



**KTO KARATAY
ÜNİVERSİTESİ**

T.C.

KTO Karatay Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TRAPEZ VE DÜZ GÖVDELİ I KESİTLİ YAPIM ÇELİK KİRİŞLERDE
BURULMA ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

ERDEM ERDEMOĞLU

KONYA

EYLÜL 2019

TRAPEZ VE DÜZ GÖVDELİ İ KESİTLİ YAPIM ÇELİK KİRİŞLERDE
BURULMA ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Erdem ERDEMOĞLU

KTO Karatay Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim
Dalı Yüksek Lisans Programı

Yüksek Lisans Tezi

KONYA

Aralık 2019


Fen Bilimleri Enstitü Onayı



Prof. Dr. Hüseyin Bekir YILDIZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezli yüksek lisans tezinin yapılması gereken bütün gerekliliklerinin yerine getirdiğini onaylıyorum.



Prof. Dr. Atila ÖZÜTOK

Anabilim Dalı Başkanı

Erdem Erdemoğlu tarafından hazırlanan **TRAPEZ VE DÜZ GÖVDELİ İ KESİTLİ YAPIM ÇELİK KİRİŞLERDE BURULMA ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI** başlıklı bu çalışma 19.09.2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jüri tarafından tezli yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Dr. Öğr. Üy. Abdulkerim İLGÜN

Tez Danışmanı

Jüri Üyeleri

Başkan: Dr. Öğr. Üy. Fatih BAHADIR

Üye : **Dr. Öğr. Üy. Abdulkerim İLGÜN**

Üye : **Dr. Öğr. Üy. Süleyman Kamil AKIN**

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak ve kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Erdem Erdemoğlu

Eylül 2019

ÖZET

TRAPEZ VE DÜZ GÖVDELİ I KESİTLİ YAPIM ÇELİK KİRİŞLERDE BURULMA ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

ERDEMOĞLU, Erdem

Yüksek Lisans- İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Abdulkerim İLGÜN

Eylül 2019

Bu çalışmanın amacı; belli açıklıklarda kullanılması gereken düz gövdeli çelik yapım kirişler yerine sinüzoidal, yani trapez gövdeli çelik yapım kirişler kullanıp daha ekonomik hale getirilmesidir.

Bu konunun seçilmesinin sebebi; yapılacak olan deneyler ve teorik hesap sonunda ulaşılabilecek olan bilginin uygulanabilirliğinin yaygınlaşmasını sağlamaktır.

Teorik olarak belli açıklık ile düz kiriş hesapları yapılacak olup, akabinde hem düz gövdeli hem trapez gövdeli kiriş deneysel olarak da hem taşıma kapasitesi bakımından hem de ekonomik bakımından karşılaştırılacaktır.

Çalışmada ulaşılabilecek hedef ise, aynı açıklıkta daha ince ve taşıma kapasitesi daha yüksek kesit kullanılarak yapının daha ekonomik hale getirilmesini sağlamaktır.

Anahtar Kelimeler: Çelik, Yapım Kiriş, Trapez, Sinüzoidal, I, Teorik, Deneysel.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TORSION EFFECT ON I CROSS SECTION STEEL BEAMS WITH TRAPEZOIDAL AND FLAT BODY

ERDEMOĞLU, Erdem

Postgraduate- Department of Civil Engineering

Consultant: Dr. Abdulkerim İLGÜN

September 2019

The aim of the thesis is; use of steel beams instead of flat-bodied steel beams that need to be used in certain openings.

The reason for choosing this issue is; experiments and the application of the information to be reached at the end of the theoretical calculation and dissemination

Theoretically, the flat beam and trapezoidal beam beam will be constructed with a certain clearance and then the beam will be compared experimentally and in terms of both bearing capacity and economy.

The target to be achieved in the thesis is to make the structure more economical by using thinner and higher carrying capacity at the same opening.

Keywords: Steel, Construction Beam, Trapeze, Sinozidal, I, Theoric, Experiment.

TEŞEKKÜR

Görüş, öneri ve düşünceleriyle tez çalışmama katkı sağlayan, engin bilgi birikimi ve tecrübesiyle yönlendiren, her türlü yardım ve desteğini sunan çok değerli danışman hocam Dr. Abdulkerim İLGÜN hocam başta olmak üzere tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Ayrıca yüksek lisans yapmam konusunda beni teşvik eden, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, bu süreçte sabırla destek veren aileme ve eşime teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜRLER	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR ÖZELLİKLERİ	2
3.DALGA GÖVDELİ ÇELİK KİRİŞLERİN DAVRANIŞ VE TASARIM ESASLARI	5
3.1.Davranış	7
3.2.Teorik hesap yöntemi	8
3.2.1.Eurocode 3 hesap yöntemi	8
3.2.2.Kesit geometrik özellikleri	9
3.2.3.Eğilme dayanım hesabı	9
3.2.4.Kesme dayanım hesabı	10
4.DENEYSEL ÇALIŞMALAR	13
4.1 SBN-4	14
4.2 SBT-3	17
5.SONUÇLAR	21
6.KAYNAKLAR	22

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge		Sayfa
Tablo 4.1.	Deney numunelerin kesit özellikleri	13



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1.Farklı gövde formlarına sahip kesitler (Cihan ve diğerleri., 2002)	2
Şekil 2.2.Khalid ve arkadaşları, (2004) incelenen farklı gövde formlarına sahip kirişler 3	
Şekil 2.3.Kısmı olarak etki ettirilen basınç yükü (Elgaaly ve arkadaşları., 1997)	4
Şekil 3.1. Gövdede kullanılabilen farklı dalga formları	6
Şekil 3.2. Dalga gövdeli çelik kiriş	7
Şekil 3.3.EC3 1.5 Dayanım hesaplarında kullanılan boyutlar	9
Şekil 3.4Başlıklarda düzlem dışı moment oluşumu	10
Şekil 4.1 Deney düzeneği	14
Şekil 4.2. SBN-4 kiriş deneyi	15
Şekil 4.3. SBN-4 kirişin başlık burulması.	15
Şekil 4.4. SBN-4 kirişin yük – sol yükleme noktasına yakın başlık deplasmanı.	16
Şekil 4.5. SBN-4 kirişin yük – sağ yükleme noktasına yakın başlık deplasmanı.	16
Şekil 4.6. SBN-4 kirişin yük – orta deplasman.	17
Şekil 4.7. SBT-3 kiriş deneyi	18
Şekil 4.8. SBT-3 kirişin başlık burulması.	18
Şekil 4.9. SBT-3 kirişin yük – sol yükleme noktasına yakın başlık deplasmanı.	19
Şekil 4.10. SBT-3 kirişin yük – sağ yükleme noktasına yakın başlık deplasmanı.	19
Şekil 4.11. SBT-3 kirişin yük – orta deplasman.	20
Şekil 4.12. İki kirişin yük – sol yükleme noktasına yakın başlık deplasmanı.	20
Şekil 4.13. İki kirişin yük – sağ yükleme noktasına yakın başlık deplasmanı.	21
Şekil 4.14. İki kirişin yük – orta deplasman.	21

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklama
h_w	kesit yüksekliği
χ	burkulma azaltma katsayısıdır
f_y	malzemenin akma gerilmesi
M_z	moment
$T_{(x)}$	kayma gerilmelerinin oluşturduğu moment
$\square_{c,l}$ ve $\square_{c,g}$	gövde levhasının yerel ve global burkulma
D_x ve D_z	gövde elemanın her iki ortogonal doğrultudaki farklı rijitlikleridir
$\square_{cr,l}$ ve $\square_{cr,g}$	malzeme kayma akma gerilmesine
t_w	gövde levhasının kalınlığı
V_{Rd}	kesme dayanımı

1.GİRİŞ

Yapısal çeliğin imalatına yönelik teknolojilerdeki gelişmelere paralel olarak, kaynak, soğuk şekillendirme gibi yöntemleri geometrileri çeşitli davranış biçimlerine göre optimize edilmiş yeni nesil profiller imal edilebilmektedir. Dalga gövdeli çelik kirişler bu yeni nesil profillere iyi bir örnek teşkil etmektedirler. Bu kirişlerde geometrik optimizasyon ince cidarlı gövde levhasına tekrarlı bir dalga formu verilerek sağlanmaktadır. Profiller özellikle büyük açıklıkların geçilmesinde kullanılan yüksek gövdeli çelik kirişlere alternatif olarak düşünülebilmektedir. Geleneksel yüksek gövdeli kirişler, ince bir levha ve kayma gerilmelerinin güvenle taşınabilmesi için kaynaklı ve berkitme levhalarından oluşurken yeni tip profiller ile gövde levhasına verilen formun katkısıyla kaynaklı berkitme levhaları kullanılmadan benzer dayanımlar elde etmek mümkün olabilmektedir.

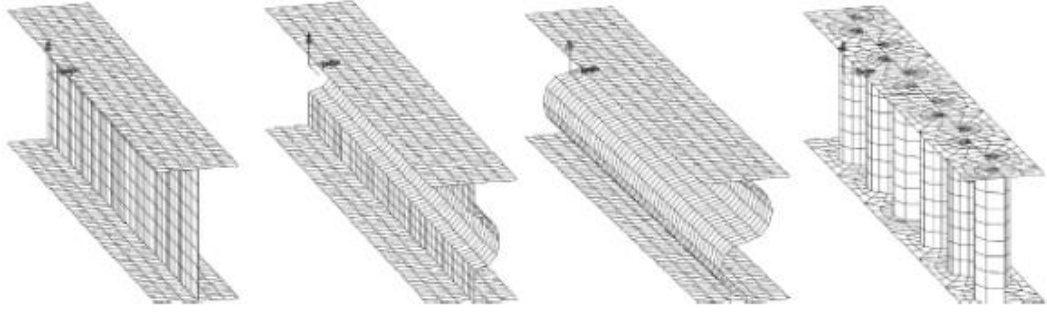
Yüksek gövdeli kirişlerde ekonomik bir tasarım, ağırlık / taşıma kapasitesi oranı göz önüne alındığında ince gövde levhaları kullanmayı gerektirmekte, ancak bunun sonucu ortaya çıkan levha burkulmasını önlemek için gövde levhası üzerine kiriş boyunca belirli aralıklar ile berkitme levhaları kaynatılmaktadır. Kayma gerilmelerinin tetiklediği gövdedeki levha burkulması, dalga gövdeli kirişlerde sık ve sürekli dalgalı gövde levhası ile önlenebilmektedir. Dolayısıyla sık berkitme levhalı yüksek kirişe eşdeğer sayılabilecek dalga gövdeli kirişlerde gövdenin kesme dayanımı söz konusu dalgalar ile karşılanabilmekte ve pahalı berkitme levhası uygulamasının önüne geçilebilmektedir.

Gövde levhasının tekrarlı dalga formunda şekillendirilmesi ile elde edilecek avantajları genel anlamda tarif etmek kolay olmamakla birlikte yapılan çalışmalar, geleneksel berkitilmiş düz levhalı kirişlerle karşılaştırıldığında, dalga gövdeli kiriş ağırlıklarının %15'lere varan mertebelerde azaldığını göstermiştir. Dolayısıyla malzeme maliyeti azalmakta ve daha hafif elemanlar ile öngörülen yükler taşınabilmektedir.

2.LİTERATÜR ÖZETLERİ

Kısa, M.H., 2013; Aydın ve arkadaşları., (2014) Hadde profilleri ve yapma kesitlerle oluşturulan çelik yapıların birleşim bölgelerinin davranışını inceleyen pek çok deneysel ve sayısal çalışma mevcuttur. Buna karşın, ince sinüzoidal gövdeli I kesitlerden oluşturulan sistemlerin birleşim bölgelerini inceleyen bir çalışma görülmemiştir. Bu alandaki ilk çalışmalar bu tez kapsamında incelenen numunelerin incelenmesi ile yapılmıştır.

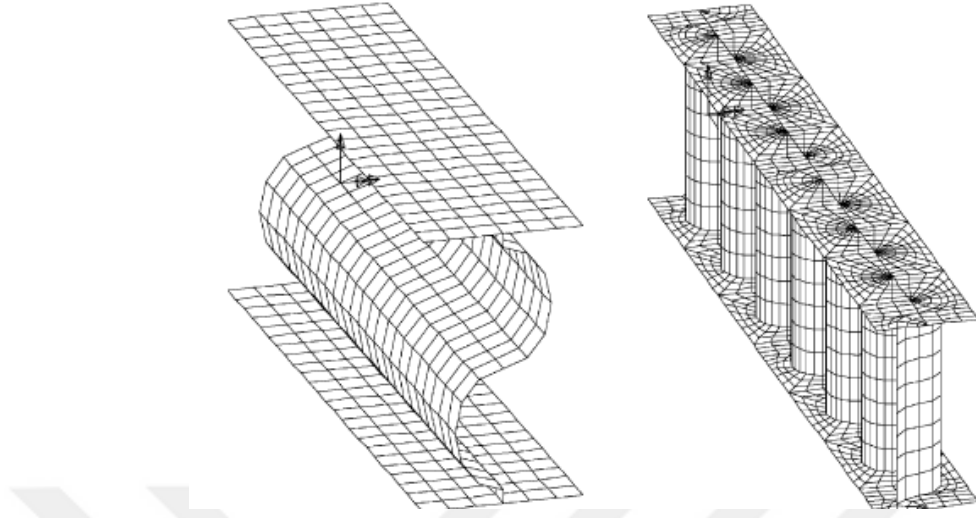
Cihan ve diğerleri, (2002) eğilme etkisinde olan ve gövdeleri farklı biçimlerdeki sinüzoidal levhalardan oluşturulmuş kirişlerin davranışını sonlu elemanlar yöntemini kullanarak LUSAS yazılımı ile incelemiştir. Şekil 2.1’de gösterilen, dört farklı biçimde gövdeformuna sahip numunelerde doğrusal olmayan davranış incelenmiştir.



Şekil 2.1.Farklı gövde formlarına sahip kesitler (Cihan ve diğerleri., 2002)

Khalid ve arkadaşları, (2004) Şekil 2.2’te gösterilen, sinüs formu düşeyde ve yatayda oluşturulmuş I profiller üzerinde eğilme deneyleri yapmıştır. Doğrusal olmayan sayısal analizler için LUSAS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

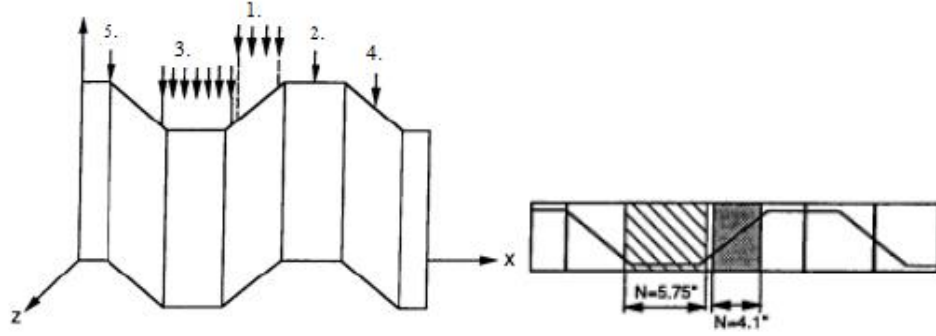
Yapılan deneyler sonucu düşey sinüzoidal gövdeli kirişlerin düz ve yatay sinüzoidal gövdeli kirişlerden %13.3 ile %32.8 oranında daha fazla eğilme momenti taşıyabildiğini göstermiştir. Daha büyük çapta bükülen sinüs gövdeli elemanlarda akma dayanımının arttığını görmüşlerdir.



Şekil 2.2.Khalid ve arkadaşları, (2004) incelenen farklı gövde formlarına sahip kirişler

Eldib (2009), malzemenin doğrusal olmayan davranışını göz önüne alarak köprü kirişleri için tasarlanan trapez form gövdeli elemanların kesme burkulmasını araştırmıştır. Araştırmada altı tane kiriş numunesi hazırlanarak deneyler yapılmış ve kesme kapasitesi incelenmiştir. İnelastik burkulma dayanımı, önerilmiş kesme burkulmaları parametrelerinden elde edilen burkulma eğrileri elde edilmiştir.

Elgaaly ve arkadaşları, (1997) ince cidarlı trapez form gövdeli kirişlerin kısmi basınç yüklemesi altında göçme mekanizmasını incelemiş ve tasarıma yönelik önerilerde bulunmuştur. Kısmi basınç yüklemesi Şekil 2.3’da gösterildiği gibi, elemanın başlığının çeşitli bölgelerinden etki ettirilmiştir. Deneysel sonuçlar ile sayısal sonuçların birbirleri ile uyumlu olduğu belirtilmiştir.



Şekil 2.3.Kısmı olarak etki ettirilen basınç yükü (Elgaaly ve arkadaşları., 1997)

Moon ve arkadaşları, (2009) Trapez form gövdeli I kesitli kirişlerin yanal burulmalı burkulmasını sonlu eleman analizleriyle üniform eğilme etkisinde araştırmışlardır. Kayma merkezini bulmak için yaklaşık yöntemler önerilmiştir. Sonlu eleman çözümünden elde edilen sonuçlar ile önerilen yaklaşık yöntemlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırmışlar ve sonuçların iyi olduğu belirtilmiştir. Trapez form gövdeli I kesitli kirişlerin burulmalı burkulma dayanımının düz gövdeli kesitlere göre %10 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

3.DALGA GÖVDELİ ÇELİK KİRİŞLERİN DAVRANIŞ VE TASARIM ESASLARI

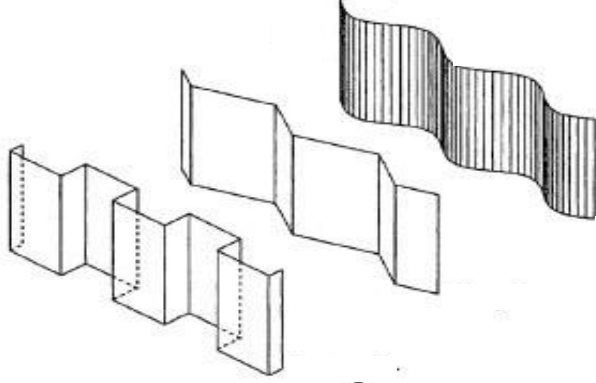
Yapısal çeliğin imalatına yönelik teknolojilerdeki gelişmelere paralel olarak (kaynak, soğuk şekillendirme yöntemleri vb. gibi) geometrileri çeşitli davranış biçimlerine göre optimize edilmiş yeni nesil profiller imal edilebilmektedir. Dalga gövdeli çelik kirişler bu yeni nesil profillere iyi bir örnek teşkil etmektedirler. Bu kirişlerde geometrik optimizasyon gövde levhasına tekrarlı bir dalga formu verilerek sağlanmaktadır. Profiller özellikle büyük açıklıkların geçilmesinde kullanılan yüksek gövdeli çelik kirişlere alternatif olarak düşünülebilir. Geleneksel yüksek gövdeli kirişler, ince bir levha ve kayma gerilmelerinin güvenle taşınabilmesi için kaynaklı berkitme levhalarından oluşurken yeni tip profiller ile gövde levhasına verilen formun katkısıyla kaynaklı berkitme levhaları kullanılmadan benzer dayanımlar elde etmek mümkün olabilmektedir.

Yüksek gövdeli kirişlerde ekonomik bir tasarım, ağırlık / taşıma kapasitesi oranı göz önüne alındığında ince gövde levhaları kullanmayı gerektirmekte, ancak bunun sonucu ortaya çıkan levha burkulmasını önlemek için gövde levhası üzerine kiriş boyunca belirli aralıklar ile berkitme levhaları kaynatılmaktadır. Kayma gerilmelerinin tetiklediği gövdedeki levha burkulması, dalga gövdeli kirişlerde sık ve sürekli dalgalı gövde levhası ile önlenmektedir. Dolayısıyla sık berkitme levhalı yüksek kirişe eşdeğer sayılabilecek dalga gövdeli kirişlerde gövdenin kesme dayanımı sözkonusu dalgalar ile karşılanabilmekte ve pahalı berkitme levhası uygulamasının önüne geçilebilmektedir.

Gövde levhasının tekrarlı dalga formunda şekillendirilmesi ile elde edilecek avantajları genel anlamda tarif etmek kolay olmamakla birlikte yapılan çalışmalar, geleneksel berkitilmiş düz levhalı kirişlerle karşılaştırıldığında, dalga gövdeli kiriş ağırlıklarının %15'lere varan mertebelerde azaldığını göstermiştir. Dolayısıyla malzeme maliyeti azalmakta ve daha hafif elemanlar ile öngörülen yükler taşınabilmektedir.

Şekillendirilmiş gövde levhasını oluşturan tekrarlı dalgalar çeşitli formlarda olabilmektedirler. En yaygın formlar trapezoidal ve sinüsoidal olmakla birlikte bunlardan farklı dalga formları da kullanarak gövde levhası şekillendirilebilir; üçgen

ve diktörtgen formlar gibi (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Gövdede kullanılabilir farklı dalga formları

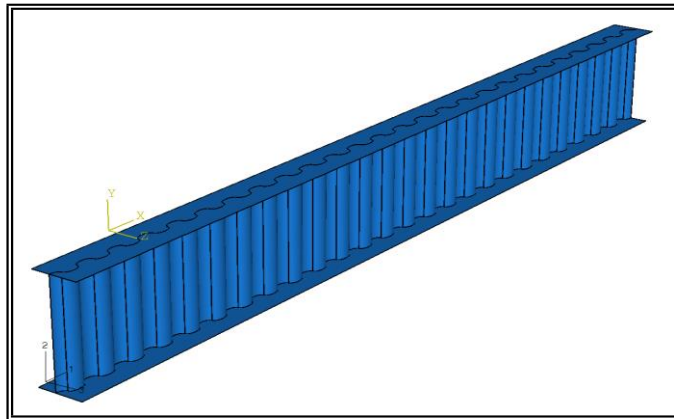
Dalga gövdeli çelik kiriş imalatı ilk olarak Amerika Birleşik Devletlerinde yaşayan Koreli bir girişimci olan Young J. Paik tarafından gerçekleştirilmiştir. 1970'li yılların başında ürün patentini alan Paik daha sonra kendisinin kurmuş olduğu PACO Engineering Corporation aracılığı ile ürünü pazarlamaya başlamıştır. Japonya'da Sumitomo firması kirişlerin imalatını yapan önde gelen firmalardandır. Bu ülkede modüler konut inşaatlarında kullanılan profiller ayrıca köprü kirişi olarak da kullanılmaktadır. Avrupa kıtasında İsveç, Fransa, Almanya ve Avusturya dalga gövdeli kiriş imalatı ile ilgili yatırımlarda bulunmuş ülkelerdir. Avusturya'da Zeman & Co Gesellschaft mbH firması özellikle sinusoidal dalga formu ile şekillendirilmiş profil imalatı ile ilgili önemli çalışmalar yapmaktadır. Profiller günümüzde hızlı bir şekilde yaygınlaşmakta ve gerek bina gerekse köprü inşaatlarında tercih edilen bir eleman tipi haline gelmektedir. Dalga gövdeli çelik kirişlerin davranış ve hesabı ile ilgili bilimsel çalışmalar da bu gelişmelere paralel olarak artmaktadır. Konuyla ilgili bilimsel araştırma çalışmalarının bir derlemesi Elgaaly ve Dagher (1990) tarafından yapılmıştır.

3.1.Davranış

Dalga gövdeli çelik kiriş, soğuk şekillendirme ile dalga formu verilmiş ince sac gövde elemanının belli ebatlarda başlık levhalarına (alt ve üst) kaynatılmasıyla oluşturulan bir yapma profildir (Şekil 3.2). Dalga formu verilerek şekillendirilen gövde için genellikle soğuk hadde ince sac malzeme kullanılırken başlık levhaları sıcak hadde düz çelik levhadır.

Günümüz itibariyle dalga gövdeli çelik kirişler ile ilgili tamamlanmış olan bilimsel çalışmalar kirişlerin eğilme, kesme ve yanal burkulma dayanımlarının araştırılmasını içermiştir. Geleneksel yüksek gövdeli çelik kirişlerde olduğu gibi gövde kesme dayanımının daha çok ele alındığı çalışmalar neticesinde dayanım hesabı için yaklaşık hesap yöntemleri geliştirilmiştir.

Dalgalı formu nedeniyle, gövde elemanının eğilmeden doğan boyuna normal gerilmelerin aktarılmasına katkısı bulunmamaktadır. Dolayısıyla eğilme momentinin sadece başlık levhaları tarafından, kesme kuvvetinin ise gövde tarafından taşındığı kabul edilmektedir. Bilindiği üzere benzer kuvvet paylaşımı kafes kirişlerde de söz konusudur. Bu bakımdan dalga gövdeli kirişleri kafes kirişlere benzetmek mümkündür. Buna göre, dalgalı sac gövde, kafes kirişteki ara çapraz bağlantı elemanlarına karşılık gelmektedir.



Şekil 3.2. Dalga gövdeli çelik kiriş

Düz gövde levhalı kirişlerin hesabında izlenen yöntem dalga gövdeli kirişler için de geçerli olmakla birlikte özellikle kayma dayanımı hesabında gövdenin şekillendirilmiş olması nedeniyle farklılıklar söz konusudur. Düz çelik levhanın kesme kuvveti altında

davranışı, berkitme levhaları arasında kalan bölgede levha burkulması ve burkulma sonrası diyagonal çekme bölgesi davranışlarını içermektedir. Düz gövdeli durumda kesme dayanımı, berkitme levhaları arasında kalan gövde levhasının genişlik / yükseklik oranı, levha elastik kayma burkulma gerilmesi ve malzeme akma gerilmelerinin bir fonksiyonudur. Dalga formlu gövde durumunda ise dayanımda dalga tekrar aralığı (sıklığı) ve dalga boyu gibi farklı parametreler rol almaktadır.

3.2. Teorik Hesap Yöntemi

3.2.1. Eurocode 3 Hesap Yöntemi

Dalga gövdeli çelik kirişlerin hesabına yönelik kurallar Eurocode 3 te Kısım 1.5-Ek-D de verilmiştir (EC3 Part 1.5 Plated Structural Elements, Annex D). Standardın bu kısmında yer alan hesap kuralları sadece trapez ve sinusoidal formda gövdeler için geçerlidir. Bir bütün olarak taşıma gücü sınır durumlarının esas alındığı Eurocode 3 Çelik Yapılar yönetmeliğinin dalga gövdeli kirişler ile ilgili bölümünde de dayanım hesapları aynı esaslar gözetilerek ele alınmıştır.

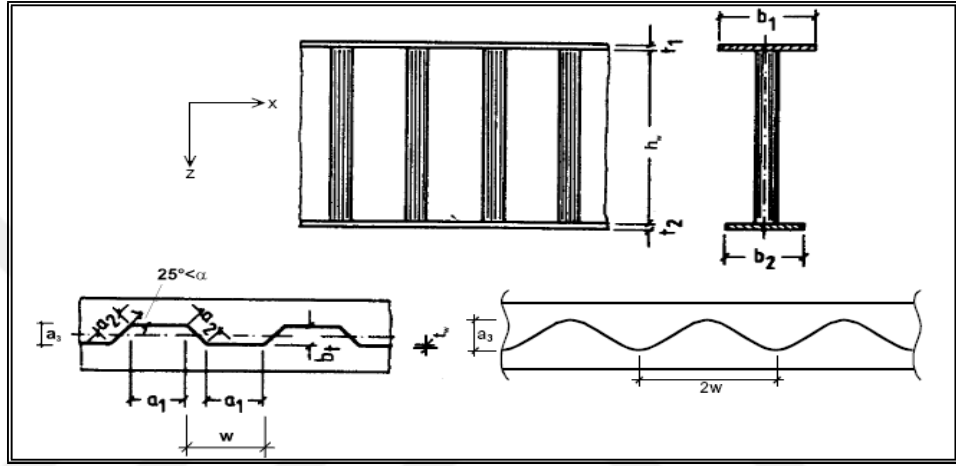
Dalga gövdeli kirişler için göz önüne alınan taşıma sınır durumları şu şekilde özetlenebilir;

1. Eğilme altında çekmeye çalışan alt başlık levhasının akması,
2. Eğilme altında basınca çalışan üst başlık levhasının burkulması (yerel ya da yanal burkulma),
3. Kayma gerilmeleri altında dalgalı gövdenin yerel ya da global burkulması.

Dayanım hesabı, yukarıda verilen sınır durumlarının dikkate alındığı eğilme dayanımı ve kesme dayanımı şeklinde iki ana hesaptan oluşmaktadır. Hesaplarda eğilme dayanımının sadece başlıklar tarafından, kesme dayanımının ise sadece gövde tarafından karşılandığı kabul edilmektedir.

3.2.2. Kesit Geometrik Özellikleri

Şekil 3.3 de hesap formüllerinde kullanılan boyutsal parametreler tanımlanmıştır. Görüldüğü gibi gövde elemanı için verilen parametreler trapez ve sinüsoidal formların kendilerine has geometrik özelliklerini içeren boyutsal bilgileri kapsamaktadır.



Şekil 3.3. EC3 1.5 Dayanım hesaplarında kullanılan boyutlar

3.2.3. Eğilme Dayanımı Hesabı

Eğilme dayanımı aşağıdaki formülde verildiği gibi ifade edilmektedir;

$$M_{Rd} = \min \left\{ \frac{b_2 t_2 f_{y,r} h_w}{\gamma_{M0}}; \frac{b_1 t_1 f_{y,r} h_w}{\gamma_{M0}}; \frac{b_1 t_1 \chi f_y h_w}{\gamma_{M1}} \right\} \quad \text{.....3.1}$$

Bu ifadede, çekmeye ve basınca çalışan başlık levhalarının aksenal çekme ya da basınç kapasitelerinin h_w kesit yüksekliğinde oluşturdukları moment dayanımlarından minimum olanı kirişin toplam eğilme dayanımı olarak kabul edilmektedir. Formüldeki üçüncü dayanım ifadesi basınç başlık levhasının yanal burkulması durumuna ait azaltılmış dayanımdır (χ burkulma azaltma katsayısıdır).

$$f_{y,r} = f_y f_T \quad \text{.....3.2}$$

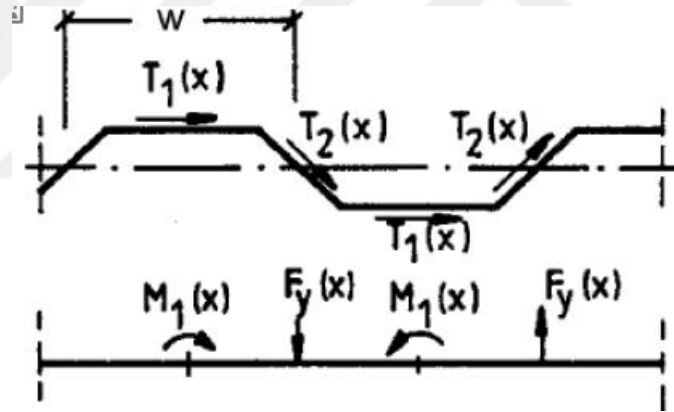
Başlıklarda düzlem dışı momentlerden dolayı göz önüne alınan azaltmayı içeren $f_{y,r}$ ifadesinde;

$$f_T = 1 - 0.4 \sqrt{\frac{\sigma_x(M_z)}{f_y}} \frac{1}{\gamma_{M0}} \text{ şeklinde verilmektedir.}$$

f_y , malzemenin akma gerilmesi olup,

Bu azaltmanın gerekçesi olan başlıklardaki momentler Şekil 3.4 de gösterilmektedir. M_z momenti dalga üzerinde oluşan $T(x)$ kayma gerilmelerinin oluşturduğu momenttir.

Sinusoidal formlu gövde için $f_T = 1$ kabul edilmekte ve dolayısıyla bu azaltma yapılmamaktadır.



Şekil 3.4 Başlıklarda düzlem dışı moment oluşumu

3.2.4. Kesme Dayanımı Hesabı

Gövdenin kesme dayanımı, h_w yüksekliğinde, t_w kalınlığına sahip gövde levhasının kesme altında akma dayanımı ile burkulma etkilerinin göz önüne alındığı burkulma azaltma katsayısının çarpımı ile ifade edilmektedir. V_{Rd} kesme dayanımı;

$$V_{Rd} = \chi_c \frac{f_y}{\gamma_{M1} \sqrt{3}} h_w t_w \dots\dots\dots 3.3$$

Şeklinde verilmektedir.

χ_c , dalgalı gövde levhasının yerel ya da global burkulma durumları için verilen değerlerden en küçüğü olarak alınır. Bu durumda χ_c yerel burkulma için $\chi_{c,l}$, global burkulma için $\chi_{c,g}$ şeklinde ayrı ayrı hesaplanmakta ve toplam kesme dayanımı ifadesinde bu değerlerden minimumu kullanılmaktadır. $\chi_{c,l}$ ve $\chi_{c,g}$ 'nin hesabı aşağıdaki şekilde yapılmaktadır;

$$\chi_{c,l} = \frac{1.15}{0.9 + \bar{\lambda}_{c,l}} \leq 1.0 \text{ gövde yerel burkulma azaltma katsayısı}$$

$$\chi_{c,g} = \frac{1.5}{0.5 + \bar{\lambda}_{c,g}^2} \leq 1.0 \text{ gövde global burkulma azaltma katsayısı}$$

Bu ifadelerdeki $\chi_{c,l}$ ve $\chi_{c,g}$ gövde levhasının yerel ve global burkulma durumları için referans narinlikleri olup şu şekilde verilmektedir,

$$\bar{\lambda}_{c,l} = \sqrt{\frac{f_y}{\tau_{cr,l} \sqrt{3}}} \text{ ve } \bar{\lambda}_{c,g} = \sqrt{\frac{f_y}{\tau_{cr,g} \sqrt{3}}} \dots\dots\dots 3.4$$

Referans narinlikleri, farklı gövde boyutları için verilen kayma burkulma gerilmelerinin

($\chi_{c,l}$ ve $\chi_{c,g}$), malzeme kayma akma gerilmesine ($f_y / \sqrt{3}$) göre (referans olarak) değişimi şeklinde ifade edilmektedir. Farklı gövde boyutları için kayma burkulma gerilmeleri ise şu şekilde hesaplanmaktadır,

Sinusoidal gövde için yerel kayma burkulma gerilmesi;

$$\tau_{cr,l} = \left(5.34 + \frac{a_3 s}{2h_w t_w} \right) \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2)} \frac{2t_w}{s} \dots\dots\dots 3.5$$

Trapez gövde için yerel kayma burkulma gerilmesi;

$$\tau_{cr,l} = 4.83E \left[\frac{t_w}{a_{max}} \right]^2 \dots\dots\dots 3.6$$

Her iki form için de ortak global kayma burkulma gerilmesi;

$$\tau_{cr,g} = \frac{32.4}{t_w h_w^2} \sqrt[4]{D_x D_z^3}, \text{ burada } D_x = \frac{Et^3 w}{12 s} \text{ ve } D_z = \frac{EI_z}{w} \text{ olarak alınır.}$$

D_x ve D_z gövde elemanın her iki ortogonal doğrultudaki farklı rijitlikleridir. I_z , Şekil 3.3’de gösterilen w mesafesi içindeki dalga için z eksenine etrafındaki atalet momenti, s ise bu dalga için çizgisel uzunluğudur. Bu iki değer farklı dalga konfigürasyonları için sayısal integrasyon ile hesap edilebilir.

Teorik hesaplamalara göre, Moment taşıma kapasiteleri; SBN-4=191,74 t-cm, STB-3=299,77 t-cm belirlenmiştir. Yani SBT olarak deneyleri yapılan Trapez kesitli çelik kiriş düz gövdeli kirişe göre 1,56 katı kadar moment taşıma kapasitesine sahiptir.

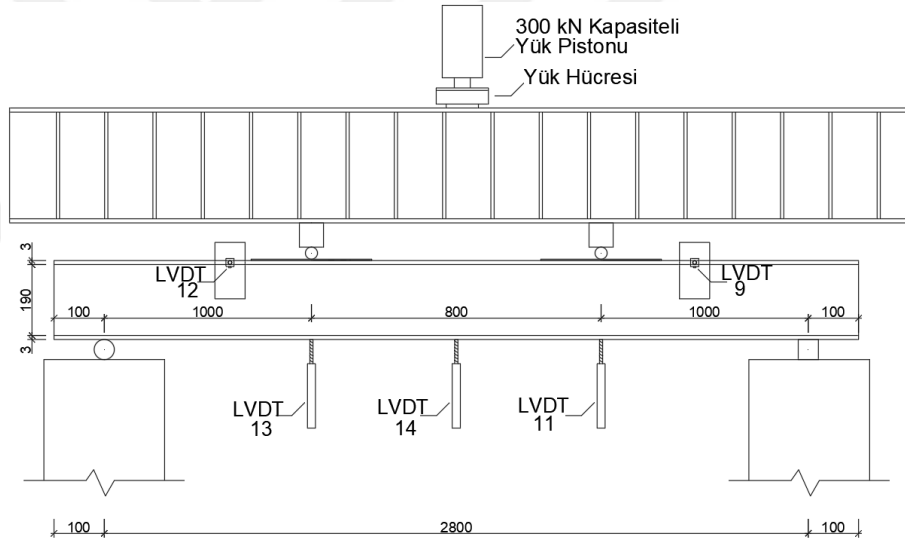
4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışma kapsamında iki adet farklı özelliğe sahip çelik kiriş dört noktalı eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deneylerde kullanılan çelik kirişler yapma kesitli I kiriş olup başlık kısmı tüm deney numunelerinde aynı seçilmiştir. Kirişlerin birbirinden farklı kılın özellik gövdede kullanılan levhanın kalınlığı ve gövde yapım şeklidir. Kirişlerde seçilen kesit özellikleri tablo 4.1’de verilmiş olup ağırlıkları aynı kalmıştır.

Tablo 4.1. Deney numunelerinin kesit özellikleri

Deney Numune kodu	Çelik Sınıfı	Başlık Ebadı (mm)	Gövde Ebadı (mm)	Gövde Şekli
SBN-4	SD37	3000x120x3	3000x190x4	Düz
SBT-3	SD37	3000x120x3	3380x190x2.5	Trapez

Deneyler KTO Karatay Üniversitesi Yapı Mekanik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği şekil 4.1’de verilmiştir. Deney düzeneğinde yükleme sistemi olarak 300 kN kapasiteye sahip piston, ölçümler için beş adet LVDT (Linear Variable Differential Transformer veya Potansiyometrik pozisyon algılayıcı) kullanılmıştır. LVDT’lerden iki tanesi yükleme noktalarına yakın bir yerde başlık hareketlerini ölçmek için yükleme yönüne dik olarak bağlanmıştır.



Şekil 4.1 Deney düzeneği

Kalan üç adedi eğilme bölgesinde montajı yapılmıştır. Eğilme bölgesindeki iki tane LVDT yükleme noktalarının hemen altında ve kalan bir tanesi kirişin tam ortasında yükleme yönüne paralel olarak bağlanmıştır. Ölçülen veriler 24 kanallı data logger yardımı ile bilgisayara aktarılmıştır.

4.1.SBN-4

Deneyde başlık levhası 3000x120x3 mm ve gövde levhası 3000x190x4 mm’den oluşan I kesitli yapma kirişi deneye tabi tutulmuştur. Şekil 4.2’de SBN-4 kirişin deneyde hazırlanmış hali verilmiştir.



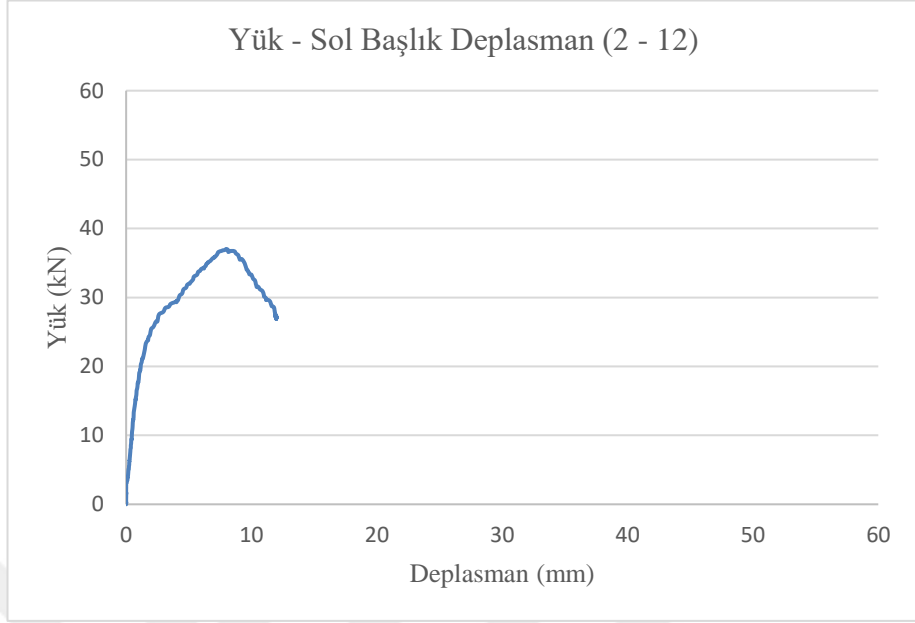
Şekil 4.2. SBN-4 kiriş deneyi

SBN-4 kirişinde eğilme kapasitesine ulaşmadan önce kirişin başlığı dışa doğru burkulmuştur. Şekil 4.3’de kirişin başlık bölgesinin burkulması verilmiştir.

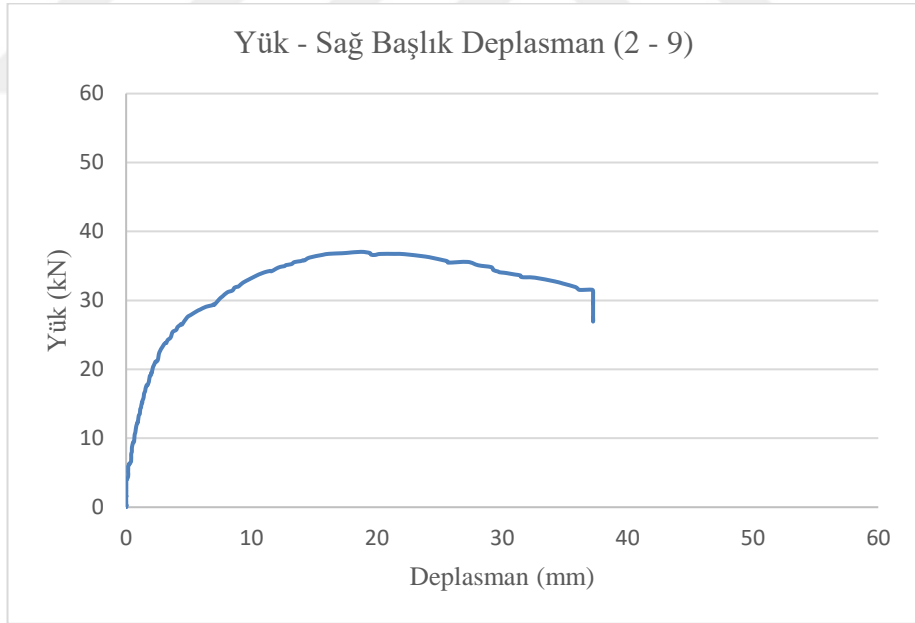


Şekil 4.3. SBN-4 kirişin başlık burulması.

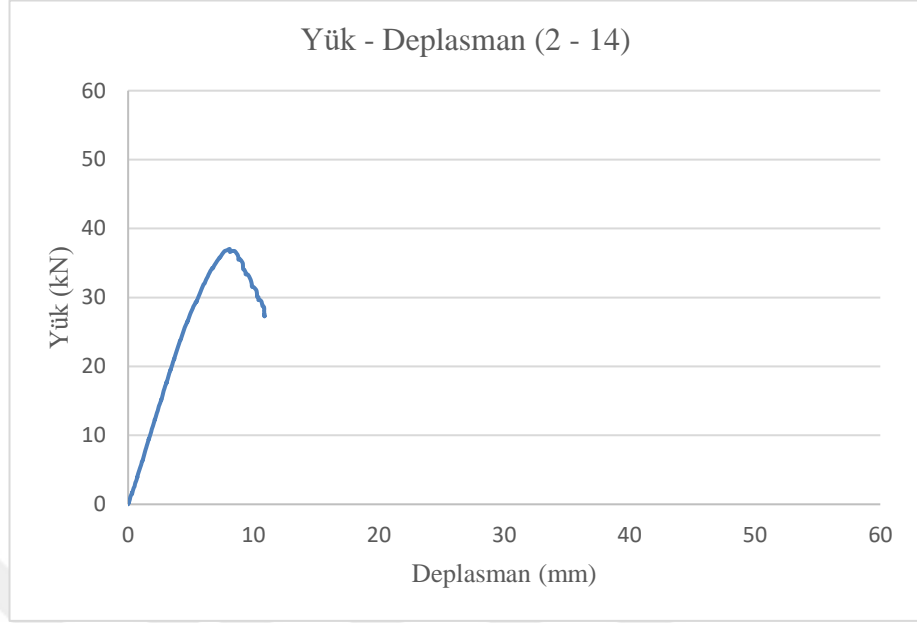
Deney sırasında alınan veriler yük – deplasman grafiklerine çevrilerek şekil 4.4 – 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.4. SBN-4 kirişin yük – sol yükleme noktasına yakın başlık deplasmanı.



Şekil 4.5. SBN-4 kirişin yük – sağ yükleme noktasına yakın başlık deplasmanı



Şekil 4.6. SBN-4 kirişin yük – orta deplasman

4.2.SBT-3

İkinci deneyde başlık levhası 3000x120x5 mm ve gövde levhası 3000x190x2.5 mm'den oluşan I kesitli yapma kirişi deneye tabi tutulmuştur. Gövde şekli düz olmayıp trapez şeklinde yapılmıştır. Şekil 4.12'de SBT-3 kirişin deneye hazırlanmış hali verilmiştir.



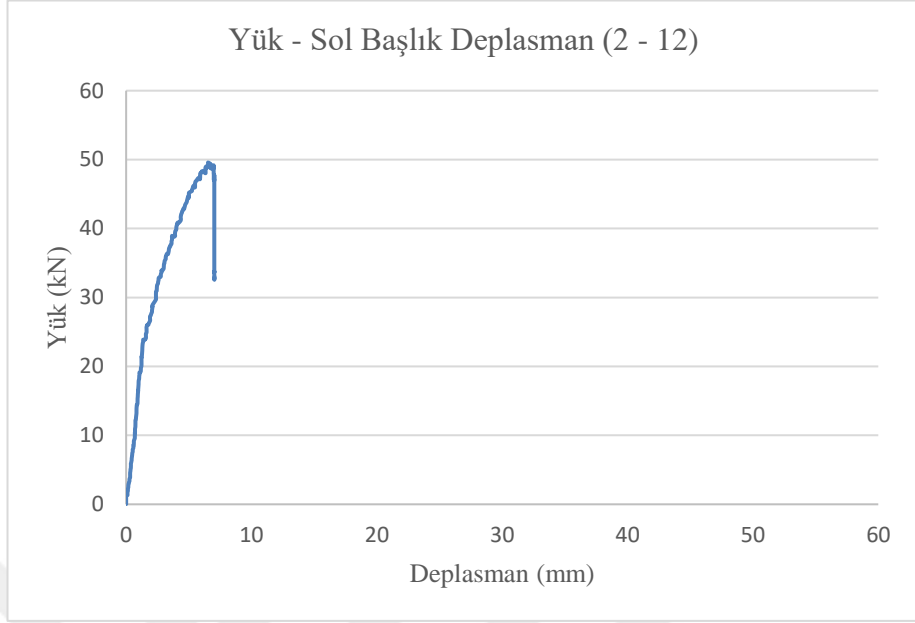
Şekil 4.7. SBT-3 kiriş deneyi

SBT-3 kirişinde de eğilme kapasitesine ulaşmadan önce kirişin başlığı dışa doğru burkulmuştur ama burkulma daha büyük yüklerde gerçekleşmiştir. Şekil 4.8’de kirişin başlık bölgesinin burkulması verilmiştir.

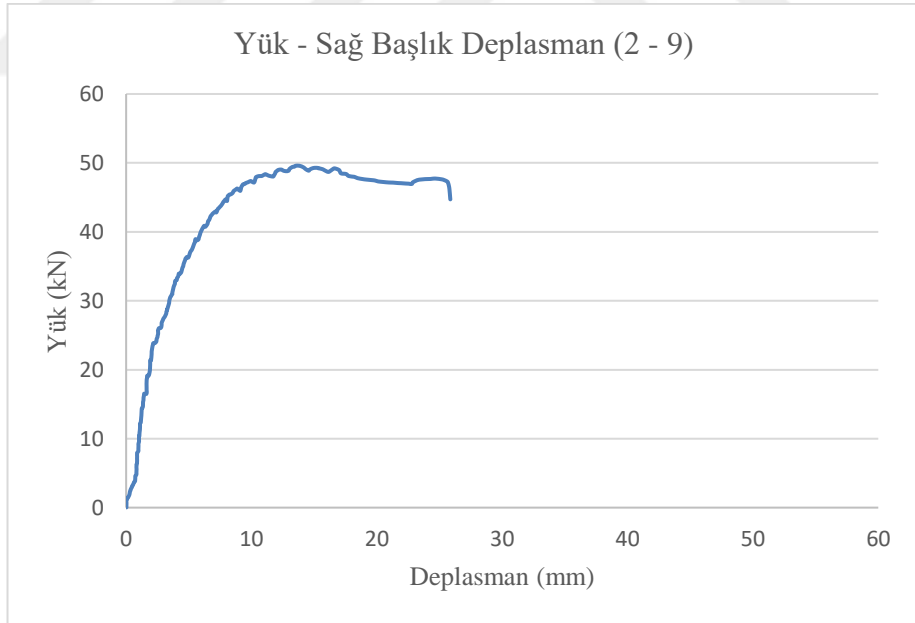


Şekil 4.8. SBT-3 kirişin başlık burulması.

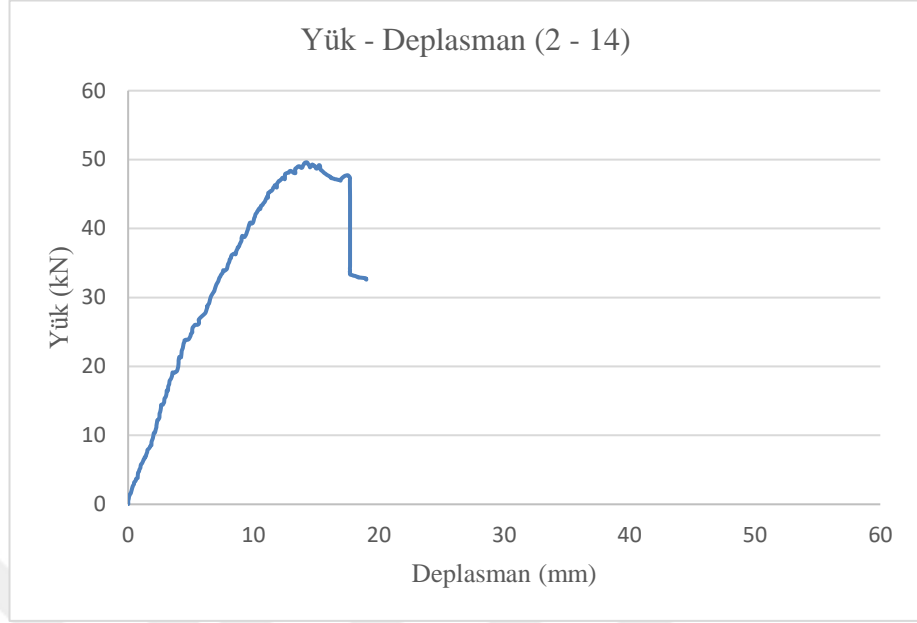
SBT-3 deneyine ait veriler yük – deplasman grafiklerine çevrilerek şekil 4.9 – 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.9. SBT-3 kirişin yük – sol yükleme noktasına yakın başlık deplasmanı.

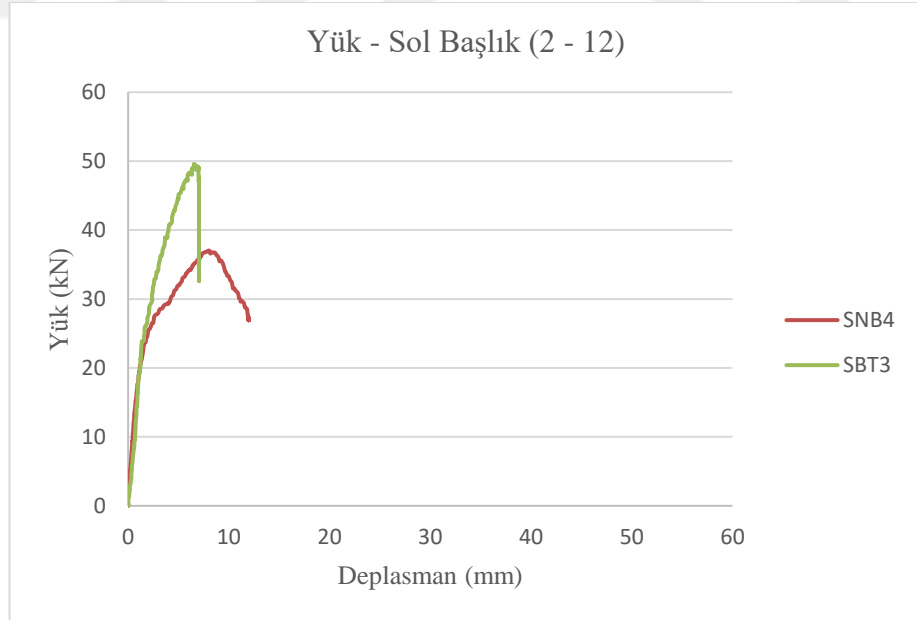


Şekil 4.10. SBT-3 kirişin yük – sağ yükleme noktasına yakın başlık deplasmanı.

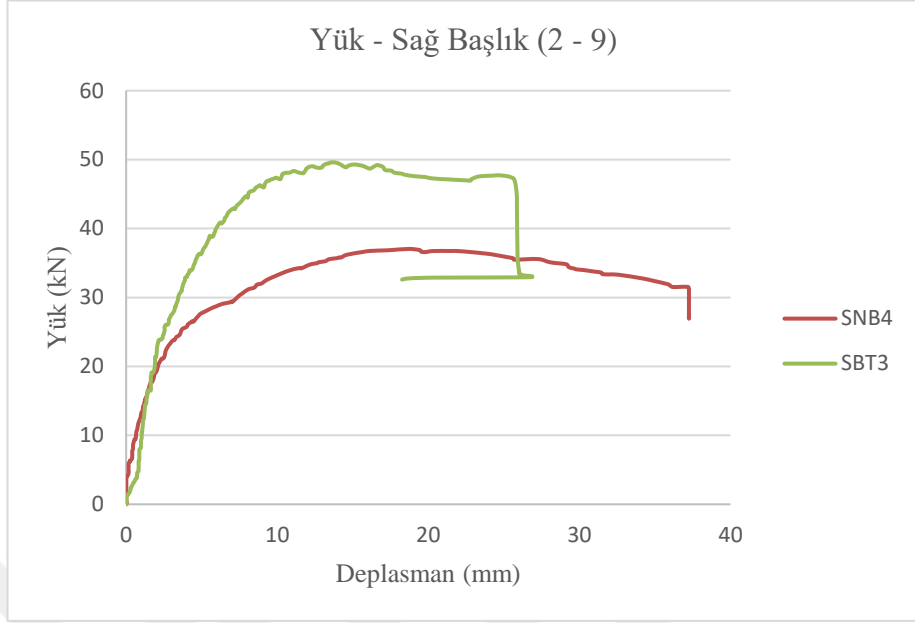


Şekil 4.11. SBT-3 kirişin yük – orta deplasman.

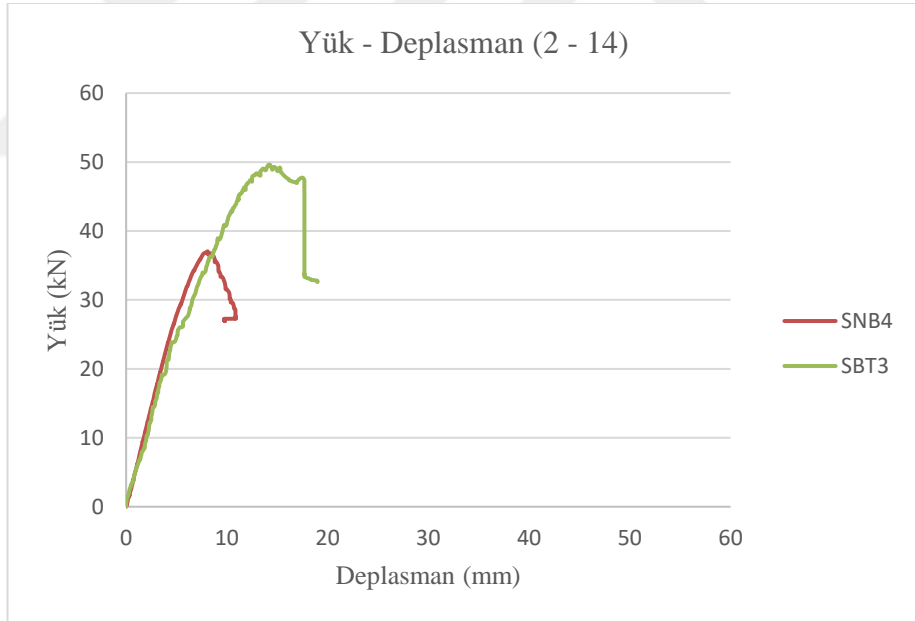
Bunlara ek olarak elde edilen veriler üç kiriş için tek grafik üzerinde şekil 4.12 – 4.14’de verilmiştir.



Şekil 4.12. İki kirişin yük – sol yükleme noktasına yakın başlık deplasmanı.



Şekil 4.13. İki kirişin yük – sağ yükleme noktasına yakın başlık deplasmanı.



Şekil 4.14. İki kirişin yük – orta deplasman.

5. SONUÇLAR

Çalışmamızda deneyleri yapılan iki farklı kiriş;

Teorik hesaplamalara göre, Max Moment taşıma kapasiteleri; SBN-4=191,74 t-cm, STB-3=299,77 t-cm belirlenmiştir. Yani SBT olarak deneyleri yapılan Trapez kesitli çelik kiriş düz gövdeli kirişe göre 1,56 katı kadar fazla moment taşıma kapasitesine sahiptir.

Deneysel çalışmalarda ise bu oran 1,35 katı kadar ölçülmüştür. Teorik hesaplar ile karşılaştırıldığında %13,5 kadar bir yaklaşım sağlanmaktadır.

Ülkemizin kıt kaynakları göz önüne alındığında, Eğilme etkisindeki Çelik kirişlerde kullanılan ağırlık değişmeden sadece gövde elemanının şekil ve kalınlığı değiştirilerek moment taşıma kapasitesinin yaklaşık %50 arttığı göz önüne alındığında konu daha da önem kazanmaktadır.

Bu konu ile ilgili olarak çok daha değişik çalışmaların yapılarak sanayicilerimizin kullanımına sunulması gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

Aydın. R. Yardımcı., N. Mayıs, 2016, ‘İnce Sinüzoidal Gövdeli Çelik Kesitlerden Oluşturulan Bir Kolon Kiriş Birleşiminin Davranışı’

Erdal F., 2016 ‘Sinüzoidal Boşluklu Gövde Yüksekliği Artırılmış Çelik Kirişlerin Optimum Boyutlandırılması’ *Aku Sci. Eng.*16 (2016) Özel Sayı (50-58)

Kıymaz G., Coşkun E., Seçkin E., 2006, ‘Dalga Gövdeli Çelik Kirişlerin Davranış Ve Tasarım Esasları’ Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi,11-13 Ekim 2006, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Eurocode 3: Design of steel structures, 1993, Incorporating Corrigenda February 2006 and March 2009

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Erdem ERDEMOĞLU
Uyruğu : T.C.
Doğum yeri ve tarihi : KONYA 13.10.1987
Telefon : 0555 285 88 80
Faks : -----
E-mail : erdemogluproje@gmail.com

EĞİTİM

Üniversite : SELÇUK ÜNİVERSİTESİ MÜH. MİMARLIK İNŞAAT
MÜH.
Mezuniyet tarihi : 11.11.2011

İŞ DENEYİMLERİ:

YIL:	KURUM	GÖREVİ
2013- Halen	Erdemoğlu Mühendislik	Yönetici