Bor Elyaflar

Bor elyaflar aslında kendi içlerinde kompozit yapıdadırlar. Çekirdek olarak adlandırılan ince bir flamanın üzerine bor kaplanarak imal edilirler. Çekirdek genellikle Tungstendir. Karbon çekirdek de kullanılabilir ancak bu yeni bir uygulamadır.

Bor-Tungsten elyaflar, sıcak tungsten flamanın hidrojen ve bortriklorür (BC13) gazından geçirilmesi ile üretilirler. Böylece Tungsten flamanın dışında bor plaka oluşur. Bor elyaflar değişik çaplarda üretilebilirler (0.05mm ila 0.2mm). Tungsten çekirdek ise daima 0.01 mm çapında üretilir. Bor elyaflar yüksek çekme

mukavemetine ve elastik modüle sahiptirler. Çekme mukavemetleri 2758 MPa ile 3447 MPa'dır. Elastite modülü ise 400 GPa'dır. Bu değer S camının elastite modülünden beş kat fazladır. Üstün mekanik özelliklere sahip olan bor elyaflar, uçak yapılarında kullanılmak üzere geliştirilmişlerdir. Ancak, maliyetlerinin çok yüksek olması nedeniyle, son yıllarda yerlerini karbon elyaflara bırakmışlardır. Bor elyafların Silisyum Karbür (SiC) veya Bor Karbür (B4C) kaplanmasıyla yüksek sıcaklıklara dayanımı artar. Özellikle bor karbür kaplanması ile çekme mukavemeti önemli ölçüde artırılabilir. Bor elyafların erime sıcaklıkları 2040°C civarındadır.

### ***2.4.3 Silisyum Karbür Elyaflar***

Bor gibi, Silisyum karbürün tungsten çekirdek üzerine kaplanması ile elde edilirler. 0.1 mm ile 0.14 mm çaplarında üretilirler. Yüksek sıcaklıklardaki özellikleri bor elyaflardan daha iyidir. Silisyum karbür elyaf 1370°C'ta mukavemetinin sadece %30'nu kaybeder. Bor elyaf için bu sıcaklık 640 °C'tır .Bu elyaflar genellikle Titanyum matrisle kullanılırlar. Jet motor parçalarında Titanyum, Alüminyum ve Vanadyum alasmalı matris ile kullanılırlar. Ancak Silisyum karbür elyaflar Bor elyaflara göre daha yüksek yoğunluğa sahiptirler. Silisyum karbürün karbon çekirdek üzerine kaplanması ile üretilen elyafların yoğunluğu düşüktür.

### ***2.4.4 Alumina Elyaflar***

Alumina, Alüminyum oksittir (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Elyaf formundaki alumina, 0.02 mm çapındaki alumina flamanın Silisyum dioksit (SiO<sub>2</sub>) kaplanması ile elde edilir. Alumina elyafların çekme mukavemetleri yeterince yüksek değildir, ancak basma mukavemetleri yüksektir. Örneğin, alumina epoksi kompozitlerin basma mukavemetleri 2275 ile 2413 MPa'dır. Ayrıca, yüksek sıcaklık dayanımları nedeniyle uçak motorlarında kullanılmaktadırlar.

### 2.4.5 Grafit (Karbon) Elyaf lar

Karbon, yoğunluğu 2.268 gr/cm<sup>3</sup> olan kristal yapıda bir malzemedir. Karbon elyaf lar cam elyaf lar dan daha sonra gelisen ve çok yaygın olarak kullanılan bir elyaf grubudur. Hem karbon hemde grafit elyaf lar aynı esaslı malzemedden üretilirler. Bu malzemeler hammadde olarak bilinirler. Karbon elyaf lar ın üretiminde üç adet hammadde mevcuttur. Bunlardan ilki rayon dur (suni ipek). Bu hammadde inert bir atmosferde 1000 - 3000 °C civarına ısıtılır ve aynı zamanda çekme kuvveti uygulanır. Bu ilsem mukavemet ve tokluk sağlar. Ancak yüksek maliyet nedeniyle rayon elyaf lar uygun değildirler.

Elyaf imalatında genellikle rayonun yerine poliakrilonitril (PAN) kullanılır. PAN bazlı elyaf lar 2413 ila 3102 MPa değerinde çekme mukavemetine sahiptirler ve maliyetleri düşüktür. Petrolün rafinesi ile elde edilen zift bazlı elyaf lar ise 2069 MPa değerinde çekme mukavemetine sahiptirler. Mekanik özellikleri PAN bazlı elyaf lar kadar iyi değildir ancak maliyetleri düşüktür.

Tablo 2.2 Karbon ve grafit elyaf lar ın karşılaştırılması ( Ersoy, 2001,s.56)

Özellik	Grafit	Karbon
Saflık (%)	99	93-95
İşlem Sıcaklığı (°C)	> 1700	< 1700
Elastite Modülü (GPa)	>345	<345

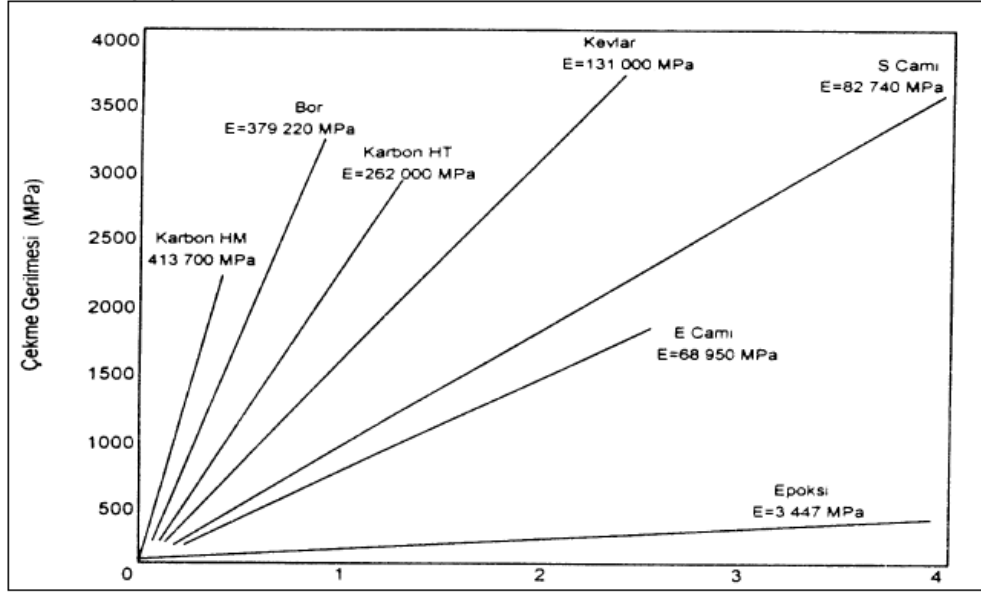
Karbon elyaf lar ın en önemli özellikleri düşük yoğunluğun yanısıra yüksek mukavemet ve tokluk değerleridir. Karbon elyaf lar, nemden etkilenmezler ve sürünme mukavemetleri çok yüksektir. Asınma ve yorulma mukavemetleri oldukça iyidir. Bu nedenle askeri ve sivil uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Karbon elyaf lar çeşitli plastik matrislerle ve en yaygın olarak epoksi reçinelerle kullanılırlar. Ayrıca karbon elyaf lar alüminyum, magnezyum gibi metal matrislerle de kullanılırlar.

### ***2.4.6 Aramid Elyaf lar***

Aramid "aromatik polyamid" in kısaltılmı s adıdır. Polyamidler uzun zincirli polimerlerdir, aramidin moleküler yapısında altı karbon atomu birbirine hidrojen atomu ile bağlanmıslardır. İki farklı tip aramid elyaf mevcuttur. Bunlar Du Pont firması tarafından geliştirilen Kevlar 29 ve Kevlar 49'dur. Aramidin mekanik özellikleri grafit elyaflarda olduğu gibi elyaf eksenini doğrultusunda çok iyi iken elyaflara dik doğrultuda çok zayıftır. Aramid elyaflar düşük ağırlık, yüksek çekme mukavemeti ve düşük maliyet özelliklerine sahiptir. Darbe direnci yüksektir, gevrekliği grafitin gevrekliğinin yansı kadardır. Bu nedenle kolay şekil verilebilir. Doğal kimyasallara dirençlidir ancak asit ve alkalilerden etkilenir.

Her iki kevlar da 2344 MPa değerinde çekme mukavemetine sahiptir ve kopma uzaması %1.8'dir. Kevlar 49'un elastik modülü kevlar 29'unkinden iki kat fazladır. Kevlar elyafın yoğunluğu cam ve grafit elyafların yoğunluklarından daha düşüktür. Kevlar49/Epoksi kompozitlerinin darbe mukavemeti grafit epoksi kompozitlere oranla yedi kat, bor/epoksi kompozitlere oranla dört kat daha iyidir. Uçak yapılarında, düşük basma mukavemetleri nedeniyle, karbon elyaflarla birlikte hibrid kompozit olarak, kumanda yüzeylerinde kullanılmaktadırlar. Aramid elyaflar elektriksel iletkenliğe sahip değildirler. Basma mukavemetlerinin iyi olmamasının yanısıra kevlar epoksi kompozitlerinin nem absorbe etme özellikleri kötüdür. Şekilde farklı elyaf malzemelerin ve epoksi matrisin gerilme-uzama diyagramı verilmiştir. Çizelgede ise farklı elyaf malzemelerin epoksi matris ile oluşturduğu yarı mamul tabaka maliyetleri, E camının maliyeti baz alınarak verilmektedir (Ünal, 2003).

Tablo 2.3 Elyaf ve matris malzemelerin gerilme uzama diyagramı ( Ersoy, 2001,s.56)



Tablo 2.4 Farklı elyaflardan oluşan kompozitlerin birim maliyeti ( Ersoy, 2001,s.56)

Kompozit	Maliyet
E Camı/Epoksi	1
S Camı/Epoksi	4-8
Kevlar/Epoksi	15-40
Karbon(HT)/Epoksi	30-60
Karbon(HM)/Epoksi	80-120

## 2.5 Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Makromekanik Davranışı

### 2.5.1 Anizotrop Malzemelerin Elastik Davranışı

Karma malzemelerin mekanik özellikleri yöne bağlıdır ve anizotropi nedeniyle bunların elastik özelliklerini tanımlamak için gerekli sabitlerin sayısı izotrop malzemelere oranla çok daha fazladır. Anizotrop malzemeler için geliştirilmiş Hooke Kanunu şu şekilde yazılabilir:

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \cdot \varepsilon_{kl}$$

$$\varepsilon_{ij} = S_{ijkl} \cdot \sigma_{kl} \quad (2.1)$$

$$S_{ijkl} = (C_{ijkl})^{-1}$$



Burada,  $\sigma_{ij}$  : Gerilme tensörünün bileşenleri

$\varepsilon_{kl}$  : Şekil değiştirme tensörünün bileşenleri

$C_{ijkl}$  : Elastik rijitlik tensörü

$S_{ijkl}$  : Elastik gevşeklik tensörüdür.

Bu denklemler açık olarak yazıldığında her birinde dokuz terim bulunan dokuz denklem ortaya çıkar.  $C_{ijkl}$  ve  $S_{ijkl}$  dördüncü dereceden tensörler olup 81 sabit içerirler. Ancak kütle kuvvetlerinin olmaması durumunda gerilme ile şekil değiştirme tensörleri simetrik olduğundan ( $\sigma_{ij} = \sigma_{ji}$  ve  $\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ji}$ ) olduğundan sabitlerin sayısı 36'ya düşer.

Mekanikte genellikle kısaltılmış notasyon olarak adlandırılan notasyonun kullanılması ile rijitlik ve gevşeklik tensörlerinin 2. Dereceden olması sağlanır. Kısaltılmış notasyonda gerilme ve şekil değiştirme büyüklükleri aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\begin{aligned}
 \sigma_{11} &= \sigma_1 & \varepsilon_{11} &= \varepsilon_1 \\
 \sigma_{22} &= \sigma_2 & \varepsilon_{22} &= \varepsilon_2 \\
 \sigma_{33} &= \sigma_3 & \varepsilon_{33} &= \varepsilon_3 \\
 \sigma_{23} &= \sigma_4 (= \tau_{23}) & 2 \varepsilon_{23} &= \varepsilon_4 (= \gamma_{23}) \\
 \sigma_{13} &= \sigma_5 (= \tau_{13}) & 2 \varepsilon_{13} &= \varepsilon_5 (= \gamma_{13}) \\
 \sigma_{12} &= \sigma_6 (= \tau_{12}) & 2 \varepsilon_{12} &= \varepsilon_6 (= \gamma_{12})
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Böylece Hooke Kanununun yeni şekli aşağıdaki gibi olur:

$$\sigma_1 = C_{ij} \cdot \varepsilon_j \quad (j = 1 \dots 6) \tag{2.3}$$

$$\varepsilon_1 = S_{ij} \cdot \sigma_j$$

Burada,  $C_{ij}$  : elastik rijitlik tensörü

$S_{ij}$  : elastik gevşeklik tensörüdür.

Love notasyonuna göre anizotropik malzemeler için iki boyutlu tensörle gösterilen gerilme şekil değiştirme bağıntısı,

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} & C_{56} \\ C_{61} & C_{62} & C_{63} & C_{64} & C_{65} & C_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Şeklinde yazılır. Yukarıdaki matris çarpımını yaparsak;

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= C_{11} \cdot \varepsilon_1 + C_{12} \cdot \varepsilon_2 + C_{13} \cdot \varepsilon_3 + C_{14} \cdot \varepsilon_4 + C_{15} \cdot \varepsilon_5 + C_{16} \cdot \varepsilon_6 \\ \sigma_2 &= C_{21} \cdot \varepsilon_1 + C_{22} \cdot \varepsilon_2 + C_{23} \cdot \varepsilon_3 + C_{24} \cdot \varepsilon_4 + C_{25} \cdot \varepsilon_5 + C_{26} \cdot \varepsilon_6 \\ \sigma_3 &= C_{31} \cdot \varepsilon_1 + C_{32} \cdot \varepsilon_2 + C_{33} \cdot \varepsilon_3 + C_{34} \cdot \varepsilon_4 + C_{35} \cdot \varepsilon_5 + C_{36} \cdot \varepsilon_6 \\ \sigma_4 &= C_{41} \cdot \varepsilon_1 + C_{42} \cdot \varepsilon_2 + C_{43} \cdot \varepsilon_3 + C_{44} \cdot \varepsilon_4 + C_{45} \cdot \varepsilon_5 + C_{46} \cdot \varepsilon_6 \\ \sigma_5 &= C_{51} \cdot \varepsilon_1 + C_{52} \cdot \varepsilon_2 + C_{53} \cdot \varepsilon_3 + C_{54} \cdot \varepsilon_4 + C_{55} \cdot \varepsilon_5 + C_{56} \cdot \varepsilon_6 \\ \sigma_6 &= C_{61} \cdot \varepsilon_1 + C_{62} \cdot \varepsilon_2 + C_{63} \cdot \varepsilon_3 + C_{64} \cdot \varepsilon_4 + C_{65} \cdot \varepsilon_5 + C_{66} \cdot \varepsilon_6 \end{aligned} \quad (2.5)$$

elde edilir. Öte yandan bu matrislerin 36 elemanının tümünün birbirinden bağımsız olmadığı şekil değişimi enerjisi yardımıyla gösterilebilir.

Malzeme  $\sigma_i$  gerilmesi altında  $d \varepsilon_i$  elastik şekil değişimine uğrarsa, birim hacim başına elastik enerji artışı

$$dW = \sigma_i \cdot d \varepsilon_i \quad (2.6)$$

olarak yazılabilir. Bu denklemin integrali alınır

$$\sigma_i = C_{ij} \cdot \varepsilon_j \quad (2.7)$$

olduğundan

$$W = 1/2(C_{ij} \cdot \varepsilon_j \cdot \varepsilon_i) \quad (2.8)$$

bulunur. Benzer şekilde  $\sigma_j$  gerilmesi altında  $d \in_j$  şekil değişimi için hesaplanırsa

$$W = 1/2(C_{ji} \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_j) \quad (2.9)$$

bulunur. Dolayısıyla bu denklemlerin türevi alınarak

$$\frac{\partial W}{\partial \varepsilon_i} = C_{ij} \cdot \varepsilon_j \quad \text{ve} \quad \frac{\partial W}{\partial \varepsilon_j} = C_{ji} \cdot \varepsilon_i$$

bulunur. Bir daha kısmi türev alınır

$$\frac{\partial^2 W}{\partial \varepsilon_i \cdot \partial \varepsilon_j} = C_{ij} \quad \text{ve} \quad \frac{\partial^2 W}{\partial \varepsilon_j \cdot \partial \varepsilon_i} = C_{ji}$$

Elde edilir. Türev alma sırasında türevin değerini değiştirmeyeceğinden  $C_{ij} = C_{ji}$  bağıntısı geçerlidir. Benzer şekilde  $S_{ij} = S_{ji}$  bağıntısı da gösterilebilir. Yani rijitlik ve gevşeklik matrislerinin her ikisi de simetriktir ve birbirinden bağımsız sabit sayısı 21'e düşer.

$$C_{ij} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ C_{14} & C_{24} & C_{34} & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ C_{15} & C_{25} & C_{35} & C_{45} & C_{55} & C_{56} \\ C_{16} & C_{26} & C_{36} & C_{46} & C_{56} & C_{66} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Yukarıdaki eşitlik malzeme özellikleri bakımından hiçbir simetri düzlemi olmayan anizotropik malzemeleri temsil eder. Böyle bir anizotropik malzemenin diğer adı

triklinik malzemedir. Bilindiği gibi kompozit malzemelerde mekanik davranışlar bakımından bazı simetri düzlemleri vardır.

Eğer malzeme özellikleri sadece bir simetri düzlemine sahipse, gerilme şekil değiştirme bağıntısı aşağıdaki şekle dönüşür.

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & C_{16} \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & C_{26} \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & 0 & 0 & C_{36} \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & C_{45} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{45} & C_{55} & 0 \\ C_{16} & C_{26} & C_{36} & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Burada simetri düzlemi  $z=0$  düzlemidir. Böyle bir malzeme monoklinik olarak adlandırılır ve bağımsız elastik sabit sayısı 13'tür.

Eğer malzemede mekanik özellikler bakımından üç simetri düzlemi (ortogonal düzlemler) varsa malzeme ortotropik (ortogonal anizotropik) olarak adlandırılır. Bu durumda bağımsız sabit sayısı sadece 9 olur.

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Eğer bir malzemede bu simetrilere ek olarak mekanik özelliklerin tüm doğrultularda eşit olduğu bir düzlem varsa, bu tip malzemeler transvers izotropik olarak adlandırılır. Örneğin 1-2 düzlemi özel izotropi düzlemi ise, bu taktirde rijitliklerdeki 1 ve 2 alt indisleri yer değiştirebilir ve böylece gerilme şekil değiştirme bağıntısındaki sabit sayısı 5'e düşerek bağıntı aşağıdaki şekli alır.

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (C_{11} - C_{12})/2 \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

Eğer malzeme özelliklerine ait simetri düzlemleri sonsuz sayıda ise önceki bağıntılar izotropik malzeme durumuna indirgenebilir ve bu durumda rijitlik matrisindeki bağımsız sabit sayısı yalnızca 2'dir.

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{12} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{11} & C_{12} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{12} & C_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (C_{11} - C_{12})/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (C_{11} - C_{12})/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (C_{11} - C_{12})/2 \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Yukarıda verilen değişik simetri halleri için şekil değiştirme gerilme bağıntıları ise aşağıdaki gibi yazılabilir.

### 2.5.1.1 Anizotropik (21 bağımsız sabit)

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & S_{15} & S_{16} \\ S_{12} & S_{22} & S_{23} & S_{24} & S_{25} & S_{26} \\ S_{13} & S_{23} & S_{33} & S_{34} & S_{35} & S_{36} \\ S_{14} & S_{24} & S_{34} & S_{44} & S_{45} & S_{46} \\ S_{15} & S_{25} & S_{35} & S_{45} & S_{55} & S_{56} \\ S_{16} & S_{26} & S_{36} & S_{46} & S_{56} & S_{66} \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

2.5.1.2 Monoklinik (13 bağımsız sabit,  $z=0$  simetri düzlemi için)

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & 0 & 0 & S_{16} \\ S_{12} & S_{22} & S_{23} & 0 & 0 & S_{26} \\ S_{13} & S_{23} & S_{33} & 0 & 0 & S_{36} \\ 0 & 0 & 0 & S_{44} & S_{45} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{45} & S_{55} & 0 \\ S_{16} & S_{26} & S_{36} & 0 & 0 & S_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

2.5.1.3 Ortotropik (9 bağımsız sabit)

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{12} & S_{22} & S_{23} & 0 & 0 & 0 \\ S_{13} & S_{23} & S_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

2.5.1.4 Transvers izotropik (5 bağımsız sabit, 1-2 simetri düzlemi hali için)

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{12} & S_{22} & S_{23} & 0 & 0 & 0 \\ S_{13} & S_{23} & S_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2(S_{11} - S_{12}) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

### 2.5.1.5 İzotropik (2 bağımsız sabit)

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{12} & S_{11} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{13} & S_{13} & S_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2(S_{11}-S_{12}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2(S_{11}-S_{12}) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2(S_{11}-S_{12}) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

### 2.5.2 Elastiklik Matrisinin Bileşenlerinin Malzeme Özellikleri Yardımıyla Saptanması

Ortotropik kompozit malzemenin elastik davranışını belirleyen bu sabitler ile malzemelerin mühendislik sabitleri olarak adlandırılan E,  $\nu$  ve G arasındaki bağıntıları bulmak amacıyla tek eksenli çekme veya kayma deneyleri yapılır.

#### 2.5.2.1 Takviye Yönünde Çekme

Gerilmeler :  $\sigma_i \neq 0, \sigma_1 = 0$  (i= 2...6)

Birim uzamalar :  $\varepsilon_1 \neq 0$

$$\varepsilon_2 = -\nu_{12} \cdot \varepsilon_1$$

$$\varepsilon_3 = -\nu_{13} \cdot \varepsilon_1 \quad (2.20)$$

$$\varepsilon_4 = \varepsilon_5 = \varepsilon_6 = 0$$

Bu durumda;

$$\varepsilon_1 = S_{11} \cdot \sigma_1 \rightarrow S_{11} = \varepsilon_1 / \sigma_1 = 1/E_1$$

$$-\nu_{12} \cdot \varepsilon_1 = S_{21} \cdot \sigma_1 \rightarrow S_{21} = -\nu_{12} \cdot \varepsilon_1 / \sigma_1 = -\nu_{12}/E_1 \quad (2.21)$$

$$-\nu_{13} \cdot \varepsilon_1 = S_{31} \cdot \sigma_1 \rightarrow S_{31} = -\nu_{13} \cdot \varepsilon_1 / \sigma_1 = -\nu_{13}/E_1$$

bulunur.

### 2.5.2.2 Takviye Yönünde Çekme

$$\text{Gerilmeler} \quad : \quad \tau_{12} = \sigma_6 \neq U, \quad \sigma_1 = U \quad (i=1\dots5) \quad (2.22)$$

$$\text{Birim uzamalar} \quad : \quad \sigma_6 \neq 0, \quad \varepsilon_6 = S_{66} \cdot \sigma_6 \rightarrow S_{66} = 1/G_{12} \quad (2.23)$$

Diğer sabitler de benzer deneylerle saptanarak gevşeklik matrisi;

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} 1/E_1 & -\nu_{21}/E_2 & -\nu_{31}/E_3 & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{12}/E_1 & 1/E_2 & -\nu_{32}/E_3 & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{31}/E_1 & -\nu_{23}/E_2 & 1/E_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{23} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{31} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{12} \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

şeklini alır. Rijitlik matrisi ise  $C_{ij} = (S_{ij})^{-1}$  transformasyonu ile saptanabilir.

### 2.5.3 Ortotropik Tabakalarda Düzlem Gerilme Durumu

Elyaf takviyeli tabakalar çoğunlukla ince olduklarından düzlem gerilme durumunun geçerli olduğu, yani düzleme dik gerilmelerin etkimeidiği kabul edilebilir ( $\sigma_3 = 0, \sigma_4 = 0, \sigma_5 = 0$ ).

Bu durumda sabitlerin sayısı daha da azalacağından 6 boyutlu matris yerine 3 boyutlu  $Q_{ij}$  matrisi kullanılır. Böylece Hooke bağıntısı;

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_6 \end{bmatrix} \quad (2.25)$$



şeklini alır. Burada matrisin bağımsız elemanlarının sayısı 4'e düşmüştür ve bunların mühendislik sabitleri cinsinden ifadeleri ise aşağıdaki gibidir.

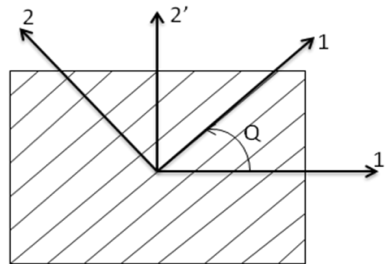
$$\begin{aligned}
 Q_{11} &= \frac{E_1}{1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}} & Q_{12} &= \frac{\nu_{12} \cdot E_2}{1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}} \\
 Q_{22} &= \frac{E_2}{1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}} & Q_{66} &= G_{12}
 \end{aligned} \tag{2.26}$$

#### 2.5.4 Mekanik Davranışın Yöne Bağlı Olarak Değişimi

Buraya kadar ortotropik malzemelerin, malzemenin asal doğrultusundaki gerilme şekil değiştirme bağıntıları ele alınmıştır. Uygulanan gerilmeler her zaman malzemenin asal eksenleri ile çakışmayabilir. Böyle bir durumda farklı yönlerdeki bağıntılar transformasyon tensörü ( $\tau_{ij}$ ) kullanılarak saptanabilir.

Örneğin, etkiyen gerilmeler malzemenin asal doğrultuları 1 ve 2 yönlerinde değil, x ve y yönlerinde etkimesi halinde bu gerilme halinin malzeme asal eksenleri ile çakışan bir koordinatta (Şekil 2.2) ifadesi veya transformasyonu şu şekilde yazılabilir:

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = [T] \bullet \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} \tag{2.27}$$



Şekil 2.2 Herhangi x-y eksenlerinden malzeme asal eksenlerine pozitif yönde dönüş

Veya bunun tersi

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [T]^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

olur. Benzer şekilde

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy/2} \end{bmatrix} = [T]^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12/2} \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

(-1) üsteli matris tersini belirtmektedir ve transformasyon matrisi  $[T]$  aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & 2 \sin \theta \cos \theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & -2 \sin \theta \cos \theta \\ -\sin \theta \cos \theta & \sin \theta \cos \theta & \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

Bununla beraber bir  $[R]$  matrisi,

$$[R] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

kullanılırsa  $\frac{1}{2}$  çarpanı yok edilir ve

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = [R] \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12/2} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = [R] \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy/2} \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

elde edilir.

Eğer gerilmenin uygulandığı eksenler olan x ve y, malzemenin asal eksenleri olan 1 ve 2 eksenleri ile çakışmıyor ise gerilme şekil değiştirme bağıntısı şöyle yazılabilir:

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [T]^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = [T]^{-1} \cdot [Q] \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix}$$

$$[T]^{-1} \cdot [Q] \cdot [R] \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12/2} \end{bmatrix} = [T]^{-1} \cdot [Q] \cdot [R] \cdot [T] \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy/2} \end{bmatrix}$$

$$[T]^{-1} \cdot [Q] \cdot [R] \cdot [T] \cdot [R]^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix}$$

Burada,  $[T]^{-1} \cdot [Q] \cdot [R] \cdot [T] \cdot [R]^{-1} = [\bar{Q}]$  ile gösterilirse x-y eksenlerine ait gerilme şekil değiştirme bağıntısı

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [\bar{Q}] \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

olarak elde edilir.  $[\bar{Q}]$ 'nin bileşenleri

$$\bar{Q}_{11} = Q_{11} \cdot \cos^4 \theta + 2(Q_{12} + 2Q_{66}) \sin^2 \theta \cdot \cos^2 \theta + Q_{22} \cdot \sin^4 \theta$$

$$\bar{Q}_{12} = (Q_{11} + Q_{22} - 4Q_{66}) \cdot \sin^2 \theta \cdot \cos^2 \theta + Q_{12} \cdot (\sin^4 \theta + \cos^4 \theta)$$

$$\bar{Q}_{22} = Q_{11} \cdot \sin^4 \theta + 2(Q_{12} + 2Q_{66}) \sin^2 \theta \cdot \cos^2 \theta + Q_{22} \cdot \cos^4 \theta$$

$$\bar{Q}_{16} = (Q_{11} - Q_{12} - 2Q_{66}) \cdot \sin \theta \cdot \cos^3 \theta + (Q_{12} - Q_{22} + 2Q_{66}) \sin^3 \theta \cdot \cos \theta$$

$$\begin{aligned}
\bar{Q}_{26} &= (Q_{11} - Q_{12} - 2Q_{66}) \cdot \sin^3 \theta \cdot \cos \theta + (Q_{12} - Q_{22} + 2Q_{66}) \sin \theta \cdot \cos^3 \theta \\
\bar{Q}_{66} &= (Q_{11} + Q_{22} - 2Q_{12} - 2Q_{66}) \sin^2 \theta \cdot \cos^2 \theta + Q_{66} \cdot (\sin^4 \theta + \cos^4 \theta)
\end{aligned} \tag{2.34}$$

Burada  $Q_{ij}$  (indirgenmiş  $Q_{ij}$  rijitlik matrisi yerine) transforme edilmiş indirgenmiş rijitlik matrisini temsil etmektedir.

Aynı şekilde malzeme asal eksenleri ile çakışmayan bir gerilme hali için de şekil değiştirme gerilme bağıntısı bulunabilir.

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = [\bar{S}] \cdot \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{S}_{11} & \bar{S}_{12} & \bar{S}_{16} \\ \bar{S}_{12} & \bar{S}_{22} & \bar{S}_{26} \\ \bar{S}_{16} & \bar{S}_{26} & \bar{S}_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} \tag{2.35}$$

Burada  $[R] \cdot [T]^{-1} \cdot [R]^{-1} \cdot [S] \cdot [T] = [\bar{S}]$  olarak gösterilmiştir (Aran, 1990).

$$\begin{aligned}
\bar{S}_{11} &= S_{11} \cdot \cos^4 \theta + 2(S_{12} + 2S_{66}) \sin^2 \theta \cdot \cos^2 \theta + S_{22} \cdot \sin^4 \theta \\
\bar{S}_{12} &= S_{12} (\sin^4 \theta + \cos^4 \theta) + (S_{11} + S_{22} - S_{66}) \sin^2 \theta \cdot \cos^2 \theta \\
\bar{S}_{22} &= S_{11} \cdot \sin^4 \theta + 2(S_{12} + 2S_{66}) \sin^2 \theta \cdot \cos^2 \theta + S_{22} \cdot \cos^4 \theta \\
\bar{S}_{16} &= (2S_{11} - S_{12} - S_{66}) \cdot \sin \theta \cdot \cos^3 \theta - (2S_{22} - 2S_{12} - S_{66}) \sin^3 \theta \cdot \cos \theta \\
\bar{S}_{26} &= (2S_{11} - 2S_{12} - S_{66}) \sin^3 \theta \cdot \cos \theta - (2S_{22} - 2S_{12} - S_{66}) \sin \theta \cdot \cos^3 \theta \\
\bar{S}_{66} &= (S_{11} + S_{22} - 2S_{12} - 2S_{66}) \sin^2 \theta \cdot \cos^2 \theta + S_{66} \cdot (\sin^4 \theta + \cos^4 \theta)
\end{aligned} \tag{2.36}$$

## BÖLÜM ÜÇ

### KÖPRÜLÜ KRENLER VE KÖPRÜLÜ KREN KONSTRÜKSİYON HESAPLARI

#### 3.1 Giriş

DIN 15001'e göre krenler bir taşıma elemanına asılı olan (genellikle halata) yükü kaldıran ve çeşitli yönlerde hareket ettiren kaldırma ve taşıma makinalarıdır. Kren çeşitleri arasında köprülü krenler, portal krenler, döner krenler ve kablolu krenler sayılabilir.

#### 3.2 Krenlerin Sınıflandırılması

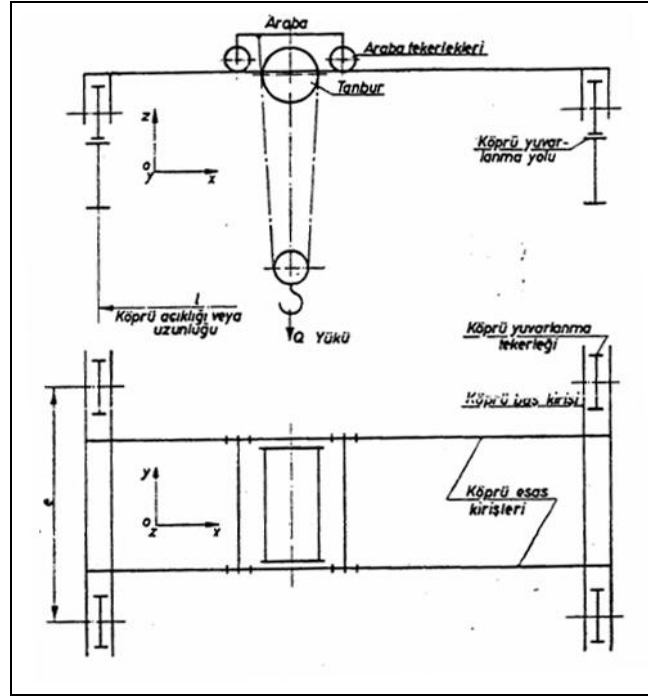
##### 3.2.1 Köprülü Krenler

Köprülü krenler, yükseğe yerleştirilmiş iki kren yolu arasında bir köprü konstrüksiyondan ibarettir. Yarı ağır ve ağır endüstriyle ilgili bütün fabrika, mağaza ve makina park salonlarında kullanılırlar. Kumanda, basit bir operatör kabininden olabileceği gibi, seyyar operatör kabininden, yerden veya uzaktan da olabilir. Köprülü kren tarafından gerçekleştirilmesi gereken hareketler şunlardır (Şekil 3.1):

- Oz ekseni boyunca düşey hareket, yani kaldırma ve indirme hareketi
- Oy ekseni boyunca yatay hareket, köprünün öteleme hareketi
- Ox ekseni boyunca yatay hareket, arabanın köprü üzerinde yaptığı öteleme hareketi

Bu duruma göre, bir köprülü krende aşağıdaki mekanizmaların olması öngörülür:

- Tamburlu kaldırma mekanizması
- Araba öteleme mekanizması
- Köprü yürütme mekanizması



Şekil 3.1 Köprülü kren şeması

Bir köprülü kren;

Taşınacak yükün maksimum değeri, yani kaldırma kabiliyeti ve köprü açıklığı ile karakterize edilir. Köprülü krenin asıl karakterleri bunlardır. Ama bunların yanı sıra aşağıdaki özelliklerinde dikkate alınması gerekir.

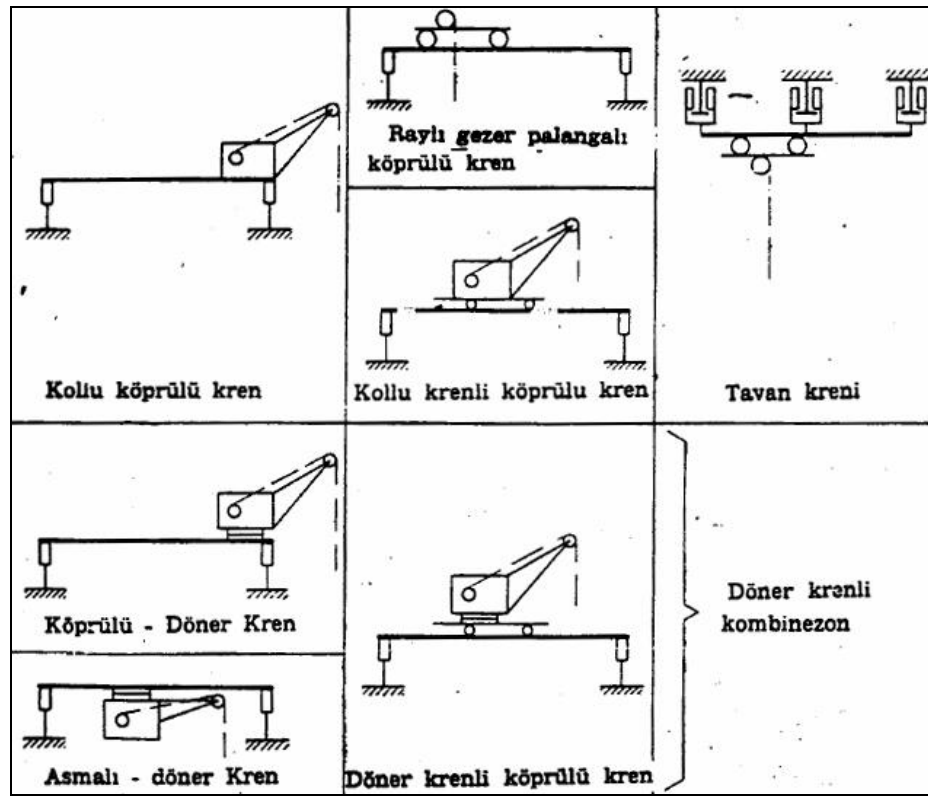
- Kaldırma hızı
- Köprü öteleme hızı
- Araba öteleme hızı
- Kaldırma yüksekliği
- Köprü gezinme mesafesi

Bir köprülü krene ait esas hesapların yapılabilmesi için bütün bu karakteristiklerin bilinmesi gerek vardır. Şekil 3.1'de bir köprülü krenin şematik konumu gösterilmiştir. Köprü açıklığı atölyenin boyutlarına bağlı olarak tespit edilir.  $Q$  yükü ise verilir. Bu şartlar altında köprü tekerlekleri arasında açıklığın tayini mümkündür.  $e$  mesafesi aşağıdaki gibi alınır.

$$l \leq 10 \text{ m için } e = \left( \frac{1}{4} \text{ ila } \frac{1}{6} \right) \cdot \ell$$

$$l > 10 \text{ m için } e = \left( \frac{1}{5} \text{ ila } \frac{1}{6} \right) \cdot \ell$$

Özellikle, yükün uç kısımlarında bulunması halinde, köprünün yuvarlanma yolu üzerinde sıkışıp kalmasını önlenmesi amacıyla bu açıklığın yeteri kadar büyük tutulmalıdır. Şekil 3.2’de çeşitli köprülü krenler topluca gösterilmiştir.

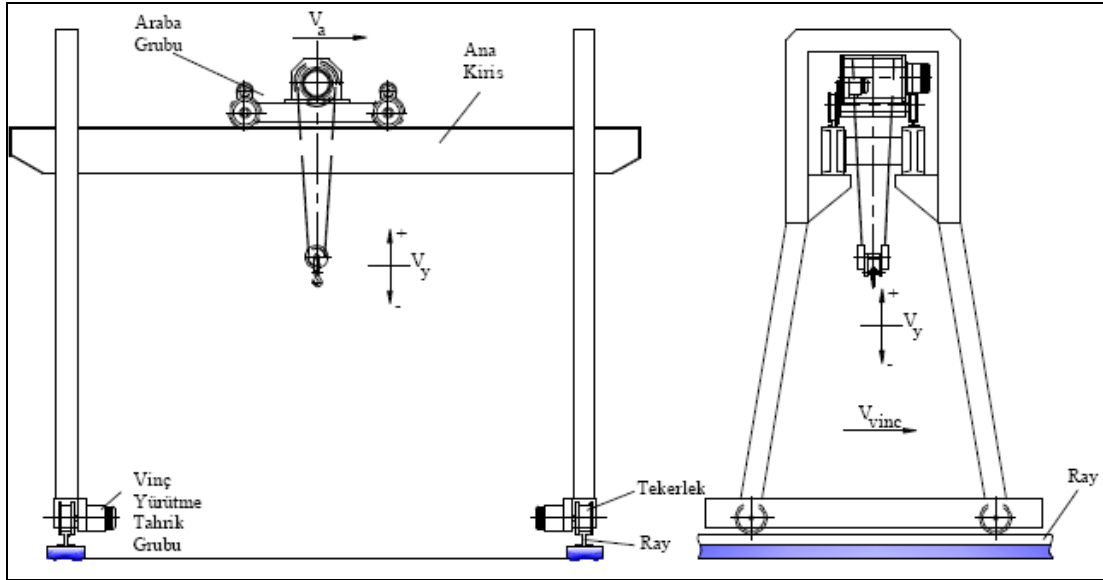


Şekil 3.2 Köprülü kren çeşitleri

### 3.2.2 Portal Krenler

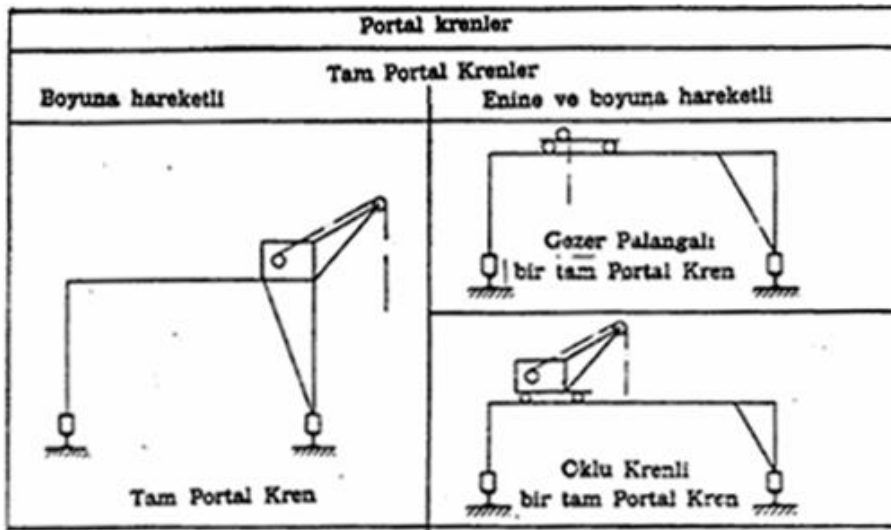
Portal krenler çoğu kez “liman krenleri” veya “sehpalı krenler” olarak da anılır. Limanlarda, tersanelerde ve depolarda ve depolarda geniş çapta kullanma alanları bulurlar. Kafes kiriş sistemi veya levhalı kiriş sistemi kullanılması mümkündür. Genellikle raylar üzerinde hareket ettirilmelerine rağmen, küçük ve orta ağırlıkta

yükler için lastik yürüme elemanlarında kullanılabilir. Bu tip krenlerin son zamanlarda imali ve kullanma alanları büyük gelişmeler göstermiştir. Taşıma kuvveti 800 tona kadar, açıklık ise 120 m'ye kadar yükselebilir (Şekil 3.3).

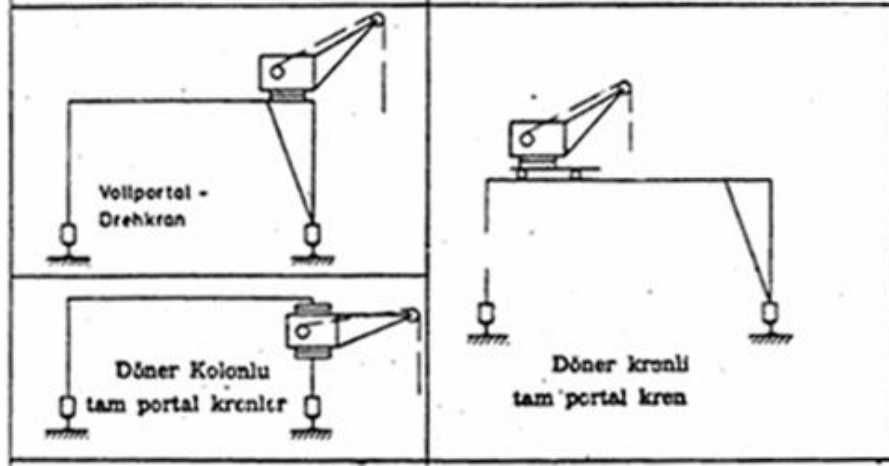


Şekil 3.3 Portal kren şeması

Portal krenler, genellikle açık havada çalıştılarından fırtınaya karşı emniyetinin sağlanması gerekir. Bu amaçla rüzgar basıncı belli bir değeri geçtiğinde kren durur ve rayı kısıkaçlarıyla kavrar. Tahrik kaynağı olarak elektrik motorları veya çok az da olsa içten yanmalı kuvvet makinaları (benzin ve dizel motorları) kullanılır. Şekil 2.4'te portal krenlerin bir kısmı gösterilmiştir.







Şekil 3.4 Portal kren çeşitleri

### 3.2.3 Oklu-Döner Krenler

Oklu krenler, liman ve şantiyelerde önemli görev üstlenen ve çok kullanılan kaldırma makinaları arasındadır. Genellikle ok adı verilen kiriş, uçlarından birisi aracılığı ile düşey bir eksen etrafında dönme hareketi yapar. Kanca bloğu, okun serbest olan öteki ucu tarafından taşınır (Şekil 3.5).

Oklu krenleri sınıflandırırken, kancanın hizmet edebildiği, erişebildiği alanı dikkate alacağız. Bu bakımdan oklu krenleri üç sınıfa ayırıyoruz:

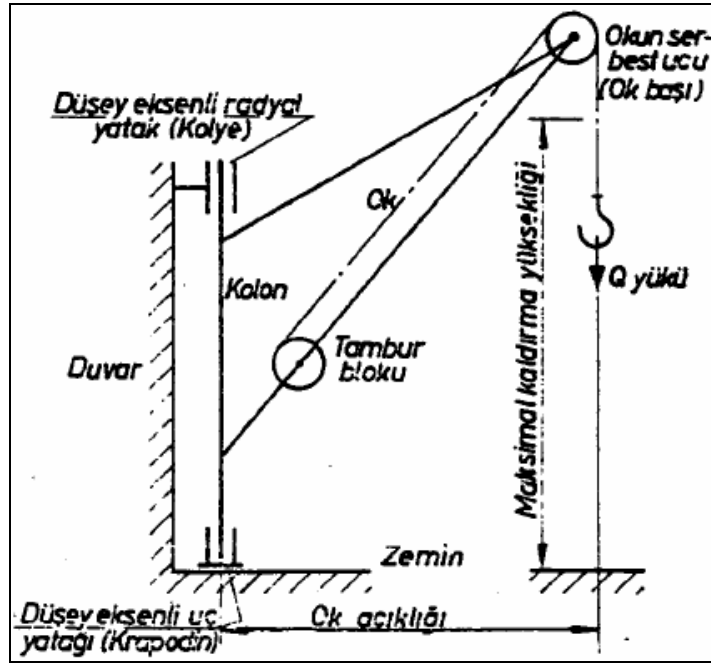
- 1) Sabit aplik krenleri: Bu krenler, ötülye içinde, bir duvara veya bir kolona tespit edilir. Okun serbest ucu, yarıçapı ok açıklığına eşit olan bir yarım daire çizebilir.
- 2) Müstakil sabit krenler: Bu krenler, bir duvar veya bir kolona tespit edilmeden kullanılır. Okun serbest ucu tam bir daire yayı çizebilir.
- 3) Hareketli veya mobil krenler: Bu tip krenler raylar veya yollar üzerinde ya da herhangi bir arazide hareket edebilen kaldırma araçlarıdır.

Karakteristikleri:

- a) Kaldırma kapasitesi veya kabiliyeti
- b) Ok açıklığı
- c) Kaldırma yüksekliği

Krenin sahip olduğu kabiliyetler

- Kaldırma hareketi
- Yöneltme de denilen dönme hareketi
- Mobil krenlerde öteleme veya yürütme hareketi
- Ok açılığının değiştirilmesi hareketi



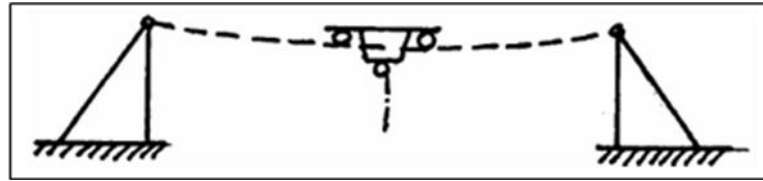
Şekil 3.5 Oklu kren şeması

Oklu Krenler ve Döner Krenler				
	Oklu Krenler	Döner Krenler	Döner Kuleli Krenler	Dayaklı Krenler
Sabit	Oklu sabit kren	Sabit, döner kren	Sabit, döner kuleli kren	Sabit dayaklı kren
(ray üzerinde)	Raylı oklu kren	Raylı döner kren	Raylı döner kuleli kren	Raylı dayaklı kren

Şekil 3.6 Oklu-döner kren uygulamaları

### 3.2.4 Kablolu Krenler

Kablolu krenler, üzerinde arabanın hareket ettiği bir veya daha fazla tel halatlı (taşıma halatlı) krenlerdir. Şantiyelerde ve büyük depolarda çokça kullanılır. Açıklık 1000 m'ye kadar yükselebilir. Halatlar iki devrilebilir (sabit, hareketli veya dönebilir) kule arasına gerilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Oklu-döner kren uygulamaları

Taşıma halatları olarak yarı veya tam kapalı spiral halatlar kullanılır. Arabanın hareketi çekme halatı üzerinde olurken, yük de kaldırma halatına asılır. Araba çoğu kez, içinde tekerleklerin ve halt makaralarının (kaldırma halatı makaraları) yataklandığı bir kafes kiriş sisteminden ibarettir. Tekerlek adedi, tekerlek yükünün halat çekme kuvvetine oranının 1/50 değerini aşmayacak şekilde seçilmelidir (İmrak, Gerdemeli).

## 3.3 Krenlerde Konstrüksiyon ve Ölçülendirme Esasları

### 3.3.1 Kren hesabında sisteme etkiyen yükler

Gezer ve portal krenlerin hesabında DIN 15018'e göre esaslar gözetilir. Taşıyıcı sistemlerin hesaplanmasında, bir krenin işletmesi esnasında meydana gelen zorlamaları göz önünde bulundurulmalıdır. Bu zorlamalar aşağıdaki belirtilen yüklerin sonucunda ortaya çıkar.

- Duruş halindeki krenin taşıyıcı sisteminin (en uygunsuz yükleme halindeki ) esas yükler,
- Düşey hareketten meydana gelen yükler,
- Yatay hareketten meydana gelen yükler,

- Hava şartlarından “iklim etkisi ile” meydana gelen yükler olarak gruplandırabiliriz.

a) Esas (ana) Yükler

Bir krene etkiyen ana yükler taşıyıcı sistem elemanlarının kendi ağırlığından gelen yükler ve işletme yükü (hareketten doğan) yüklerdir. Taşıyıcı sistem elemanlarının “kendi ağırlıklarından” gelen yükler için, (DIN 15018 Tablo-2) de “yürütme hızlarına ve hareket yollarının düzgünsüzlük durumlarına göre” (çubuk kuvvetleri, eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri ile çarpılan) kren yük katsayıları “ $\phi$ ” olarak verilmiştir. Sabit yükün bir kısmı uniform yayılı yük olarak kabul edilirler, diğer kısmı münferit yük olarak tesir eder (E. Erbaş, 2009).

b) Düşey Hareketlerden Gelen Yükler

Bu yükler, işletme yükünün (kaldırılan yükünün) az veya çok sarsıntılı olmasından ve kaldırma hareketinin ivmeli bir hareket oluşundan ortaya çıkan ilave yüklerdir. Bu nedenle (DIN 15018, Tablo-3) de “yük kaldırma hızlarına göre” yük kaldırma katsayıları  $\psi$  olarak verilmiştir. İşletme yükünün “büyütülmesi” için kullanılan bu “ $\psi$ ” katsayısı ile çubuk kuvvetleri, kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri çarpılır. (E. Erbaş,2009)

c) Yatay Hareketlerden Gelen Yükler

Hareket eden kısımların hareketinden veya frenlenmesinden meydana gelen ivmeli hareketlerin (atalet kuvvetlerinin), çeşitli taşıyıcı sistem elemanları üzerine gelen ilave yan yüklerdir.

d) Hava Şartlarından Meydana Gelen Yükler

Hava şartlarından meydana gelen yüklemeler, rüzgar, kar ve sıcaklık değişimleri nedeniyle meydana gelirler. Rüzgarın bütün yönlerden esmesi hallerinde dahi yatay olarak etki yaptığı kabul edilir. Rüzgarın etkisi krenin yapı şekline bağlıdır. Bir

taşıyıcı sistem elemanın üzerine düşen rüzgarın etkisi bir kuvvettir. Bunun rüzgar yönündeki bileşeni:

$$P=c \cdot A \cdot q \quad (3.1)$$

**P** : Rüzgar kuvvetinin bileşkesi (daN)

**c** : Aerodinamik bir katsayısı, (Bu katsayı taşıyıcı sistem elemanların şekline bağlıdır.) c katsayıları : Kafes kirişlerde  $c=1,6$  ; Dolu gövdeli veya kutu kirişlerde  $c= 1,2$  ile  $1,6$  ; Boru kafes kirişlerde ve daire kesitli elemanlarda  $c=0,7$  ile

**A** : Rüzgar yönüne dik düzlemdeki taşıyıcı sistem yüzeylerinin izdüşümü ( $m^2$ )

**Q** : Dinamik basınç ( $daN/m^2$ )  $q=(V_{rüz})^2 / 16$  ( $daN / m^2$ )

**V<sub>rüz</sub>** : (m / s) rüzgar hızıdır.

### 3.3.2 Yükleme Durumu Grupları

Krenlerin hesaplanmasında ilk adım yükleme durumuna göre grubun seçilmesidir. Seçilen yükleme durumu gruplarına göre eğilme gerilmesi hesapları yapılır. Yükleme durumu iki gruba ayrılır. Bunlar da **H** ve **H<sub>z</sub>** yükleme durumlarıdır.

#### a) Yükleme Durumu H

H yükleme durumunda, bütün esas (ana) kuvvetlerin aynı anda en uygunsuz konumda etkilediği kabul edilir. Bu grup yüklemelerde ana kuvvetler:

- Elemanların kendi ağırlıklarından doğan statik yükler. (Statik yük kavramından, şiddetleri ve tatbik noktaları değişmeyen kuvvetler anlaşılır, örneğin köprünün kendi ağırlığı gibi).

- Hareketli yük (dinamik yük) kavramından, işletme (bir makinanın çalışması) sırasında şiddetleri ve / veya tatbik noktalı değişebilen kuvvetler anlaşılır. İşletme sırasında meydana gelen kütle (atalet) kuvvetleri de bu gruba girer.
- Özel hallerde göz önüne alınan sıcaklık değişmelerinden doğan gerilmeler de; yükleme durumu H grubuna girer.

#### b) Yükleme Durumu Hz

Hz yükleme durumunda ise ana kuvvetler ile ilave kuvvetlerin aynı anda en uygunsuz şartlarda etkilediği kabul edilir. Kısacası ( $H_z=H + \text{ilave kuvvetler}$ .)

#### c) İlave Kuvvetler

Krenlerin hesaplanmasında Hz grubunda yer alan bu kuvvetler; rüzgar yükü, durdurma hareketinden doğan fren kuvveti, yatay yanal kuvvetlerdir.

**Rüzgar yükü :** Krendeki rüzgar yükü, bunun toplamı formuna bağlı olarak, yüzeylerinden her birine dikey tesir ettiği kabul olunan basınçların toplamından ibarettir. Rüzgar yükü, rüzgarın hızına, kirişin formuna ve rüzgar etki yüzeyinin büyüklüğüne bağlıdır.

**Fren kuvveti :** Yürüme doğrultusunda ray üstü yüzeyi yüksekliğinde etki eden en büyük fren kuvveti, sürtünme katsayısı  $\mu= 1/7$  alındığında, frenlenen bütün tekerlekleri yükün  $1/7$ 'sine eşit alınmalıdır.

**Yatay yan kuvvetler :** Köprülerde, iki köprü yolunda her birinden, hareket doğrultusuna dikey olarak etki eden yatay diğer bir kuvvet vardır. Bu yatay kuvvetin şiddeti, yüklü arabanın en uygunsuz durumundan, köprü yolu tarafında hasıl olan tekerlek yüklerinin  $1/10$  oranına eşit alınmalıdır. Bu yatay yan kuvvete, araba hareketindeki fren kuvvetleri dahildir.

### 3.3.3 Genel Emniyet Gerilme Değerleri

DIN 15018 de yükleme durumları (H ve Hz) gruplarına göre genel emniyet gerilme değerleri verilmiştir. Aşağıdaki tabloda çok kullanılan St 37 ve St 52-3 malzemelerinin gerilme emniyet değerleri gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Genel emniyet gerilme değerleri (İ. Gerdemeli Transport Tekniğinde İleri Konular)

Malzeme	DIN	Yükleme Durumu	Çekme emniyet gerilmesi $\sigma_{em}$ N/mm <sup>2</sup>	Basma emniyet gerilmesi $\sigma_{em}$ N/mm <sup>2</sup>	Kayma emniyet gerilmesi $\tau_{em}$ N/mm <sup>2</sup>
St 37	DIN 17100	H	160	140	92
St 37	DIN 17100	Hz	180	160	104
St 52-3	DIN 17100	H	240	210	138
St 52-3	DIN 17100	Hz	270	240	156

### 3.3.4 Taşıyıcı Elemanların Yük Durumuna Göre Eğilme Gerilmeleri

Eğilme gerilmesi, H yük durumuna:

$$\sigma_H = \frac{\varphi \cdot M_T + \psi \cdot M_K}{W_Z} + \frac{M_{AT}}{W_Y} \quad (3.2)$$

Eğilme gerilmesi, Hz yük durumuna göre;

$$\sigma_{Hz} = \sigma_H + \frac{M_R + M_Y}{W_Y} \quad (3.3)$$

dir. Bu denklemden de görüldüğü gibi Hz yük durumunda eğilme gerilmeleri;

$\sigma_{Hz} = \sigma_H +$  (rüzgar ve yan ilave yüklerden gelen eğilme gerilmelerin toplamıdır.)

$M_R$  rüzgar kuvvetlerinden ve  $M_Y$  yan ilave yüklerinden gelen eğilme momentleridir.

### 3.3.5 Kren Hesabındaki Katsayılar

#### a) Kren Yük Katsayısı $\phi$

Krenlerin taşıyıcı elemanlarının yürüme yolları üzerinde hareketleri sırasında, seyir hızlarına (m/dak.) ve hareket yollarının pürüzlük durumlarına göre; kendi ağırlıkları sebebiyle ortaya çıkan kuvvet ve momentlerin zati ağırlık katsayısı “ $\phi$ ” ile çarpılması gerekir (Tablo-3.2.)

Tablo 3.2 Kren yük katsayısı “ $\phi$ ”(İ. Gerdemeli Transport Tekniğinde İleri Konular)

Hareket hızı v [m/dak]		Zati ağırlık katsayısı $\phi$
Hareket yolları rayları		
Düzgün veya pürüzlü	olmayan Düzgün kaynaklı(işlenmiş) veya	
60 a kadar	90 a kadar	1.1
61–200	91-300	1.2
200 den fazla	–	$\geq 1.2$

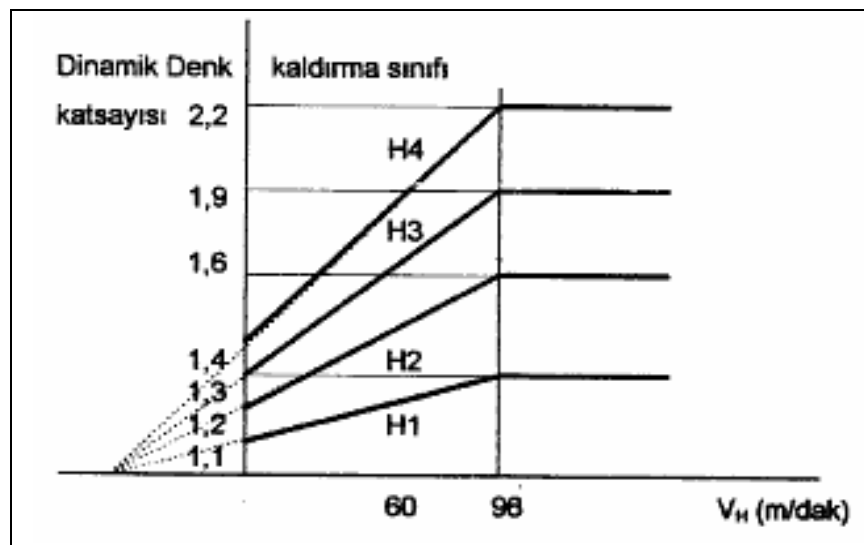
#### b) Kaldırma Yüğü Katsayısı $\psi$

Bu yükler, yukarıda açıklandığı gibi, işletme yükünün (kaldırılan yükünün ) az veya çok sarsıntılı olmasından ve kaldırma hareketinin ivmeli bir hareket oluşundan ortaya çıkan ilave yüklerdir. Bu nedenle DIN 15018’den Tablo-3.3. de “yük kaldırma hızlarına ( $V_k$ ) ve kaldırma sınıfları (H1, H2, H3 ve H4) göre” yük kaldırma katsayıları  $\psi$  olarak verilmiştir (Şekil-3.8.). İşletme yükünün “büyütülmesi” için kullanılan bu “ $\psi$ ” katsayı ile çubuk kuvvetleri, kesme kuvvetleri veya eğilme momentleri çarpılır.



Tablo 3.3 Yük kaldırma katsayısı “ $\psi$ ” (İ. Gerdemeli Transport Tekniğinde İleri Konular)

Kaldırma Sınıfı	Kaldırma hızları $V_k$ [m/dak]	
	90 m/dak kadar	90 m/dak üstü
H1	$1.1+0.0022 V_k$	1.3
H2	$1.2+0.0044 V_k$	1.6
H3	$1.3+0.0066 V_k$	1.9
H4	$1.4+0.0088 V_k$	2.2



Şekil 3.8 Kaldırma yük katsayıları [DIN 15018 kısım1]

Yük kaldırma katsayısı seçiminde bahsi geçen kaldırma sınıfları, relatif çalışma süresi, yükleme durumu ve tekrarına göre 4 grupta Tablo-3.4.'de verilmiştir.

Tablo 3.4 Krenlerin gruplandırılması ve kaldırma sınıfları (İ. Gerdemeli Transport Tekniğinde İleri Konular)

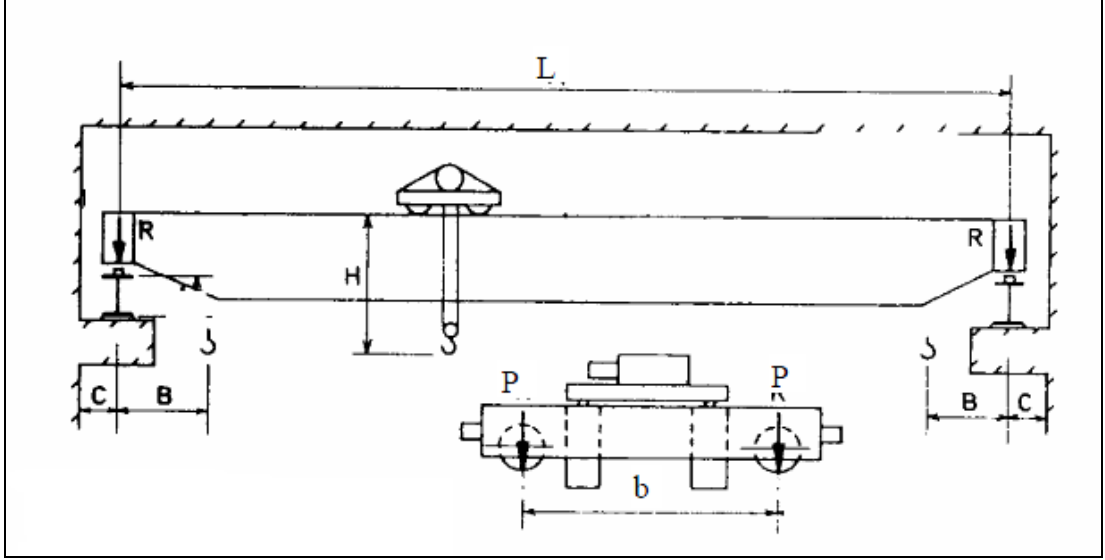
Gruplar	Relatif işletme süresi	Relatif yük	Yük tekrarı
1	Küçük	Küçük	Normal
2	Büyük	Küçük	Normal
	Küçük	Büyük	Normal
	Küçük	Küçük	Kuvvetli
3	Büyük	Küçük	Normal
	Büyük	Büyük	Kuvvetli
	Küçük	Küçük	Kuvvetli
4	Büyük	Büyük	Kuvvetli

Yaygın olarak kullanılan bazı krenlerin Tablo-3.4. de verilen grup numarasına göre kaldırma sınıfları aşağıda Tablo-3.5.'de verilmiştir.

Tablo 3.5 Çeşitli krenler ve kaldırma sınıfları (İ. Gerdemeli Transport Tekniğinde İleri Konular)

No	Kren çeşiti	Kaldırma Sınıfı
1	Küçük motorlu kaldırma makinaları ve el krenleri	H1
2	Elektrik santral krenleri	H1 ve H2
3	Lokomotif kaldırma krenleri	H2
4	Hafif yük kaldıran atölye ve ambar krenleri	H2 ve H3
5	Ağır yük kaldıran atölye ve ambar krenleri	H2
6	Montaj krenleri	H1 ve H3
7	Dökümhane krenleri	H2 ve H3
8	Perçinli krenler	H2 ve H3
9	Tersane krenleri	H2
10	Ağır yük krenleri	H1 ve H2
11	Döner krenler, taklı krenler, yüzer krenler - kancalı	H2
12	Döner krenler, taklı krenler, yüzer krenler - kepçeli	H2 ve H3
13	Yükleme köprüleri, kablo krenler - kancalı	H2
14	Yükleme köprüleri, kablo krenler - kepçeli	H2 ve H3
15	Kiper (külbüter, basküler) köprüleri	H3
16	Yer üstü ve yer altı yapım işlerindeki kuleli krenler	H1 ve H2
Maden istihaf tesisatında kullanılan özel krenler		
17	Hafif krenler, montaj krenleri, vals değiştirme krenleri	H1 ve H3
18	Doldurma makinaları	H3 ve H4
19	Çelik profil taşıma krenleri (kıskaçlı)	H2 ve H4
20	Kokil ve blok krenleri	H2 ve H3
21	Karıştırıcılar ve döküm krenleri	H3
22	Yer altı fırın krenleri	H3 ve H4
23	Stipper krenleri	H4
24	Şahmerdan krenleri	H2 ve H4

### 3.3 Kutu Kiriş Hesapları



Şekil 3.9 (İ. Gerdemeli Transport Tekniğinde İleri Konular)

- $Q$  : Kaldırma yükü  
 $L$  : Kiriş uzunluğu  
 $P$  : Teker yükü  
 $q$  : Yaylı yük  
 $b$  : Tekerler arası mesafe  
 $G_1$  : Köprünün zati ağırlığı  
 $G_0$  : Araba ağırlığı

$$G_1 = q_1 \cdot L \quad (3.4)$$

$$P = \frac{Q + G_0}{4} \quad (3.5)$$

### 3.3.1 Kiriş Momentleri Ve Gerilmeleri

#### 3.3.1.1 Ana Kuvvetlerden Meydana Gelen

Kendi ağırlığından  $: M_g = \frac{q \cdot L^2}{8}$  (3.6)

Teker yükünden  $: M_p = P \frac{L-b}{2}$  (3.7)

Dikey ana kuvvetlerden 2 moment meydana gelir. Toplam maksimum moment, yük kaldırma katsayısı  $\psi$  ile kren yük katsayısı  $\phi$  göz önünde bulundurulmalıdır.

$$M_{x \max} = \phi \cdot M_g + \psi \cdot M_p \quad (3.8)$$

Bu momentten ortaya çıkan maksimum gerilme değeri aşağıdaki gibidir.

$$\sigma_{x \max} = \frac{M_{x \max}}{W_{\max}} \quad (3.9)$$

#### 3.3.1.2 Yan Kuvvetlerden Meydana Gelen

P tekerlek yükü ve  $G_1$  ağırlığından meydana gelen yan atalet kuvvetleri, DIN 15018'e göre ağırlıkların 1/14'ü civarındadır.

$$M_g = \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot 14} \quad (3.10)$$

$$M_p = P \frac{L-b}{2 \cdot 14} \quad (3.11)$$

Aynı zamanda rüzgar kuvvetinden;

$$M_R = \frac{A_{rüz} \cdot W \cdot L}{8} \quad (3.12)$$

$A_{rüz}$  : Rüzgar etki alanı

$W$  : Rüzgar basıncı

Toplam maksimum yatay moment,

$$M_{y \max} = M_g^* + M_P^* + M_R \quad (3.13)$$

Gerilme;

$$\sigma_{y \max} = \frac{M_{y \max}}{W_{\max}} \quad (3.14)$$

Toplam gerilme de aşağıdaki gibi olmalıdır

$$\sigma_1 = \sigma_{x \max} + \sigma_{y \max} < \sigma_{em} \quad (3.15)$$

Portal krenlerde, sadece zati ağırlıkta meydana gelen  $M_g$  momentinin değeri değiştirilir.

$$M_g = \frac{g \cdot L}{8} \left[ 1 - \frac{4 \cdot \left( \frac{L}{4} \right)^2}{L^2} \right] \quad (3.16)$$

### 3.3.2 Sehim Hesabı

$$f_{em} > f_q + f_y \quad (3.17)$$

$$f_{em} = \frac{L}{1000} \quad [\text{mm}] \quad (3.18)$$

$f_q$  : Zati ağırlığın oluşturduğu sehim

$f_y$  : Yükün oluşturduğu sehim

$$f_q = \frac{5 \cdot G_T \cdot L^3}{384 \cdot E \cdot I_x} \quad (3.19)$$

$$f_y = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_x} \quad (3.20)$$

$$G_T : G_T + G_0 = 1.13 \cdot g \cdot L \quad (3.21)$$

E : Elastikiyet modülü

$$\frac{5 \cdot G_T \cdot L^3}{384 \cdot E \cdot I_x} + \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_x} - \frac{L}{1000} \leq 0 \quad (3.22)$$

bulunan sehim değeri bu eşitliği sağlamalıdır. Portal krenlerde sehim değeri  $f_q$  aşağıdaki şekilde alınır.

$$f_q = \frac{G_T \cdot L^3}{16 \cdot E \cdot I_x \cdot L^2} \left( \frac{5}{24} - \frac{\left(\frac{L}{4}\right)^2}{L^2} \right) \quad (3.23)$$

## BÖLÜM DÖRT

### FARKLI BİRLEŞTİRİLMİŞ CTP TAŞIYICI KİRİŞLERİN TASARIM, İMALAT VE MONTAJI

#### 4.1 CTP Profillerin Tasarımı

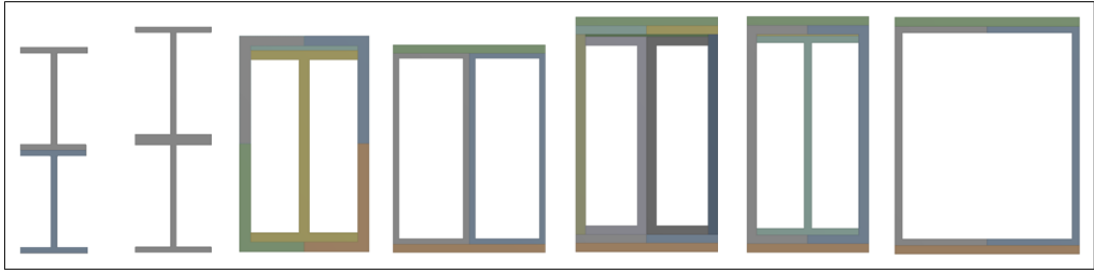
Çalışmada asıl incelenecek olan kısım olan taşıyıcı kirişlerin tasarım aşaması ilk olarak, kirişlerin imal edileceği kompozit malzemelerin araştırılmasıyla başlamıştır. Sanayide bu tip köprülü krenlerde genellikle metal ağırlıklı taşıyıcı kirişler kullanılmaktadır. Ancak çalışmada bu tip konstrüksiyonlar için farklı malzeme kullanımının getireceği bir takım faydalar düşünülmüştür. Kirişlerin, emniyet ve dayanım gerektiren bir noktada buldukları göz önünde bulundurularak CTP tipi kompozit malzemelerde karar kılınmıştır. Bu malzeme tipinin mekanik özelliklerinin iyi olmasının yanında kolay işlenebilir olması, hafifliği, titreşim açısından sağlıklı olması da seçim açısından ayrıca önemli kriterler olarak belirlenmiştir.

Pultruzyon yöntemiyle üretilmiş CTP profiller, makul mukamevet değerleri, korozyon dayanımları yüksek, işlenebilirliği kolay, maliyetleri düşük malzemelerdir. Bütün bu özellikleri sebebiyle inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan malzemelerdir.

Çalışmada kullanılacak olan kirişlerin farklı birleştirilmiş olarak adlandırılması, tasarım anlamında esneklik sağlarken, standart dışı profil kullanımı gerektirdiğinden bir çok farklı denemenin yapılmasını ve imalatçı ile ortak paydada buluşulacak bir tasarım elde edilmesini gerektirmiştir. Tasarımların deneme aşamasında montaj kolaylığı, imalat mevcudiyeti, maksimum statik dayanımları gibi kriterler göz önünde bulundurulmuş ve bu anlamda CTP profil imalatı yapan firmalar ile görüşülerek fikir alışverişinde bulunulmuştur.

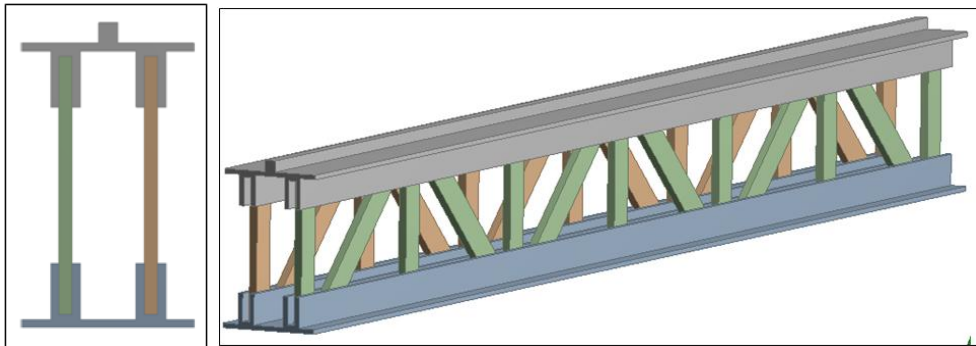
Değişik tasarımların mukavemet açısından kontrolleri yapılırken, krenlerde kullanılan kirişler için tavsiye edilen sehim değeri  $L/1000$  olarak referans alınmıştır. Bu çalışmada sehim değeri  $L/1000$  olarak kabul edilmiştir.

Aşağıda tasarım açısından denenmiş olan bazı farklı birleştirilmiş CTP profiller gösterilmektedir.



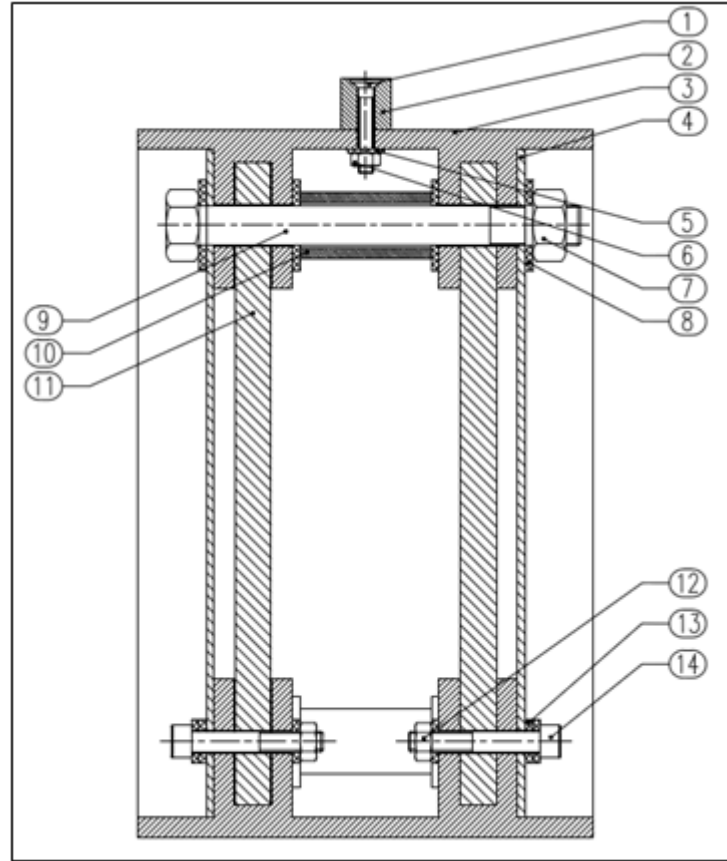
Şekil 4.1 Farklı profil tiplerinin birleştirilmesiyle oluşan profiller

Ön çalışma olarak elde edilmiş olan tasarımlardan, mukavemet açısından uygun görülenlerin, üretici firmayla yapılan görüşmeler sonucu imalatının mümkün olup olmadığı araştırılmıştır. Son olarak taşıyıcı kiriş olarak “Double T” isimli tasarımda karar kılınmıştır. Alt ve üst profil arasına double T profillerle aynı malzemeden imal edilmiş olan lamalar yerleştirilmiştir. Bu lamaların yerleştirilme şekline, açlarına, her birisi için yapılan statik analizler ve mukavemet kriterleri göz önünde bulundurularak karar verilmiştir ve çalışmada kullanılacak olan nihai tasarım elde edilmiştir (Şekil-4.2).



Şekil 4.2 “Double T” farklı birleştirilmiş taşıyıcı kiriş profili





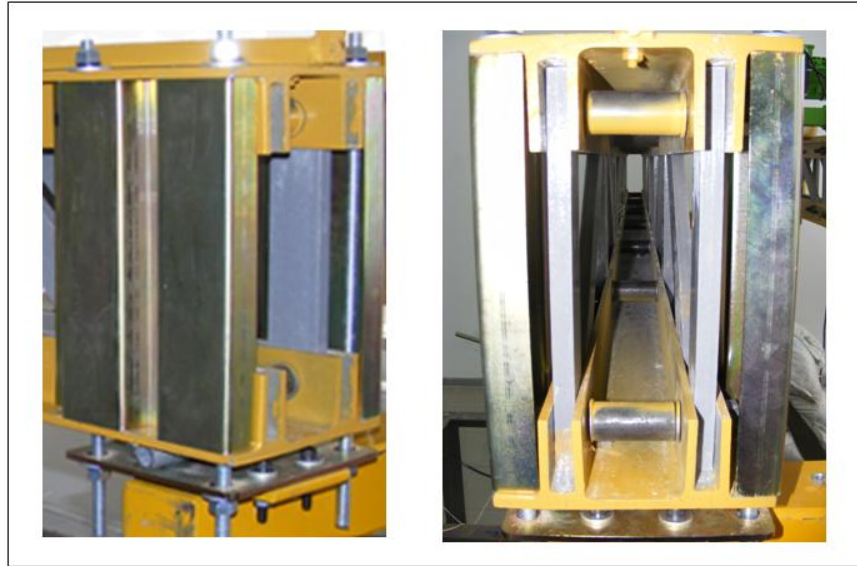
14	16	M8 Imbus Civata	DIN912	—	—	—	—
13	48	M8 Rondela	MD6	—	—	—	—
12	8	M8 Somun	KM6	—	—	—	—
11	4	Kompozit Ara Lama		—	2500x254x14	—	—
10	14	Ara Baglanti Parçasi		ST37	∅26x∅18x52	—	—
9	14	M16 Altıköşe Anahtar Ağizli Civata	DIN931	—	—	—	—
8	56	M16 Rondela	MD6	—	—	—	—
7	28	M16 Somun	KM6	—	—	—	—
6	6	M6 Somun	KM6	—	—	—	—
5	5	M6 Rondela	MD6	—	—	—	—
4	4	Yan Baglanti Saçlari		ST37	2500	—	—
3	4	Double T Kompozit Profil		—	2500	—	—
2	2	Ray		ST37	2500x20x20	7.85KG	—
1	5	M6 Havsö Basli Civata	DIN7991	—	—	—	—
Parça No	Adet	İsim	STD No	Malzeme Cinsi	Kesim Ebadı(mm)	Ağırlık	Açıklama

Şekil 4.3 “Double T” farklı birleştirilmiş profil montaj kesit resmi

“Double T” kutu profil oluşturulmasında araya yerleştirilecek olan lama malzeme için, uygun ebatlarda pultrüzyon yolu ile üretilmiş, profiller ile aynı mekanik özelliklere sahip lamalar yerleştirilmiştir.

#### 4.1.1 CTP Kutu Profillerin Modellenmesi

“Double T” ve lamaların bağlantısında, ana kirişin taşıyabileceği yük değerlerini arttırmak amacıyla civata somun bağlantısı kullanılmıştır. Her iki kanat arasına civatanın geçebileceği şekilde boru malzeme yerleştirilmiş, borunun, civatanın ve somunun CTP profille temas ettiği alanlara büyük çaplı rondelalar yerleştirilmiştir. Bu sayede profilin montaj esnasında civatanın aşırı sıkılmasıyla deforme olması engellenmiş, kullanılan rondelalar vasıtasıyla civatanın sıkma kuvvetinden doğan basıncın daha geniş bir yüzeye yayılması sağlanmıştır. Ayrıca civataların gevşemesini engellemek amacıyla somunların ön kısmında yaylı rondelalar kullanılmıştır (Şekil-4.4).



Şekil 4.4 “Double T” montaj ayrıntıları

“Double T” ve lamalarla birleştirilen profillerin daha önceden imalatı yapılan sehpa üzerine yerleştirilebilmesi için uygun eksende delikler delinmiştir. Profillerin sehpa üzerine montaj yapılacak olan kısmına aşırı sıkılmadan kaynaklanan deformasyonu önlemek amacı ile özel olarak şekil verilmiş sac parçalar montaj edilmiştir. Bu sayede profillerin sehpa üzerine montajı esnasında civata somun bağlantısının aşırı sıkılmasıyla oluşabilecek, çatlak kırık vs. gibi hasarların önüne geçilmiştir. Şekil 4.5’te profillerin sehpa üzerine montajı gösterilmiştir.



Şekil 4.5 “Double T” kutu profillerin sehpa üzerine montajı

#### ***4.1.2 CTP Kutu Profillerin İmalat ve Montajı***

Modelleme işlemi tamamlanan CTP kutu profillerin imalatı için teknik resimleri AUTOCAD 2008 programı kullanılarak hazırlanmıştır.

Hazırlanan imalat resimlerine göre profillerin boyları kesilmiştir. Daha sonra profiller istenilen şekilde montaj edilerek mengeneler yardımıyla birbirine bağlanmıştır. Bu aşamada “Double T” profil ile lamaların bağlantısını sağlayacak olan civata delikleri bohrwerk tezgahında delinmiştir. Lama parçaları için de aynı şekilde boyları montaja uygun bir şekilde kesilmiştir. Kesilmiş olan lamaların dik konumlandırılacak olanlarının civata bağlantıları için matkap yardımıyla delikleri delinmiştir. Yine aynı şekilde profilin sehpa üzerine bağlanacağı delikler bohrwerk tezgahında aynı anda delinmiştir.

Montaj işlemine, arabanın hareket edeceği raylar “Double T” kompozit üzerine yerleştirilerek başlanmıştır. Daha sonra lamalar daha önceden karar verildiği şekilde “Double T” profiller arasına yerleştirilmiştir. Civatalar, bohrwerk tezgahında delinen deliklerden geçirilerek, araya boru malzeme yerleştirilip, civatalar ilerletilerek lamalar iki tarafa bağlanmıştır. Civata ve somunların önlerine kompozitin zarar görmesini engellemek amacı ile büyük çaplı rondelalar yerleştirilmiştir.

## **4.2 Araba Tasarımı ve İmalatı**

Deneysel çalışmalarda kullanılması amaçlanan krenin tipi, CTP malzemedan imal edilerek konstrüksiyonda ana giriş olarak kullanılacak profillerin tüm kesit alanında oluşacak gerilme dağılımı ve dolayısı ile yüksek taşıma kapasitesi amaçlanarak çift giriş gezer köprülü krenler için tasarlanacak kaldırma makinası tipine karar verilmiştir. Tasarım yapılırken kaldırma makinasının oturtulacağı araba çerçevesinin boyutlarının laboratuvar içerisinde kullanım ve montajına izin verecek ölçülerde olması hedeflenerek mümkün olan minimum ölçülerde tutulmuş ayrıca kaldırma makinasının 500 kg kaldırma kapasitesinde olması uygun görülerek araba tekerlek açıklığı 700 mm olarak belirlenmiştir (C. Kara, 2008 s.94).

Arabanın tasarımına öncelikle makina parçalarının 500 kg kaldırma kapasitesi için uygun boyutların belirlenmesi ile başlanmıştır. Parçalar için uygun boyutların hesaplanmasında kaldırma makinaları için DIN standartlarıncı verilen hesaplar esas tutulmuştur (C. Kara, 2008 s.94).

### **4.2.1 Araba Teknik Değerleri**

İmalatı yapılacak kaldırma makinası orta büyüklükteki yük kolektifinde çalışması düşünülerek DIN1501’e göre 2m çalışma sınıfında yer alacağı belirlenmiştir.

Tablo 4.1 Tel halat çapının belirlenmesi için kullanılan veriler(C. Kara, 2008 s.94).

Mekanizma sınıfı	...	2m
Kaldırma yükü( $m_L$ )	kg	500
Araba ağırlığı ( $m_K$ )	kg	250

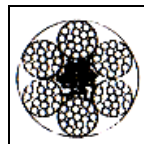
#### 4.2.2 Tel Halat Mukavemet Hesabı

Tel halat çapının tespiti için hazırlanan programdan alınan değerler Tablo 4.2' de verilmiştir.

Tablo 4.2 Tel halat çapının belirlenmesi için kullanılan veriler(C. Kara, 2008 s.95).

Halat donanımı	...	2/1
Halat sayısı (Z)	...	2
Halat çevrimi	...	1
Halat sistemi verimi ( $\mu$ )	...	0.98
c katsayısı (DIN15020)	...	0.095
Halat toplam yükü ( $F_H$ )	N	5003,1
Halat çekme yükü ( $F_S$ )	N	2779.5
Halat tipi	...	6x19Std.Ç.Ö.
Hesaplanan halat çapı(d)(DIN3060)	mm	6
Halat kopma kuvveti( $F_{kopma}$ )(DIN3060)	N	19600
Min emniyet katsayısı( $S_{min}$ )(DIN15020)	...	4,5
Emniyet katsayısı(S)	...	7,05
$S_{min} \leq S$ ise EMNİYETLİDİR	EMNİYETLİ	

Sistemde kullanılmak üzere DIN3060'da verilen Std. 6x19 çelik özlü 6 mm çapında çelik halat seçilmiştir. Kaldırma makinası için uygun görülen standart tip çelik özlü halat kesiti Şekil 4.11' de görülmektedir (C. Kara, 2008 s.95).



Şekil 4.6 DIN3060'a göre 6x19 Std.çelik halat kesiti

### 4.2.3 Tel Halat Tambur Mukavemet Hesabı

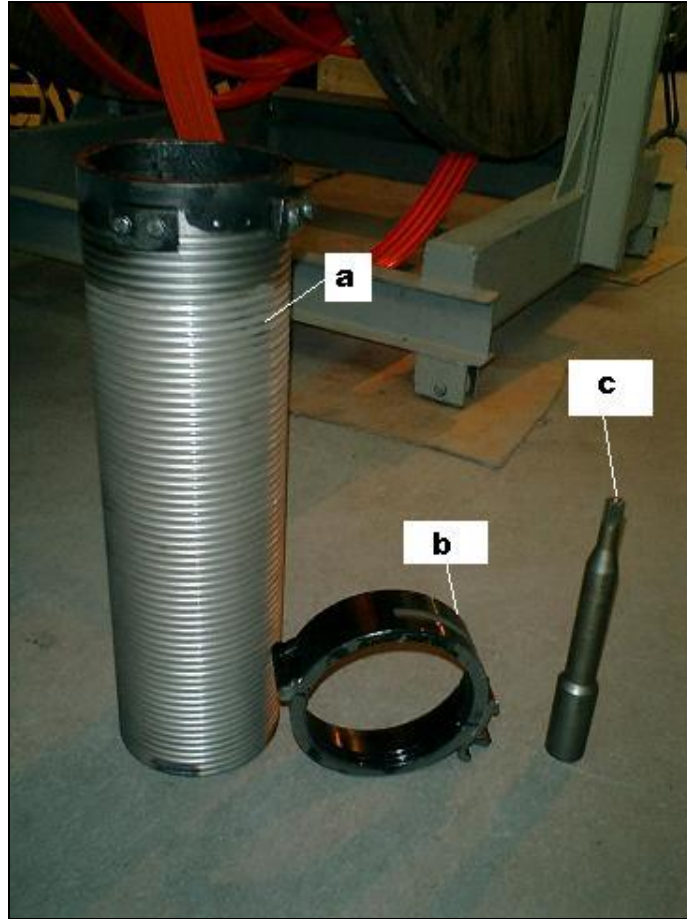
Tel halat tanburu için yapılan mukavemet hesapları ile elde edilen veriler Tablo 4.3’ de verilmiştir. Hesaplanan ölçülere göre imalatı yapılacak tanbur için montaj ve imalat resimleri hazırlanmıştır. Tanbur imalat aşamaları Şekil 4.12, Şekil 4.13’ de verilmiştir (C. Kara, 2008 s.96).

Tablo 4.3 Tel halat tanburu mukavemet hesabı için kullanılan veriler(C. Kara, 2008 s.96).

Çap faktörü( $h_1$ )(DIN 15020)		18
Çap faktörü( $h_2$ )(DIN 15020)		1
Halat çapı (d)	mm	6
Min. Tambur çapı( $D_{min}$ )	mm	108
Seçilen tambur çapı ( $D_t$ )	mm	140
$D_{min} \leq D$ ise EMNİYETLİDİR.		EMNİYETLİ
Tambur Boyu(L)	mm	320
Et kalınlığı(t)	mm	8
Yiv hatvesi(s)	mm	7
Yiv Dibi Çapı( $D_d$ )	mm	134
Tambur iç çapı ( $D_i$ )	mm	96
Ortalama tambur çapı ( $D_o$ )	mm	137
Halat Çekme Kuvveti ( $H_{smax}$ )	N	2779,5
Burulma Momenti( $M_t$ )	Nmm	194565
Eğilme momenti( $M_e$ )	Nmm	214021,5
Burulma Gerilmesi ( $\tau_t$ )	N/mm <sup>2</sup>	1,316177
Eğilme Gerilmesi ( $\sigma_b$ )	N/mm <sup>2</sup>	2,895681
Bileşik Gerilme ( $\sigma_{Bil}$ )	N/mm <sup>2</sup>	3,6853
Tam sarılmamış halde bası gerilmesi ( $\sigma_{dA}$ )	N/mm <sup>2</sup>	56,2518
Tam sarılmamış halde eğilme gerilmesi ( $\sigma_{bA}$ )	N/mm <sup>2</sup>	15,3443
Bası Emniyet Gerilmesi ( $\sigma_{dem}$ )	N/mm <sup>2</sup>	100
Eğilme Emniyet Gerilmesi ( $\sigma_{bAem}$ )	N/mm <sup>2</sup>	50
$\sigma_{dA} \leq \sigma_{dem}$ ise EMNİYETLİDİR		EMNİYETLİ
$\sigma_{bA} \leq \sigma_{bAem}$ ise EMNİYETLİDİR		EMNİYETLİ



Şekil 4.7 Tanbur gövdelerinin imalat öncesi kılavuzları açılmış (C. Kara, 2008 s.97).



Şekil 4.8 AISI1040 çeliğinden imalatı yapılan tanbur (a), halat kılavuzu (b) ve tahrik mili (c) (C. Kara, 2008 s.97).

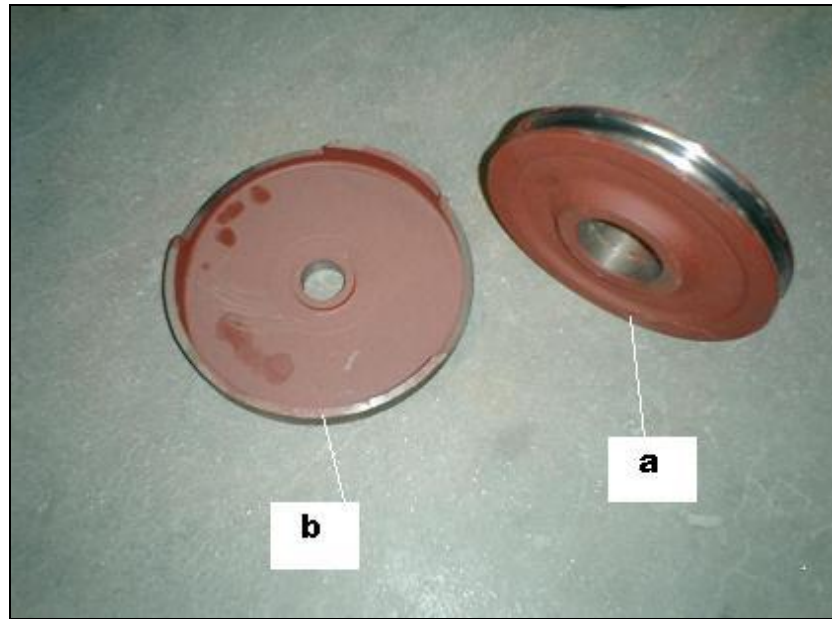


#### 4.2.4 Tel Halat Makarası Mukavemet Hesabı

Tel halat makarası (Şekil 4.14) için yapılan mukavemet hesapları ile elde edilen veriler Tablo 4.4’ de verilmiştir. Hesaplanan ölçülere göre imalatı yapılacak tel halat makarası için imalat resimleri hazırlanmıştır (C. Kara, 2008 s.98).

Tablo 4.4 Tel halat makarası mukavemet hesabı için kullanılan veriler(C. Kara, 2008 s.98).

Çap faktörü (h1) (DIN15020)	...	20
Çap faktörü (h2) (DIN15020)	...	1
Halat çapı (d)	mm	6
Min. Makara çapı (Dmin)	mm	120
Seçilen Makara çapı (Dk)	mm	136
$D_{min} \leq D$ ise EMNİYETLİDİR	EMNİYETLİ	



Şekil 4.9 Kaldırma makinası için imal edilen tel halat makarası (a) ve Makara bloğu kapağı (b) (C. Kara, 2008 s.98).

#### 4.2.5 Denge Makarası Mukavemet Hesabı

Denge makarası için yapılan mukavemet hesapları ile elde edilen veriler Tablo 4.5’de verilmiştir (C. Kara, 2008 s.99).



Tablo 4.5 Tel halat makarası mukavemet hesabı için kullanılan veriler(C. Kara, 2008 s.99).

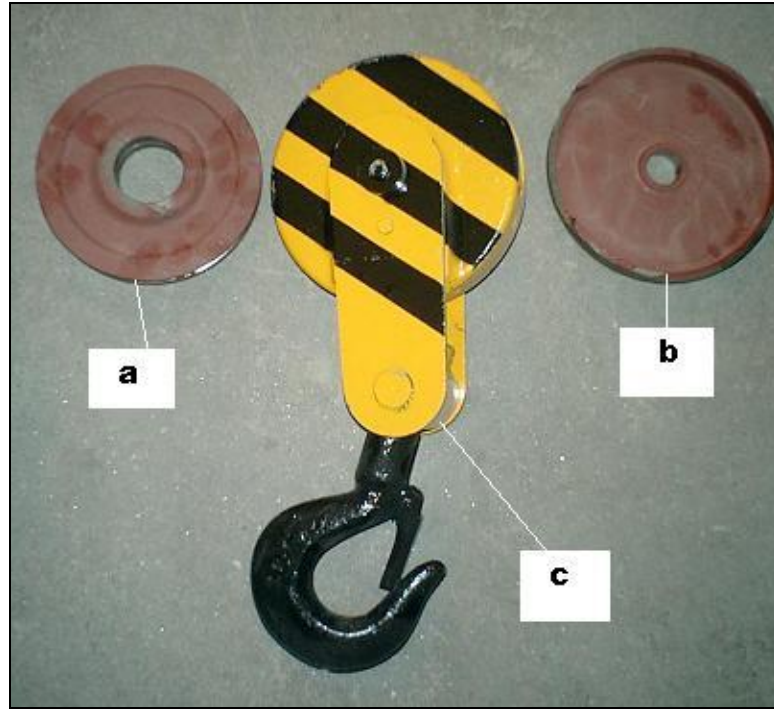
Çap faktörü ( $h_1$ ) (DIN15020)		14
Çap faktörü ( $h_2$ ) (DIN15020)		1
Halat çapı (d)	mm	6
Min. Makara çapı ( $D_{min}$ )	mm	84
Seçilen Makara çapı ( $D_m$ )	mm	135
$D_{min} \leq D$ ise EMNİYETLİDİR	EMNİYETLİ	

#### 4.2.6 Kanca Seçimi

Kanca seçimi için yapılan mukavemet hesapları ile elde edilen veriler Tablo 4.6' da verilmiştir (C. Kara, 2008 s.99).

Tablo 4.6 DIN15401'e göre tek ağızlı kanca seçimi için kullanılan veriler(C. Kara, 2008 s.99).

Kanca malzemesi mukavemet sınıfı (DIN15400)	...	P
Standart kanca yükü	kg	500
Uygun en küçük standart kanca no (DIN15401)	DIN15400	Nr.6



Şekil 4.10 Kaldırma makinası için imal edilen tel halat makarası (a) ve Kapağı (b) ile Nr.6 tek ağızlı kanca bloğu konstrüksiyonu (c) (C. Kara, 2008 s.99).

#### 4.2.7 Kaldırma Motoru ve Fren Momenti Hesabı

Kaldırma motoru için yapılan güç hesapları ile elde edilen veriler Tablo 4.7' de verilmiştir.

Tablo 4.7 Kaldırma motoru güç hesapları için kullanılan veriler(C. Kara, 2008 s.100).

Tanbur verimi ( $\eta_t$ )	...	0,98
Tanbur burulma momenti ( $M_t$ )	Nmm	194565
Tanbur döndürme momenti ( $M_d$ )	Nmm	198535,7
Yük kaldırma hızı ( $V_H$ )	m/d	5,1
Halat hızı ( $V_S$ )	m/d	10,2
Tanbur devir sayısı ( $n_T$ )	d/d	23,19
Tanbur açılma hızı ( $w_T$ )	r/sn	2,4285
Halat sistemi verimi ( $\eta_s$ )	...	0,98
Halat sayısı ( $i_s$ )	...	2
İvmesiz tam yük momenti; ( $M_T$ )	Nmm	182328,7
İvmelenme zamanı ( $t_A$ )	s	3
İvmelendirme momenti ( $M_A$ )	Nmm	5165,98
Gerekli toplam moment ( $\Sigma M$ )	Nmm	187494,7
Gerekli motor gücü ( $P_k$ )	KW	0,4553
Seçilen motor gücü ( $P_{ks}$ )	KW	0,55
$P_k < P_{ks}$ ise UYGUNDUR	...	UYGUN

Kaldırma sistemi fren momenti için yapılan hesaplar ile elde edilen veriler Tablo 4.8'de verilmiştir. Fren sistemi tanbur mili üzerine montajı yapılmaktadır. Fren sistemini meydana getiren fren diskleri ve gövdesi Şekil 4.9'de, fren sistemi montajı yapılmış hali ise Şekil 4.12' de gösterilmiştir (C. Kara, 2008 s.100).

Tablo 4.8 Kaldırma sistemi fren moment hesapları için kullanılan veriler(C. Kara, 2008 s.100).

Fren miktarı ( $Z_f$ )	Adet	1
Servis faktörü ( $K_f$ )	...	2,5
Motor devri ( $n_1$ )	d/dk	1450
Motor momenti ( $M_m$ )	Nmm	187494,7
Gerekli fren momenti ( $M_f$ )	Nmm	468736,75
Seçilen fren momenti ( $M_{fs}$ )	Nmm	500000,00
$M_{fs} < M_f$ ise UYGUNDUR		UYGUN



Şekil 4.11 Fren sistemini meydana getiren fren diskleri ve gövdesi(C. Kara, 2008 s.101).



Şekil 4.12 Fren sistemi montajı yapılmış hali(C. Kara, 2008 s.101).

#### ***4.2.8 Araba Yürütme Sistemi Tekerlek Çapı Hesabı***

Araba tekerlekleri (Şekil 4.18) için yapılan mukavemet hesapları ile elde edilen veriler Tablo 4.9' da verilmiştir. Hesaplanan ölçülere göre imalatı yapılacak araba

tekerleği için imalat resimleri hazırlanmıştır. Araba tekerleklerinin imalatında polyamide (PA6) malzeme kullanılmıştır. Tekerleklerin imalatı için bu malzemenin seçilmesindeki en büyük etken, sistemde çelik tekerleklere göre hafiflik ve maliyet açısından avantaj sağlamasıdır.

Polyamide makina endüstrisinde çok kullanılan bir malzemedir. Nispeten rijit, kaygan ve iyi mekanik dayanım değerlerine sahip bir malzemedir. Dişli uygulamalarında tekerlek yapımına kadar muhtelif kullanım alanları vardır. Kimyasal mukavemeti orta değerdedir, bazı asit ve bazlara karşı mukavemeti vardır. Polyamid bünyesinde su toplama özelliğine sahiptir. Bu özelliklerin iyi ve kötü yanları vardır. İyi yönü parçanın titreşim ve ani darbelere karşı dayanımı artırır. Böylece parça kullanım esnasında oluşacak dinamik gerilmelerin bünyede yok edilmesine olanak sağlar. Kötü yönü ise malzemede ölçü stabilitesine ulaşmak güçleşir. Yani malzeme havadaki nemden dahi etkilenerek ölçü değişikliklerine uğrar parçaya son işlem yapılmadan toleranslara dikkat edilmelidir.

Basit dişlilerde, yataklarda, civatalarda, flanşlarda, makara kayış kaskalarında, kesim plakası, filtre plakası, tazgah tablası ve her türlü parça imalatında kullanılır (C. Kara, 2008 s.102).

Tablo 4.9 Polyamide (PA6) malzeme fiziksel özellikleri ([www.teknikgroup.com/polyamid1.htm](http://www.teknikgroup.com/polyamid1.htm))

FİZİKSEL ÖZELLİKLER		TEST METODU		Polyamid (PA6)
		DIN	ISO	
Özgül ağırlık	g/cm <sup>3</sup>	53479	1183	1,13
Servis sıcaklığı	0°C	53461	75	100
Ergime noktası	0°C			220
Termal uzama	1/K*10 <sup>-3</sup>	53752		6 – 10
Çekme dayanımı	N/mm <sup>2</sup>	53455	527	60 – 70
Kopma dayanımı	N/mm	53455	527	80
Kopma uzaması	%	53455	527	>50
Çentik darbe dayanımı	kJ/m <sup>2</sup>	53453	179	4 – 25
Elastisite modülü	N/mm <sup>2</sup>	53452	178	3000
Rockwell sertliği	Skala		2039-2	M85

Tablo 4.10 Araba yürütme sistemi tekerlek hesabı için kullanılan veriler(C. Kara, 2008 s.103).

Araba yürütme hızı ( $V_A$ )	m/dk	5,5
Tekerlek sayısı ( $Z_t$ )	Adet	4
Tekerlek malzemesi ( $\rho$ )		PA6
Ray malzemesi elastisite modülü ( $E_{ray}$ ) (St37)	N/mm <sup>2</sup>	210000
Tekerlek malzemesi elastisite modülü ( $E_{tekerlek}$ ) (PA6)	N/mm <sup>2</sup>	3000
Hesaplanan elastisite modülü ( $E_{hesaplanan}$ )	N/mm <sup>2</sup>	5911,33
Tekerlek malzemesi hertz basıncı ( $P_0$ )	N/mm <sup>2</sup>	35
Müsade edilen yüzey basıncı ( $P_{em}$ )	N/mm <sup>2</sup>	0,592
Malzeme için katsayı ( $c_1$ ) (DIN15070)		1
Devir sayısı için katsayı ( $c_2$ ) (DIN15070)		1
İşletme ömür katsayısı ( $c_3$ ) (DIN15070)		1
Ray genişliği ( $b$ )	mm	10
Ray kenar radyüsü ( $R$ )	mm	1
Max. Tekerlek yükü ( $F_R$ )	N	1618,65
Gerekli tekerlek çapı ( $D_{min}$ )	mm	97,6364
Tekerlek çapı ( $D$ )	mm	108
$D_{min} \leq D$ ise EMNİYETLİDİR	EMNİYETLİ	



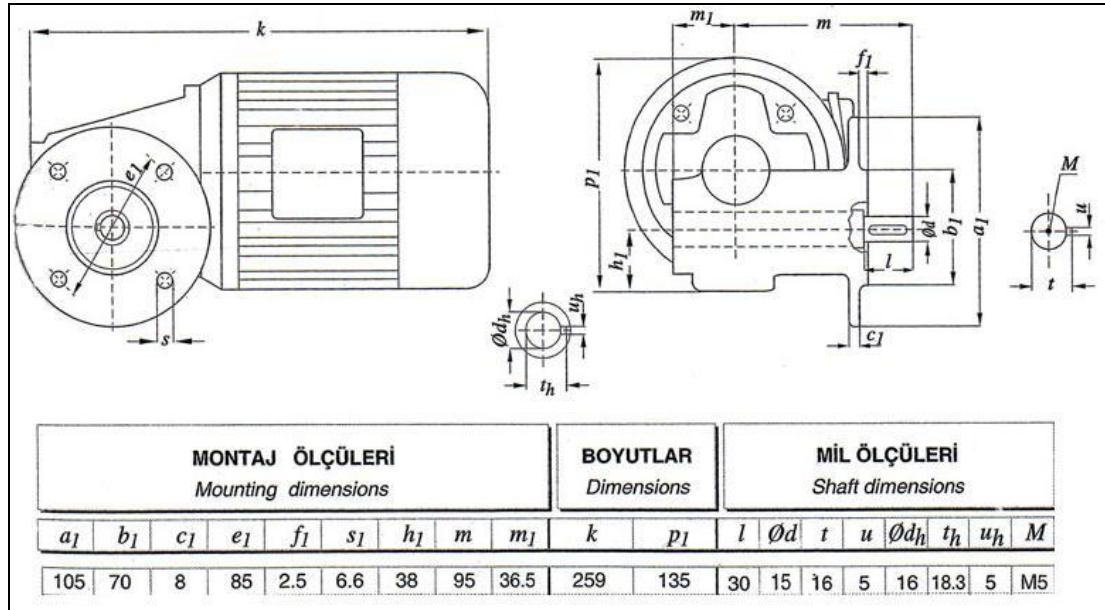
Şekil 4.13 PA6 malzemeden imal edilen pinyon ve araba tekerlekleri(C. Kara, 2008 s.103).

#### 4.2.9 Araba Yürütme Sistemi Motor Güç Hesabı

Kaldırma motoru için yapılan güç hesapları ile elde edilen veriler Tablo 4.11' de verilmiştir. Buna göre TOBA firmasının TB32-63M/6 tip sonsuz vidalı redüktörlü motoru seçilmiştir. Seçilen motor için katalog ölçüleri Şekil 4.14' da verilmiştir (C. Kara, 2008 s.104).

Tablo 4.11 Araba yürütme sistemi motor güç hesapları için kullanılan veriler(C. Kara, 2008 s.104).

Motor sayısı ( $Z_m$ )	Adet	1
Motor verimi ( $\mu_m$ )		0,85
Yuvarlanma sürtünmesi (f)		0,05
İvmelenme (b)	m/sn <sup>2</sup>	0,11
Hareket direnci ( $F_h$ )	N	46,311
Hareket gücü ( $P_h$ )	KW	0,008264
İvmelenme gücü ( $P_b$ )	KW	0,006094
Gerekli toplam güç ( $P_t$ )	KW	0,01435
Seçilen güç ( $P_s$ )	KW	
$P_t \leq P_s$ ise EMNİYETLİDİR	EMNİYETLİ	



Şekil 4.14 TB32-63M/6 tip sonsuz vidalı redüktörlü motor için katalog ölçüleri (C. Kara, 2008 s.104).



### 4.3 Kren Montajı

Montajı tamamlanan profiller daha önceden imalatı yapılan sehpa üzerine yerleştirilirken basit mesnet şeklinde davranış göstermesi amacı ile araya dairesel parçalar konularak, daha önceden delinmiş olan sehpa üzerindeki deliklere saplamalar yardımıyla montaj edilmiştir. Burada somunlar sadece bir öngerilme kuvveti oluşacak şekilde sıkılarak, yükün hareket yönünde sınırlı hareket etmesi sağlanmıştır.

Gezer köprülü krenin üzerine yerleştirileceği konsol kolaylıkla demonte edilebilecek şekilde dizayn edilmiş ve civata-somun bağlama elemanları ile montajı gerçekleştirilmiştir. Konsol malzemesi olarak 4 mm et kalınlığında 80x80 AISI1020 çelik profiller kullanılmıştır.(C. Kara, 2008 s.105)

Her iki profilde bu şekilde montaj edildikten sonra kirişler üzerinde komparatör saati yardımıyla kirişlerin sehimi ölçülerek montaj işlemi tamamlanmıştır.

Kirişlerin montaj işleminden sonra önceden imalatı yapılmış olan araba, kirişler üzerine yerleştirilmiştir. Montajı tamamlanmış olan krenin son hali şekil 4.15’de gösterilmiştir.



Şekil 4.15 Kirişlerin sehpa üzerine montaj edilmiş hali

## BÖLÜM BEŞ

### FARKLI BİRLEŞTİRİLMİŞ KOMPOZİT TAŞIYICI KİRİŞLER İÇİN DENEYSEL ÇALIŞMA VE NÜMERİK ANALİZLER

Yapılan çalışmada farklı birleştirilmiş kompozit taşıyıcı kirişlerin köprülü krenler için uygunluğu kontrol edilmiştir. Bu uygunluğun mekanik açıdan kontrolü için çeşitli nümerik çalışmalar yapılmıştır. Bu nümerik analiz sonuçlarının kontrolü için de deneysel çalışmalar yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmalarda CTP kirişler üzerindeki eğilme gerilmeleri ve deplasmanlar incelenmiş, yapının yüksüz hali için doğal frekanslar belirlenmiştir. Eğilme gerilmelerinin belirlenmesi için yapılan nümerik analizler ve deneysel çalışmalar, köprülü krene 100, 200 ve 300 kilogram'lık yüklemeler yapılarak gerçekleştirilmiştir.

Kirişlerin uygunluğunun kontrolü için üzerindeki arabanın hareket halindeki durumu göz önünde bulundurulmuştur. Yapıların statik kontrollerinin yanında, dinamik etkiler de önemli bir unsur teşkil etmekte ve yapıyı olumsuz anlamda etkileyen bir olgu olarak dikkate alınmaları gerekmektedir. Statik ve dinamik yüklerin etkisi altında, kiriş üzerindeki eğilme gerilmeleri, sonlu eleman yöntemi temelli yazılımlar yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplamalarda ANSYS 11.0 ve RecurDyn V7 R1 yazılımları kullanılmıştır.

Bu bölüm, daha önce tasarım aşamaları anlatılmış ve nihai olarak kullanımında karar kılınmış olan farklı birleştirilmiş lama destekli “Double T” profilin, sonlu eleman yöntemi ile statik ve dinamik açıdan mekanik benzetiminin gerçekleştirilmesi, nümerik sonuçların elde edilmesi, deneysel çalışma sonucu ölçümlerin yapılması ve sonuçların sunulması kısımlarını içermektedir.



## 5.1 Farklı Birleştirilmiş Taşıyıcı Kirişler İçin Nümerik Dinamik Gerilme Analizi

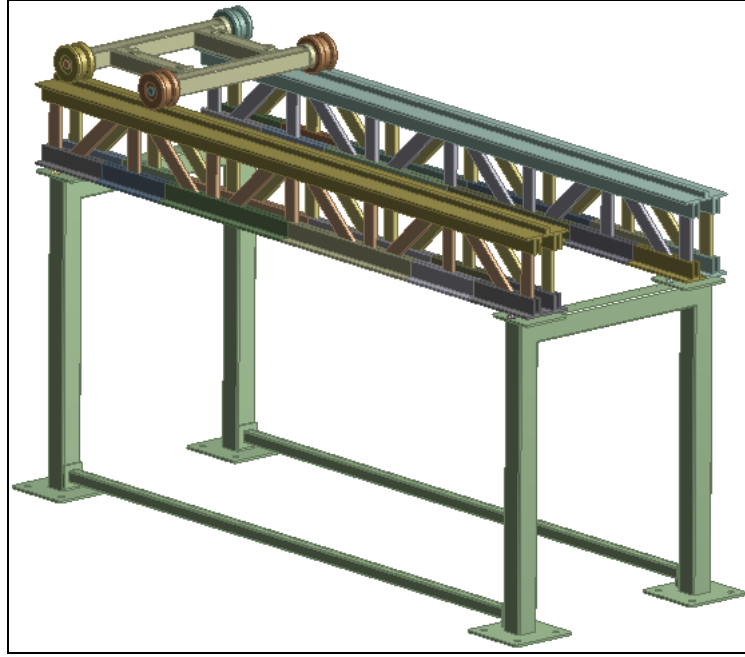
Sistemde kullanılması konusunda karar verilen kompozit kirişler Unigraphics 3.0 yazılımı ile modellenmiştir. İmalat için modellenmiş katı model daha sonrasında ANSYS Workbench Design Modeler modülü içerisine alınarak nümerik analiz için gerekli hazırlıklar yapılmıştır.

Bu aşamadan sonra ANSYS Workbench 11.0 yazılımı içerisinde katı model üzerinden sonlu eleman modeli elde edilmiştir. Elde edilmiş olan sonlu eleman modeli için gerekli malzeme tanımlamaları yapıldıktan sonra model ANSYS 11.0 yazılımı içerisine aktararak bu ortamda, dinamik analizin yapılacağı RecurDyn V7 R1 yazılımı için girdi dosyası oluşturulmuştur. Bu girdi dosyası bünyesinde malzeme özellikleri ve sonlu eleman bilgisini içermektedir.

RecurDyn V7 R1 yazılımı içerisine alınmış olan model dinamik analiz için hazırlanmıştır. Bu hazırlıklar, kontak yüzeylerinin ve özelliklerinin , bağlantıların ve özelliklerinin tanımlanmasıdır. Analiz özellikleri, süresi de yine bu aşamada tanımlanmıştır. Analiz süresi, arabanın kiriş üzerinde bir taraftan diğer tarafa ulaşma süresi olan 9,8 saniye olarak belirlenmiştir.

### 5.1.1 Katı Modelin Analize Hazırlanması

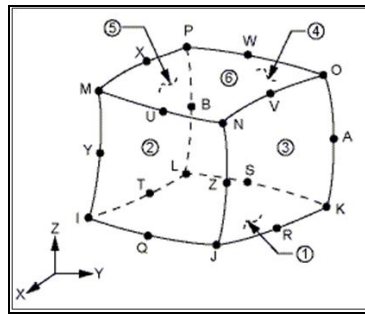
Daha önce de değinildiği gibi kullanımı için karar verilmiş olan taşıyıcı kirişler Unigraphics 3.0 yazılımında imalata uygun bir şekilde modellenmiştir. Sonlu eleman hesaplamaları için ilk aşama modelin analiz için hazır bir hale getirilmesidir. Bu anlamda katı model üzerinde basitleştirmeler ve sadeleştirmeler yapılmıştır. Model üzerindeki civata bağlantıları kaldırılmış, delikler kapatılmıştır. Bu sadeleştirme ve basitleştirmeler analiz sonuçlarını etkilemeyecek şekilde yapılmıştır (Şekil-5.1).



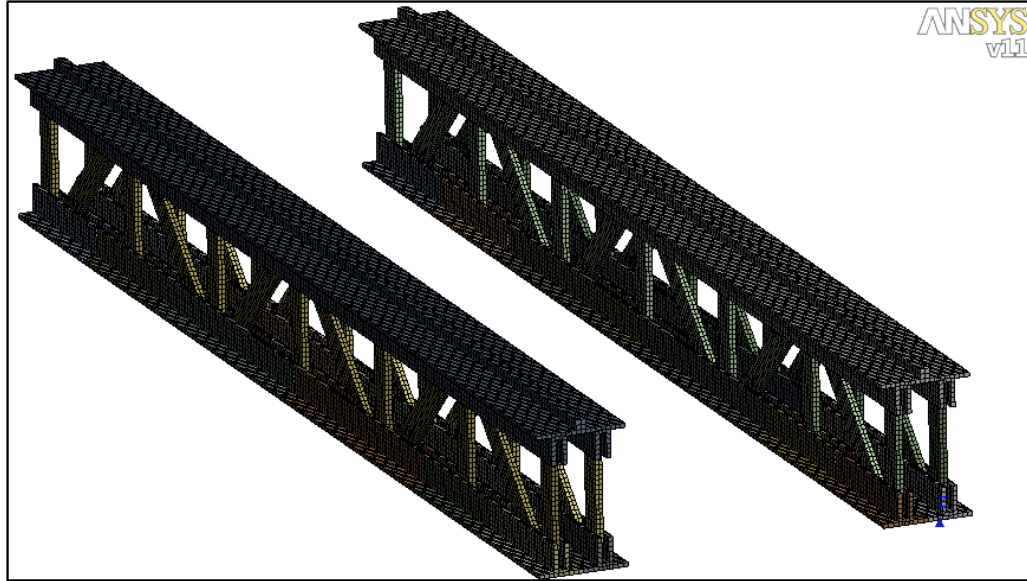
Şekil 5.1 Nümerik analizlerde kullanılmak üzere hazırlanmış katı model

### 5.1.2 Sonlu Eleman Modelinin Hazırlanması

Tasarımda sadece incelenecek olan profiller üzerinde sonlu elemanlar oluşturulmuş, diğer parçalar rijit olarak kabul edilmiştir. Sonlu elemanlar ve yoğunluğu denemeler sonucu kabul edilir boyut ve sayıda seçilmiştir(Şekil-5.3). ANSYS içerisinde bulunmakta olan Solid 186 tipi elemanlar kullanılmıştır. Bu eleman ikinci dereceden bir eleman olup, kuadratik yapıdadır (Şekil-5.2). Solid 186 tipi eleman, 20 düğüm noktası içermektedir ve her bir düğüm noktasının x, y ve z doğrultularında olmak üzere 3 serbestlik derecesi vardır. Eleman plastisite, hiperelastisite, sürünme, yüksek deplasman ve gerinimi desteklemektedir.



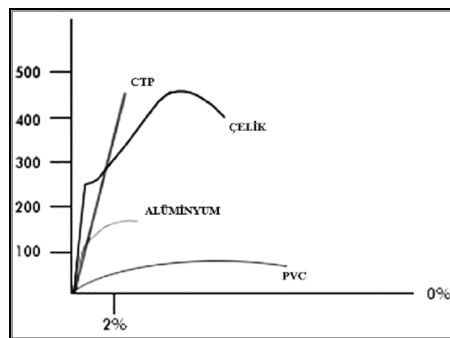
Şekil 5.2 Solid186 elemanın yapısal katı geometrisi



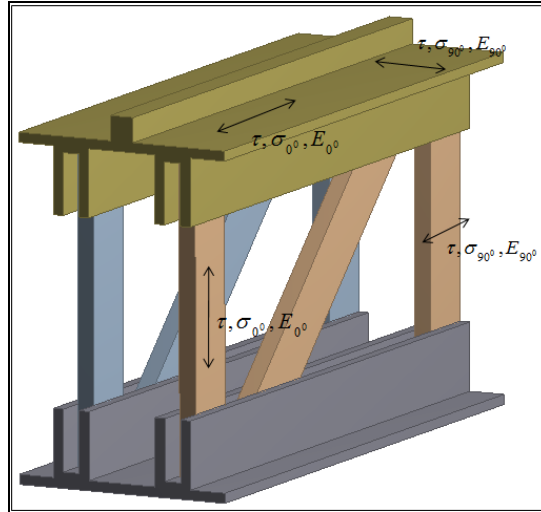
Şekil 5.3 Taşıyıcı kirişler sonlu eleman modeli

### 5.1.3 Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması

Mekanik özelliklerinin inceleneceği profillerin pultrüzyon yöntemiyle, CTP malzemeden imal edilmiş olduğundan daha önceki bölümlerde bahsedilmiştir. Aynı zamanda sonlu eleman modelinin sadece taşıyıcı kirişler üzerinde oluşturulduğu da ifade edilmiştir. Bu anlamda nümerik hesaplama için sonlu eleman modeli hazırlanmış olan taşıyıcı kirişler için elastisite modülü, poisson oranı ve yoğunluk bilgileri tanımlanmıştır. Rijit olarak kabul edilmiş olan diğer yapılar içinse sadece yoğunluk özellikleri tanımlanmıştır. Bu özellikler ANSYS Workbench 11.0 yazılımı içerisinde tanımlandığı gibi daha sonrasında RecurDyn V7 R1 yazılımı içerisinde de tanımlanabilmekte ve istenildiği takdirde değişiklikler yapılabilmektedir. Kirişlerin malzeme özellikleri üretici firmadan edinilmiştir.



Şekil 5.4 CTP malzeme kopma eğrisi (<http://www.frpindia.com>)



Şekil 5.5 CTP profiller için fiber yönleri

*CTP Profillerde Yön:*  $0^\circ$  profildeki fiber yönünü göstermektedir. Aynı zamanda  $0^\circ$  profilin imalatı sırasında putrüsyon yönüdür, malzeme için bu yönde tanımlanan özellikler kiriş veya kolon olarak kullanılan profillerin hesabında kullanılır.  $90^\circ$  ise fibere dik olan yönü ifade etmektedir, malzeme için bu yönde tanımlanan özellikler ise öncelikli olarak cıvata bağlantıları için yapılan hesaplamalarda kullanılmaktadır. Şekil 5.5’de tanımlanan yönler gösterilmektedir.

MEKANİK ÖZELLİKLER			
Çekme Dayanımı, $0^\circ$	EN ISO 527-4	MPA	240
Çekme Dayanımı, $90^\circ$	EN ISO 527-4	MPA	50
Basma Dayanımı, $0^\circ$	DIN 53 454-71	MPA	240
Basma Dayanımı, $90^\circ$	DIN 53 454-71	MPA	70
Eğilme Dayanımı, $0^\circ$	EN 13706-2:2002	MPA	240
Eğilme Dayanımı, $90^\circ$	EN 13706-2:2002	MPA	100
Kesme Dayanımı	ASTM D2344-84	MPA	25
Çentik Darbe Dayanımı LW	EN 13706-2:2002	MPA	150
Çentik Darbe Dayanımı CW	EN 13706-2:2002	MPA	70
Bükülme Dayanımı, $0^\circ$	DIN/EN 63/77	MPA	200-450
Bükülme Dayanımı, $90^\circ$	DIN/EN 63/77	MPA	40-180
Elastisite Modülü, $0^\circ$	DIN 53 457-87	MPA	25000
Elastisite Modülü, $90^\circ$	DIN 53 457-87	MPA	8500
Kayma Modülü	ASTM D2344-84	MPA	3000
Poisson Oranı $V_{0^\circ, 90^\circ}$		-	0.23
Poisson Oranı $V_{90^\circ, 0^\circ}$		-	0.09
Darbe Dayanımı, $0^\circ$	DIN 53 453-75	$\text{kJ/m}^2$	40-125
Darbe Dayanımı, $90^\circ$	DIN 53 453-75	$\text{kJ/m}^2$	20-100

<b>FİZİKSEL ÖZELLİKLER</b>			
Barkol Sertliği	ASTM D-2583	-	50
24 Saatte Su Emişi	ASTM D-570	%max	0,45
Yoğunluğu		g/cm <sup>3</sup>	1,8
Isıl Uzama Katsayısı	ASTM C 177 93	10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	16-22
<b>ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER</b>			
Spesifik Geçirgenlik	-	W cm	10 <sup>10</sup> -10 <sup>14</sup>
Yüzey Geçirgenliği	-	W	10 <sup>10</sup> -10 <sup>18</sup>
Dielektrik Sabiti	DIN 53 483-65	--	0,03
Dielektrik Kaybı Faktörü	DIN 53 483-65	--	< 5

Tablo 5.1 EN 13706 Kompozit profil standartlarına göre CTP profil özellikleri

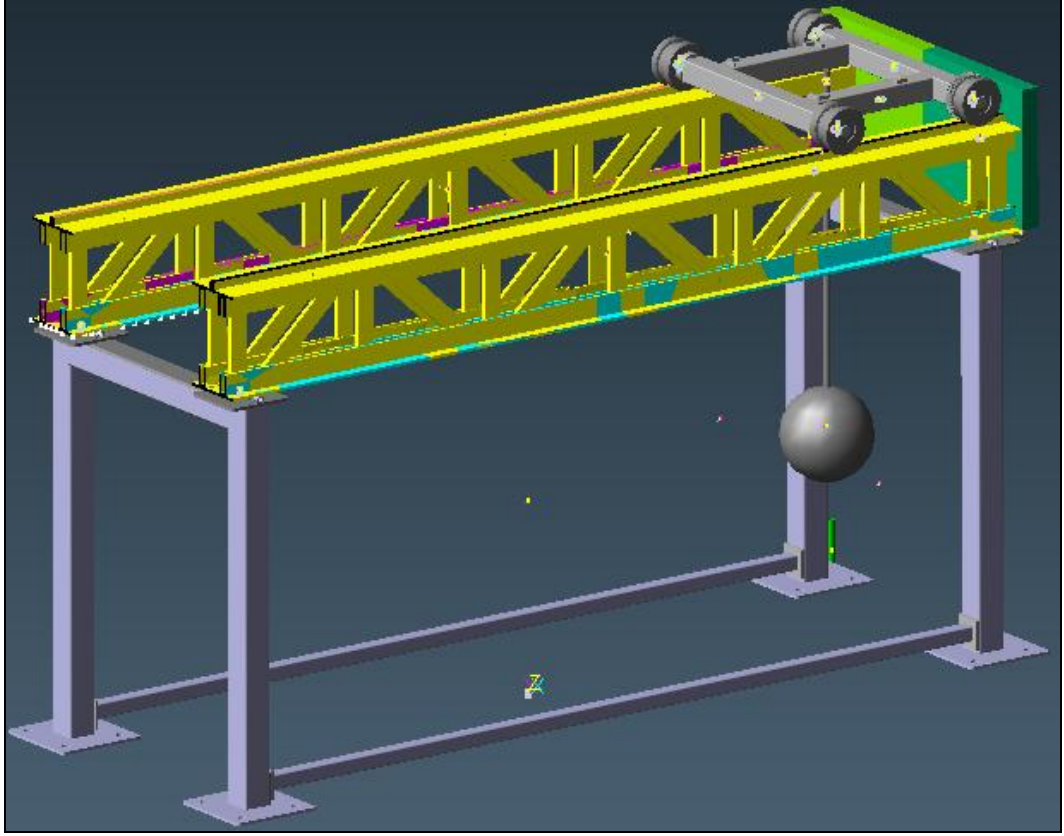
Burada “Double T” profiller ve destek lamaları için kompozit malzeme, kiriş rayları için AISI1040 çelik özellikleri tanımlanmıştır.

#### **5.1.4 Dinamik Analizin Hazırlanması**

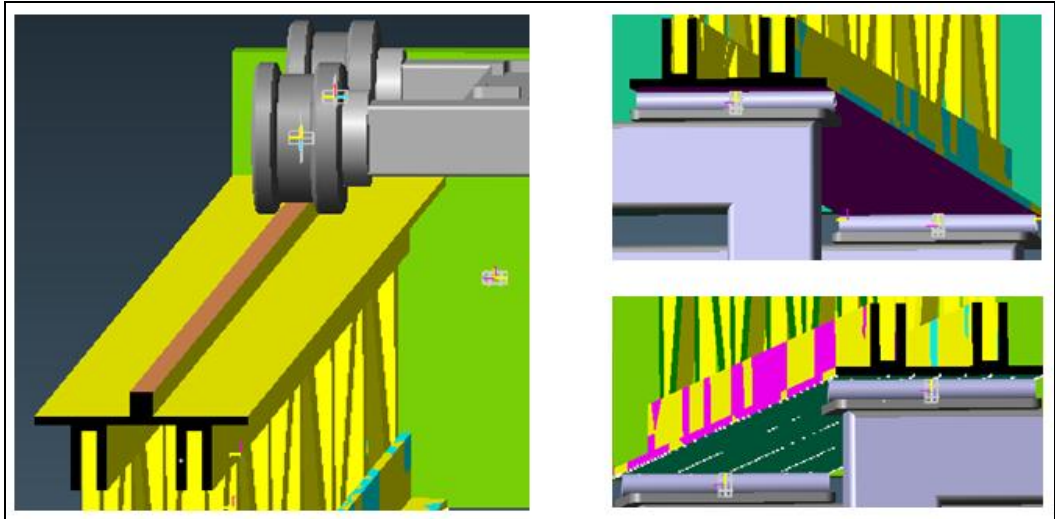
Sonlu eleman modeli hazırlandıktan sonra model iki kademeli işlemle RecurDyn V7 R1 yazılımı içerisine alınmıştır. Rijit olarak modellenmiş olan kısımlar, ANSYS Workbench Design Modeler 11.0 yazılımında .step olarak kaydedilmiştir ve RecurDyn içerisine *File>Import* dizini ile alınmıştır. Mekanik davranışı incelenecek olan ve sonlu eleman modeli oluşturulmuş olan taşıyıcı kirişler için ise ANSYS 11.0 yazılımı içerisinde .cdb uzantılı olarak kaydedilmiş ve RecurDyn içerisine *FFlex* sekmesinin altından alınmıştır. Burada ilk olarak her bir parçanın malzeme özellikleri kontrol edilmiştir. Daha sonrasında deneysel çalışma dikkate alınarak bağlantı noktaları ve parçaların temas yüzeyleri tanımlanmıştır. Temas yüzeyleri ile ilgili davranış özellikleri de yine bu aşamada tanımlanmıştır. Taşıyıcı kirişler üzerinde, ölçümlerin alınacağı noktalar tanımlanmıştır.

Analizde arabanın hareket etmesi için tekerleklere tanımlanmış olan dönme özelliği üzerinden açısal hız tanımlanmıştır. Bu açısal hız tekerleklerin geometrik özellikleri, hareket süresi dikkate alınarak hesaplanmış ve 3.709  $\pi$ /san olarak tanımlanmıştır. Simulasyon süresi olarak 9,8 saniye seçilmiş ve nümerik

hesaplamalar gerçekleştirilmiştir (Şekil-5.6). Arabanın merkez noktasına ağırlıkların bağlanacağı bir bağlantı linki yerleştirilmiş ve sırasıyla 0 kg, 100 kg, 200 kg ve 300 kg'lık ağırlıklarla nümerik analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.6 RecurDyn içerisinde simülasyona hazırlanmış model

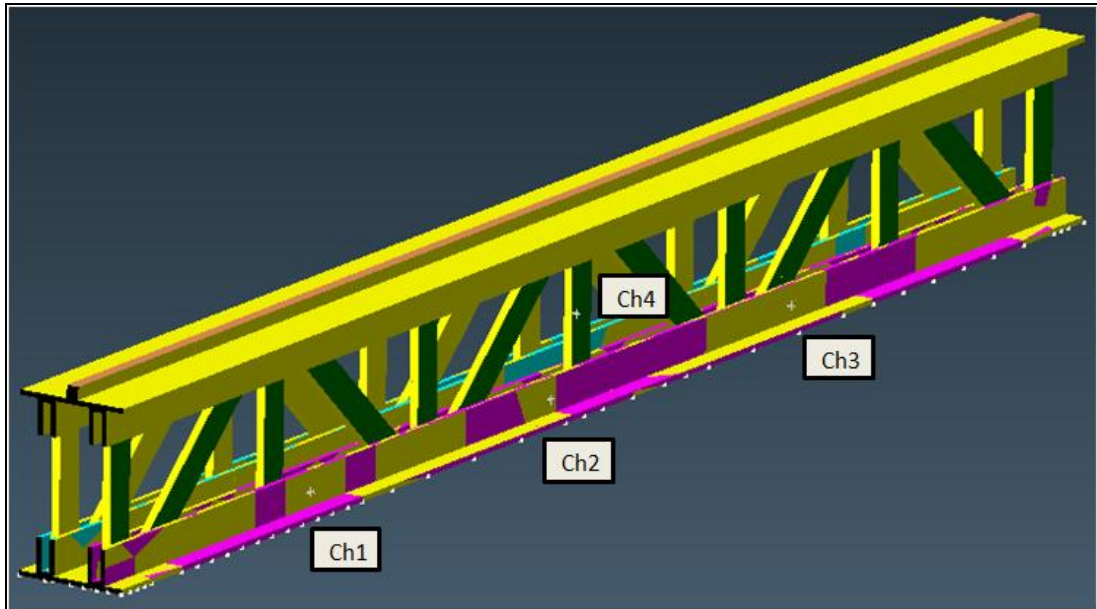


Şekil 5.7 RecurDyn yazılımı içerisinde tanımlanmış olan temas noktaları

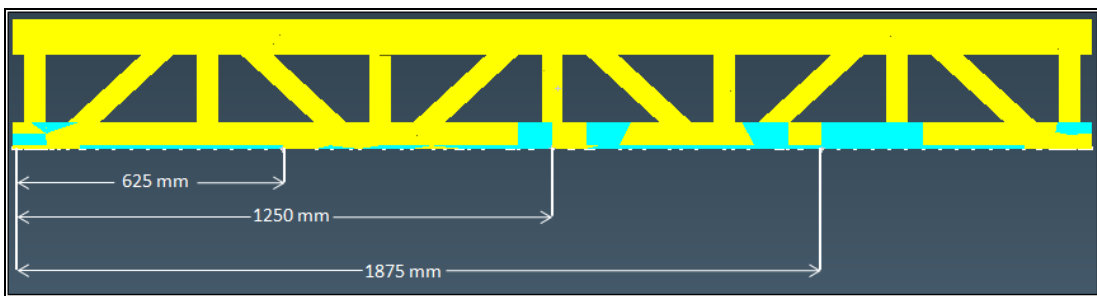
Temas yüzeyleri, tekerlekler ile raylar arasında ve kirişlerin alt kısımları ile destek blokları üzerindeki borular arasında tanımlanmıştır (Şekil-5.7).

### 5.1.5 Ölçüm Noktalarının Tanımlanması

Deneysel çalışmada belirlenmiş olan ve gerinim ölçerlerin (strain gauge) yerleştirilmiş olduğu noktalar RecurDyn V7 R1 içerisinde seçilmiş ve bu noktalardan ölçümler alınmıştır. Ölçümler ilgili noktalarda tanımlanmış olan düğüm noktaları üzerinden alınmıştır.



Şekil 5.8 RecurDyn yazılımı içerisinde tanımlanmış olan ölçüm noktaları



Şekil 5.9 Ölçüm noktalarının mesafeleri



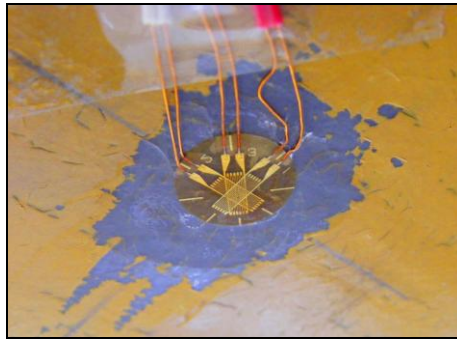
## 5.2 Farklı Birleştirilmiş Taşıyıcı Kirişler İçin Deneysel Dinamik Gerilme Analizi

Bölüm 4’te anlatıldığı şekilde imalatı ve montajı gerçekleştirilmiş olan farklı birleştirilmiş taşıyıcı kirişler kren sehbası üzerine montajlanmıştır (Şekil-5.9). Montaj grubunun üzerine araba da yerleştirilmiştir.



Şekil 5.10 Deneysel gerilme analizi için hazırlanmış prototip

Sehpa ile kirişlerin bağlantısı M12 standardında saplamalar yardımıyla araya boru tipi parça konularak yapılmıştır. Bu bağlantı tipi, civataların da tam olarak sıkılmamasıyla birlikte, kirişlerin kısmen esnemelerine olanak sağlamaktadır. Kirişler yerleştirildikten sonra gerinim ölçerler (strain gauge) daha önceden belirlenmiş olan ölçüm noktalarına yerleştirilmiştir (Şekil-5.11). Gerinim ölçerlerin terleştirileceği noktalar dikkatli bir şekilde temizlenmiş ve sonrasında özel yapıştırıcı malzeme ile ölçüm noktalarına yerleştirilmiştir (Şekil-5.10).



Şekil 5.11 Deneysel gerilme analizinde ölçümler için yerleştirilmiş strain gauge örneği

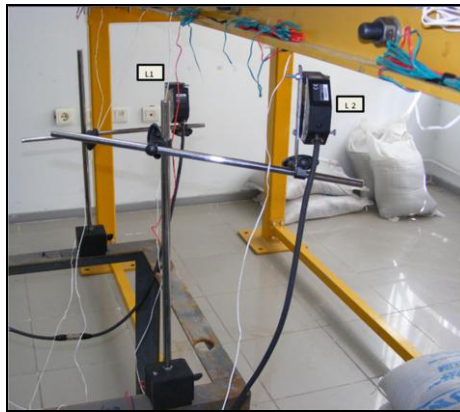




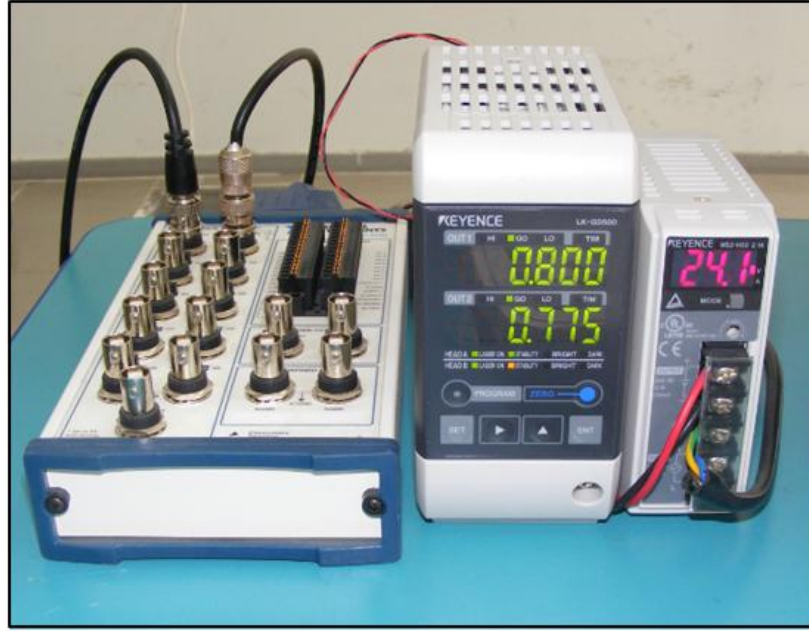
Şekil 5.12 Deneyel gerilme analizinde ölçümler için yerleştirilmiş gerinim ölçerler

Kullanılacak olan gerinim ölçerler, Tokyo Sokki Kenkyujo Co. Ltd. firmasına ait olup FRA-5-8-3L modeli tercih edilmiştir. Gerinim ölçerler sırasıyla Ch1, Ch2, Ch3, Ch4 olarak adlandırılmıştır.

Gerinim ölçerlerin yanı sıra lazer ölçüm cihazlarıyla da ölçüm alınmasına karar verilmiştir. Bu amaçla lazer ölçüm cihazları kirişin alt kısmına Ch1 ve Ch2 nolu gerinim ölçerlerin bulunduğu yerlere yerleştirilerek, iki noktadan lazer ölçümü alınmıştır.(Şekil-5.12)



Şekil 5.13 Lazer ölçüm cihazları

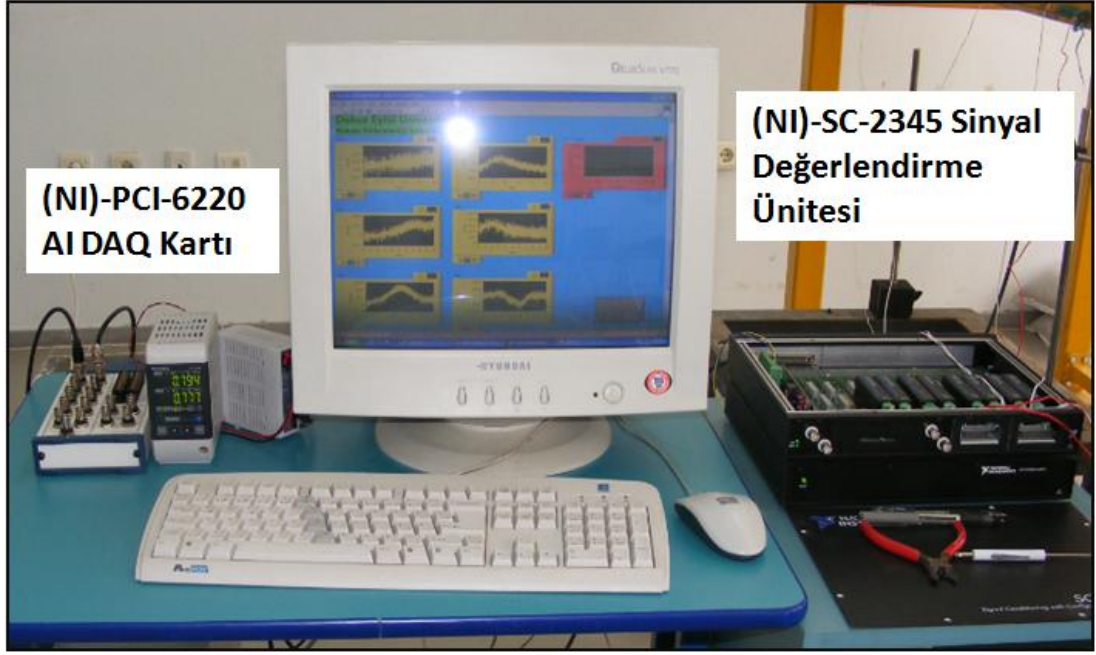


Şekil 5.14 Lazer ölçümlerini toplayan cihazlar

Farklı birleştirilmiş “Double T” CTP taşıyıcı kirişli kren köprüsü için yapılan deneysel gerilme analizi için hazırlanan deney düzeneğinde gerinim ölçerler, National Instruments firmasına ait birim uzama giriş modülü (SC-SG01), sinyal toplama ünitesi (SC-2345) ve çok fonksiyonlu analog giriş (PCI-6220) verilerin alınması ve toplanması için kullanılmıştır (Şekil- 5.15). Gerinim ölçerler tarafından CTP “Double T” profil kiriş üzerinden alınan birim uzama değerleri birim uzama giriş modlü (SC-SG01) ve sinyal toplama ünitesi (SC-2345) üzerinden çok fonksiyonlu analog giriş kartına (PCI-6220) alınarak LabVIEW (version 7.0) ile geliştirilen sinyal değerlendirme programı ile bilgisayarda değerlendirilmiştir (Şekil- 5.16).



Şekil 5.15 Lazer ölçümlerini toplayan cihazlar



Şekil 5.16 Deneysel analizler için kullanılan ölçüm cihazları



Şekil 5.17 Dinamik gerilme testleri için hazırlanmış deney düzeneği



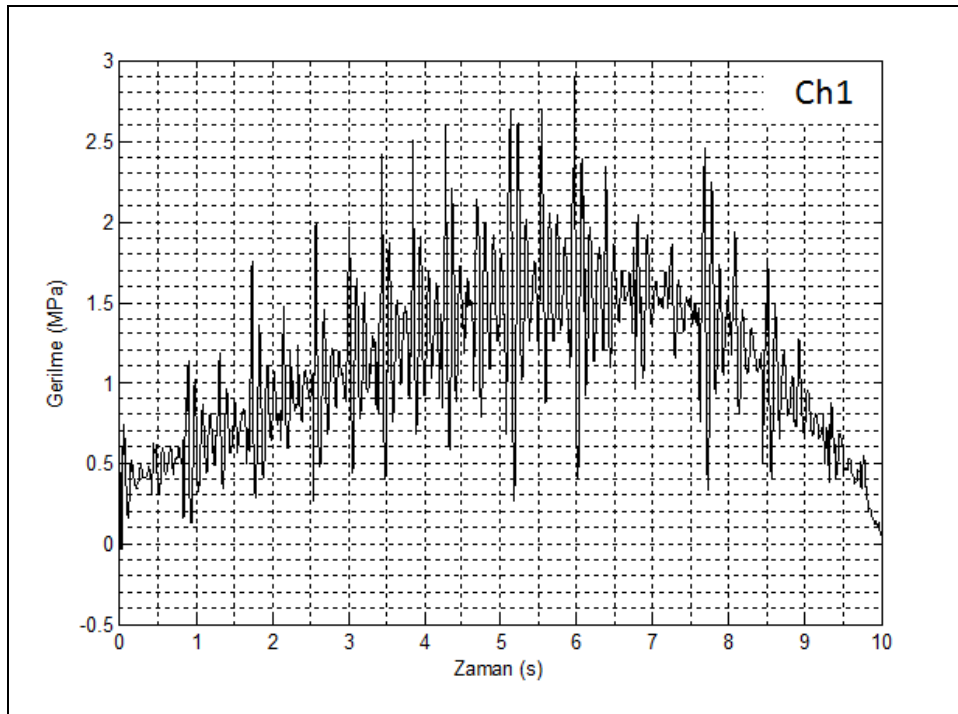
### 5.3 Nümerik ve Deneysel Dinamik Analiz Sonuçları

#### 5.3.1 Nümerik Dinamik Analiz Sonuçları

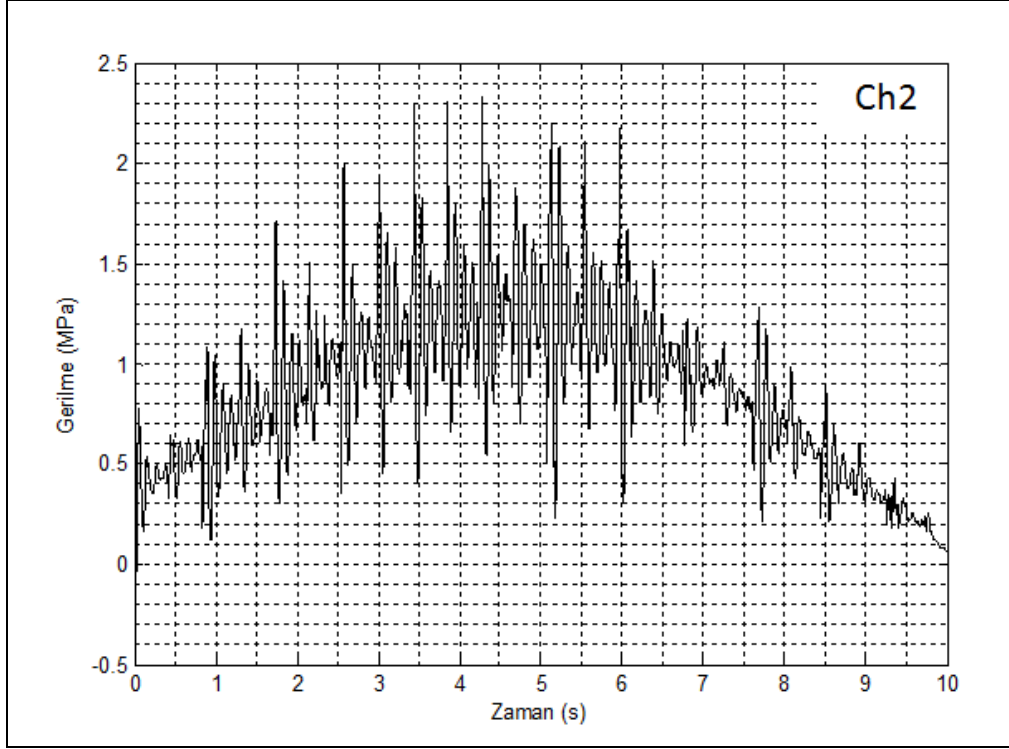
Bölüm 5.1’de anlatıldığı şekilde RecurDyn V7 R1 yazılımı ile gerçekleştirilmiş olan dinamik gerilme analizlerinin sonuçları aşağıda grafikler halinde verilmektedir. Çalışmalar, 0, 100, 200 ve 300 kg’lık ağırlıklar ile yapılmış ve sonuçlar bu ağırlıklara göre sınıflandırılmıştır.

##### 5.3.1.1 0 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Nümerik Ölçüm Değerleri

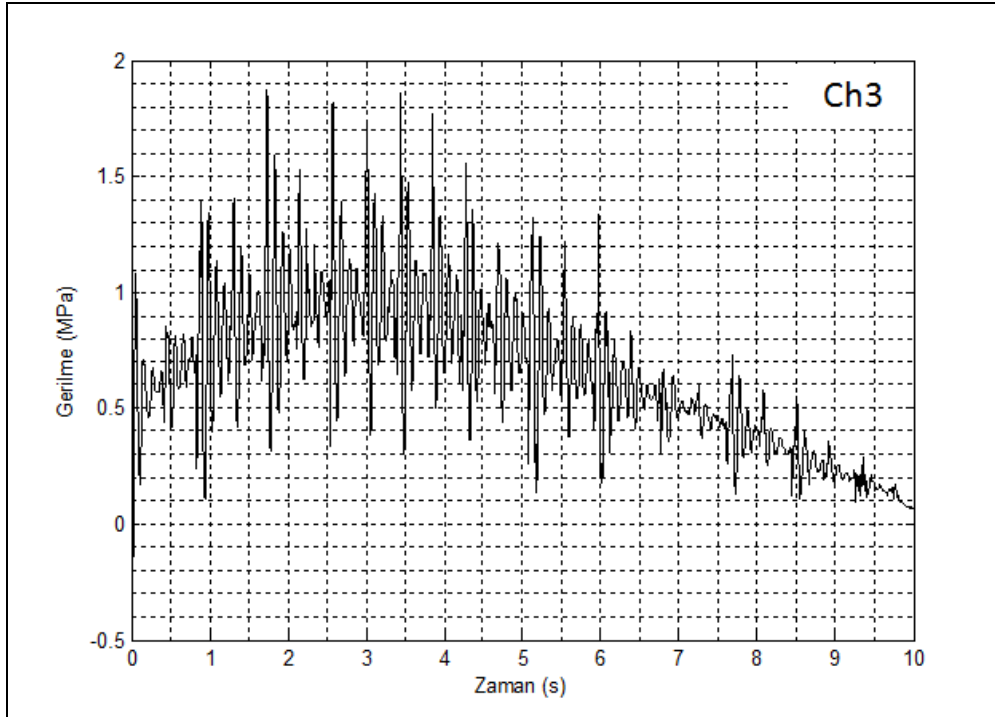
Araba kancasına herhangi bir ağırlık yüklenmediği durumda elde edilen eğilme gerilmesi değerleri Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’de gösterilmiştir.



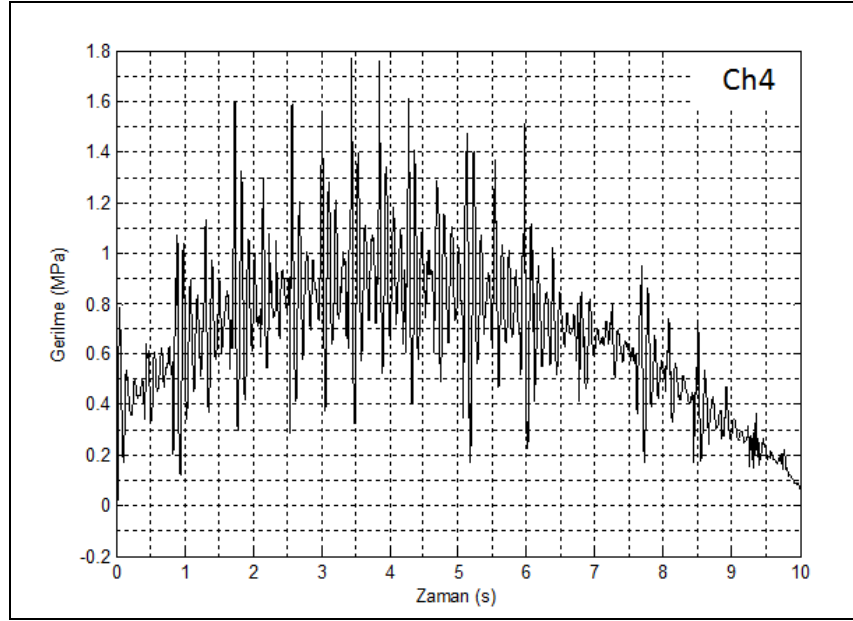
Şekil 5.18 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=0\text{kg}$  için 1 numaralı gerinim ölçerden alınan ölçüm değerleri ile oluşturulan nümerik gerilme-zaman grafiği



Şekil 5.19 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=0\text{kg}$  için, 2 numaralı gerinim ölçerden alınan ölçüm değerleri ile oluşturulan nümerik gerilme-zaman grafiği



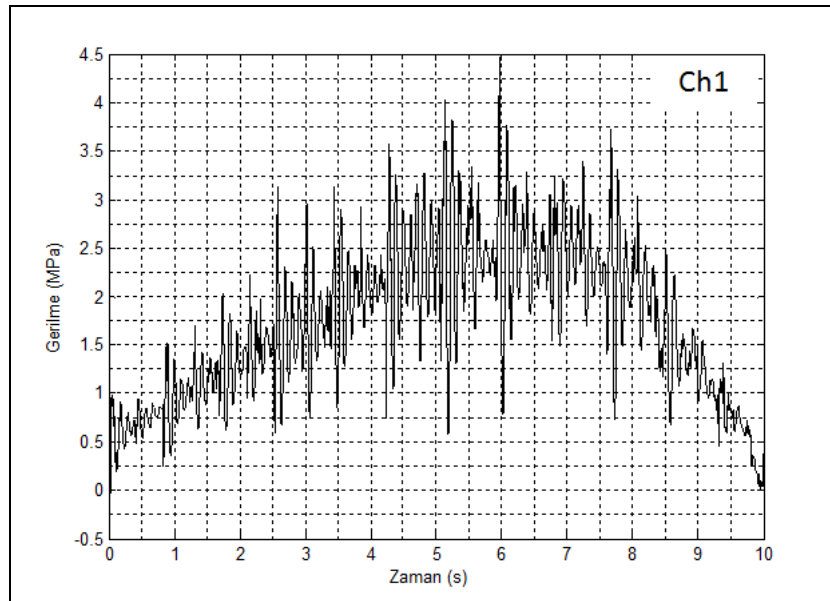
Şekil 5.20 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=0\text{kg}$  için, 3 numaralı gerinim ölçerden alınan ölçüm değerleri ile oluşturulan nümerik gerilme-zaman grafiği



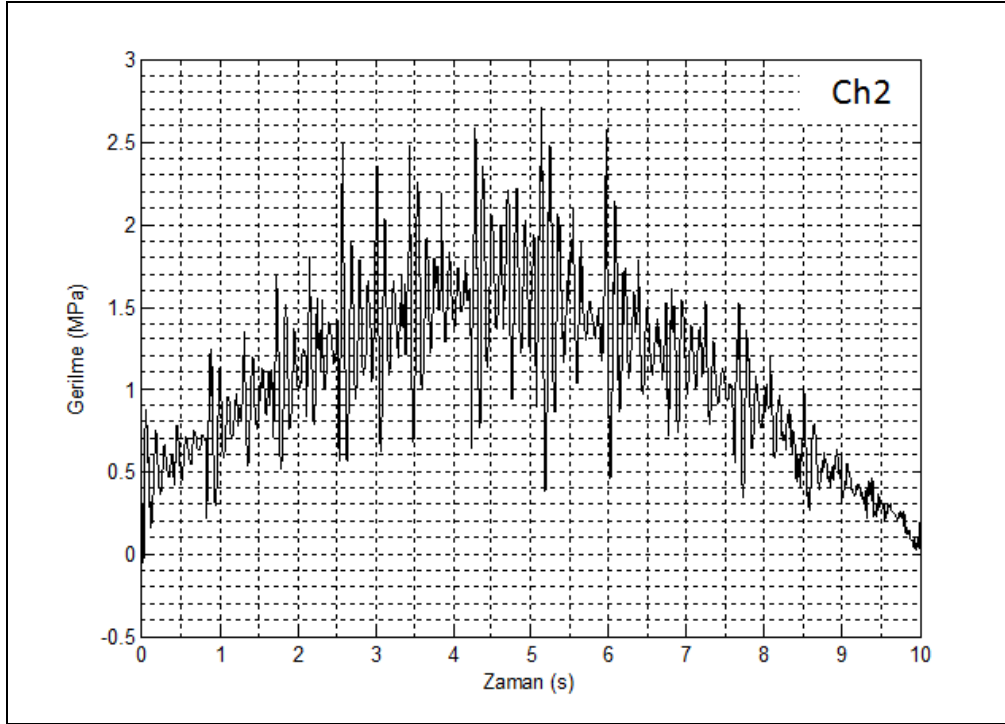
Şekil 5.21 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=0\text{kg}$  için, 4. gerinim ölçerden alınan ölçüm değerlerinin nümerik gerilme-zaman grafiği

### 5.3.1.2 100 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Nümerik Ölçüm Değerleri

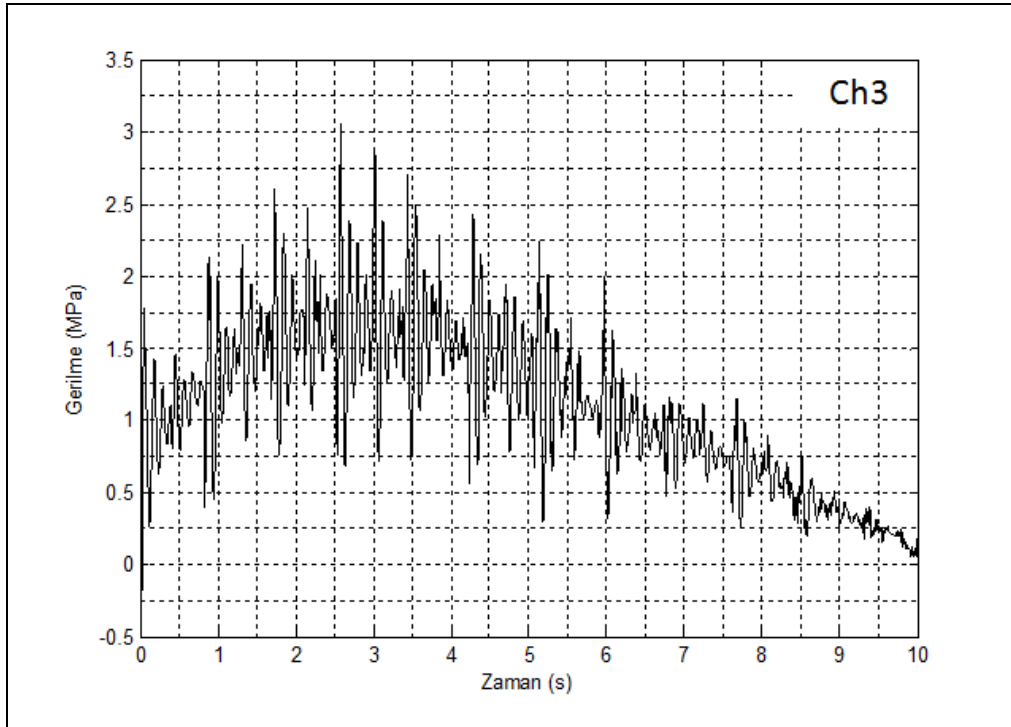
Araba kancasına 100 kg'lık ağırlık yüklendiği durumda elde edilen eğilme gerilmesi değerleri Şekil 5.22, Şekil 5.23, Şekil 5.24 ve Şekil 5.25'de gösterilmiştir.



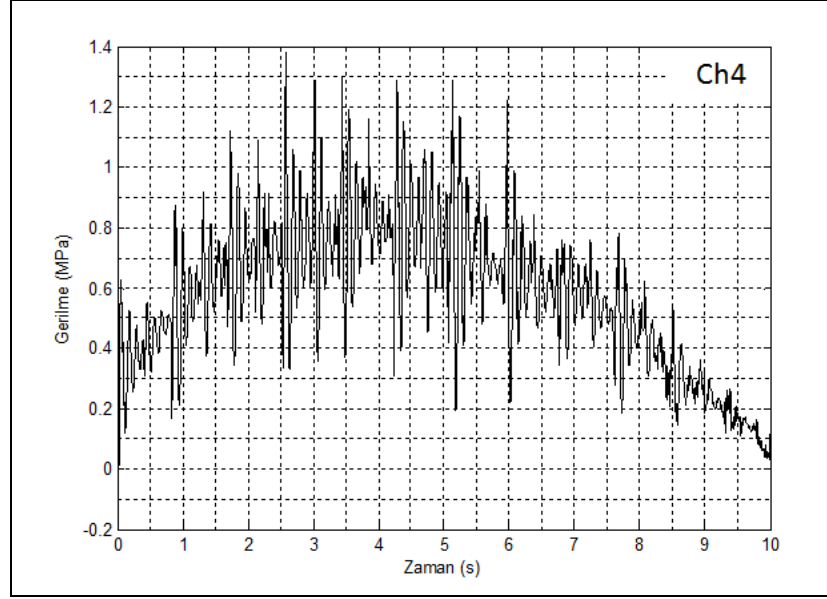
Şekil 5.22 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=100\text{kg}$  için 1. gerinim ölçerden alınan ölçüm değerlerinin nümerik gerilme.-zaman grafiği



Şekil 5.23 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=100\text{kg}$  için, 2 numaralı gerinim ölçerden alınan ölçüm değerleri ile oluşturulan nümerik gerilme-zaman grafiği



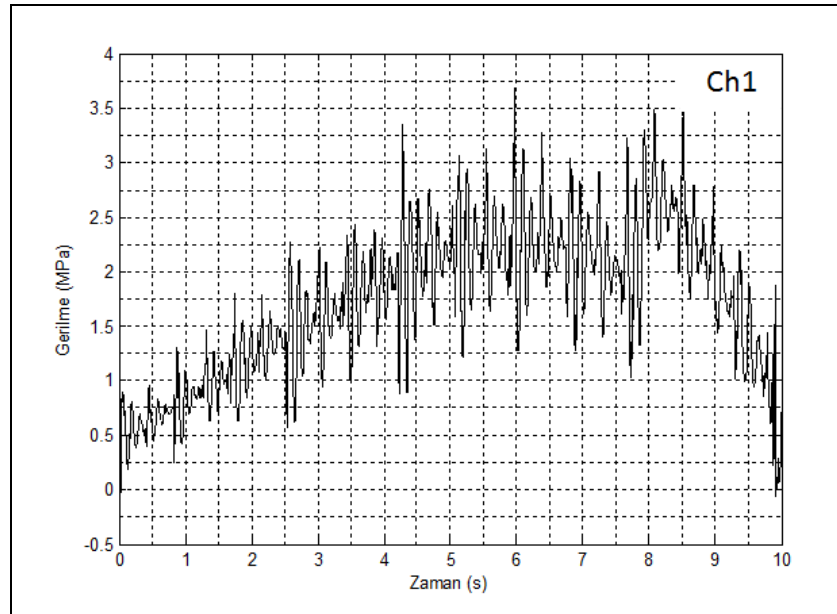
Şekil 5.24 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=100\text{kg}$  için, 3 numaralı gerinim ölçerden alınan ölçüm değerleri ile oluşturulan nümerik gerilme-zaman grafiği



Şekil 5.25 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=100\text{kg}$  için, 4. gerinim ölçerden alınan ölçüm değerlerinin nümerik gerilme-zaman grafiği

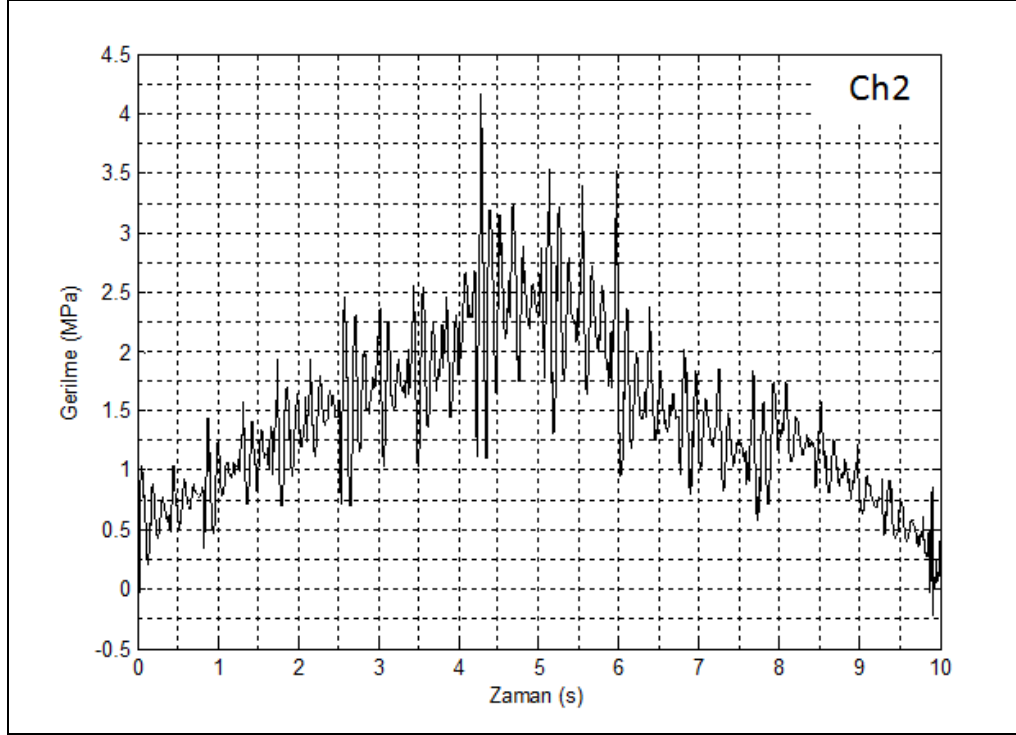
### 5.3.1.3 200 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Nümerik Ölçüm Değerleri

Araba kancasına 200 kg'lık ağırlık yüklendiği durumda elde edilen eğilme gerilmesi değerleri Şekil 5.26, Şekil 5.27, Şekil 5.28 ve Şekil 5.29'de gösterilmiştir.

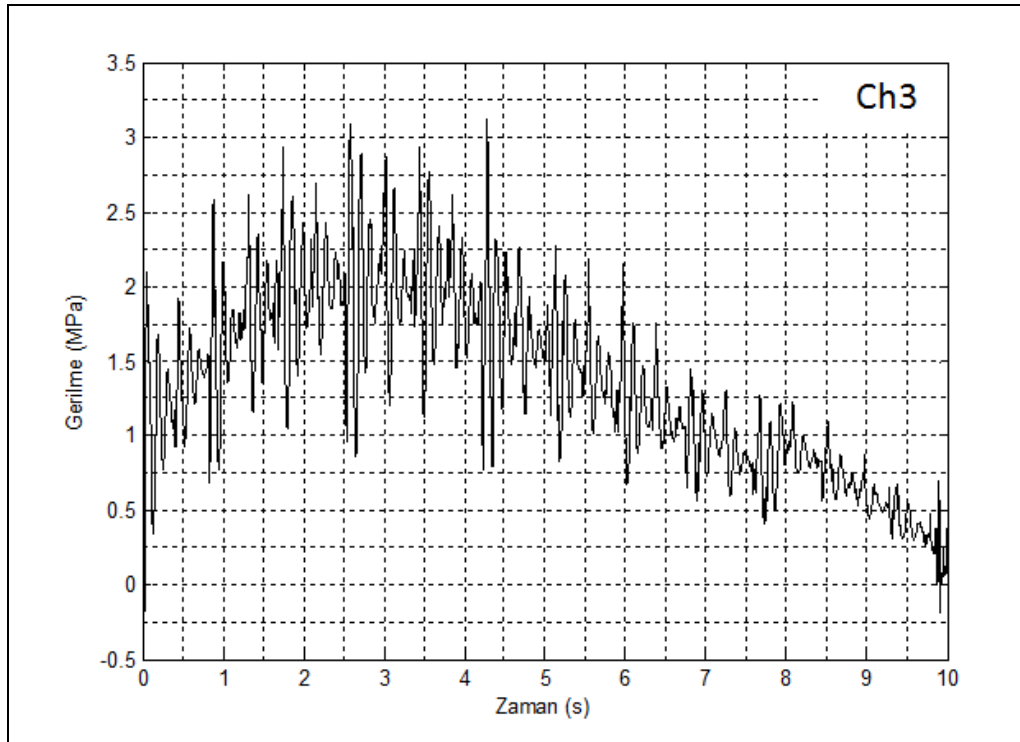


Şekil 5.26 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=200\text{kg}$  için 1. gerinim ölçerden alınan ölçüm değerlerinin nümerik gerilme-zaman grafiği

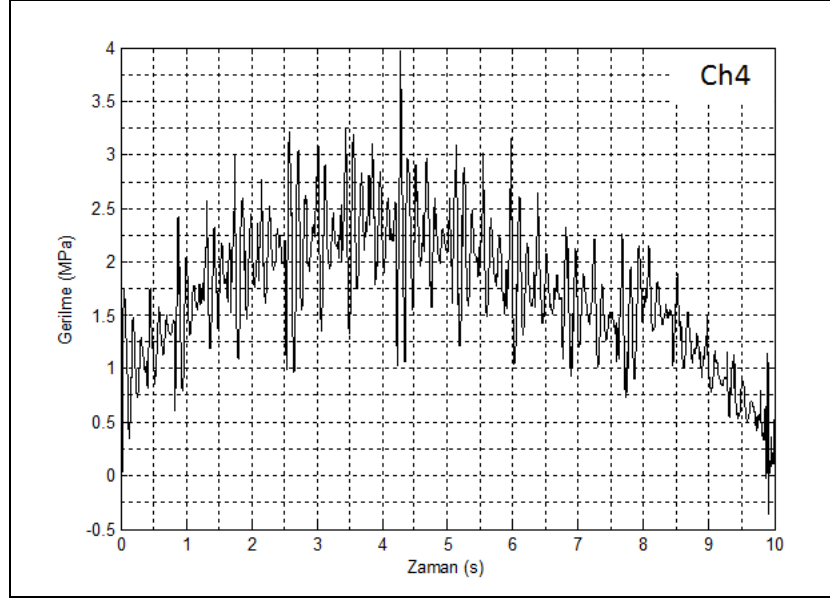




Şekil 5.27 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=200\text{kg}$  için, 2 numaralı gerinim ölçerden alınan ölçüm değerleri ile oluşturulan nümerik gerilme-zaman grafiği



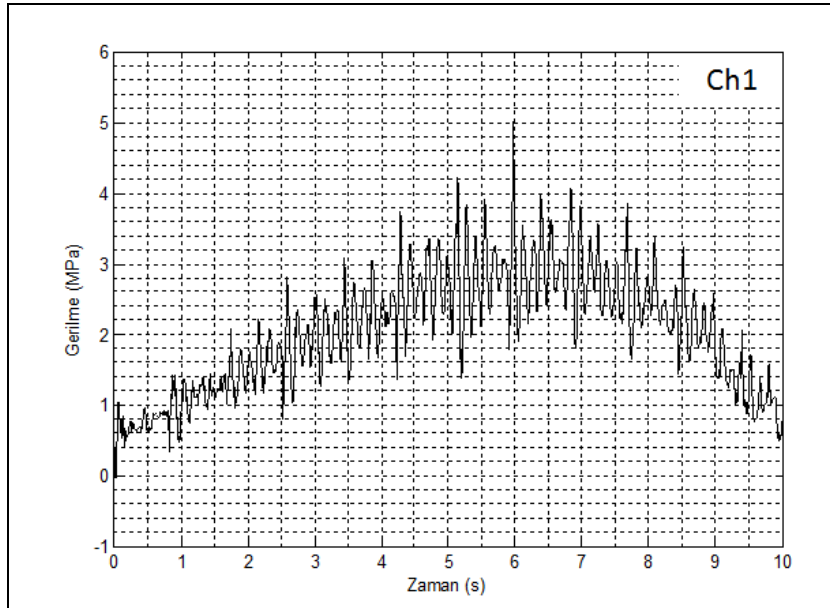
Şekil 5.28 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=200\text{kg}$  için, 3. gerinim ölçerden alınan ölçüm değerleri ile oluşturulan nümerik gerilme-zaman grafiği



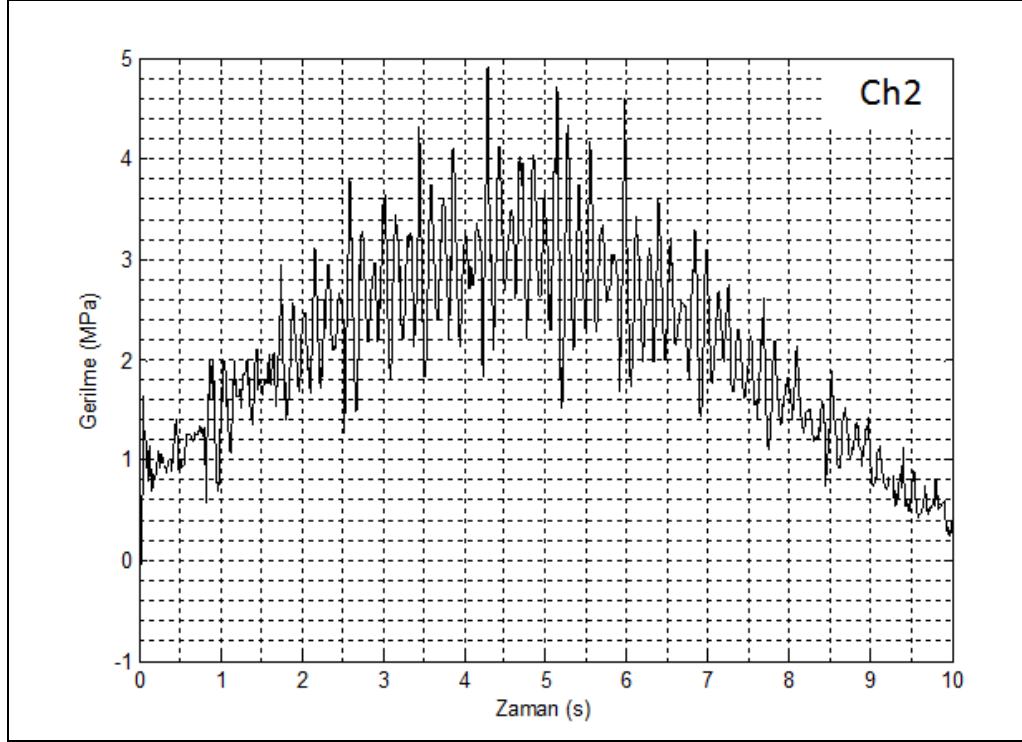
Şekil 5.29 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=200\text{kg}$  için, 4. gerinim ölçerden alınan ölçüm değerlerinin nümerik gerilme-zaman grafiği

#### 5.3.1.4 300 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Nümerik Ölçüm Değerleri

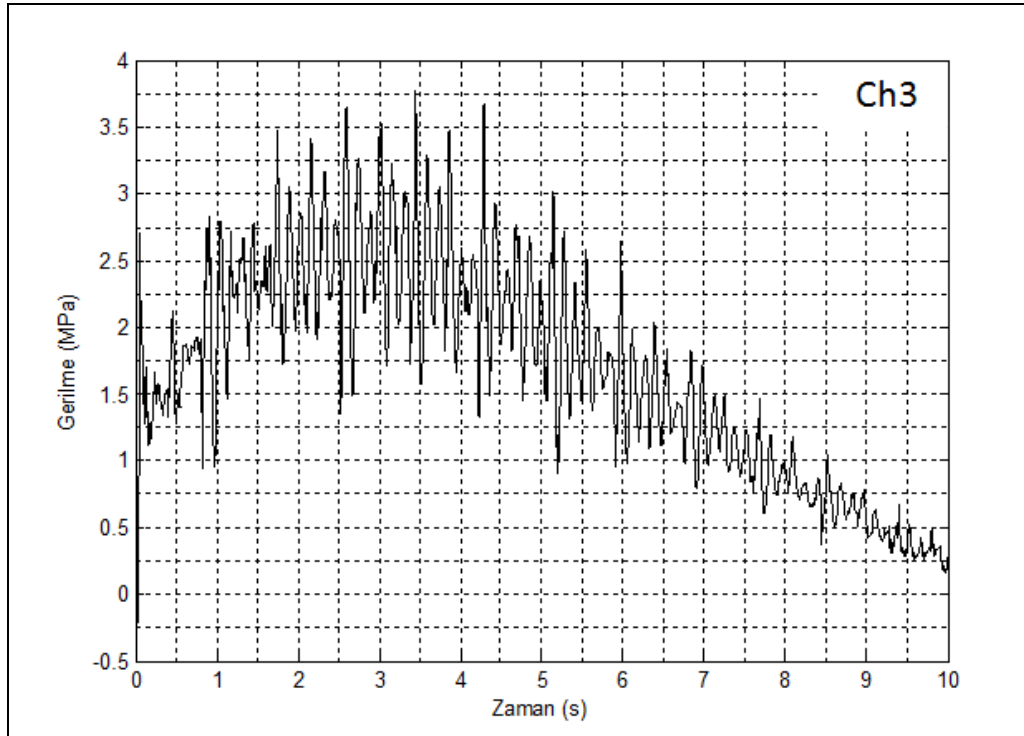
Araba kancasına 300 kg'lık ağırlık yüklendiği durumda elde edilen eğilme gerilmesi değerleri Şekil 5.30, Şekil 5.31, Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'de gösterilmiştir.



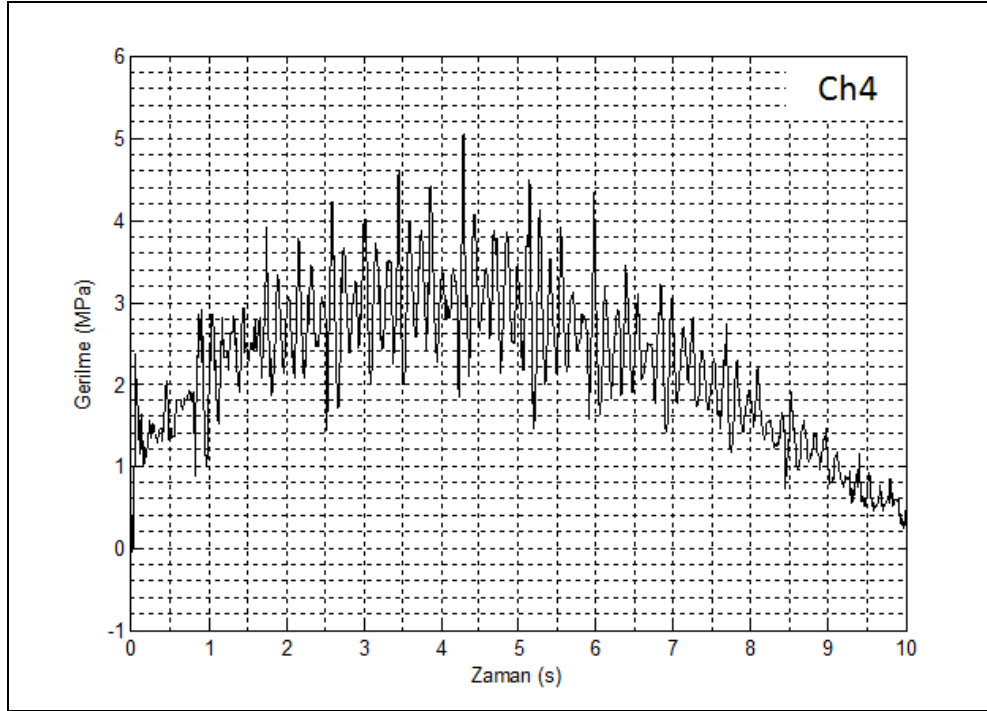
Şekil 5.30 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=300\text{kg}$  için 1. gerinim ölçerden alınan ölçüm değerlerinin nümerik gerilme-zaman grafiği



Şekil 5.31 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=300\text{kg}$  için, 2 numaralı gerinim ölçerden alınan ölçüm değerleri ile oluşturulan nümerik gerilme-zaman grafiği



Şekil 5.32 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=300\text{kg}$  için, 3 numaralı gerinim ölçerden alınan ölçüm değerleri ile oluşturulan nümerik gerilme-zaman grafiği



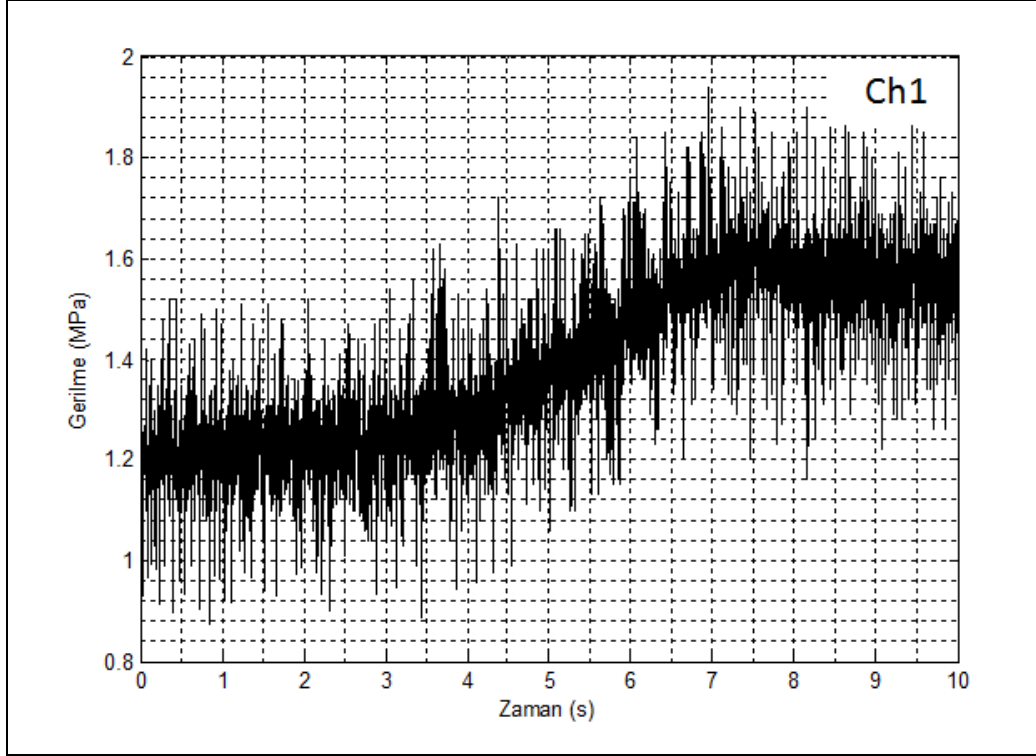
Şekil 5.33 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=300\text{kg}$  için, 4 numaralı gerinim ölçerden alınan ölçüm değerleri ile oluşturulan nümerik gerilme-zaman grafiği

### 5.3.2 Deneysel Dinamik Analiz Sonuçları

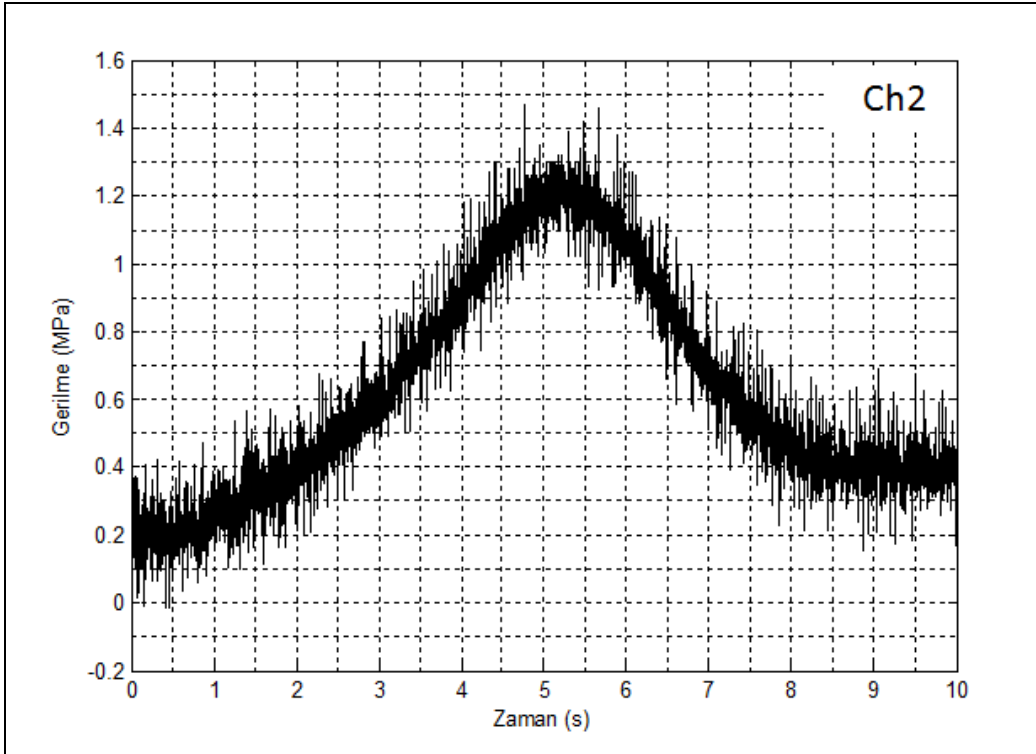
Bölüm 5.2’de anlatıldığı şekilde gerçekleştirilmiş olan dinamik gerilme testlerinin sonuçları aşağıda grafikler halinde verilmektedir. Çalışmalar, nümerik çalışma ile aynı şekilde 0, 100, 200 ve 300 kg’lık ağırlıklar ile yapılmış ve sonuçlar bu ağırlıklara göre sınıflandırılmıştır.

#### 5.3.2.1 0 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Deneysel Ölçüm Değerleri

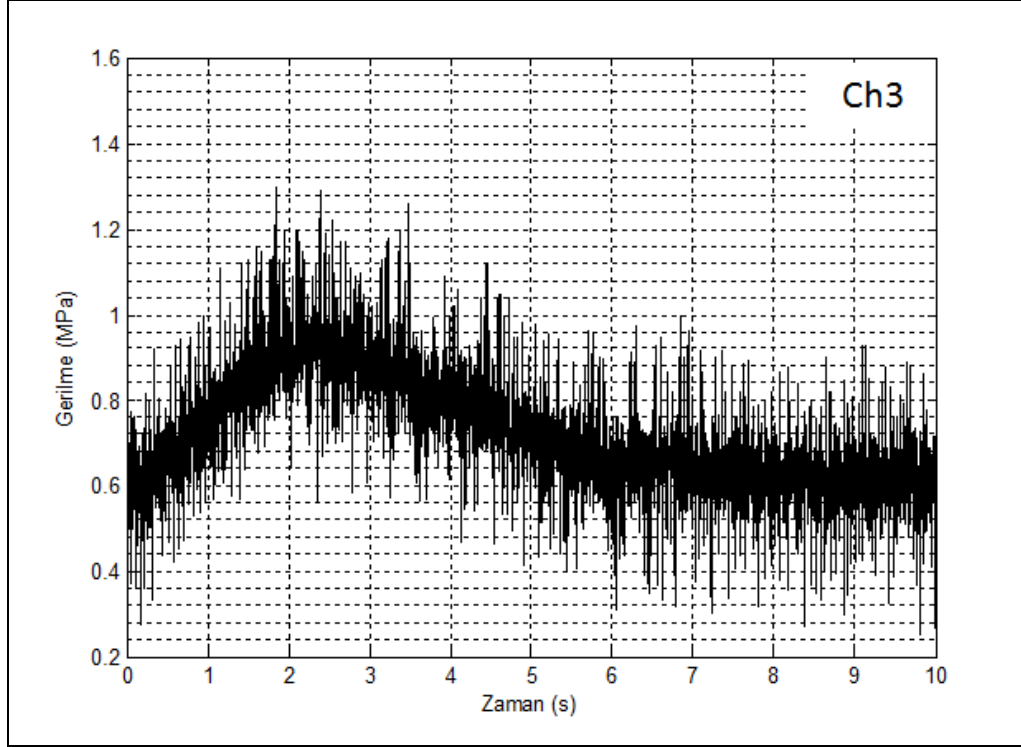
Araba kancasına herhangi bir ağırlık yüklenmediği durumda elde edilen eğilme gerilmesi değerleri Şekil 5.34, Şekil 5.35, Şekil 5.36 ve Şekil 5.37’da gösterilmiştir.



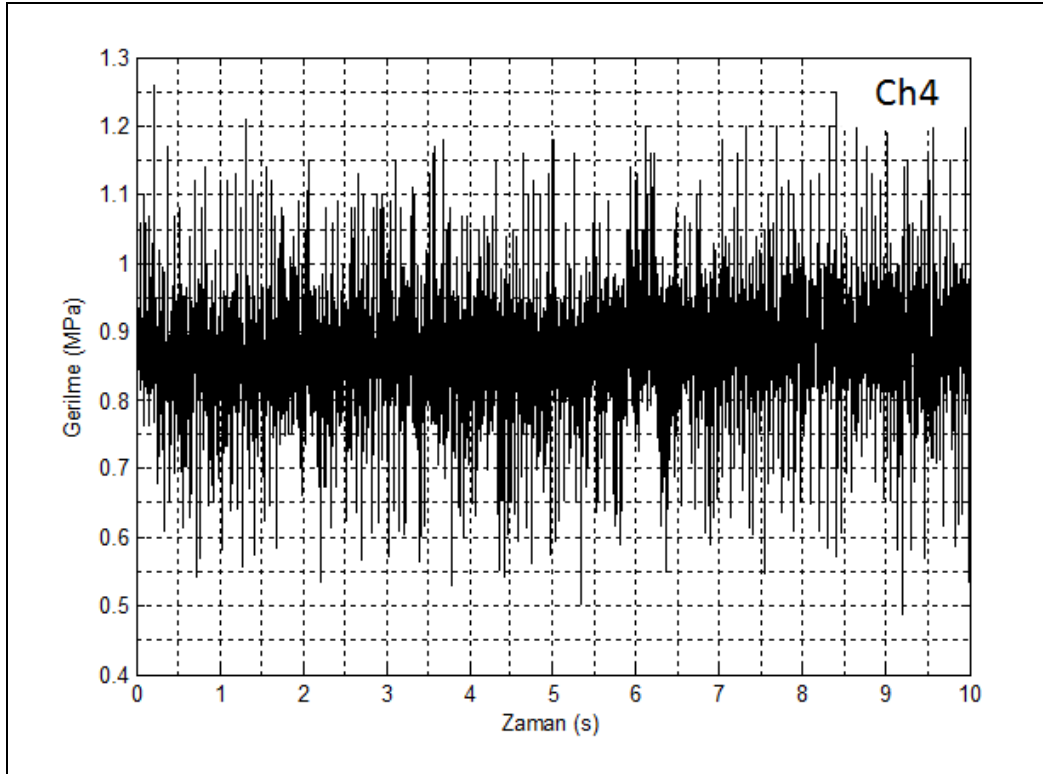
Şekil 5.34 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=0\text{kg}$  için 1 numaralı gerinim ölçerden alınan ölçüm değerleri ile oluşturulan deneysel gerilme-zaman grafiği



Şekil 5.35 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=0\text{kg}$  için, 2 numaralı gerinim ölçerden alınan ölçüm değerleri ile oluşturulan deneysel gerilme-zaman grafiği



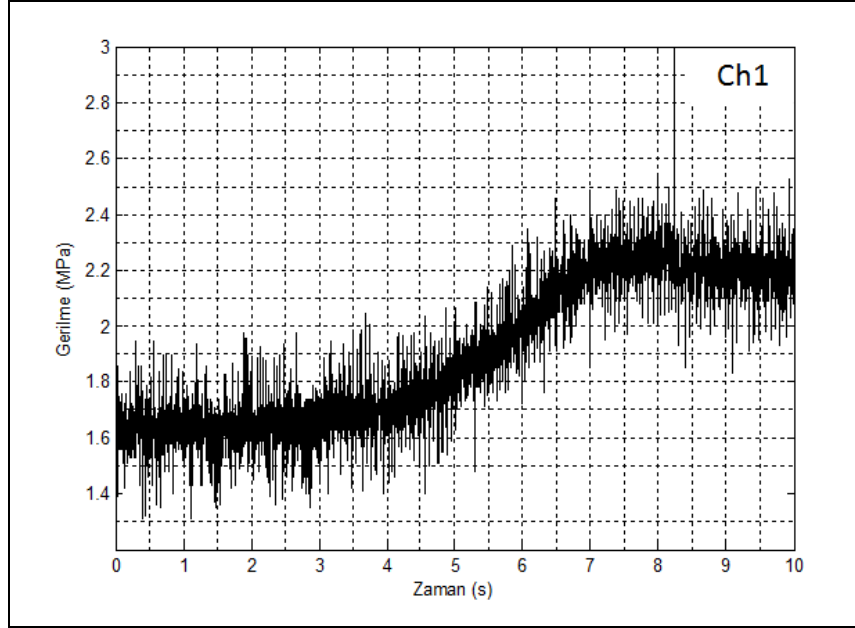
Şekil 5.36 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=0\text{kg}$  için, 3 numaralı gerinim ölçerden alınan ölçüm değerleri ile oluşturulan deneysel gerilme-zaman grafiği



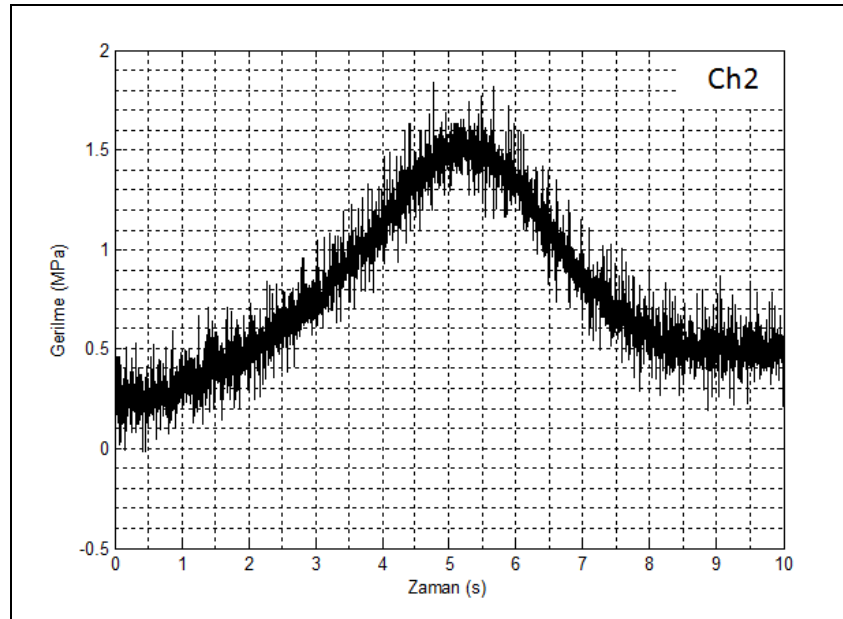
Şekil 5.37 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=0\text{kg}$  için, 4 numaralı gerinim ölçerden alınan ölçüm değerleri ile oluşturulan deneysel gerilme-zaman grafiği

### 5.3.2.2 100 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Deneysel Ölçüm Değerleri

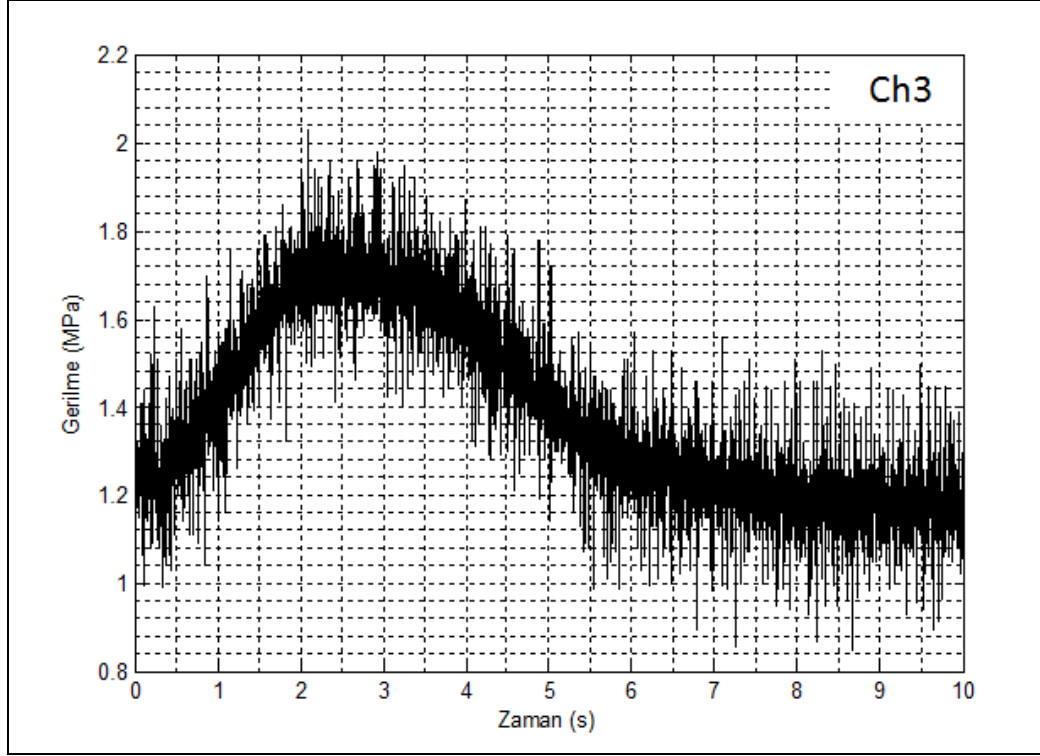
Araba kancasına 100 kg'lık ağırlık yüklendiği durumda elde edilen eğilme gerilmesi değerleri Şekil 5.38, Şekil 5.39, Şekil 5.40 ve Şekil 5.41'de gösterilmiştir.



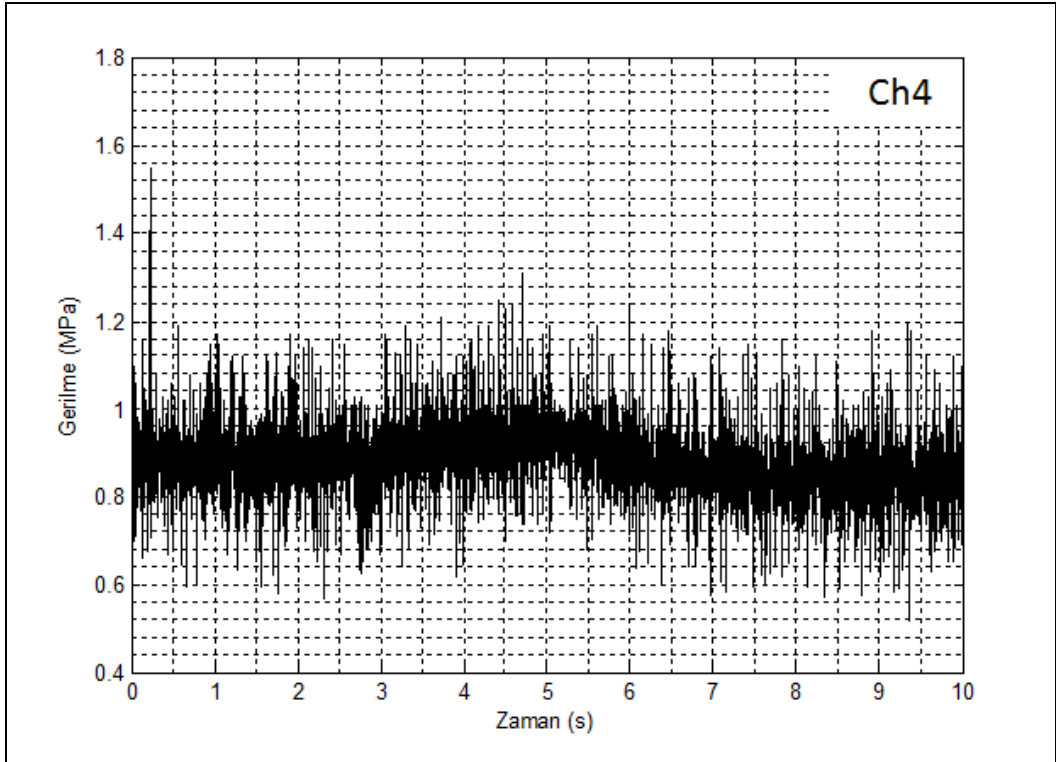
Şekil 5.38 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=100\text{kg}$  için 1. gerinim ölçerden alınan ölçüm değerlerinin deneysel gerilme-zaman grafiği



Şekil 5.39 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=100\text{kg}$  için, 2. gerinim ölçerden alınan ölçüm değerlerinin deneysel gerilme-zaman grafiği



Şekil 5.40 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=100\text{kg}$  için, 3 numaralı gerinim ölçerden alınan ölçüm değerleri ile oluşturulan deneysel gerilme-zaman grafiği

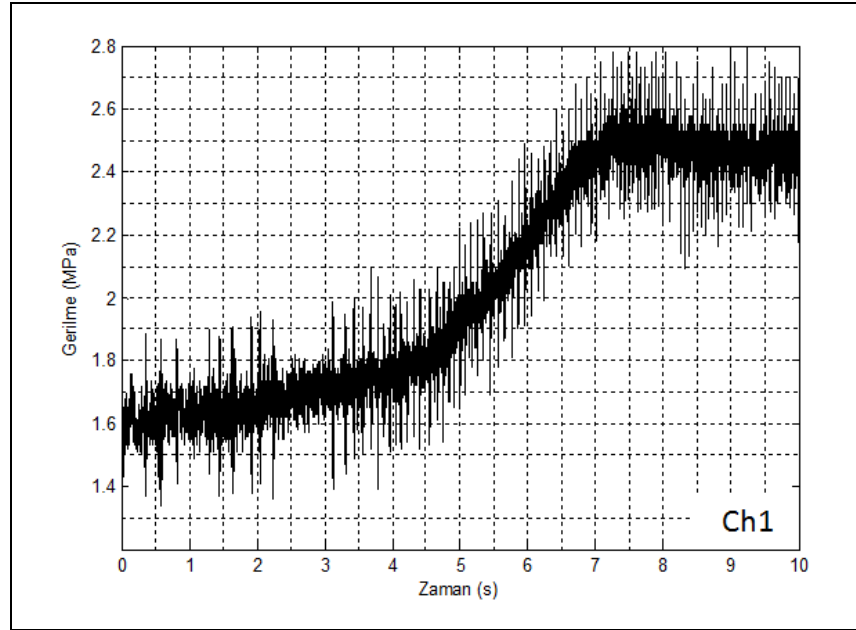


Şekil 5.41 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=100\text{kg}$  için, 4 numaralı gerinim ölçerden alınan ölçüm değerleri ile oluşturulan deneysel gerilme-zaman grafiği

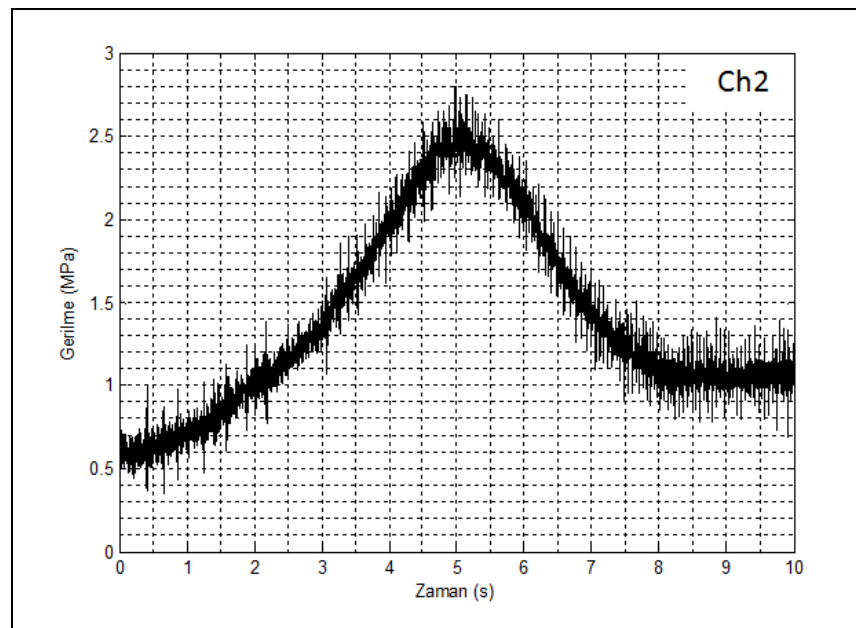


### 5.3.2.3 200 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Deneysel Ölçüm Değerleri

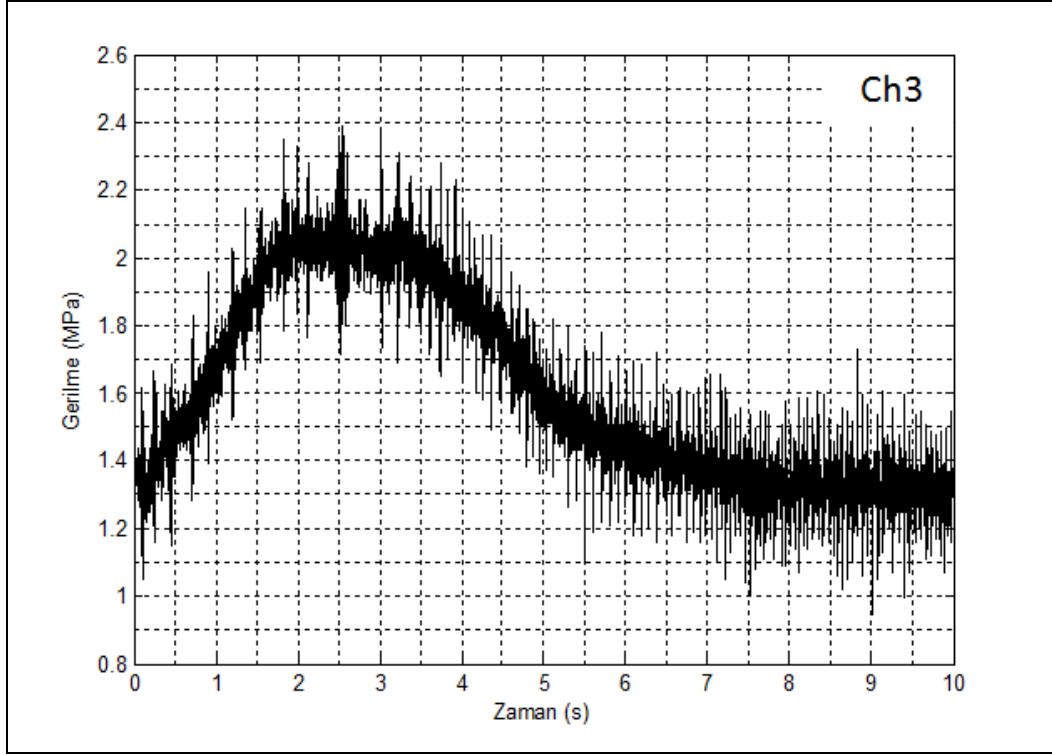
Araba kancasına 300 kg'lık ağırlık yüklendiği durumda elde edilen eğilme gerilmesi değerleri Şekil 5.42, Şekil 5.43, Şekil 5.44 ve Şekil 5.45'de gösterilmiştir.



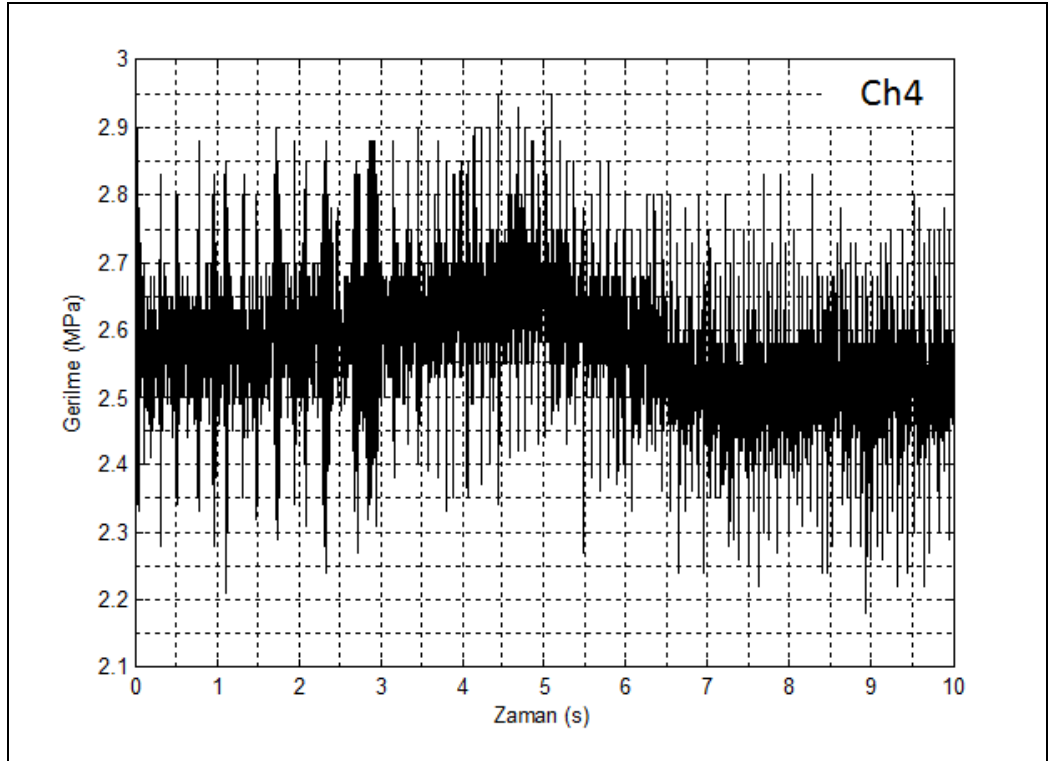
Şekil 5.42 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=200\text{kg}$  için 1. gerinim ölçerden alınan ölçüm değerlerinin deneysel gerilme-zaman grafiği



Şekil 5.43 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=200\text{kg}$  için 2. gerinim ölçerden alınan ölçüm değerlerinin deneysel gerilme-zaman grafiği



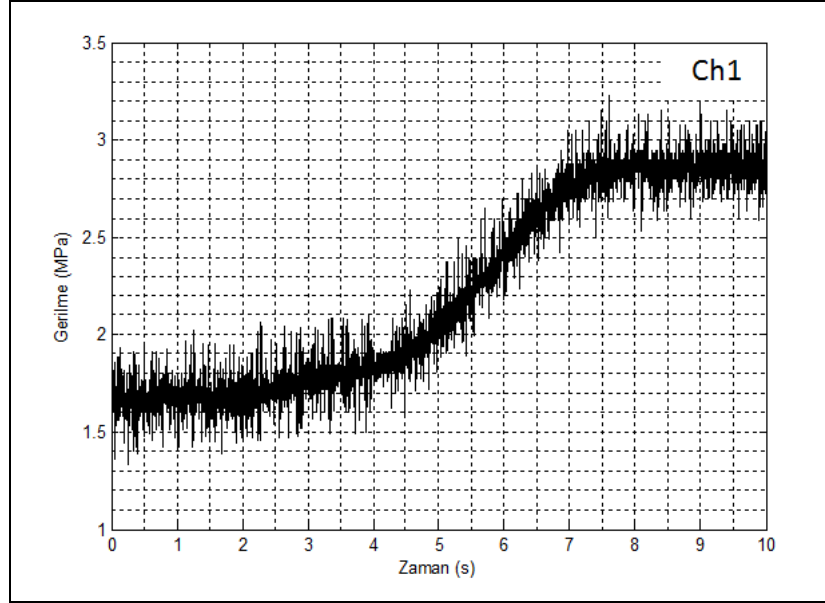
Şekil 5.44 "Double T" farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=200\text{kg}$  için, 3 numaralı gerinim ölçerden alınan ölçüm değerleri ile oluşturulan deneysel gerilme-zaman grafiği



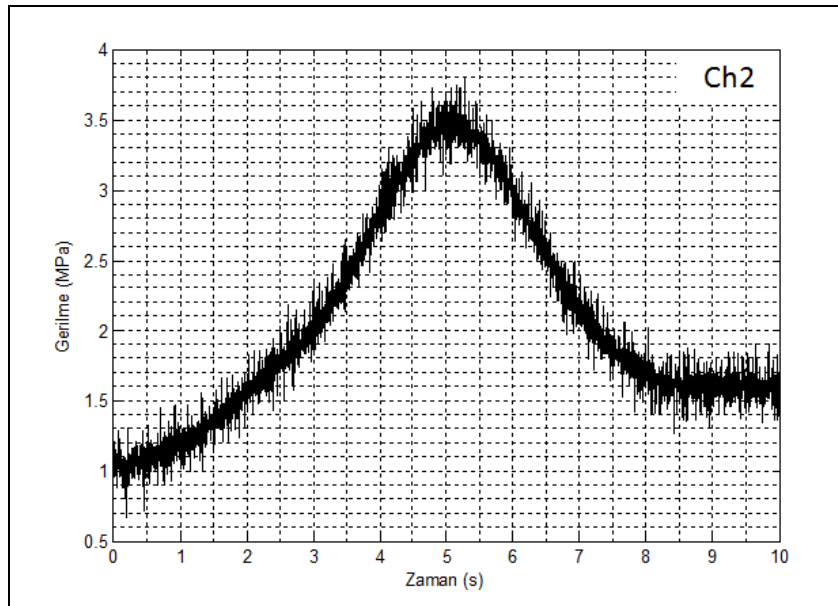
Şekil 5.45 "Double T" farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=200\text{kg}$  için, 4 numaralı gerinim ölçerden alınan ölçüm değerleri ile oluşturulan deneysel gerilme-zaman grafiği

### 5.3.2.4 300 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Deneysel Ölçüm Değerleri

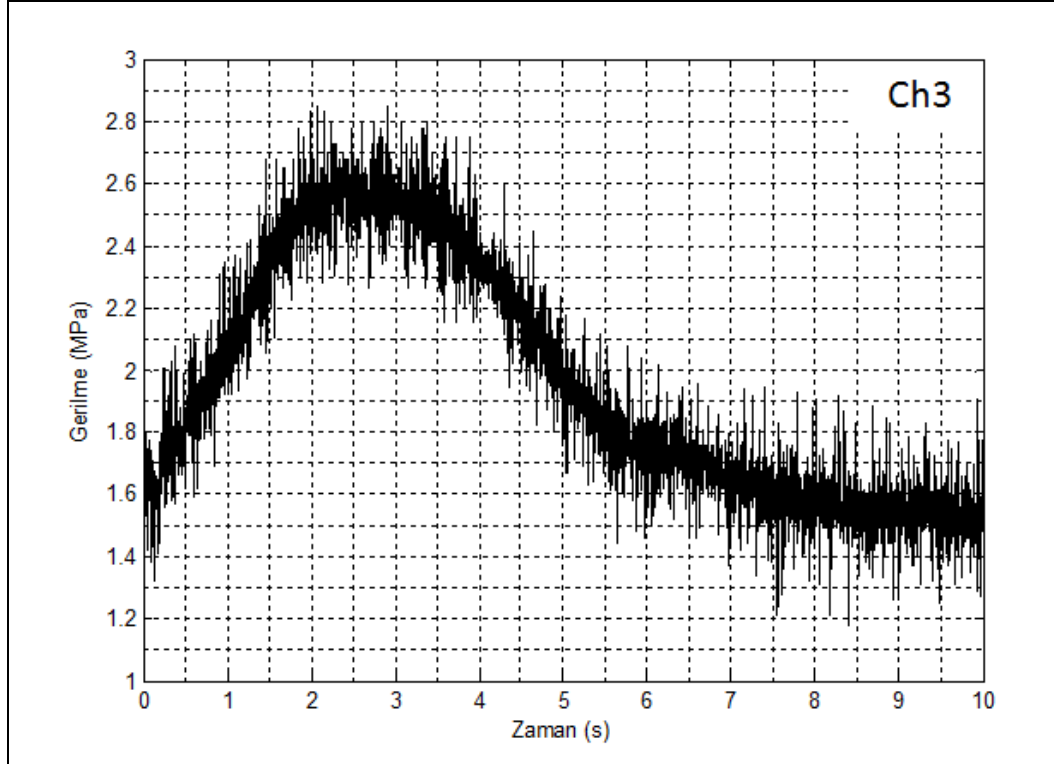
Araba kancasına 300 kg'lık ağırlık yüklendiği durumda elde edilen eğilme gerilmesi değerleri Şekil 5.46, Şekil 5.47, Şekil 5.48 ve Şekil 5.49'de gösterilmiştir.



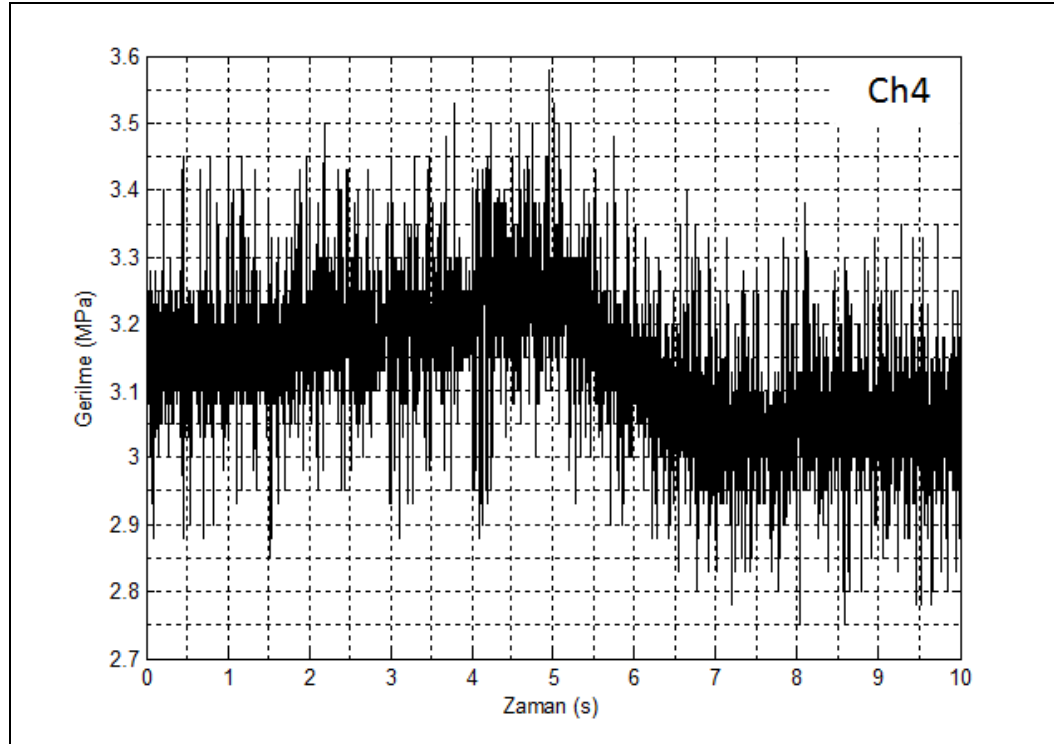
Şekil 5.46 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=300\text{kg}$  için 1. gerinim ölçerden alınan ölçüm değerlerinin deneysel gerilme-zaman grafiği



Şekil 5.47 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=300\text{kg}$  için, 2. gerinim ölçerden alınan ölçüm değerlerinin deneysel gerilme-zaman grafiği



Şekil 5.48 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=300\text{kg}$  için, 3 numaralı gerinim ölçerden alınan ölçüm değerleri ile oluşturulan deneysel gerilme-zaman grafiği



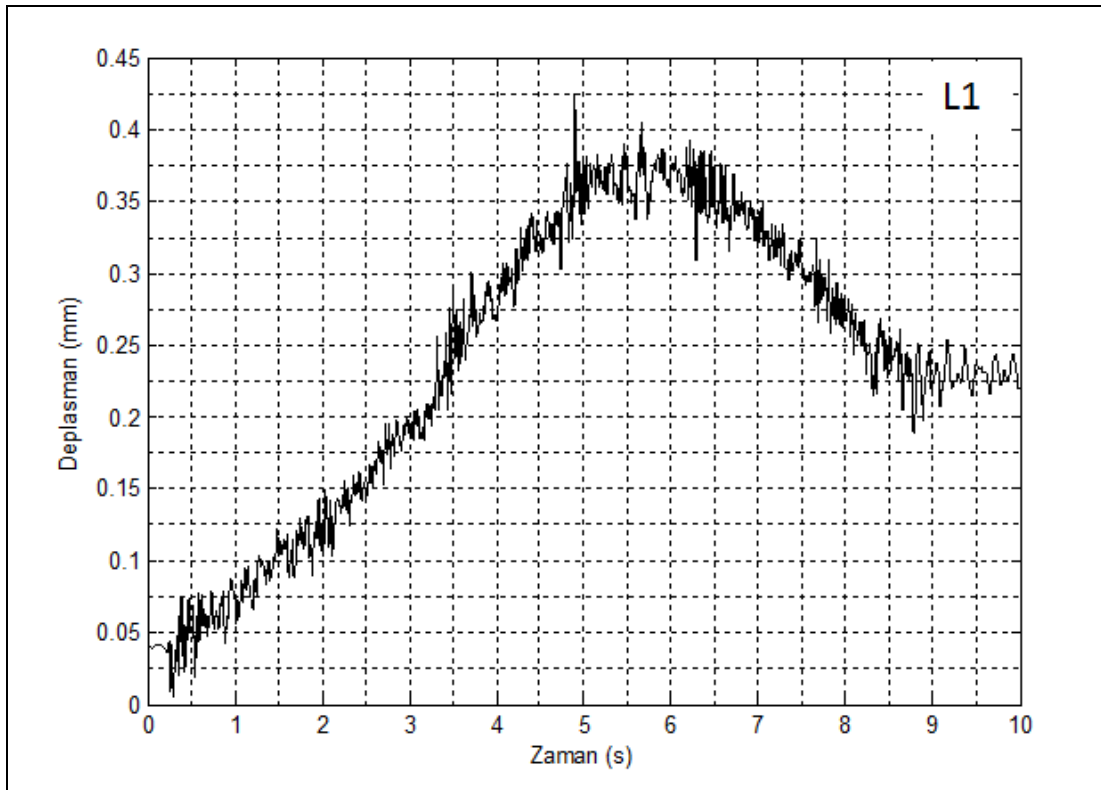
Şekil 5.49 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=200\text{kg}$  için, 4 numaralı gerinim ölçerden alınan ölçüm değerleri ile oluşturulan deneysel gerilme-zaman grafiği

### 5.3.3 Deneysel Dinamik Analiz Lazer Sonuçları

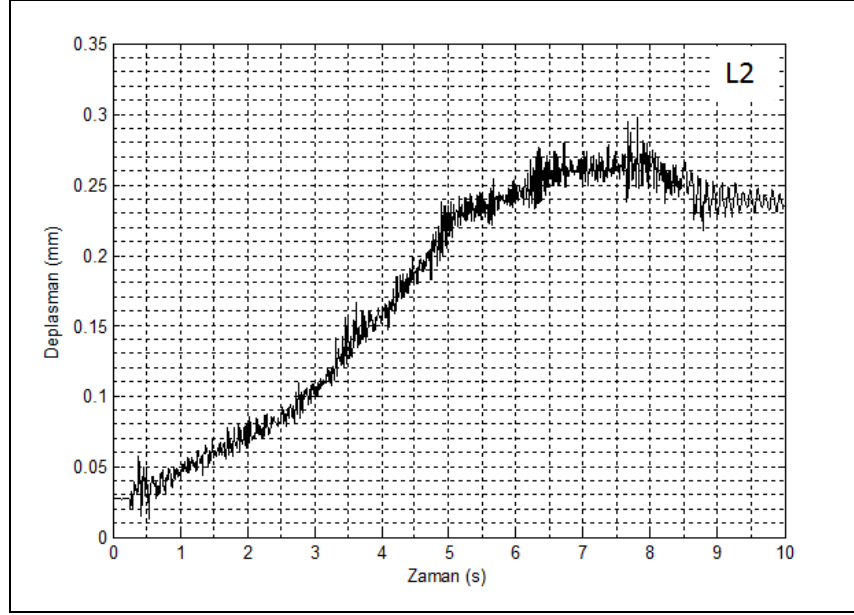
Bölüm 5.2’de anlatıldığı şekilde gerçekleştirilmiş olan dinamik gerilme testleri sonucunda lazer ölçüm cihazlarından alınan deplasman sonuçları aşağıda grafikler halinde verilmektedir.

#### 5.3.3.1 0 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Deneysel Ölçüm Değerleri

Araba kancasına herhangi bir ağırlık yüklenmediği durumda elde edilen deplasman değerleri Şekil 5.50 ve Şekil 5.51’de gösterilmiştir.



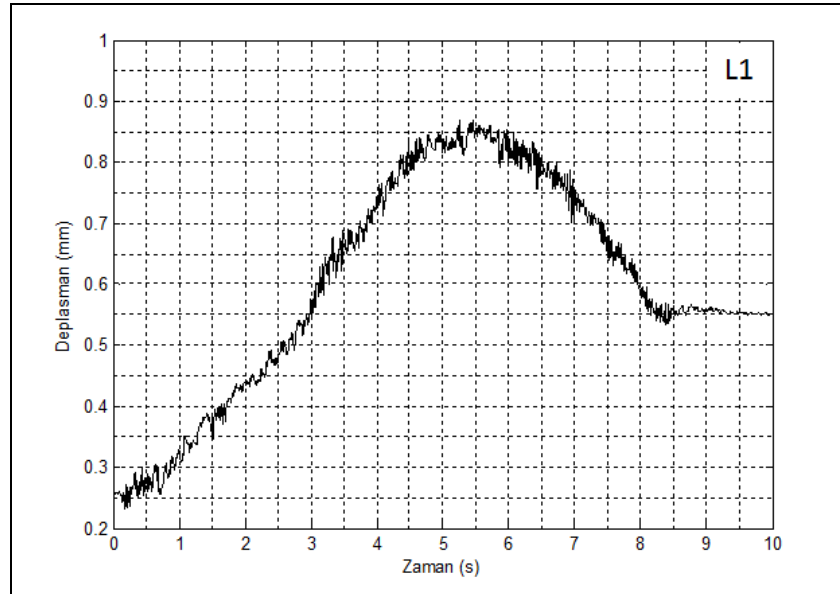
Şekil 5.50 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=0\text{kg}$  için 1 numaralı lazer ölçüm cihazından alınan ölçüm değerleri ile oluşturulan deneysel deplasman-zaman grafiği



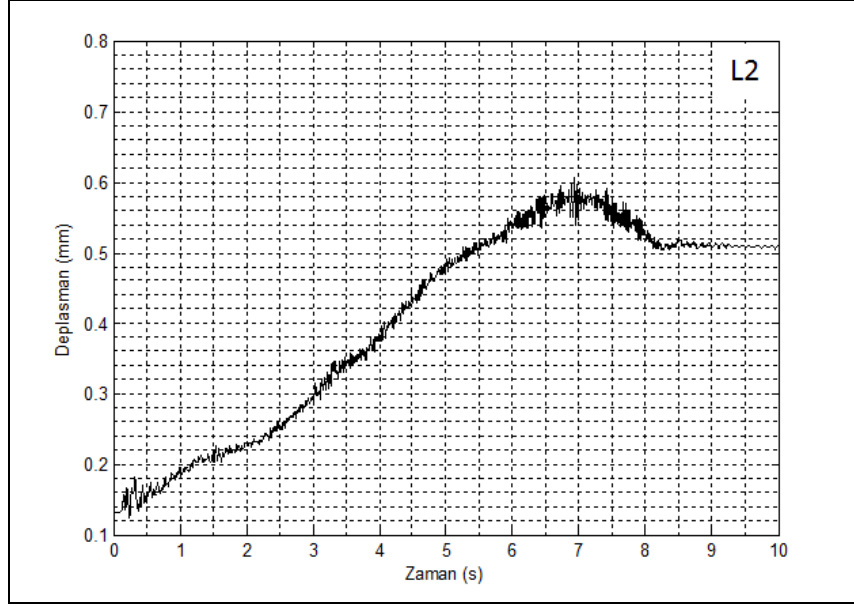
Şekil 5.51 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=0\text{kg}$  için 2. lazer ölçüm cihazından alınan ölçüm değerlerinin deneysel deplasman-zaman grafiği

### 5.3.3.2 100 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Deneysel Ölçüm Değerleri

Araba kancasına 100kg'lık ağırlık yüklendiği durumda elde edilen deplasman değerleri Şekil 5.52 ve Şekil 5.53'de gösterilmiştir.



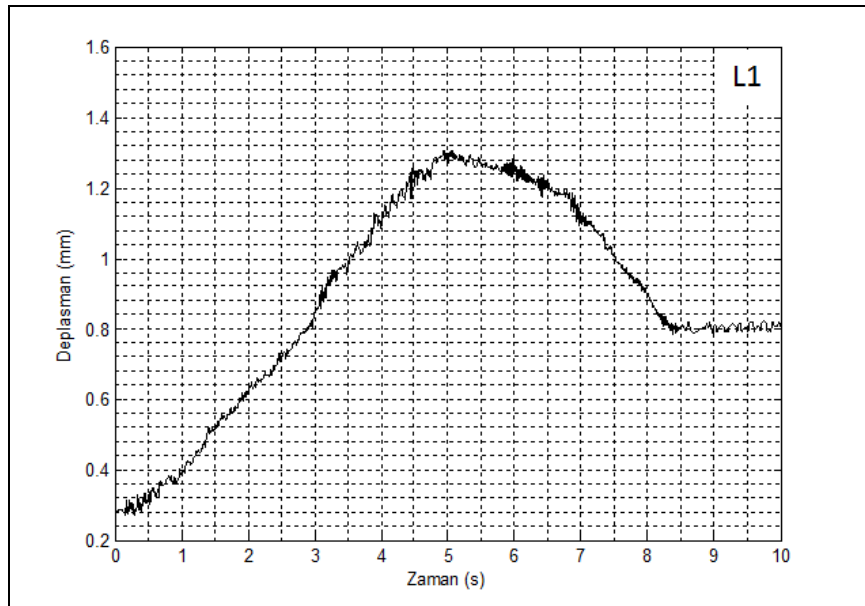
Şekil 5.52 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=0\text{kg}$  için 1. lazer ölçüm cihazından alınan ölçüm değerlerinin deneysel deplasman-zaman grafiği



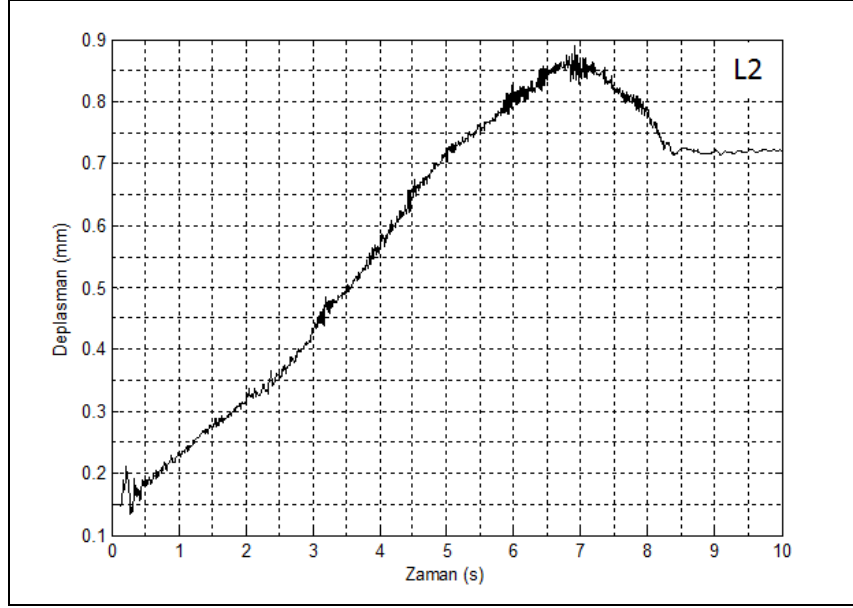
Şekil 5.53 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=0\text{kg}$  için 2. Lazer ölçüm cihazından alınan ölçüm değerlerinin deneysel deplasman-zaman grafiği

### 5.3.3.3 200 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Deneysel Ölçüm Değerleri

Araba kancasına 200kg'lık ağırlık yüklendiği durumda elde edilen deplasman değerleri Şekil 5.54 ve Şekil 5.55’de gösterilmiştir.



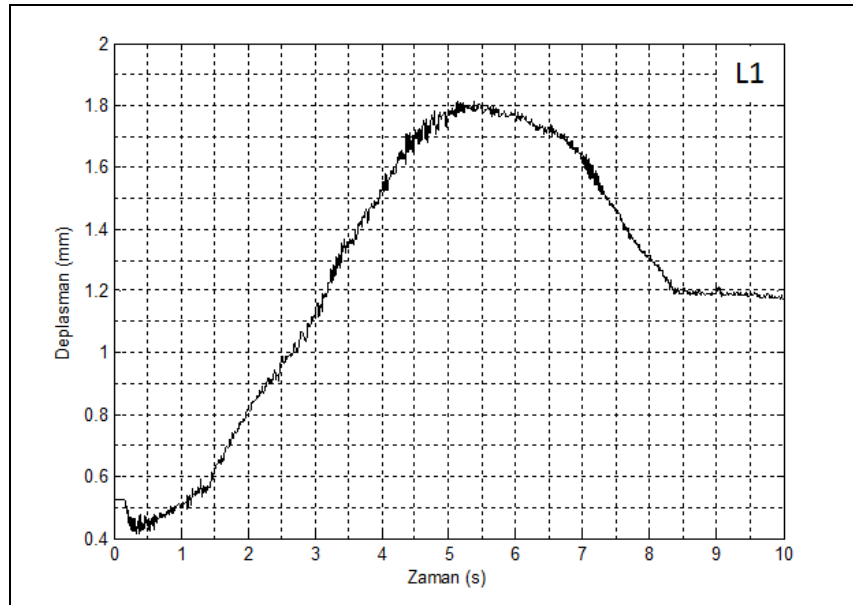
Şekil 5.54 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=0\text{kg}$  için 1. Lazer ölçüm cihazından alınan ölçüm değerlerinin deneysel deplasman-zaman grafiği



Şekil 5.55 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=0\text{kg}$  için 2. lazer ölçüm cihazından alınan ölçüm değerlerinin deneysel deplasman-zaman grafiği

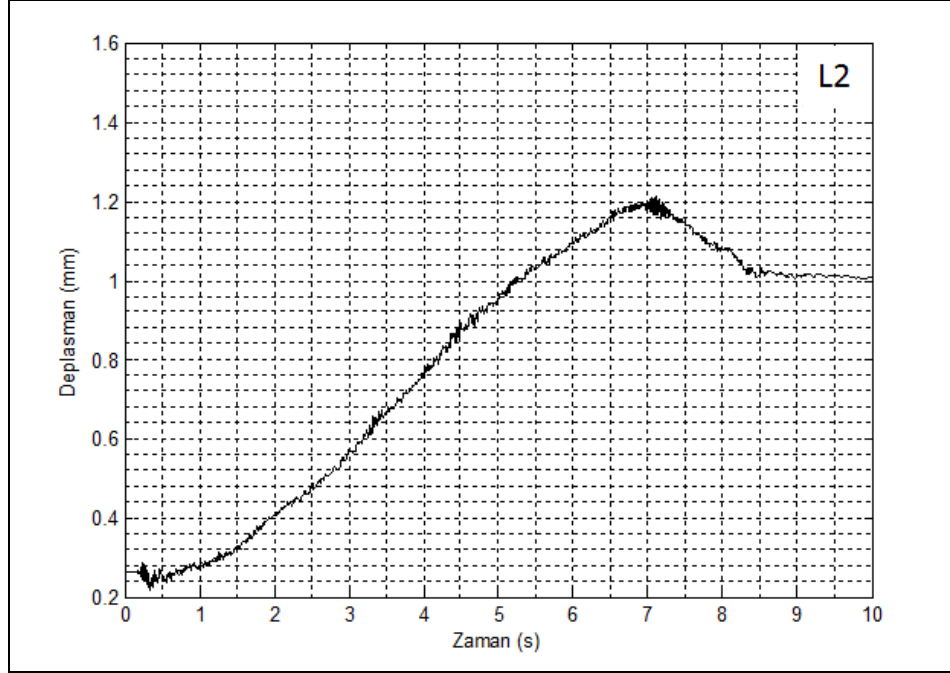
#### 5.3.3.4 300 kg Ağırlık Yüklendiği Durumda Deneysel Ölçüm Değerleri

Araba kancasına 300kg'lık ağırlık yüklendiği durumda elde edilen deplasman değerleri Şekil 5.56 ve Şekil 5.57'de gösterilmiştir.



Şekil 5.56 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=0\text{kg}$  için 1. Lazer ölçüm cihazından alınan ölçüm değerlerinin deneysel deplasman-zaman grafiği





Şekil 5.57 “Double T” farklı birleştirilmiş CTP taşıyıcı kiriş  $m_L=0\text{kg}$  için 2. lazer ölçüm cihazından alınan ölçüm değerleri ile oluşturulan deneysel deplasman-zaman grafiği

#### 5.4 Nümerik ve Deneysel Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

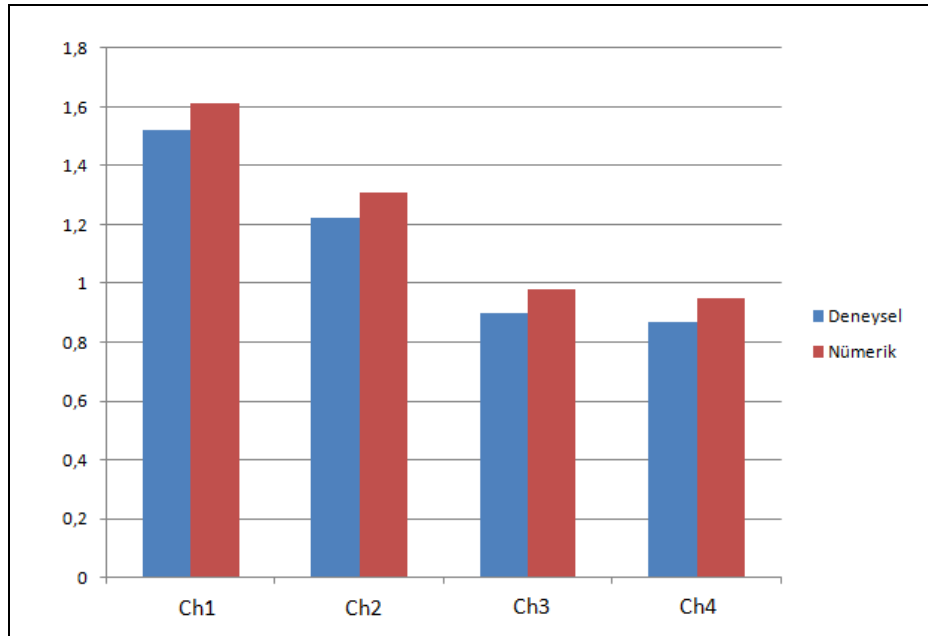
Bu bölümde, RecurDyn V7 R1 programından elde edilen eğilme gerilmesi değerleri ile, hazırlanan deney düzeneğinden, gerinim ölçerler yardımıyla alınan eğilme gerilmesi değerleri karşılaştırılmaktadır.

##### 5.4.1 0 kg'lık Ağırlık İle Gerçekleştirilen Deneysel ve Nümerik Çalışmaların Sonuçlarının Karşılaştırılması

0 kg'lık ağırlık ile gerçekleştirilen nümerik ve deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak Tablo 5.1 ve Şekil 5.58'de gösterildiği gibidir;

Tablo 5.1 0 kg'lık ağırlıkla yapılmış deneysel ve nümerik çalışmalardan alınan eğilme gerilmesi değerleri (MPa)

Ch 1		Ch 2		Ch 3		Ch 4	
Deneysel	Nümerik	Deneysel	Nümerik	Deneysel	Nümerik	Deneysel	Nümerik
1,52	1,61	1,221	1,31	0,9	0,98	0,87	0,95



Şekil 5.58 0 kg'lık ağırlıkla yapılmış deneysel ve nümerik çalışmalardan alınan eğilme gerilmesi değerleri (MPa)

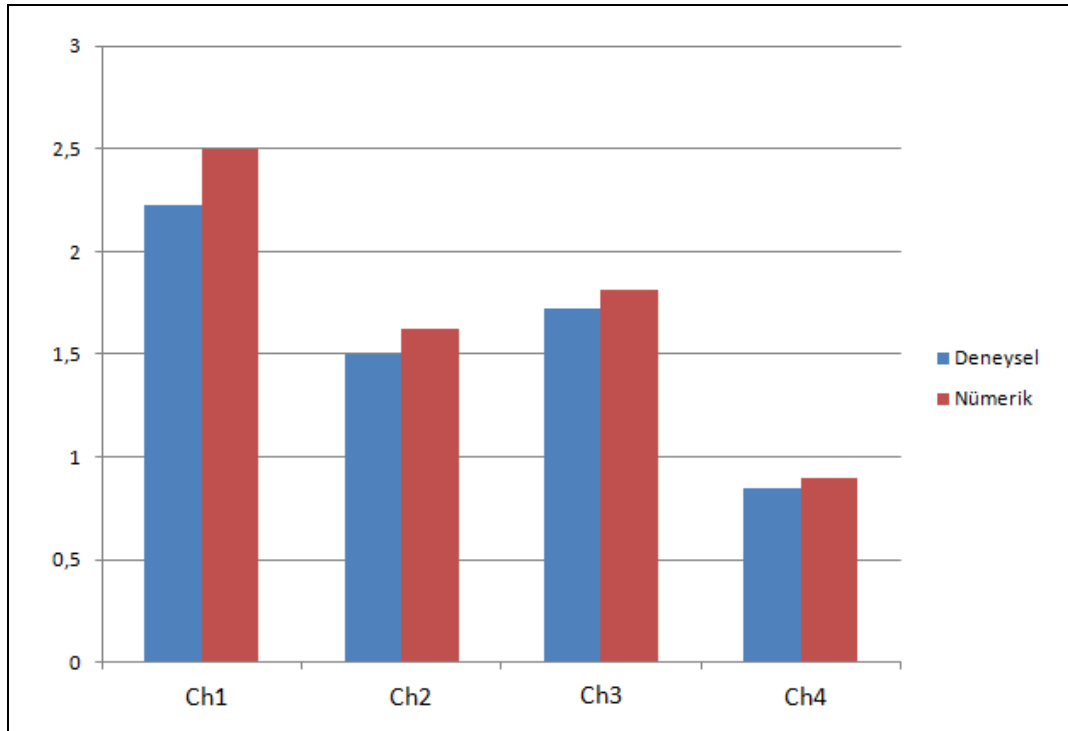
Taşıyıcı kiriş üzerindeki arabaya herhangi bir ağırlık yüklenmediği durumda deneysel ve nümerik çalışma sonuçları karşılaştırıldığında, nümerik hesaplamalardan alınan eğilme gerilmesi değerlerinin deneysel çalışmaya oldukça yakın olduğu görülmektedir. Aradaki %5-6'lık farka, nümerik çalışma benzetiminde belirlenmiş olan güvenlik katsayısının ve deneysel çalışmadaki ani ivmelenme ve durma etkilerinin neden olduğu düşünülmektedir.

### 5.4.2 100 kg'lık Ağırlık İle Gerçekleştirilen Deneysel ve Nümerik Çalışmaların Sonuçlarının Karşılaştırılması

100 kg'lık ağırlık ile gerçekleştirilen nümerik ve deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak Tablo 5.2 ve Şekil 5.59'da gösterildiği gibidir;

Tablo 5.2 100 kg'lık ağırlıkla yapılmış deneysel ve nümerik çalışmalardan alınan eğilme gerilmesi değerleri (MPa)

Ch 1		Ch 2		Ch 3		Ch 4	
Deneysel	Nümerik	Deneysel	Nümerik	Deneysel	Nümerik	Deneysel	Nümerik
2,225	2,5	1,5	1,62	1,72	1,81	0,85	0,9



Şekil 5.59 100 kg'lık ağırlıkla yapılmış deneysel ve nümerik çalışmalardan alınan eğilme gerilmesi değerleri (MPa)

Taşıyıcı kiriş üzerindeki arabaya 100 kg'lık ağırlık yüklendiği durumda deneysel ve nümerik çalışma sonuçları karşılaştırıldığında, nümerik hesaplamalardan alınan eğilme gerilmesi değerlerinin deneysel çalışmaya oldukça yakın olduğu görülmektedir. Aradaki %4-5'lik farka, nümerik çalışma benzetiminde belirlenmiş olan güvenlik katsayısının ve deneysel çalışmadaki ani ivmelenme ve durma etkilerinin neden olduğu düşünülmektedir.

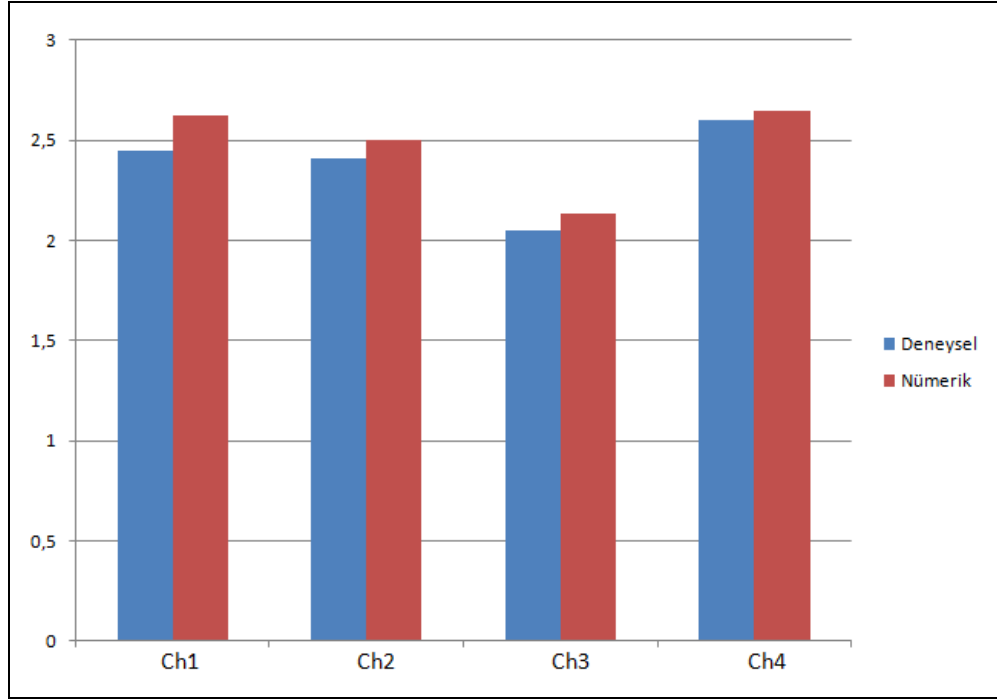
#### **5.4.3 200 kg'lık Ağırlık İle Gerçekleştirilen Deneysel ve Nümerik Çalışmaların Sonuçlarının Karşılaştırılması**

200 kg'lık ağırlık ile gerçekleştirilen nümerik ve deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak Tablo 5.3 ve Şekil 5.60'da gösterildiği gibidir;

Tablo 5.3 200 kg'lık ağırlıkla yapılmış deneysel ve nümerik çalışmalardan alınan eğilme gerilmesi değerleri (MPa)

Ch 1		Ch 2		Ch 3		Ch 4	
Deneysel	Nümerik	Deneysel	Nümerik	Deneysel	Nümerik	Deneysel	Nümerik
2,45	2,62	2,41	2,51	2,05	2,13	2,6	2,65

Taşıyıcı kiriş üzerindeki arabaya 200 kg'lık ağırlık yüklendiği durumda deneysel ve nümerik çalışma sonuçları karşılaştırıldığında, nümerik hesaplamalardan alınan eğilme gerilmesi değerlerinin deneysel çalışmaya oldukça yakın olduğu görülmektedir. Aradaki %4-5'lik farka, nümerik çalışma benzetiminde belirlenmiş olan güvenlik katsayısının ve deneysel çalışmadaki ani ivmelenme ve durma etkilerinin neden olduğu düşünülmektedir.



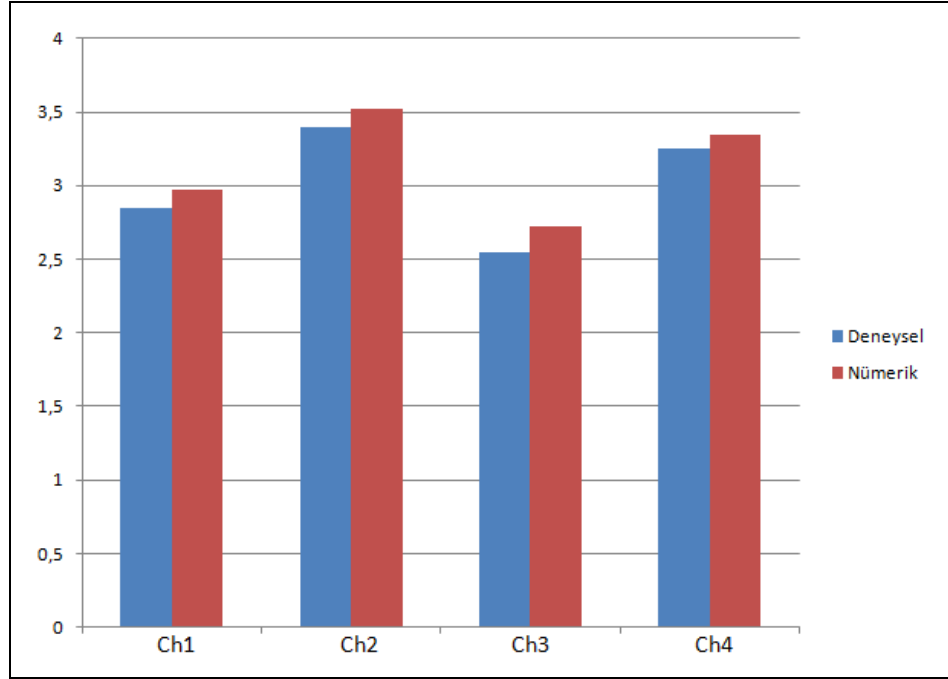
Şekil 5.60 200 kg'lık ağırlıkla yapılmış deneysel ve nümerik çalışmalardan alınan eğilme gerilmesi değerleri (MPa)

#### 5.4.4 300 kg'lık Ağırlık İle Gerçekleştirilen Deneysel ve Nümerik Çalışmaların Sonuçlarının Karşılaştırılması

300 kg'lık ağırlık ile gerçekleştirilen nümerik ve deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak Tablo 5.4 ve Şekil 5.61'de gösterildiği gibidir;

Tablo 5.4 300 kg'lık ağırlıkla yapılmış deneysel ve nümerik çalışmalardan alınan eğilme gerilmesi değerleri (MPa)

Ch 1		Ch 2		Ch 3		Ch 4	
Deneysel	Nümerik	Deneysel	Nümerik	Deneysel	Nümerik	Deneysel	Nümerik
2,85	2,97	3,4	3,52	2,55	2,72	3,25	3,34



Şekil 5.61 300 kg'lık ağırlıkla yapılmış deneysel ve nümerik çalışmalardan alınan eğilme gerilmesi değerleri (MPa)

Taşıyıcı kiriş üzerindeki arabaya 300 kg'lık ağırlık yüklendiği durumda deneysel ve nümerik çalışma sonuçları karşılaştırıldığında, nümerik hesaplamalardan alınan eğilme gerilmesi değerlerinin deneysel çalışmaya oldukça yakın olduğu görülmektedir. Aradaki %4-5'lik farka, nümerik çalışma benzetiminde belirlenmiş olan güvenlik katsayısının ve deneysel çalışmadaki ani ivmelenme ve durma etkilerinin neden olduğu düşünülmektedir.

## BÖLÜM ALTI

### DEĞERLENDİRME

Bu çalışmanın amacı, kompozit taşıyıcı profillerin köprülü krenlerde, kren ana taşıyıcı kirişi olarak kullanımının araştırılması ve farklı birleştirilmiş bir kompozit taşıyıcı kiriş tasarımının davranışının dinamik açıdan incelenmesidir. Çalışma sırasında, tasarlanmış olan “double T” farklı birleştirilmiş kompozit taşıyıcı kiriş için deney düzeneği hazırlanmış, aynı tasarım için deney standartlarında nümerik hesaplamalar yapılmıştır. Kompozit taşıyıcı kirişlerin, kren ana taşıyıcı kirişi olarak kullanımı mümkün olabileceği durumlarda tasarımın mekanik davranışının kontrolünün nasıl yapılacağı konusunda yol gösterilmiş ve sanayide seri üretim halinde uzun zaman alacak olan fiziksel test süresinin kısaltılması adına nümerik hesaplama yöntemi geliştirilmiştir.

Deneyel ve nümerik çalışmaların sonuçlarına bakıldığında, çalışmalardaki yükleme koşulları altında, tasarlanmış olan farklı birleştirilmiş kompozit taşıyıcı kirişin sehim değerlerinin “L/1000 kontrol değerinin altında olduğu ve maksimum eğilme gerilmesi değerlerinin de, malzemenin akma gerilmesi değerlerinin oldukça altında değerlerde kaldıkları görülmektedir. Bu anlamda tasarlanmış olan “double T” farklı birleştirilmiş kompozit taşıyıcı kirişlerin mekanik açıdan uygun olduğuna karar verilmiştir.

Yine deneyel ve nümerik çalışmaların sonuçları karşılaştırıldığında, nümerik çalışmalardan elde edilen eğilme gerilmesi değerlerinin deneyel çalışmalardan elde edilenlere göre %4-5 fazla olduğu görülmektedir. Bu farklılık nümerik çalışmalarda hesaba katılmış olan güvenlik katsayıları sayesinde ortaya çıkmıştır ve isteğe göre azaltılabilecektir. Ayrıca sonuçların oldukça yakın olması, salınım hareketinin doğru bir şekilde benzetilmiş olmasını, modelde yapılan basitleştirme ve sadeleştirmelerin doğruluğunu, kurulan sonlu eleman modelinin uygunluğunu ve ani ivmelenme, durma gibi deneyel çalışmada bulunan karakteristik özelliklerin nümerik çalışmaya uygun bir şekilde yansıtılmasını göstermektedir.

Salınım hareketinin dinamik yükler üzerindeki etkisi yapılan deneysel ve nümerik çalışmalarda da görülmektedir. Salınım hareketinin artmasına bağlı olarak hareketli yükün dinamik etkileri de artmakta ve kompozit kutu kiriş üzerindeki gerilme değerlerini arttırmaktadır. Deneysel ve nümerik analizler sonucunda elde edilmiş olan gerilme-zaman grafikleri incelendiğinde, ölçümün yapıldığı noktaya göre maksimum gerilme değerlerinin elde edildiği zaman değerleri değişmiştir. Örneğin hareketin başladığı taraftan alınan ölçümlerde maksimum gerilme değerleri 2. saniye dolaylarında görülürken, orta bölgeden alınan ölçümlerde maksimum gerilme değerleri 5. saniye ve son kısımdan alınan ölçümlerde yine maksimum gerilme değerleri 8. saniye dolaylarında görülmektedir.

İleri çalışmalarda yine farklı tasarlanmış kompozit taşıyıcı kirişlerin mekanik davranışları incelenebilir, daha yüksek kaldırma kapasiteli kirişler tasarlanabilir. Bunun yanında mekanik davranış incelenirken, dinamik davranışın yanında kirişlerin yorulma dayanımları da nümerik ve deneysel olarak incelenebilir. Ayrıca CTP malzemenin fabrika içi ve dışı ortam şartlarına uygunluğu da araştırılıp ilgili deney şartları tasarlanabilir.

Yapılan deneysel ve nümerik analizler “Double T” farklı birleştirilmiş kompozit taşıyıcı kirişin belirtilmiş şartlar altında, kren ana kirişi olarak kullanılabilceğini göstermiştir.



## KAYNAKLAR

Aran, A. (1990). *Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler*. İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi.

Arıcasoy, O. (2006). Kompozit Sektör Raporu. *İstanbul Ticaret Odası Yayınları*, 4-15.

ANSYS 11.0, Documentation for ANSYS, Chapter 2.4. 2007.

Boğoçlu M. E., Sağırlı A. ve Azeloğlu C. O. (BT) *Transport Tekniği*. 15 Haziran 2008 [http://www.yildiz.edu.tr/~bogoclu/Transport\\_5.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~bogoclu/Transport_5.pdf).

Correia J. R, Cabral-Fonseca S, Branco F. A, Ferreira J. G, Eusébio M. I, Rodrigues M. P. (2006). *Durability of pultruded glass-fiber-reinforced polyester profiles for structural applications. Mechanics of Composite Materials*, 42, 463-474.

Enşici, A. (2004). *Polimer Esaslı Kompozit Malzemeler ve Ürün Tasarımında Kullanımları*. İTÜ Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü.

Erbaş, E. (2009). *Kutu Profil Ana Kirişli Kompozit Taşıyıcının Analizi*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.

Gerdemeli İ.(BT) *Transport tekniğinde ileri konular*. bölüm 2. 28 Mayıs 2008. <http://www.mkn.itu.edu.tr/~gerdeme/MAK625/MAK625-2.pdf>.

Gerdemeli İ. (BT) *Transport sistemlerine etkiyen kuvvetler*. bölüm 4. 28 Mayıs 2008 <http://www.mkn.itu.edu.tr/~gerdeme/MAK625/MAK625-4.pdf>.

Gerdemeli İ. (BT) *Kren çeşitleri ve konstrüksiyonu*. bölüm 9. 28 Mayıs 2008 <http://www.mkn.itu.edu.tr/~gerdeme/MAK419/MAK419-9.pdf>.

Gerdemeli İ. (BT) *Pratik konstrüksiyon hesapları*. bölüm 11. 15 Haziran 2008  
<http://www.mkn.itu.edu.tr/~gerdeme/MAK625/MAK625-11.pdf>.

Güller B. (2001). *Odun kompozitleri*. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman  
 Fakültesi Dergisi Seri: A, Sayı: 2, Sayfa:135-160.

Ivanov I.V, Sadowski T, Filipiak M. Kneć M. (2008). *Experimental and numerical  
 Investigation of plywood progressive failure in CT tests. Budownictwo  
 Architektura, 2, 79-94.*

İmrak E. C. ve Fetvacı C. M. *Krenlerin periyodik koruyucu bakım esasları*.28 Şubat  
 2008. Mühendis ve Makina - Cilt: 45 Sayı: 538.

Jones, R. M. (1998). *Mechanics Of Composite Materials*, Second Edition.  
 Taylor&Francis, Inc.

Kara C. (2008). *Farklı taşıyıcı sistemli krenin analizi*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen  
 Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.

Liao K, Schultheisz C. R, Hunston D.L. (1999). *Long-term environmental fatigue of  
 pultruded glass-fiber-reinforced composites under flexural loading. International  
 Journal of Fatigue, 21, 485–495.*

Mallick, P. K. (1997). *Composite Engineering Handbook* (2nd.Edition). NY: Marcel  
 & Dekker.

Mendes Ferreira A. J, Ribeiro M. C. S, Torres Marques A. (2004). *Analysis of hybrid  
 beams composed of GFRP profiles and polymer concrete. International Journal of  
 Mechanics and Materials in Design, 1, 143–155.*

Niezdziński T, Kubiak T. (2005). *The problem of stability of web sheets in  
 box-girders of overhead cranes. Thin-Walled Structures, 43, 1913–1925*

RecurDyn V7.0 R1, RecurDyn™ / Solver Theoretical Manual, 2004.

Sarıbıyık, M. Ve Öztürk, O. (2005). *Pultruzyon metoduyla üretilen cam elyaf takviyeli plastiklerin prefabrik yapı tasarımında kullanılması*. 26 Nisan 2009, 4. Uluslar arası ileri teknolojiler sempozyumu, [kocaeli2007.kocaeli.edu.tr/kocaeli2005/ bildiriler.htm](http://kocaeli2007.kocaeli.edu.tr/kocaeli2005/bildiriler.htm)

Sarıbıyık M. (2006). *Hafif yapı tasarımında pultruzyon metodu ile üretilen camelyf takviyeli plastiklerin kullanılması*. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi Cilt 22 No 1. [http://www.mmf.gazi.edu.tr/journal/2007\\_1/DERGI%202007%20V22%20NO1%20\\_sayfa%20199-205\\_.pdf](http://www.mmf.gazi.edu.tr/journal/2007_1/DERGI%202007%20V22%20NO1%20_sayfa%20199-205_.pdf)

Soy, U. (2009). *Kompozit Malzemeler*. Sakarya Üniversitesi

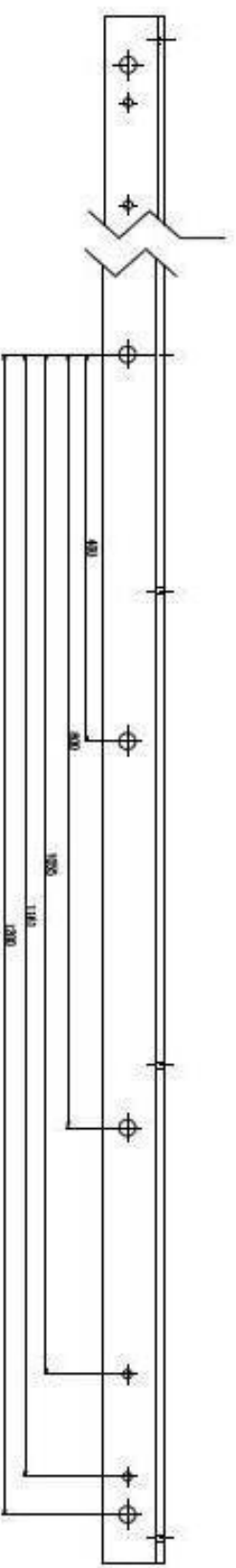
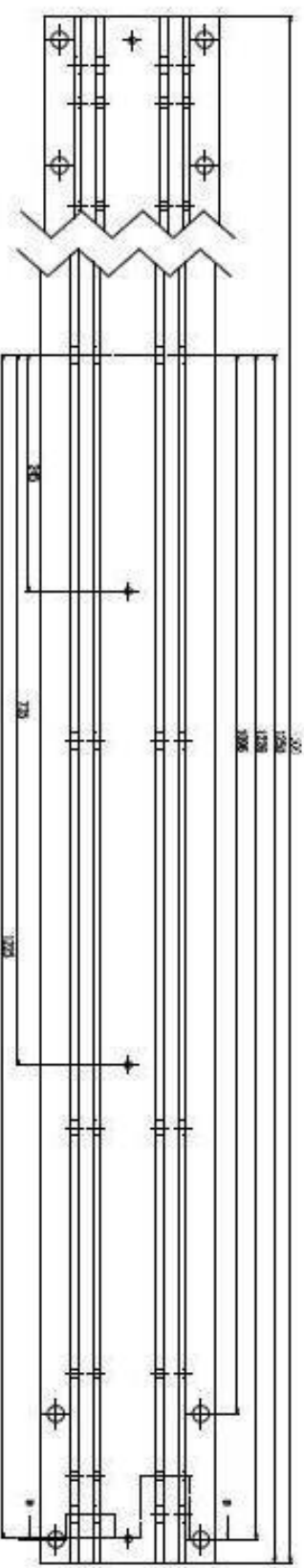
Ünal, O. *Kompozit Malzemeler, Yapı malzemesi ders notları*. 26 Nisan 2009, <http://www.muhendisiz.net/viewtopic.php?p=56803>

Verschoof, J. (2002). *Cranes – Design, Practice, and Maintenance*, 2nd Edition. Professional Engineering Publishing Limited London and Bury St Edmunds, UK

White, J.L. Fathollahi, B. Bourrat, X. (2003). *Carbon Fibers*. Taylor&Francis, Inc.

## **EKLER**

Deneyisel alışmalarda kullanılan kutu profillerin imalatı için hazırlanan teknik resimler verilmiştir.



B A C D E F G H I K  
10 9 8 7 6 5 4 3 2

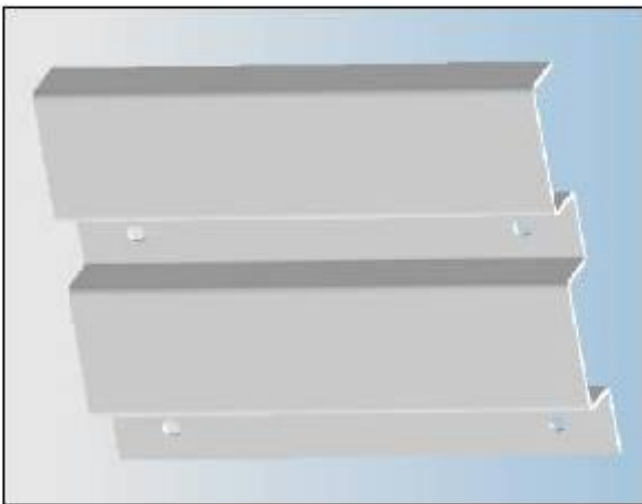
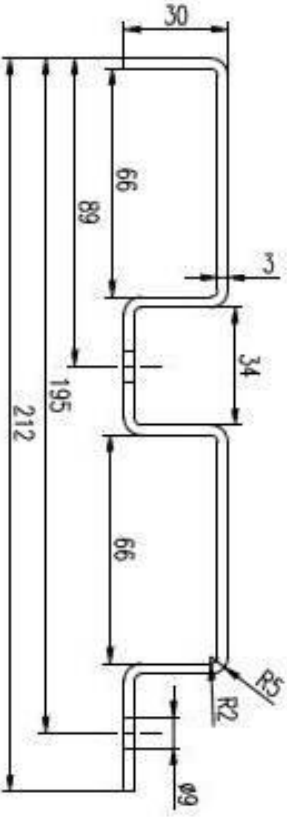
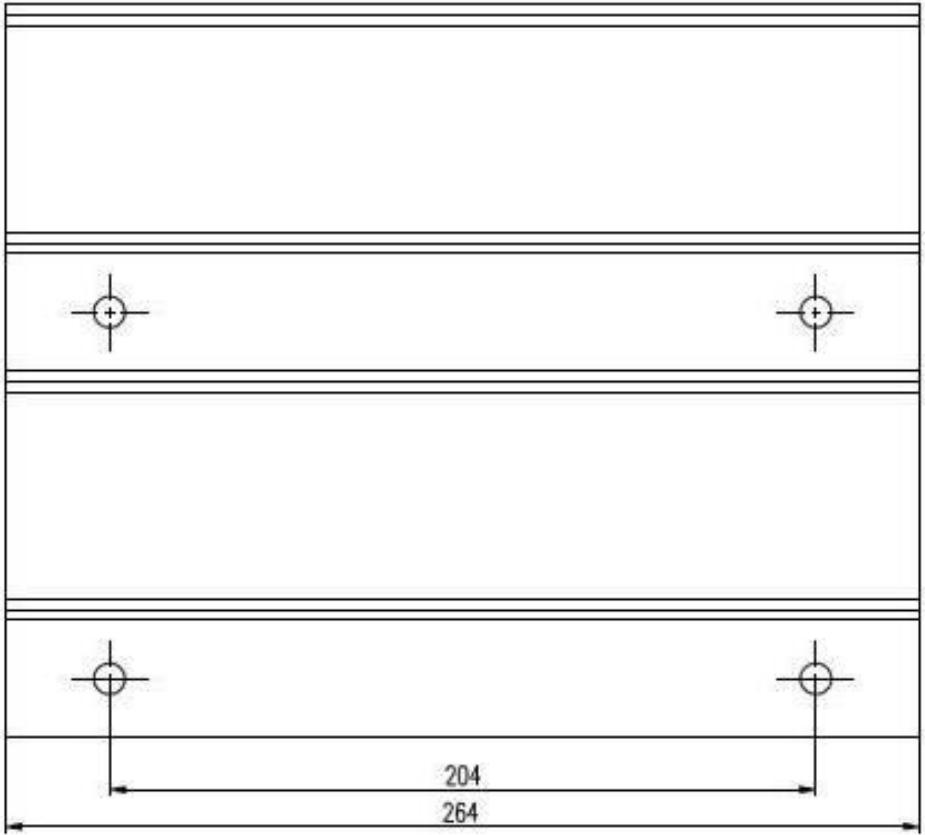
3	2	Double T Kompozit Profil	STB No	—	Madame Onel	2500	—	—	—
Pitici	Adet	bir	Resim	—	—	—	—	—	—

<p>30x50x1000 mm</p>				<p>30x50x1000 mm</p>				<p>30x50x1000 mm</p>				
Geni	Künlü	Geni	Yerli	30	50	1000	30	50	1000	30	50	1000
Geni	Künlü	Geni	Yerli	30	50	1000	30	50	1000	30	50	1000

Double T® Kompozit Profil

A3

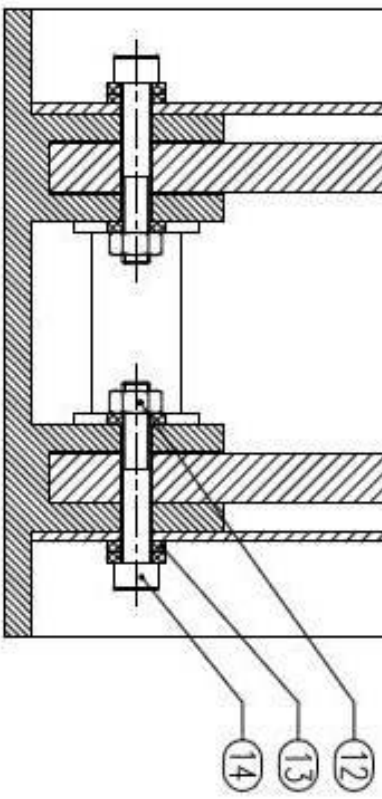
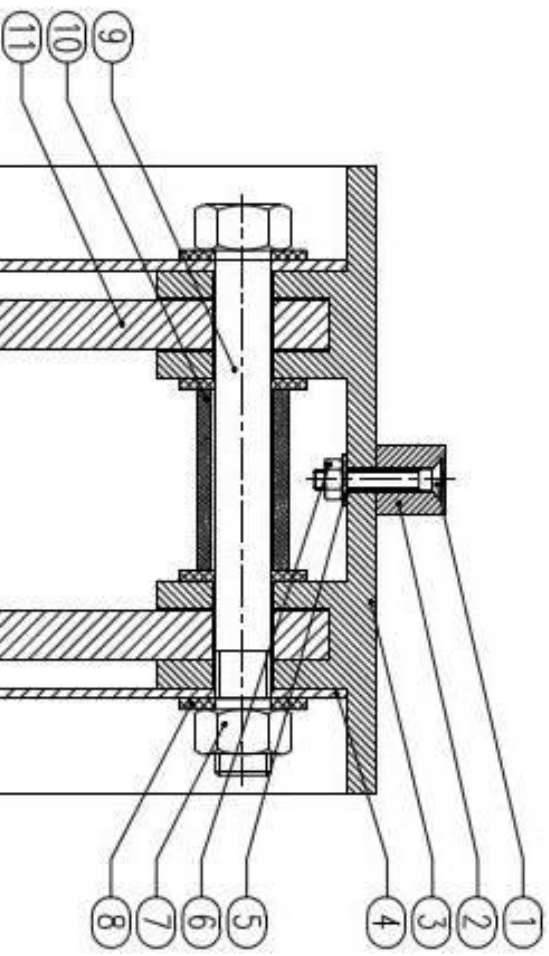




4	4	Yarı Boyluflı Sacları	—	ST17	2500	—	—	
Parol	Adet	birim	STD No	Malzeme Çel	Kesim Eklenti(mm)	aylık	Adet/parça	
19	4	mm	—	—	—	—	—	
Ø		Bu sacın burulma momenti için hesaplanmıştır.	BAC TUBESAC'ın her bir parçasının her tarafındaki güç alanları aşağıdaki gibidir:					
Ø		Öğeler için:	BAC TUBESAC - 30 37					
Ø		hızın	BAC TUBESAC (mm)					
Ø		birim	Tarih	6 at kadar	6 - 20	20 - 40	40 - 100	100 - 200
Ø		kontrol	18.11.08	097	201	202	203	202
Ø		örnek	18.11.08	097	201	202	203	202
Ø		örnek	18.11.08	097	201	202	203	202
Ø		örnek	18.11.08	097	201	202	203	202

ARA SAC PARÇA

Çizim No :  
Baskı No :  
A3



14	16	M6 Imbus Cincin	DM912	—	—	—	—	—	—
13	48	M6 Rondela	M06	—	—	—	—	—	—
12	8	M6 Somun	M06	—	—	—	—	—	—
11	4	Kompart. Ara Luma	—	—	—	2500x24x14	—	—	—
10	14	4x4 Baykurti Pasarsi	—	—	—	—	—	—	—
9	14	M16 Atkise Anahur Agdi Cincin	DM931	—	—	—	—	—	—
8	56	M16 Rondela	M06	—	—	—	—	—	—
7	28	M16 Somun	M06	—	—	—	—	—	—
6	5	M6 Somun	M06	—	—	—	—	—	—
5	5	M6 Rondela	M06	—	—	—	—	—	—
4	4	Van Baykurti Sacleri	—	—	—	—	—	—	—
3	4	Double T Kompakt Profil	—	—	—	—	—	—	—
2	2	Boy	—	—	—	—	—	—	—
1	5	M6 Horon Bol Cincin	DM7991	—	—	—	—	—	—

Birin burcler 8x2 digence hatlari deyerleri deyerleri nish. Oqular nish. Birin burcler 8x2 digence hatlari deyerleri deyerleri nish. Oqular nish.	Birin burcler 8x2 digence hatlari deyerleri deyerleri nish. Oqular nish. Birin burcler 8x2 digence hatlari deyerleri deyerleri nish. Oqular nish.	Birin burcler 8x2 digence hatlari deyerleri deyerleri nish. Oqular nish. Birin burcler 8x2 digence hatlari deyerleri deyerleri nish. Oqular nish.
Birin burcler 8x2 digence hatlari deyerleri deyerleri nish. Oqular nish. Birin burcler 8x2 digence hatlari deyerleri deyerleri nish. Oqular nish.	Birin burcler 8x2 digence hatlari deyerleri deyerleri nish. Oqular nish. Birin burcler 8x2 digence hatlari deyerleri deyerleri nish. Oqular nish.	Birin burcler 8x2 digence hatlari deyerleri deyerleri nish. Oqular nish. Birin burcler 8x2 digence hatlari deyerleri deyerleri nish. Oqular nish.

DOUBLE T PROFIL MONTAJI

Birin burcler 8x2 digence hatlari deyerleri deyerleri nish. Oqular nish. Birin burcler 8x2 digence hatlari deyerleri deyerleri nish. Oqular nish.	Birin burcler 8x2 digence hatlari deyerleri deyerleri nish. Oqular nish. Birin burcler 8x2 digence hatlari deyerleri deyerleri nish. Oqular nish.	Birin burcler 8x2 digence hatlari deyerleri deyerleri nish. Oqular nish. Birin burcler 8x2 digence hatlari deyerleri deyerleri nish. Oqular nish.
--	--	--