

171069



T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNCE CİDARLI ÇELİK TAKVİYELİ CTP
YAPISAL ELEMANLARININ TASARIMINDA
İNCE CİDARLI ÇELİK YAPI HESAP
STANDARTLARININ KULLANILABİLİRLİĞİ

Fatih ŞEKÜR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI BİLİMLERİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr.Bülent AKBAŞ

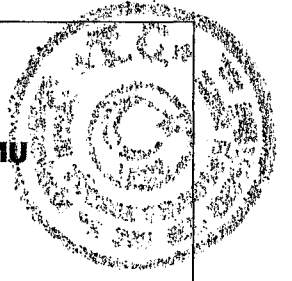
GEBZE

2005



**GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ
ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU



Fatih ŞEKÜR'ün tez çalışması, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 20.06.2005 Tarih ve 2005/22 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Deprem ve Yapı Bilimleri Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Yrd.Doç.Dr. Bülent AKBAŞ

ÜYE

: Yrd.Doç.Dr. Eren UÇKAN

ÜYE

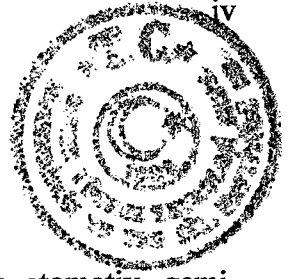
: Yrd.Doç.Dr. İrfan SAYIM

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
15.08.2005 Tarih ve 2005/27 sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR





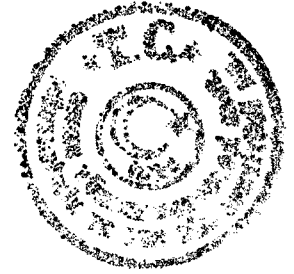
ÖZET

Cam elyaf takviyeli plastik kompozit (CTP) malzemesinin otomotiv, gemi, havacılık sektörlerinde geniş uygulama alanları olmasına rağmen inşaat sektöründe kullanımı son derece sınırlıdır. CTP malzemesinin inşaat sektöründeki kullanımları yardımcı yapısal eleman olarak kalmaktadır. Özellikle CTP malzemesinin kendi başına yapısal malzeme olarak kullanımı konusunda çok sınırlı sayıda bilimsel literatür bulunmaktadır. Son yıllarda, inşaat sektöründe yapısal kullanımlarına yönelik deneysel ve teorik araştırmalar yapılmaktadır. Bu tezde, CTP malzemesinin yapısal eleman olarak kullanımı için, elastisite modülünün iyileştirilmesi yönündeki bulgulara dayanarak ince cidarlı çelik takviyeli CTP yapısal elemanlarının tasarımında ince cidarlı çelik yapı hesap standartlarının kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmaktadır.

İnşaat ve diğer sektörlerde CTP malzemesinin kullanımı tartışılmış, CTP'nin yardımcı malzeme ve kendi başına yapısal malzeme olarak kullanıldığı inşaat mühendisliği uygulamalarının literatür çalışması değerlendirilmiştir.

CTP malzemesinin elastik özelliklerini iyileştirmeye yönelik deney sonuçları kullanılarak seçilen numunelerin TS 11372 Hafif çelik yönetmeliğindeki gerilme limitleri bulunmaktadır.

Daha sonra, CTP'nin mekanik özelliklerini kullanarak, kolon ve kiriş yapısal eleman olarak tasarlanan CTP malzemesinin, Lusas sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları TS 113721 Nisan 1994 Çelik Yapılar-Hafif-Soğukta Şekil Verilmiş Profillerle Oluşturulan Hesap Kuralları hesap yöntemleri ile karşılaştırılmıştır.



SUMMARY

Glass fibre reinforced plastics (GRP) are frequently used in construction, marine structure, aircraft sectors. GRP usage in construction is constrained by non-structural or auxiliary structural elements. Nowadays the structural usage of GRP in construction sector is researched experimentally and theoretically more and more. The thesis targets application of calculation standards of thin steel structures in design of thin steel reinforced GRP structural elements, using inventions related with enhancement of low-elasticity module, which is the greatest obstacle for use of GRP composites as structural elements.

GRP's structure engineering properties are discussed in detail, and the literature investigation of construction engineering applications, in which GRP is used as auxiliary material and an independent carrying element, is evaluated.

Later, a test analysis of standard GRP column and beam structural elements has been made using Lusas Finite Elements and assuming mechanical properties of the new GRP composites. Then, it has been compared with the Light Weight Steel Structures-Composed of Cold Formed Steel Members-Design Rules from TS 113721 as of April 1994.



TEŞEKKÜR

Tez çalışması süresince, beni anlayıp sabır gösterdiği, bilgisi ve tecrübesiyle yolumu aydınlattığı için değerli hocam Yrd. Doç Dr. V.Atilla ÖVEN'e, test analizleri çalışmaları sırasında sağladıkları olanak ve destekleri için Sn. Y. Mimar Neşe ÇAKICI ve Sn. İnşaat Mühendisi Kezban KARADUMAN'a teşekkürü borç bilirim.

Eylül 2005,

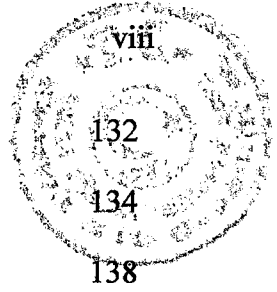
Fatih ŞEKÜR





İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Problem	1
1.2 Önem	1
1.3 Amaç ve Sınırlılıklar	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1 CTP'nin Güçlendirme Elemanı Olarak Kullanımı İle İlgili Çalışmalar	4
2.2 CTP'nin Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi İle İlgili Çalışmalar	11
2.3 CTP'nin Yapısal Bir Eleman Olarak kullanımı İle İlgili Çalışmalar	17
2.3.1 CTP'nin İnşaat Sektöründe Uygulamaları	17
2.3.2 Diğer Sektörlerde Uygulamalar	22
3. METOT	25
3.1 Lusas Sonlu Elemanlar Yazılımı	25
3.2 Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi	28
3.3 Yönetmelik	29
4. BİLGİSAYAR ORTAMINDA TEST ANALİZLERİ	124
4.1. Test Düzenegi Kabulleri	124
4.2 Yükleme Esasları	127
4.3 Analiz Bulguları ve Yönetmelik Esaslarının Karşılaştırılması	129



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

KAYNAKLAR

ÖZGEÇMİŞ

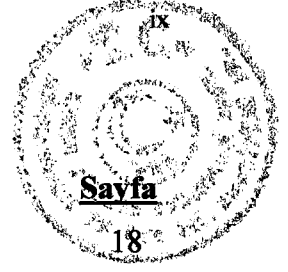
EKLER

Ek 1. Lusas sonlu elemanlarda kolon analiz sonuçları

Ek 2. Lusas sonlu elemanlarda kiriş analiz sonuçları



ŞEKİLLER DİZİNİ



Sekil

2.1. 2.1. Sektörlere göre Dünya’da CTP kullanımı	18
2.2. Kaset döşeme kalıp uygulaması.	19
2.3. CTP köprü tabliyesi ve çatı makası uygulamaları	20
2.4. CTP ve aramid fiber askı elemanlardan yapılmış Aberfeldy köprüsü	21
2.5. CTP betonarme donatı uygulaması	22
3.1. Lusas sonlu elemanlar programında doğrusal olmayan analiz veri girişi	28
4.1. Yüzey elemanlar ile oluşturulan sonlu eleman kolon modeli	125
4.2. Yüzey elemanlar ile oluşturulan sonlu eleman kiriş modeli	125
4.3. C ve U profil kesitleri	128

TABLÖLAR DİZİNİ



Tablo

4.1.	Analizde kullanılan CTP malzeme parametreleri	126
4.2.	Kullanılan sonlu eleman tipleri ve serbestlik dereceleri	127
4.3.	Profil tablosu	130
4.4.	Sanal deneyde profillere uygulanan yükler	131





1. GİRİŞ

1.1. Problem

Son yıllarda gelişen teknoloji ile kullanımı hızla artan plastik kompozitler, havacılık, otomotiv ve denizcilik sektörlerinde önemli bir malzeme olmuştur. CTP (Cam takviyeli plastik)'nin inşaat sektöründe ise taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında ve taşıyıcı elemanlarda takviye elemanı olarak sınırlı kalmaktadır.

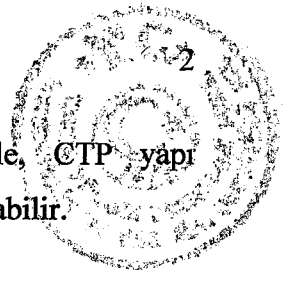
Uzun süredir kullanılan çelik ve betonarme yapılar artık toplumun çoğunluğu tarafından benimsenmiş birer yapıım sistemi halini almışlardır. Ancak, CTP yapı teknolojisinin mekanik özelliklerinin yüksek olması, inşaat aşamasında pratik uygulama şartları ve maliyet hesaplarının uygun olmasından dolayı alternatif bir sistem olarak kullanılabilir.

CTP'nin inşaat sektöründe kullanımı büyük bir potansiyel gösterse de yapısal eleman olarak kullanımı henüz çok yeni bir konu olup, ciddi araştırma ve deneysel çalışmalara ihtiyaç göstermektedir. [Turvey, 1997]

Günümüzde CTP yapısal elemanların tasarımında henüz oluşturulmuş bir yönetmelik ve hesap yöntemleri bulunmamaktadır. Hafif çeliğin malzeme özelliklerinin yakın olmasından dolayı hafif çeliğin yönetmeliği, CTP (Cam Takviyeli Plastik) malzemesi için geçerliliğinin araştırılması yapılmaktadır.

1.2. Önem

Sadece, yapı elemanlarında yardımcı eleman olarak kullanılan CTP, çelik donatıların yerine ve yapı elemanlarında güçlendirme elemanı olarak kullanımı inşaat sektöründe araştırmalara hız kazandırmaktadır. Havacılık, gemi inşa ve otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan ve üstün mekanik özellikleri sayesinde, metallere üstünlük sağlayan CTP'nin inşaat sektöründe kendi başına taşıyıcı eleman olarak kullanımının araştırılması, yapı sektörü için alternatif bir yapı sistemi



meydana getirecektir. Prefabrikasyona imkan tanınması sebebiyle, CTP yapı teknolojisi hızlı, ucuz ve seri konut üretimi için uygun koşullar sağlayabilir.

Son yıllarda, CTP malzemesinin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik deneyler yapılmaktadır. Ancak, CTP malzemesinin taşıyıcı eleman olarak kullanılması için hesap kuralları gerekmektedir. Yönetmeliklerde bu malzeme için hesap standartları olmadığından yapılan çalışmalar netlik kazanmamaktadır. Hafif çelik yapı elemanlarına benzerlik gösteren ince cidarlı çelik takviyeli CTP taşıyıcı sistem elemanının hesap standartları oluşturulduğu takdirde önem kazanmaktadır.

1.3. Amaç ve Sınırlılıklar

Tezin amacı, CTP'nin elastisite modülünü geliştirmeye yönelik deney bulgularına dayanarak ince cidarlı çelik takviyeli CTP yapısal elemanlarının tasarımında ince cidarlı çelik yapı hesap standartlarının kullanılabilirliğini araştırmaktır.

Tezin birinci bölümünde, konunun problemleri, önemi ve tezde çözümü amaçlanan unsurların sınırlılıkları ile birlikte sunulmaktadır.

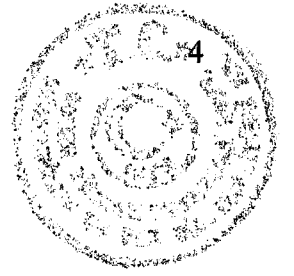
Tezin ikinci bölümünde, CTP'nin güçlendirme elemanı olarak kullanılması, malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesi, CTP'nin yapısal bir malzeme olarak inşaat sektöründe ve diğer sektörlerde kullanımı ile ilgili uygulamaları ve avantaj ve dezavantajları, kendi başına taşıyıcı eleman olarak tasarlandığı inşaat mühendisliği uygulamalarının dünya literatüründe yayınlanmış makale özet ve bulguları değerlendirilmektedir.

Tezin üçüncü bölümünde, her bir model için yönetmeliklerde teorik hesap yöntemleri, Lusas sonlu elemanlar yazılımı, doğrusal olmayan analiz yöntemi metotları sunulmaktadır.

Tezin dördüncü bölümünde, bilgisayar ortamında test analizleri için test düzeneği kabulleri, yükleme esasları ve analiz bulguları ve yönetmelik esaslarının karşılaştırılması yapılmaktadır.

Tezin beşinci ve son bölümünde, genel sonuç ve öneriler sunulmakta, ek kısmında ise analiz bulguları, grafik ve sonlu eleman program resimleri ile her bir giriş ve kolon için gösterilmektedir.





2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. CTP'nin Güçlendirme Elemanı Olarak Kullanımı İle İlgili Çalışmalar

Abdalla, [2002], beton yapılarında takviye olarak kullanılan fiber takviyeli polimer (FRP) malzemesinin düşük elastisite ve doğrusal gerilim dayanım özelliklerine sahip olması ile farklı noktalarda yüklemeye beton elemanlarda oluşan sapma, çatlama, nihai kapasite ve kırılma modları araştırılmıştır. Eğilme gerilmesi oluşan beton elemanların sapma tahminleri için literatüre uygun cam fiber takviyeli polimer (GFRP), karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) ve geleneksel çelik çubuklarla takviyeli beton elemanların deneysel programı, basit yaklaşımlar getirilerek önerilen analitik modellerle uygunluğu araştırılmıştır. Testler, FRP takviyeli çubukların farklı tipleri olan E-Glass sürekli fiber ve termosetting polyester reçinelerin çekilmesiyle üretilen GFRP(Isorod)'nin %0.4, %0.6, %1.5 takviye oranları ile, melez çekme işlemiyle E-Glass, karbon, aramid, karbon-E-Glass melezi dört farklı tiplerin kullanımıyla üretilen GFRP(C-bar)'nin %0.4, %0.8 takviye oranları ile, kömür katranın sürekli fiber epoksi reçine kullanımı ile üretilen CFRP(Leadline)'nin %0.2, %0.4 takviye oranları ile 500mm x 250mm en kesitli 2300mm temiz açıklığa sahip basit mesnetli kirişlerin 9.5mm çaplı çelik etriyelerle 400mm aralıklarla kullanılan 38mm temiz beton örtüsü olan 7 beton kirişle yapılmıştır. Ayrıca, eğilmede takviye performanslarını araştırmak için 3500mm boy ve 1000mm genişlik ve 150mm kalınlıklı FRP ve çelik takviyeli 8 beton dilime uygulanan yük, orta açıklık sapması, fiberlerdeki gerilim, betondaki gerilim ve çatlak genişlikleri ölçmek için test edilmektedir. Yapılan testler sonucunda GFRP takviyeli elemanlar düşük elastisite modülü ve bağ karakterlerinden dolayı rijitliğinde etkili azalma ve gerilim ve sapma CFRP takviyelerine göre daha yüksek, basınç bölgesinin derinliği daha düşük olduğu görülmüştür. ACI Building Code ve Canadian Building Code göre elemanların atalet etkili momenti kullanılarak sapma tahmin edilmiştir. ACI 440 ele alınarak sapma deney sonuçlarına göre düşük kalmaktadır. Bu çalışmada, ISIS Canada yaklaşımının deney sonuçları ile en olumlu sonuçları verdiği görülmektedir.

Mortavazi et. Al, [2003], depremlerin iyi projelendirilmemiş beton elemanlar üzerindeki şiddetli etkisinden dolayı, beton kolonlara yanal ön gerilme uygulamak için aşırı malzeme kullanılmaktadır. Mevcut beton kolonlar için yeni güçlendirme tekniği olan fiber takviyeli polimer (FRP) malzemesinin kullanımıyla kolonun kapasite ve düktilitesi üzerinde deneysel çalışmaların yapılması ve bunların tahmin edilen modellerle kıyaslanması amaçlanmıştır. Kaplama malzeme özellikleri (karbon-CFRP, cam-GFRP, çelik) ve kaplanmış silindir performansları deneylerle araştırılmıştır. Bazı numuneler ön gerilmeli olan 68 beton silindirin (100mm çaplı, $f_{co} = 32 \text{ Mpa}$) kaplama basıncını farklı derecelerini oluşturan GFRP ve CFRP çubuklarla test edilmiştir. Beton kaplamaları için mevcut modeller, FRP kaplamalı betonun davranışını doğru bir şekilde göstermez. Bu nedenle, FRP ile sarılmış betonun mukavemeti, betonun çelik ile takviyesini tanımlayan Eurocode 8'e göre (Formül.1a, 1b, 2) ele alınmış ve değerler tahminlerin altında çıkmıştır.

$$f_{\alpha} = f_{co} (1 + 2.5 \alpha \omega_w) \quad \text{for } \alpha \omega_w < 0.1 \quad (1a)$$

$$f_{\alpha} = f_{co} (1.125 + 1.25 \alpha \omega_w) \quad \text{for } \alpha \omega_w > 0.1 \quad (1b)$$

f_{ce} ve f_{co} , sırasıyla, kaplanmış ve kaplanmamış beton karotun en büyük eksenel mukavemeti, α , bir katsayı, ω_w , mekanik oranlarına bağlı sabit indekstir ve aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\omega_w = \frac{\text{volume of lateral confinement } t \text{ materials}}{\text{volume of concrete core}}$$

$$\times \frac{\text{strength of lateral confinement } t}{f_{co}} \quad (2)$$

Malzeme mukavemetinin %40 dayanımında betonda kırılma olduğu rapor edilmektedir. Böylece ön gerilmeli numunelerde basınç altında beton ile FRP kaplama arasına kendinden yayılabilen ve bir miktar genişleme gösteren grout harcı enjeksiyonu yapılmıştır. Yapılan deneylere göre, ön gerilmenin derecesinin kontrol edilebilirliğin mümkün olduğu ve ön gerilmeli FRP malzemelerle kolonların kaplanmasıyla, normal FRP kaplanmış kolonlara göre %35, hiç kaplama uygulanmamış kolonlara göre dört kat yük taşıma kapasitesinin arttığı onaylanmıştır. GFRP ile üç plaka ile geleneksel normal kaplama, ön gerilmeli kaplama için yanal basıncın yarısında başarısız oldu. Bu, fiberin kullanımında %100 artışı gösterir. CFRP



numuneleri için yanal ve boyuna basınçlar kaplanmamış betonlarınkinden yaklaşık 10 kez daha büyüktür.

Teng, et al., [2001], cam fiber takviyeli polimer (GFRP) şeritlerle bağlanmış takviyeli beton (RC) konsol dilimlerin üzerinde deneysel çalışmalar amaçlanmıştır. Çelik çubuklar, bazı problemlerle gerçek dilimleri taklit etmek için basınç yüzlerin yanında uygun durumu olmadı. Birleştirilmiş GFRP şeritler yük taşıma kapasitesini ilerletmede çok etkili olduğu görülmüştür. Üç seride on testler, çelik ve fiber takviyenin farklı miktarları ile dilimler üzerinde kontrol edilmiştir. Numuneler, 500mm genişlik, 100mm derinlik, 700mm uzunluğa sahiptir. Bütün numunelerin mukavemeti 39.24MPa olarak bulunmuştur. Çekme mukavemeti, elastisite modülü, poisson oranı ASTM D3039 göre belirlenmiştir. Yükleme, cidar yüzlerinden 600mm'de 50mm çelik çubuklarla hidrolik çekiç ile uygulanmıştır. Deneysel nihai yükler, teorik değerlere göre daha yüksek çıkmış ve max fark %2.12 olmuştur. Bütün FRP dayanımlı test dilimleri, çekme kopma veya çözülmeye sebep olan son kırılma modu ile serbest sona doğru çoğaltılan ve sabit son yakınında başlatılan dilimden FRP şeritlerin çözülme olayı bulunmuştur. Çözülmenin şiddet veya olabilirliği, FRP şeritlerin genişliği ve kalınlığına bağlılığını gösterilmiştir. Dilimlerin çözülmesi, özellikle FRP takviye oranı düşükse, nihai mukavemet üzerinde ciddi zarar verici etkilere sahip olduğu görülmüştür. Onun yerine daha düktilite davranışlar yol göstermiştir.

Alsayed, [1997], çelik veya cam fiber takviyeli plastik (GFRP) çubuklarla takviyeli beton kirişin yük deplasman ilişkisinin ölçülmüş ve tahmin edilmiş değerler arasında kıyaslamaların sonuçları amaçlanmıştır. Çalışmanın sayısal bölümü olarak, bu çalışmanın parçası olarak geliştirilen bilgisayar modeli, yük deplasman için son zamanlarda uygulanan ACI model, FRP-RC kirişlerin yük-deplasman bağıntıları tahmin için Faza ve Ganga Rao tarafından önerilen model olarak üç model kullanılmıştır. Betonun eğilme limiti ve en son dayanımı test kirişlerinin dizaynında kontrol parametleri olarak kabul edildi. Numunelerin hepsi 2700mm açıklık, Ø8mm demirlerle 120mm etriye aralığına sahip dört tip basit mesnetli kirişler, farklı en kesit, beton mukavemeti, takviye malzeme tipi, kullanılmıştır. Numuneler laboratuvar dışında dökülmüş ve dökümden sonra 24 saat kalıpta bekletilmiştir ve 14 ve 28 günlük betonlar elektrikli ölçerlerle ve transformerlerle (LVDT), orta açıklık

deplasmanı ve uygulanan yük bulunmuştur. Sonuçlara göre, çelik-RC kirişler için yük deplasman bağıntıları tahmini için bugünkü ACI-modelde GFRP-RC kirişlerin gerçek deplasmanlarını gerektiğinden az değer vermiştir. GFRP-RC kirişlerin gerçek yük deplasmanı tahmininde hata yaklaşık %70 'dir. Bundan başka FRP-RC kirişler için daha fazla data uygun olana kadar kullanılmamalıdır. Faza ve Gango Rao tarafından amaç olarak FRP nin özellikleri için hesaplanan değişmiş atalet momentıyla bugünkü etkili atalet moment yereldi. FRP-RC kirişlerin yük-deplasman tahmini için modellerin kapasitesi iyileştirildi. Değişiklik tahmininde hataların %70 'den %15 'e azaldığı görülmüştür. Ayrıca daha fazla deneysel sonuçlar, FRP malzemenin özelliklerindeki varsayımlar, takviye konfigürasyonların farklı yük durumlarında amaçlanan değişiklikleri daha başka kontrol için ihtiyaç duyulmuştur. Amaçlanan bilgisayar modeli, çelik ve GFRP-RC kirişlerin yük deplasman ve kırılmanın tahmininde kullanılmış ve ölçüm ve tahmindeki hatalar %20'den %10 'a azalmıştır. Gelişmiş bilgisayar modeli, malzemenin gerçek özellikleri için hesaplamalarda yüklemenin bütün bölümleri için GFRP-RC gibi, çeliğin yük-deplasman bağıntılarında tahmin etmektedir. Model, FRP malzemenin diğer tiplerinin özelliklerini düşünmek için yaygınlaştırıldı ve pratikleşmiş dizayn, değiştirilerek kullanılmıştır. Dizayn formülleri, çelik ile sağlanan takviyeye benzerdir. GFRP-RC kirişler için beton ezilme kırılması için dizayn edilmiş eğilmede, kiriş kapasitesi, her takviye edilmiş profiller için nihai dizayn metotların kullanımı tahmin edilebilmiştir. Ayrıca, kirişlerde oluşan deplasman, FRP-RC yapıların birkaç tipinin dizaynında kontrol edilebilir. GFRP-RC kirişlerin ölçülen yük-deplasmanın ortalama oranı, aynı nihai eğrilik kapasitesinin çelik -RC kirişlerindeki aynı ölçüler gibi olduğu görülmüştür. GFRP çubukların kırılma mümkünlüğü , beton basınç kırılmasına göre oluşturulmuştur.

Yuan, et al., ASCE Members, serinletici kule sisteminin kurulması için üretilmiş plastik kompozit kolonların davranışları üzerinde deneysel bir incelemeyi anlatmaktadır. Plastik kompozit, plastik reçine tutkalı içerisinde fiber güçlendirmeden yapılmaktadır. Çekilmiş kolonlar evrensel bir kesit alanına sahiptirler ve eksenel sıkıştırıcı yükleme durumunda test edilmişlerdir. Fiber takviyeli plastiklerin karakterleri ve yetenekleri analiz ve dizayn esnasında kompleksliliğide beraberinde getirmektedir. Malzeme, kırılma direncinde, değişik basınç deformasyon çıktılarında ve yük-değişim ilişkilerinde değişik yetenekler

sergilemektedir. Narinlik oranında, 27'den 65'e değişim gösterir, kolon yüksekliği 2,4 metreden 5,9 metreye kadar değişebilir. Bu araştırmada çalışılan çekilmiş kolonların en kesitleri 304x304mm'dir ve 2.4, 3.6, 4.8, 5.9m değişik yükseklikleri olan kolonların sırasıyla narinlik oranları 27, 41, 55, 65 olarak belirlenmiştir. Cam fiberler ve dokunmuş örtü, büyük aks doğrultusunda devamlı ve kolon aksı boyunca yayılmıştır. Küçük aks doğrultusunda fiber ve örtüler sürekli değildir fakat kolon aksı boyunca yayılmıştır. Baştaki datalar kayıt edildikten sonra, kolon aynı merkezli basınçta yüklenilmiştir. Plastikleşme, kolonların orta bölümünde çeyrek noktalarda yer almıştır. Deplasmanları okumak için teodalitler kullanılmıştır. Kolon orta bölümünde gerilim ölçer yerleştirilmiştir. Ek olarak, malzeme özelliklerini belirlemek için MTS makinası ile kupon testi yapılmıştır. Verilen her bir numune için üç numune test edilmiş ve ortalama nihai yükler 1.2MN, 1.1MN, 0.73MN, 0.49MN olarak sırasıyla 2.4m, 3.6m, 4.8m, 5.9m yüksekliklerde belirlenmiştir. Test sonuçlarından, kolon uzunluğu arttıkça nihai yük azalması gözlenmiştir. Kolonların gerilim dayanım eğriliği, basınçta elastisite modülünü 29.3GPa olduğunu göstermiştir. Küçük aksın flanşında noktasal sünme ile kırılma olayı başlamış ve sünme flanş boyunca sinüs eğri biçiminde çoğalma ve ters sinüs eğri ile büyük aks üzerinde yayılmaya başlamıştır. Böylece, kolon orta bölümden kırılmaya başladıkında küçük aks üzerindeki flanş açılmaya eğilim göstermiş ve büyük aks üzerinde iki flanşta kapanmaya eğilim göstermiştir. Kolon narinlik oranı, nihai yük kapasitesinde etkilidir. Sonuçlar, narinlik oranını $kl/r=40$ olarak belirlemiştir. Bu değer, uzun ve kısa kolonlarda da geçerli olmuştur. Narinlik oranı 40'tan büyükse kolon burkulma biçiminde kırılır, 40'tan az ise flanşın eğilmesi ile karşılaşılmıştır. Uzun kolonlar için nihai yük kapasitesi daha geniş eğrilikler ile daha düşük olmak için eğilim göstermiştir. Sünme, malzemenin üretim işlemine ve kolonun baştaki eğrililiğine bağlı olduğu görülmüştür. Kolon basınç-deformasyon ilişkileri, nihai yükler, yanal yön değiştirmeler ve başlangıç eğrilikler inceleme esnasında kaydedilmiştir. Sonuçlar, plastik kompozit kolon elastik modülünün, beton kolonunkiyle karşılaştırılabilir olduğunu göstermiştir ve başlangıç eğrisinin nihai yük kapasitesi üzerinde çok az etkisinin olduğu gözlenmiştir.

Turvey, [1997], kirişlerin orta açıklık deplasmanlarını azaltma ve yük taşıma kapasitesini artırmak için kullanılan performans indis formülleri ve yarı rijit bağlantıların istenilen dönme kapasitesi için çalışmalar amaçlanmıştır. Analizlerin

etkili katsayı metodları, orta açıklık deplasmanları ve yarı rijit bağlantılarla kirişlerin son dönmeleri için kapalı şekil durumları elde etmek için kullanılmıştır. GRP ve WF profillerin arasındaki flanş bağlantılar ve gövde üzerinde dolu ölçek testlerinden elde edilen baştaki dönme rijitlik dataları yük durumlarında açıklık derinlik oranların pratik sınırlarında performans indisleri eşitliği için formüllerde kullanılmıştır. Formül, kesme deformasyon teorisine dayandırıldı ve bağlantılar doğrusal moment-dönme karakterlerini sahip olduğu farz edilmiştir. Numuneler, 101.6 ve 203.2mm profilli iki tip olup, çekilmiş GRP malzemeler orthotropiktir ve sadece boyuna elastik modülü ve kesme modülü, performan indislerini değerlendirmek için ihtiyaç duyulmuştur. Bu modüller, EXTREN serisi için verilmiş ve elastisite modülü 17.24kN/mm^2 , kesme modülü 2.93kN/mm^2 olarak belirlenmiştir. Orta açıklık deplasmanında büyük azalmalar yük taşıma kapasitesinde ve gövde ve flanş bağlantı için açıklıklarda artış olduğu sunulmuştur. Bu çalışma ile basit mesnetli kirişlerin performans iyileştirilmesi ve yapı mühendisliği için açıklık derinlik oranları ve yarı rijit bağlantı dizaynı için bilgi sağlamıştır.

Hashem, et al., [2000], 12 gerçek boyutlarda cam takviyeli plastik kompozit kolonların analitik değerlendirilmesi ve basınç deneyleri sunulmuştur. Çekilmiş kolonlarda, bağlayıcı matris olarak polyester ve vinylester ve dokunmuş iplik formları ile kutu profiller, takviye olarak değişik formlarda sürekli tel ve sürekli hasır E-glass ile genel profiller kullanılmıştır. Bu profillerin mukavemet ve deformasyon karakterlerini analitik ve deneylerle sunulmuştur. Araştırılan kolonların narinlik oranları (L/r), genel profiller için 5.69, 32.7, kutu profiller için, 9.38, 53.9 olarak belirlenmiştir. Kolon uzunlukları 0.46m ve 2.44 m'dir. Bütün kolonlar düşey pozisyonda ve eksenel yükleme basıncı altında test edilmiştir. Basınç gerilmeleri, eğilme ve sünme yükleri, yanal deplasman, başlangıç eğrilikler, kırılma modları araştırma esnasında dokuman edilmiştir. Kompozitlerin orthotropik mekanik özellikleri, deneylerle 44 kupon numunesi kullanılarak elde edilmiştir. Doğrusal sonlu elemanlar eğilme analizinden sonuçlar, bütün kolonlar üzerinde kontrol edilmiş ve deneylerle elde edilen davranışlarla kıyaslanmıştır. Ek olarak, kolonların sertleşmemiş flanşları, klasik orthotropik plaka teorisi ve noktasal flanş ve gövde burkulma kapasitesi için sonlu elemanlar metodu kullanılarak değişik sınır koşulları ile analiz edilmiştir. Test sonuçlarına göre, bütün numuneler için basınç gerilme ilişkisi normalde genişçe doğrusaldı. Bunların non-linear davranışları, nihai

yüklerinin %82'sinde başlamıştır. Ortalama gerilme (119MPa) lokal flanş burkulmasının başlamasını göstermiştir. Major ve minor eksenler arasında dış köşelerde sertleştiricinin kullanımı ile rijitlik, artan flanşlarla geliştirilebilmiştir. Bu sertleştiriciler, yapıştırıcı veya mekanik olarak bağlanmıştır. Elastik basınç modülü, deneylerle 31.3GPa, sonlu elemanlar analizi ile 30.7GPa olarak elde edilmiştir. Böylece sonlu elemanlar modelinin orthotropik kompozitlerin basınç elastik modülünün belirlenmesinde etkili olduğu ispatlanmıştır. FE ve deneysel sonuçlar arasında en düşük burkulma yükü farklılıkları, kısa segmentler için %1.45, 2.44m kolonlar için %36 olduğu görülmüştür.

Ochola, et al., [2004], teknolojik uygulamalarda metal malzemeler için temsilci olarak kompozit malzemelerin seçilmesi daha fazla telaffuz edilmektedir. Bu pratik durumların bazılarında yapılar yüksek çarpma yüklerine dayanıksızdır. Malzeme ve yapısal çıktıları çarpma yükü durumu altında değişik olmaktadır. Karbon fiber ve cam fiber takviyeli polimerlerin hassas deformasyon hızı, tek lamine konfigurasyon testi ile araştırılmıştır. Basınç malzeme özellikleri, her iki lamine sistemiyle belirlenmiştir. Lamineler, çapraz kat karbon ve cam fiber epoksinin 48 plakadan oluşturulmuştur. Yüksek deformasyon hızı, malzeme karakterleri için en büyük kullanılan deneysel konfigurasyonlardan biri Hopkinson basıncı çubuğu veya Kolsky çubuğudur. Hopkinson çubuğu içeriği dinamik gerilme, basınç veya deplasmanların oluşmasını belirlemesini kapsamaktadır. GFRP lamineler, Ampreg 20 epoksi matrislerinde doğrusal olmayan standart E-glassla oluşturulmuştur. CFRP lamineler, epoksi matrisde C300/500 karbon çekiciler kullanılarak oluşturulmuştur. 10.8mm kalınlıklı biçimlendirilen lamineler, 2 saat için 60°C sıcaklıkta iyileştirilmiştir. Plakalar, 8mm çap ve 8mm uzunluklu numuneler içinde üretilmiştir. Dinamik test sonuçları, aynı ölçü ile numunelerle yapılan statik basınç sonuçları ile kıyaslanmıştır. İlk basınç gerilim dayanımı gibi daformasyon hızı data eldeleri, deformasyon hızı artması ile GFRP için dinamik malzeme mukavemeti arttığı gösterilmiştir. CFRP ve GFRP için kırılma gerilimi deformasyon hızı artması ile azaldığı görülmüştür. GFRP sistemlerle enerji soğurması CFRP sistemlerle kıyaslama olarak basıncı azaltmasına rağmen daha yüksektir. Basınç yükleme durumları altında dinamiğe yarı statikten arttırılan deformasyon hızı olarak CFRP ve GFRP üzerinde önerilen değişik deformasyon hızı etkileri belirtilmiştir. Artan deformasyon hızında kırılma mekanizması mikroskopik teknikler kullanılarak

açıklanmıştır. CFRP ve GFRP kırılma modlarındaki değişikle deformasyon hızındaki değişiklikler gösterilmiştir. Basınçta epoksi, viskoelastik malzemelerin geri alma özelliğine düşünölebilmesi gibi hassas deformasyon hızı olduğu görölmüştür. Her iki kompozit sistem içi deformasyon hızı artmasının en önemli etkisi, kırılmanın modlarındaki değişikliklerde sonuçlandığı görölmüştür.

2.2. CTP'nin Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi ile ilgili Çalışmalar

Sarıbıyık, [2001], yapı sektöründe kullanılan kompozitlerin kullanılabilirliğine uygun olan çekilmiş cam takviye plastik profillerin (GFRP) mekanik özelliklerini, kupon testi metodlarıyla veya analitik modellerle belirlenmesini amaçlamaktadır. İnce cidarlı çekilmiş GRP profiller, farklı fiber biçimlerini kapsayan lamineden oluşmuştur. 51mm ortalama dış çap, 3.1mm cidar kalınlığına sahip kutu profiller, dört tip tabakadan oluşmaktadır. Korozyon ve yüzeysel zararlardan korunmak için örtü (0.065mm), sürekli ince tel hasırlar (1.547mm), düz iplikler (1.420mm), döndürölmüş iplikler (0.068mm). Fiber ve matrislerin elastik özellikleri, küçük parçaların dağılımı, şiddeti ve geometrisi mikromekanik modeller ve klasik laminasyon teorisi kullanımıyla tahmin edilmiştir. Fiber ve matrislerin mekanik özellikleri, mikromekanik modellerle her katman için elastik özelliklerin hesaplanmasında kullanılmıştır. Daha sonra, hesap sonuçları, klasik laminasyon teorisinden geçerek malzeme özellikleri tahmini için makromekanik modeller kullanılmıştır. Deneylerle belirlenen çekme özellikleri, analitik tahminlerle kıyaslanmıştır. Analitik modellerin doğruluğunu kanıtlamak için, ASTM D 3039 numuneler, çekilmiş GRP kutu profillerin boyuna çekme özelliğinin ispatlanmasında kullanılmıştır. Beş kupon test sonucundan elde edilen kompozitin elastisite modöülü, 27.4 kN/mm^2 iken, klasik laminasyon teorisi ile 26.7 kN/mm^2 sonucu bulunmuştur. Poisson oranının deneysel değeri 0.29 iken, analitik hesap değeri 0.38'dir. Klasik laminasyon teorisi ile elastik özelliklerin tahmini poisson oranı tahminine göre daha doğru olduğu görölmüştür.

Lyons, [1997], düşük yoğunluk ve oluşumundaki kolaylığından dolayı kullanılan termoplastiklerin mekanik özellikleri üzerinde zaman ve sıcaklık etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Otomotiv sektöründe kullanılan dört ticari termoplastik reçine sistemlerin zamana bağlı mekanik özellikleri, 23, 100 ve 150 °C sıcaklıklarda araştırılmıştır. Test malzemeleri, dibasik asitle diaminesin reaksiyonu ile yapılan benzer kimyasal özelliğe sahip iki formülasyonlu poliamid dolu cam ve polyphthalamidden oluşmaktadır ve kısa E-glass fiber takviye içermektedir. Numuneler, 1.6mm kalınlıklı kalıplara enjeksiyon edildi. Kalıplamadan sonra yaşlanma etkileri ve artan gerilimleri azaltma için her numune, test edilmeden önce bir saat için 140°C'de hava içinde tavlandırılır. Deneyler, izotermik yaşlanmadan sonra sünme, sünme-kopma, dayanım davranışlarının belirlenmesi için yapılmaktadır. Sünme kopma dataları, Sherby-Dorn analizleri kullanılan büyük eğriliklerde kullanıldı. Farklı özelliklere sahip, %33 cam takviyeli polythalamid, sünme, mukavemet ve düktilitelerin olumlu sonuçlarını sergilemiştir. Deney sonuçları, yapısal termoplastik elemanların geliştirilmesi ve dizaynı için kritik önemli bilgiler sağlamıştır. Kısa cam fiberlerin karışımıyla termoplastik matrislerin özelliği geliştirilmiştir. Deneysel araştırmalar olumlu olmuştur. Sonuçlara göre, fiziksel yaşlanma meydana geldikçe dayanım özellikleri gelişmektedir. Bununla beraber, kimyasal yaşlanma veya sünme durumu dayanımı olumsuz etkilemektedir. İzotermik yaşlanma, nihai mukavemet ve bu malzemelerin ikinci modüllerini arttırmıştır. Bununla beraber, 150°C sıcaklıkta oksidasyon, malzeme özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Bütün termoplastikler gibi bu malzemelerde de artan sıcaklıkla kopma dayanımı ve sünme direnci azalmaktadır. Poliamidlerde 23-100°C arasında sünme-kopma durumu yaşanmaktadır ve çekme mukavemeti daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Skrifvars, et. al, [1997], doymamış polyester reçinenin geliştirilmesinde deneysel dizayn kullanımının tanımlanması amaçlanmıştır. Cam takviye kompozitlerde ciddi bir kırılma iyi delamination mukavemeti ile doymamış polyesteri elde etmek için işlem durumları tanımlanmıştır. Delamination mukavemeti, kama açma testi ve çift konsol giriş metodu kullanımıyla tahmin edilmiştir. Yüzeylerden, en uygun oluşum durumu belirtilmiştir. Merkezi kompozit dizaynı, çıktı yüzeylerini kontrol etmek için kullanıldı. Lamineler orthophthalic

doymamış polyesterden yapılmıştır. On farklı grup oluşturuldu ve her grup merkezi kompozit dizaynına göre oluşturuldu. Oven-corning MK12 cam hasırlar (450gr/m^2) takviye olarak kullanılmıştır. Üç lamine $200\text{mm} \times 300\text{mm}$ ölçülerde ikisi kama testi diğer biri çift konsol kiriş testi için hazırlanmıştır. Lamineler, 50°C ve 24 saatte iyileştirilmiştir. Kama testinde, Instron 1175 çekme testi makinesi kullanılarak 50mm/dak piston hızıyla laminelerde, 5000N yük hücresi kullanılarak yük ölçülmüş ve kırılma yükü 800N 'dan daha büyükse, lamine iyi delamination mukavemeti göstermiştir. Konsol kiriş testinde, Instron 1123 test makinesi kullanılmış, yükler 880N yük hücresi ile ve 5mm/dak piston deplasman hızıyla ölçülmüştür. Delamination çatlak uzunlukları boya penetranın desteği ile test numunelerinden ölçülmüştür. Yük ve deplasman kayıtları çatlak uzunluğu için ilişkilendirildi ve datalar PC tabanlı sistemlerle toplanmıştır. Kritik basınç enerji oranı, $G_{Ic}=3P\delta/2ba$ eşitliği ile (P uygulanan yük, δ deplasman, b numune genişliği ve a çatlak uzunluğu) gösterilmiştir. Bu iki test sonuçlarına göre yapılan kıyaslamalar, kama açma testi nitelikli kontrol oluşum için daha uygun metottur. Diğer metot çatlak mekanik metodolojisini belirtir. Bu belgelenmiş teknikler, arayüzey bağlama ölçüsünün miktarını vermiştir fakat daha kullanışsızdır. Delaminasyonsuz laminelere verilen en uygun oluşumun belirlenmesinin mümkün olduğu gösterilmiştir.

Looyeh et. al., [1998], değişik sıcaklık özellikleri içeren CTP panellerin ateş performansı için sonlu eleman modelleri tanımlamayı amaçlamıştır. Zamana ve ısısal özelliklere bağlı nem ve sıcaklık içermesiyle geliştirilen formülasyonlara dayalı olarak yapılmıştır. Reçine kütlelerin etkileri ısısal gravimetrik analizlere göre düşünülmüştür. Uygun elementi elde etmek için, karışmış açık-kapalı Bubnov-Galerkin sonlu elemanlar yaklaşımı kabul edilmiştir. Malzemeler, yaklaşık %53.5 izoparametrik polyester, %46.5 cam fiber ipliklerinden oluşmaktadır. CTP panellerin ateş direnci ve ateş performansı miktarı için bilgisayar kodları ile beraber sonlu elemanlar modeli geliştirilmiştir. 10.9mm kalınlıklı tek tabakalı polyesterli CTP panelin sıcaklık, yoğunluk ve nem profillerini tahmin edilen sonuçlarla kıyaslamaktadır. Tahmin edilen sıcaklıklar, 21.41°C ortalama bir farkla deneysel sonuçlarla karar verilmiştir. Bu değerlerle, malzemenin ateş performansını tahmininde %38.53 gelişme olduğu belirtilmektedir. Isısal özellik ve reçine kütlesi etkilerindeki araştırmalar, bunların kabulleri ile etkili hataları ortaya çıkarmıştır.

Sonuçlara göre, önceki modellerle elde edilen deneysel datalarla kıyaslanması ve şimdiki modelle tahmin edilen sıcaklıklar arasında birleştirici kararlar gösterilmiştir. Önceki modellerle tahmin edilen sıcaklıklar, yüksek ateş durumunda zayıf karar sergilemiştir. Şimdiki modellerin tahmin edilmiş ve deneysel ateş direnci sonuçları arasında %2.10 veya %9.44 küçük bir farkla şimdiki modellerin kullanımı daha kullanışlı olduğu görülmüştür.

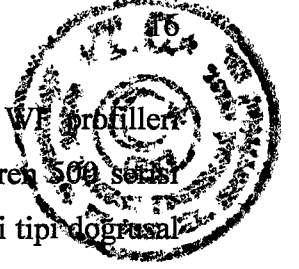
Tong, [2002], matris çatlak büyümesi, her lamineli kompozit malzeme sistemlerinde periyodik yükleme altında ilk etkili zarar olduğu bulunmuştur. Çeşitli yorulma çatlak büyüme davranışı, sabit genlik yorulma yükleme durumları altında yarı izotropik GFRP laminelerde çalışılması amaçlanmıştır. Eksen dışı katlarında yorulma çatlak büyüme karakterleri tanımlanmış ve kıyaslamalar yarı statik ve yorulma çatlak büyüme davranışı arasında yapılmıştır. E-glass fiber ve epoksi reçine matrisleri sistemlerde kullanılmıştır. Lamineler, (0/90/-45/+45) sıralı kazıkla desteklenmesi ile basit ince tel sargı teknikleri kullanılarak oluşturulmuştur. Ortalama fiber şiddeti kırılması %62 ve kat kalınlığı 0.5mm'dir. Malzeme özellikleri, elastisite modülleri, 46Gpa, 13Gpa, poisson oranları 0.3,0.42 olan numuneler 25mmx230mm olarak lamine tabakalardan kesilmiştir. Yarı statik testler 0.5mm/dak hızla deplasman kontrolü yapılmıştır. Periyodik testler, 10Hz frekans, 0.1 yük oranında kontrol edilmiştir. Yorulma çatlakların dikkatli izlemesiyle üç farklı durumu gösterilmiştir. Sabit durumlu çatlak büyümesi, çatlak etkileşimi ve doygunluğu. Matris çatlaklara göre gerilim dağılımı ve bağlantılı rijitlik azaltılması sonlu elemanlar modeli kullanımıyla benzeştirilmiştir. Eksen dışı matris çatlamasıyla, gerilim enerjisi baskı oranı elde edilmiştir ve ölçülen oranlarla korelasyonu yapılmıştır.

Song, et al., [2002], kompozit tüpler, eksenel yükleme altında ilerleyen ezilmenin işlemi esnasında enerji soğurma performansına göre çarpma değeri mükemmel yapılar olduğu bulunmuştur. Böylece, kompozit tüplerin dört tipi, +/-75 cam/polyester, 0/+/-75 cam/epoksi, +/-15 cam/polyester ve +/-15 cam/epoksi enerji soğurma performansını eksen dışı açı ve kat deseni nasıl etkilediğini açıklamak için, eksen dışı yükleme altında basınça maruz bırakılmasıyla amaçlanmıştır. Numunelerin dört tipi, uzunluk (100mm) ve iç çapı (55mm) benzer yapılmıştır ve her iki sonuna 45° yiv açılmıştır. Tüp cidar kalınlığı 1.6mm'den 2.2mm'ye



değişmektedir. Numuneler, vidalamayla kelepçelemede sıkıca yapıştırılmıştır. Yapıştırılan numunelerle beraber bütün kelepçe fikstürler, INSTRON 1186 test makinesine yerleştirilmiştir. 5mm/dak hızla numuneler ezilmiştir. Bütün Yükleme doğrultusunun eğimli açıları, eksen dışı açıları, 5° artışla, 5°'den 25°'ye kadar değiştirilmiştir. Küçük eksen dışı açılarında numune, eksenel ezilmeyi benzer ezilme davranışını göstermiştir. Orta kapalı eksen açılarda üç karakteristik ezilme durumları, tetikleme durumu, devamlı ezilme durumu, sendeleme durumu olarak tanımlanmıştır. Geniş kapalı eksen açılarda, 20° ile 25° arasında, sendeleme durumu sona varmıştır ve numune, küçük enerji soğurma yapmıştır. Sendeleme karakterleri kompozit kat desenlerine bağlı olduğu görülmüştür. +/-75 cam/polyester numuneler en güçlü sendeleme eğilimi göstermiştir. 0/+/-75 cam/epoksi numune 0 katlı sendelemeyi önlemede faydalı olduğu görülmüştür. Fakat, eksen dışı açıların artmasıyla ezilme modları değişmiştir. Eksen dışı yükleme altında numuneler +/-15, facia kırılma tecrübesine benzerlikte olmuştur. Yük-deplasman tarihinin geçiş karakterleri, sendeleme eğilimleri, çatlak deseni, malzeme kullanım verimi araştırılmıştır. Eksenel ezilme testleri sürekli fiber takviyeli kompozit tüpler için 15 dereceden 90 dereceye artan açılarla lamine ezilme, lokal kırılma, enine kesme gösterilmiştir. 75 derece sarma açıyla kompozit tüpler en yüksek enerji soğurmasını göstermiştir.

Turvey, et al, [2000], çekilmiş cam takviyeli plastikler (GRP), geniş flanş (WF) profilleri arasındaki bulonlu bağlantılar üzerinde yapılan moment-dönme testlerinin incelenmesi ve kolon temel bağlantılardaki yarı rijit ve moment-dönme karakter test datası eksikliğinin belirtilmesi için amaçlanmıştır. Diğer içerikler, cam takviyenin düşük modülleri ve GRP profillerde düşük şiddet yüzdeliğidir. GRP profillerin yüzdelik oranı yapı verimini gösterir. Böylece, test programın kapsamı, bağlantı levhaların kolona dayalı bağlantı test sonucu, moment-dönme plot çıktıları ve kırılma modlar, rijitlik ve dayanım tahmin için modeller ve modellerin kıyaslanması üzerinde çalışılmıştır. 203x203x9.5 mm GRP, WF profiller arasında beş bulonlu gövde ve gövde ve flanş kelepçe bağlantıları ve testi, moment-dönme karakterlerinin belirlenmesi için test edilmiştir. Moment-dönme çıktıları her bir bağlantı için sunulmuştur. Bağlantıların dördü çelikteki kullanıma benzerdi. Örneğin, açılı profiller gövde ve flanş levhaları için kullanıldı. Bütün bağlantı parçaları (WF, açılar, bulon, somun) çekilmiş işlemle yapıldı. Gövde flanş kavşağında yırtılmayı önlemek için bağlantı kolon gövdesi ve flanşa açılı vidası birleştirildi. Bulonlu kolon



taban bağlantı testleri, 102x102x6.4 ve 203x203x9.5 kesitli GRP ve WF profillerin ölçüsü üzerinde uygulanması tanımlanmıştır. WF ve açi profiller Extren 500 serisi kullanılmıştır. Virjina 'da Strongwell tarafından üretildi. Takviyenin iki tipi doğrusal yuvarlak olmayan fiber bağlar ve CFM (sürekli tel hasır) bu profillerde kullanıldı. Ve cam fiber oranı yaklaşık %40' dır. Kalan malzeme oranı yüzdeliği yaklaşık polyester reçine için %55 ve dolgu için %5, örneğin kalsiyum karbonat idi. Basit modeller; ilk dönme rijitliği, nihai moment ve moment-dönme çıktılarının tahmin edilmesi için tanımlanmıştır. Modeller, bulonlu gövde ve flanş kelepçeli kolon temel bağlantılarının uygun olması ve dizayn için faydalı olacak biçimde belirtmiştir. Test donanımları, kolon taban bağlantılarında, kolon daha büyük ve küçük aks yüzeyinde moment 50 kN kapasite vuruş uygulanmıştır. Yatay vuruş gücü 2.5 veya 10 kN yük ölçülmüştür. Bağlantı üzerinde 0.5 veya 1 m'de kolona yerleştirilen çelik pim, düğüm düzeneği ve krika vurucu arasına yerleştirilmiştir. Yatay deplasmanlar, vurucu yükü 10 mm olarak doğrusal değişken bir deplasman ölçeği ile okunulmuştur. Çelik taban yüzeyin alt kenarında bulonun düşey deplasmanı 10 mm değişken doğrusal deplasman ölçeği ile kaydedildi. 12.7mm, kalın çekilmiş GRP yüzeyin üst yüzeyin üstünde, 140mm'de dönmeler elektronik aletlerle gözlendi. Her kolon taban bağlantı, aynı yol ile test edilmiştir. Genellikle, düşük yük-yüksüz testler uygulanmış. Bağlantılardaki testlerde 50 Nm ve 25 Nm momenti artış yapılmıştır. Bundan başka, moment artışları yaklaşık 200Nm ve 100 Nm dir. Bağlantıdaki testlerde, moment artışları 50Nm'dir. İlk dönme rijitliği max momentler ve testlerde kalıcı dönmeler kaydedilmiştir. Gövde flanş bağ levhasının kırılması, GRP yüzeye birleştirilen bağ levha bacağında esnek basınç çatlağın gelişmesine göredir. Çatlak gelişmesi çizgi boyunca bulon başının altında pulların çevresine teğetseldir. Esnek gerilimdeki bir flanş bağ levhasının kırılması ve diğer bağ levhaları esnek gerilim çatlakların gelişmesine göredir. Daha sonra ki durumda, esnek gerilme çatlağın çizgisi, basınç üzerinde bağ levhası bacağı birleşimine flanş bağ levhasının gerilim yanı üzerinde bulonun merkezinden sürmüştür. Her iki bağ levhası bacağın düğüm bölgesinde geniş çatlama oluşmuştur. Kolon gövdesine birleşmiş bağ levhasının ayağının üst kısmı boyunca yüzey çatlamanın, başlangıç ve kesen rijitlikler , nihai momentler sebep olduğu görülmüştür. Kolon taban bağlantısında kırılma modların elde edilmesiyle, dönme rijitlik, nihai moment ve bağlantının moment-dönme çıktıları, gövde ve flanş bağ levhaların gerilim ve rijitliğiyle bağlantılı olduğu görülmüştür. Böylece, eğer gövde ve bağ levhalarının rijitlik ve gerilim için basit modeller geliştirilebildiyse kolon

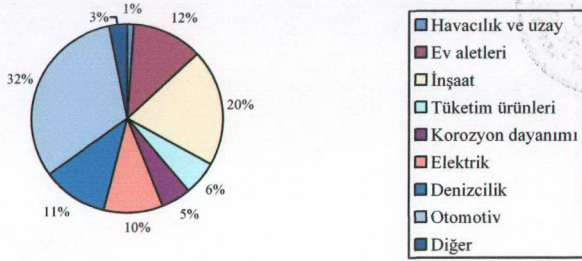
taban bağlantı davranışlarının tahmin için kullanılması mümkün olmuştur. Bağlantı kırılma modların gözlemler tahmin edilen bağ levhası rijitlik ve gerilim için basit konsol kirişin geliştirmek için yol göstermiştir. Modeller, bağlantı rijitliği, gerilimleri, kırılma yükleri tahmin etmek için kullanılmıştır. Sonuçlara göre, gerilim tahminleri, rijitlik tahminlerine göre daha doğru olmuştur. Her iki tahminler, geniş WF profil kolon taban bağlantı için daha iyi sonuç vermiştir. Tamamlanan moment-dönme çıktıları dönmenin yaklaşık 15 mrad oldukça iyi tahmin edilebilmiştir.

2.3. CTP'nin Yapısal Bir Eleman Olarak Kullanımı İle İlgili Çalışmalar

2.3.1. İnşaat Sektöründe Uygulamalar

Dünya'da yaklaşık olarak 4.7 milyon tonluk bir kullanım potansiyeline sahip olan CTP malzemenin inşaat sektöründe kullanımı, 954.000 tonu aşan bir miktarla toplam kullanımın %20.2'si mertebesindedir. Türkiye'de inşaat sektöründe CTP kullanımı ile ilgili bir istatistik bulunmamakla birlikte, bu oranın %50 mertebesinde olduğu tahmin edilmektedir [Şişecam g, 2000].

İnşaat sektöründe kullanılan CTP ürünler, el yatırması gibi basit kalıplama metodlarından, HKB ve profil çekme yöntemi gibi gelişmiş teknoloji gerektiren kalıplama metodlarına kadar birçok kalıplama metodu kullanılarak üretilmektedir. Cephe kaplama panellerinden, depolama tanklarına, prefabrike konutlardan köprülere, beton kalıplarından, şehir mobilyalarına kadar birçok CTP ürün, inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Dünya'da CTP kullanımının sektörlere göre dağılımı Şekil 2.1'te verilmektedir. Anlaşıldığı üzere inşaat sektöründe %20'lik bir payla, yüksek bir oran gibi gözüke de, kullanımlarının genellikle dekoratif ya da yapısal olmayan elemanlarla sınırlı olduğu kabul edilmektedir [Şişecam g, 2000].



Şekil 2.1. Sektörlere göre Dünya’da CTP kullanımı [Şişecam g, 2000].

Sektörde en çok kullanılan yapısal olmayan CTP kullanımları aşağıda sınıflandırılmaktadır:

Cephe kaplama panelleri; CTP malzemenin en yaygın olarak kullanıldığı alanların başında gelmektedir. Cephe kaplama panelleri, tek cidarlı yapılabileceği gibi, çift cidarlı ve arasında ısı izolasyonu sağlayan poliüretan köpük veya cam elyafı şilte gibi malzemeler kullanılarak, izolasyonlu panel olarak da üretilebilmektedir. Kolay temizlenebilme avantajı sayesinde, CTP paneller, ameliyathane ve laboratuvar gibi steril ortamlarda hijyenik bir duvar kaplaması olarak da kullanım alanı bulmaktadır. CTP cephe kaplama panellerinin bir diğer önemli uygulaması, binalar arasında yaya geçişini sağlayan geçitlerin kaplama panelleridir. Şeffaf CTP levhalar çatı ışıklıklarında camın yerini almış ve kırılmaya karşı dayanıklılıklarıyla güvenli bir kullanım sağlamışlardır. CTP paneller yalnızca estetik amaçlı değil, başta köprüler olmak üzere korozyona açık yapılarda, betonu korozyondan koruma amacı ile de kullanılabilirler [Addis, 2001].

Prefabrike konutlar; Isı yalıtımını sandviç konstrüksiyon tekniği ile içinde barındıran birbirinden bağımsız panellerin çeşitli büyüklüklerde büfe, baraka, konut gibi ürünlerin üretimini içermektedir. Özellikle prefabrike yapı sistemine uygunluğu sebebiyle hazır banyo birimlerinin çok yaygın olarak kullanıldığı rapor edilmektedir [Burgoyne, 1999]. Bu tür birimler, özellikle ıslak mekanların seri üretimine imkan sağlamakta, kolay montaj ve hafiflik özelliği ile inşaat hızını büyük oranda arttırmaktadır.

CTP beton kalıpları; kaset döşeme, perde ve kolonların kalıplarında kullanılmaktadır (Bkz. Şekil 2.2). CTP kalıplar, kalıp bağlama ve sökme işlemlerini kolaylaştırmış ve bu kalıplar sayesinde betonun çok düzgün yüzeyli dökülmesi mümkün olabilmiştir. CTP kalıplar el yatırması, püskürtme ve reçine enjeksiyonu yöntemleri ile istenilen boyut ve şekilde seri bir şekilde üretilmektedir [Şişecamg,2000].



Şekil 2.2. Kaset döşeme kalıp uygulaması.

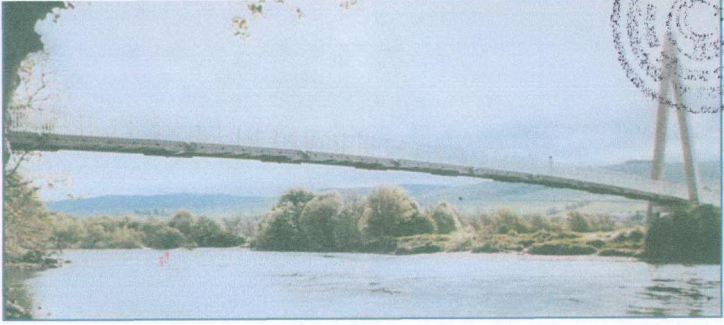
CTP borular; endüstriyel inşaatta çok önemli bir yer tutmaktadır. Bunun başlıca nedeni, içme suyu, kimyasal maddeler, kanalizasyon, proses suyu gibi akışkanların taşınmasındaki ihtiyaçların karşılanmasına en uygun koşullarda çözüm getiren üstün nitelikli ve uzun ömürlü bir malzeme olmasıdır. Gerek büyük çaplı (2500mm'ye kadar), gerek küçük çaplı (50mm'ye kadar) borular CTP malzeme kullanılarak yapılmaktadır. Her ne kadar, açık kalıplama metodları ile de CTP boru üretme olanağı bulunsun da, prosesin hızı nedeni ile genellikle 'elyaf sarma' metodu kullanılmakta ve %60-70 oranında cam elyafı takviyesi sağlanabilmektedir. Üretim metodu sayesinde, istenilen iç basınç dayanımına uygun olarak üretilmektedirler. CTP borular diğer ikame borularının tersine, rijit değil esnek olarak tasarlanmaktadır. Bu sayede, kendisini çevreleyen toprak ile homojen bir sistem oluşturup, dış yüklerin etkisini toprağa transfer edebilmektedir. Yapımında kullanılan bağlayıcı türüne (genellikle polyester veya epoksi) bağlı olarak, pek çok kimyasal maddeden etkilenmediğinden, her türlü korozif zeminde, bataklık ve deniz geçişlerinde ve bir çok kimyasal akışkanın nakli ve prosesinde vazgeçilmez bir malzeme olarak kabul

edilmektedir. Uzun ve verimli hizmet ömürleri (50yıl), düşük bakım giderleri ve bağlantı kolaylığı sayesinde sıklıkla tercih edilmektedirler [Şişecam g, 2000].

Son yıllarda CTP profillerle oluşturulan yapısal elemanlar CTP'nin inşaat sektöründe kullanımı bakımından yeni bir alan yaratmaktadır. CTP profillerin, somun cıvata ile birleştirilmesi veya epoksi türü bir yapıştırıcı ile yapıştırılması ile bağlantı noktaları oluşturulabilmektedir. Özellikle korozif ortamlara dayanıklı yürüme yolları, köprüler ve çatı makası konstrüksiyonları denenmiş başlıca uygulamaları oluşturmaktadır [Turvey, 2000]. CTP profiller, profil çekme metodu ile seri olarak üretilmektedir. Köprü taban tabliyeleri sandviç konstrüksiyon metodu ile üretilmekte, böylelikle yüklerin homojen olarak dağılması ve yüksek rijitlik sağlanmaktadır (Bkz. Şekil 2.3).



Şekil 2.3. CTP köprü tabliyesi ve çatı makası uygulamaları.



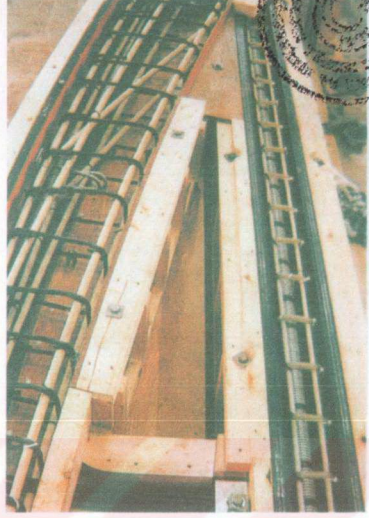
Şekil 2.4. CTP ve aramid fiber askı elemanlardan yapılmış Aberfeldy yürüyüş köprüsü.

Son yıllarda inşaat sektöründe inşaat demiri ya da asma köprü kabloları yerine, CTP takviye çubukları kullanılmaya başlanmıştır (Bkz. Şekil 2.4). Betonarme inşaatlarda kullanılan çelik donatının, özellikle yüksek klor konsantrasyonlu bölgelerde korozyona uğraması, zaman içinde önemli bir mukavemet düşüşüne yol açması, CTP takviye çubuklarının kullanımı yaygınlaştırmaktadır. CTP'nin çelikten daha yüksek çekme mukavemeti (655 MPa) ve alkali dayanımı (pH 13,5) özellikleri, tercih edilmelerini artırmaktadır [Akman, 2002; Burgoyne, 1999].

Donatı çubukları yerine kullanımları (Bkz. Şekil 2.5), ön ya da art gerilmeli prefabrike kolon ve kiriş imalatında da yaygınlaşmaktadır. Ancak, yüksek maliyetleri sebebi ile uygulanma alanları hala sınırlıdır [Akman, 2002; Burgoyne, 1999].

Ön gerilmeli CTP çubuklar kullanılarak, Norveç'te inşa edilen bir köprü aynı zamanda malzemenin uzun dönem performansını değerlendirmektedir. Bu test sayesinde hafif, manyetik alan oluşturmeyen ve depreme dayanıklı yapıların oluşturulması amaçlanmaktadır.

CTP profillerin inşaat sektöründe kolon, kiriş gibi yapısal elemanlar olarak kullanımı çok yeni olup, henüz araştırma ve deney aşamasındadır. Bu tür uygulamalarda CTP'nin, bina taşıyıcı sistemlerinin, hızlı üretim ve montajını sağlamasının yanısıra, korozyon dayanımını, ömrünü, hafifliğini ve naklini kolaylaştıracığı umulmaktadır.



Şekil 2.5. CTP betonarme donatı uygulaması.

2.3.2. Diğer sektörlerde Uygulamalar

Philippidis et. al, [2001], cam fiber takviyeli plastiklerden (GFRP) yapılan elementleri, köprü güverte, uzay kafesi, tekneler, rüzgar türbin rotor pervaneleri v.b. uygulamalarında kullanılmaktadır. Şiddetli yorulma yüklerine konu olan yük taşıma bileşenler için, mekanik malzemelerin tanımlanmasına ilgi duyulmuştur. Sürekli fiber takviye ile cam fiber takviyeli polyester veya cam/epoksi, lamineler v.b. rüzgar türbinleri için rotor pervane üretimlerinde kullanılmasıyla GFRP laminelerin yorulma niteliği tanımları üzerinde araştırma çabalarına yol göstermiştir. Deneysel çalışma olan bu birinci bölümde, kompleks gerilim altında GRP laminelerin yorulma davranışının daha iyi anlaşılmasını katkıda bulunmak ve yorulma hayatında normal gerilme ve kesmenin etkisini araştırmaktır. Yorulma hayatı hesaplamalarında enine normal gerilimler ve kesmenin etkisi üzerindeki tahminler, deneysel data ve teorik kanunlara göre ispatlanmıştır. GRP laminelerin kullanıldığı rotör pervanelerin yorulma hayatı, normal taşıma, merkezkaç gerilmeler, kesme ve enine normal gerilmeler, düzlemsel kesme kabuk ve aerodinamik iç güçlerin etkisi ele alınarak

yapılan hesaplamalar için kiriş elemanı olarak modellenmiştir. Numuneler, ASTM 3039-76 standartlarına göre hazırlanmıştır ve kuponlar 250mm uzunluk, 25mm genişlik, 2.6mm kalınlıktadır. Toplam 288 olan kupon testlerin 31'i statik test için, 257'si 17 adet S-N eğriliğinin tanımlanması için eksenel olmayan periyodik gerilim altında test edilmiştir. Statik testler, 1mm/dak hızda deplasman kontrolü altında 250kN kapasiteli MTS'de gösterilmiştir. Testler, değişik gerilme oranları ve eksen dışı yüklemeyle kontrol edilmiştir. Eksen dışı yüklemeler yorulma mukavemetinde, gerilme oranına bağlı zararlı etkilere sahiptir ve küçük miktarda kesme ve enine gerilmenin büyük etkilerini ortaya çıkarmıştır. Kirişler için yorulma hayat hesaplamasında, çok eksenli yorulma kırılma kriterlerinin kullanımı kaçınılmaz olmuştur. İstatistik analizler, deneysel datalarla desteklenen yorulma datalarının analizleri için kullanılmıştır. Sabit hayat diyagramları üzerinde yorulma datanın gösteriminden, Goodman düz çizgi kullanımının daima en iyi seçim olmadığı kanıtlanmıştır.

Keller, [2003], orthotropik malzeme ve sistem özellikleri ile çekilmiş GFRP köprü güverte sistemlerinin iki yönlü plaka bükülme davranışı, deney ve sayısal modellerle araştırılmıştır. Maksimum güverte açıklığı, sonlu elemanlar metodu ve Eurocode yükleme kullanılarak ve açıklık/300 maksimum deplasman oranı varsayılarak belirlenmiştir. Eğilme davranışında kullanılan profil, çekme işlemi ile biçimlendirilen, trapezoidal ikili hücreli sistemdir ve yapısal poliüretan ile birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Fiber takviyeler, reçine ve ısıtılmış metal boylarla çekilmesi ile ısıtılmıştır. Çok katlı yapı dokumada dikilen E-glass fiber iplikleri kullanılan güverte sistemine isophthalik polyester reçine yerleştirilmiştir. Lamineler, gövde kesme rijitliğini arttırmak için $\pm 45^\circ$ 'nin %66 ve 0° 'nin %34'ü; güvertenin rijitliğini arttırmak için 0° 'nin %60 ve 90° , $\pm 45^\circ$ 'nin %20 belirlenmiştir. Toplam fiber, ağırlığın %60'ı olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmada, numuneler üç beton blokla basit mesnetlenmiştir. Beton blok ve numune arasına 50mm genişlikle 200mm geniş çelik profiller ve 10mm kalınlıklı elastik şeritler kurulmuştur. Çelik ve elastik şeritlerin horizontal deplasmanı, 1.90m'den 2.70m'ye numunelerin açıklığının değişikliği için bırakılmıştır. Yoğun yükler, 0.4x0.4m çelik plaka ile 1000kN kapasitesi hidrolik çekiçle uygulanmıştır. Sayısal modellemede, European code EC1 göre yol trafik yükleri kullanılmıştır ve sayısal hesaplar için altı

çekilmiş profillerde sonlu elemanlar köprü güverte modeli, FEM program ANSYS ile geliştirilmiştir. Element şiddeti Solid 186 kullanılmıştır. Açıklık rijitliğinin geliştirilmesi için en etkili metod, malzeme rijitliğin artırılması gibi sistem rijitliğinde artırılmasıdır. Sonuçlar, FE modeli, düzlem eğilme davranışı, ECI yükleme, dizayn kriterleri, Max güverte açıklığı, sünme davranışı, kırılma davranışların geliştirilmesi konularında göstermiştir. Yumuşak poliüretan bağlantılar yerine sert epoksi bağlantıların kullanımı avantajlı olabilir ve olumlu araştırma olabilir. Beş profil ile seçilen deneysel numuneler, %50 kullanılabilir limit durumunda maksimum deplasmanı azaltmıştır. GFRP köprü güvertelerinin dizaynında kullanılabilir limit durumu dikkate alındığından beri, iki yönlü plaka eğilmenin mümkün olabilen katkısı önemli ve malzemenin daha potansiyel hale getirmek için düşünülmeli ve geliştirilmelidir.



3. METOT

Standart CTP kolon ve kiriş numuneler için statik analizler, Lusas 13.5 sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak doğrusal olmayan test analizleri yapılmaktadır. Statik analizler için yük değerleri TS 498/ Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri yönetmeliği kullanılarak belirlenmektedir ve yapı elemanları tahkikleri ise TS 11372/ Çelik Yapılar-Hafif-Soğukta Şekil Verilmiş Profillerle Oluşturulan-Hesap Kuralları yönetmeliği esas alınarak yapılmaktadır.

3.1. Lusas Sonlu Elemanlar Yazılımı

CTP strüktürün statik yükler altındaki davranışları LUSAS sonlu elemanlar programı kullanılarak analiz edilmektedir. LUSAS (London University Stress Analysis Systems), Londra Üniversitesi'nde ilk olarak akademik amaçlar için hazırlanmış, zaman içerisinde, genel maksatlara uygun ticari bir standart sonlu elemanlar programı olarak geliştirilmiştir [LUSAS, 2003]. Program, doğrusal ve doğrusal olmayan statik ve dinamik analizleri yapabilen ve akademik çalışmalara zemin sağlayabilen, hassas bir algoritmaya sahip, gelişmiş bir yazılımdır. Bu nitelikleri sebebiyle tez çalışmasında kullanılması tercih sebebi olmuştur. Çalışmalarda WINDOWS işletim sistemi tabanlı LUSAS 13.5 akademik versiyonu kullanılmaktadır.

Sonlu elemanlar metodunda izlenen genel mantık, analizi yapılacak modeli daha küçük alt elemanlara ayırarak çözümü bunlarda yapmak ve bu alt elemanlardan da bütüne giderek modelin tamamının analizini gerçekleştirmektir. Bu sayede, geometrisi düzlemsel olmayan ve kompleks geometrisi olan cisimler için ideal bir çözüm yöntemi oluşturmaktadır. Yazılımın kütüphanesinde farklı serbestlik derecelerine sahip çubuk, yüzey ve 3-boyutlu katı sonlu elemanlar mevcuttur. Bu elemanlar, komşu diğer elemanlarla düğüm noktalarından bağlanmakta ve cisim bir ağ görüntüsü oluşturulmaktadır. Bunun dışında, cismin sınır koşulları, malzeme özellikleri ve dış yükler, her elemana ayrı ayrı atanabilmektedir. LUSAS algoritması doğrusal veya doğrusal olmayan geometrik ve malzeme özelliklerini göz önüne

almaya yönelik olarak, enerji yöntemlerinden ‘virtüel iş yöntemi’ prensiplerini temel olarak çözümleme yapmaktadır.

LUSAS algoritmasında statik analizlerde virtüel iş teoremi kullanılarak iç ve dış işlerin dengesi Denklem 3.1 ile ifade edilmektedir. Elemana uygulanan dış kuvvetler ‘ t ’, yüzey kuvvetleri, ‘ f ’, cisim kuvvetleri ve ‘ F ’, tekil kuvvetler olarak sınıflanmaktadır. Denklem 3.1’de ‘ u ’ dış kuvvetlerin etkisi ile oluşan yer değiştirmeleri temsil etmektedir. Dış etkiler sonucunda elemanda oluşan iç gerilmeler ‘ σ ’ ve birim deformasyonlar ‘ ε ’, sistemde denge koşulunu sağlayan iç işi tanımlamaktadır.

$$\int_V \delta \varepsilon^T \sigma \, dv = \int_V \delta u^T f \, dv + \int_S \delta u^T t \, ds + \sum du^T F \quad (3.1)$$

Elemanı oluşturan sonlu elemanların düğüm noktalarında oluşan deformasyonların bilinmesi halinde, sonlu elemanın herhangi bir noktasında meydana gelen deformasyonlar, Denklem 3.2’de verilen ‘ u ’ şekil fonksiyonlarının yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$u = N a \quad (3.2)$$

LUSAS yazılımında düğüm noktası deplasmanlarına bağlı olarak iç işlerin hesabında kullanılan birim deformasyon ‘ ε ’ Denklem 3.3 bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$\varepsilon = B a \quad (3.3)$$

Burada ‘ B ’ değişkeni birim uzama-deplasman fonksiyonunu ifade etmektedir.

Eleman içindeki gerilmeler ‘ σ ’ birim deformasyonların ‘ ε ’ bir fonksiyonu olarak malzemenin elastisite modülüne ‘ E ’ bağlı olarak Denklem 3.4 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\sigma = E(\varepsilon - \varepsilon_0) + \sigma_0 \quad (3.4)$$

Denklem 3.4'te ' σ_0 ' ve ' ε_0 ', eğer olması halinde, yükleme öncesi mevcut gerilmeleri ve birim uzamaları göstermektedir. Örneğin, bu aşamada termal etkilerden dolayı oluşan gerilme ve birim uzamalar virtüel iş denge denkleminde değerlendirilmektedir.

Denklem 3.2, 3.3 ve 3.4'ün Denklem 3.1'de yerin yerleştirilmesi ile ' n ' sonlu eleman için virtüel iş denklemi, Denklem 3.5'te verilen ifade ile tekrar tanımlanmaktadır.

$$\sum_v^n \delta a^T \int_v B^T EB \, dv \, a = \delta a^T \left[\sum_v^n \int_v N^T f \, dv + \sum_s^n \int_s N_s^T t \, ds - \sum_v^n \int_v B^T (\sigma_0 - E\varepsilon_0) \, dv + F \right] \quad (3.5)$$

Denklem 3.5'te eşitliğin iki yanındaki ' δa^T ' terimleri sadeleşerek, ' a ' düğüm noktası deplasmanları dışında eşitliğin sol ve sağındaki ifadeler sırasıyla ' K ' ve ' R ' değişkenleri ile ifade edildikleri takdirde Denklem 3.6 elde edilmektedir.

$$[K]a = \{R\} \quad (3.6)$$

Burada ' K ', rijitlik matrisini (Denklem 3.7), ' R ' ise kuvvet vektörünü (Denklem 3.8) temsil etmektedir.

$$K = \sum_v^n \int_v B^T EB \, dv \quad (3.7)$$

$$R = \sum_v^n \int_v N^T f \, dv + \sum_s^n \int_s N_s^T t \, ds - \sum_v^n \int_v B^T (\sigma_0 - E\varepsilon_0) \, dv + F \quad (3.8)$$

Sayısal çözümleme Denklem 3.6'da yer alan düğüm noktası deplasmanlarının ilk çözüm adımı tahmin edilmesi ve Denklem 3.7 ve 3.8'de verilen rijitlik matrisi ve dış kuvvet vektörünün hesaplanarak yeni düğüm noktası deplasmanlarının elde edilmesini içermektedir. İteratif çözümlemenin neticesinde birbirini takip eden iki iterasyon arasında deplasman vektörü farklarının belli bir tolerans değerinden az

olması halinde, çözümleme prosedürü tamamlanmakta ve son elde edilen düğüm noktası deplasmanları sistemin gerçek deplasmanları olarak belirlenmektedir.

3.2. Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi

Sanal ortamda yapılan test analizleri doğrusal olmayan analiz yöntemi ile yapılmıştır. Lusas 13.5 sonlu elemanlar programında material veri girişinde plastik butonu işaretlenmektedir. Ortaya çıkan tabloda, model stress potential, akma gerilmesi ise 350 MPa, plastikleşme sınırı 0.00704 ve eğim sıfır olarak belirlenmektedir. Loadcase butonu işaretlenerek non-linear analiz tablosu görünür. Otomatik olarak analiz ayarlanır. Başlama yük faktörü 1, maximum değişme faktörü 2, maximum toplam yük faktörü 0, iterasyon artışı 10, maximum iterasyon 25, maximum deplasman değeri 20cm olarak programa yüklenmektedir.

Nonlinear & Transient

Incrementation

☒ Nonlinear

Incrementation: Automatic

Starting load factor: 1

Max change in load factor: 2

Max total load factor: 0

☒ Adjust load based on convergence history

Iterations per increment: 10

Options... Advanced...

☐ Time domain: Thermal

Initial time step: 0

Total response time: 100E6

☐ Automatic time stepping

Advanced...

Max time steps or increments: 0

Solution strategy

☐ Same as previous loadcase

Max number of iterations: 25

Residual force norm: 0.1

Incremental displacement norm: 1

Advanced...

Incremental LUSAS file output

☐ Same as previous loadcase

Output file: 1

Plot file: 1

Restart file: 0

Max number of saved restarts: 0

Log file: 1

History file: 1

OK Cancel Help

Şekil.3.1. Lusas sonlu eleman programında doğrusal olmayan analiz veri girişi

3.3. Yönetmelik

CTP yapı elemanları ile ilgili hesap yöntemleri yönetmeliklerde bulunmamaktadır. Hafif çelikte aynı ebad ve boyutlarda üretilen CTP elemanlarının, kullanım sistemi olarakta benzerliği ile hafif çelik için oluşturulmuş yönetmelik ele alınmaktadır. CTP ile oluşturulmuş her bir kiriş ve kolon için sınır gerilmeleri, en büyük basınç gerilmeleri, burkulma gerilmeleri, eğilme ve kayma gerilmeleri hafif çelik yönetmeliğinden bulunup aşağıdaki gibi gerilme tahkikleri yapılmaktadır. Yönetmeliğe göre hesaplanan bu değerler, Lusas sonlu elemanlar analiz sonuç gerilmeleri ile kıyaslaması yapılmaktadır.

TS 11372/ Çelik Yapılar-Hafif-Soğukta Şekil Verilmiş Profillerle Oluşturulan Hesap Kuralları

Kirişin TS11372' ye Göre Tahkiki

CM1505015

Yanal burkulmaya karşı tutulmamış kiriş başlıklarında oluşabilecek en büyük basınç gerilmesi σ_b , aşağıdaki değerleri geçmemelidir.

$$1,8\pi EC_b/\sigma_a > L^2 W_{xc}/dI_{yc} > 0,36\pi^2 EC_b/\sigma_a \quad (TS11372-2.50)$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 2/3 \sigma_a - \sigma_a^2 / (5,4\pi^2 EC_b) (L^2 W_{xc}/dI_{yc}) \quad (TS11372-2.51)$$

öte yandan,

$$L^2 W_{xc}/dI_{yc} \geq 1,8\pi^2 EC_b/\sigma_a \quad (TS11372-2.52)$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 0,6\pi^2 dI_{yc}/L^2 W_{xc} \text{ olarak verilir.} \quad (TS11372-2 53)$$

L = Elemanın yanal burkulmaya karşı tutulmamış boyu (cm)

I_{yc} = Kesitin basınç gerilmesi etkisindeki kısmının, kesit geometrik merkezinden geçen gövde levhasına paralel eksen etrafındaki atalet momenti (cm⁴)

W_{xc} = Tüm kesitin kuvvetli asal eksenine etrafında basınç başlığına göre mukavemet momenti (cm^3)

C_b = Eğilme katsayısı olup, emniyetli tarafında kalınır bir e eşit alınmaktadır.

d = kiriş yüksekliği (cm)

$$W_{xc}=17 \times 10^{-6} m^3$$

$$L=4,5m$$

$$E=50000MPa$$

$$C_b=1$$

$$\sigma_a=350 MPa$$

$$L^2 W_{xc} / (d I_{yc}) < 1.8 \pi^2 E C_b / \sigma_a \text{ olduğundan,}$$

(TS11372-2.52)

$$\sigma_{bem}=150 MPa$$

$$\sigma_b < \sigma_{bem}$$

Gövde Levhasında Eğilme Gerilmesi

Kiriş gövdesinde, gövde düzleminde etkiyen eğilme momentinden dolayı σ_{bg} (MPa) basınç

gerilmesi, $\sigma = 0,6 \sigma_a$ gerilmesini, ve

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2$$

(TS11372-2.61)

gerilmesini aşmamalıdır.

$$\sigma_{em} = \sigma = 0.6 \sigma_a$$

$$\sigma = 210 MPa$$

$$\sigma_{bgem} = 368 MPa$$

$$\sigma_{bg} < \sigma_{bgem}$$

Gövde Kayma Gerilmesi

Gövde zayıfsız kesit alanı üzerinde τ_o maksimum ortalama kayma gerilmesi (MPa) aşağıdaki

değerleri geçmemelidir.

$$h/t \leq 1450 / \sigma_a \text{ için,}$$

$$\tau_{oem} = [409,8 (\sigma_a)^{1/2}] / h/t$$

(TS11372-2.59)

olmalı, fakat $\tau_{oa} = 0,4 \sigma_a$ değerini geçmemelidir.

$$h/t > 1450 / (\sigma_a)^{1/2}$$

$$\tau_{oem} = 600000 / (h/t)^2 \text{ olmalıdır.}$$

(TS11372-2.60)

Burada;

t = gövde et kalınlığı,(cm)

h = gövde düzleminde ölçülen flanşlar arasındaki temiz mesafe, (cm)

σ_a = akma sınır gerilmesi,(Mpa) dir.

$$\tau_{oem} = 60 \text{ MPa}$$

$$\tau_o < \tau_{oem}$$

Eğilme ve Kayma Gerilmesinin Birlikte Meydana Geldiği Hal

Eğilme ve kayma gerilmesinin her ikisinde maruz kalan gövde levhalarında bu gerilmeler,

$$(\sigma_{bg}/\sigma_{bgem})^2 + (\tau_o/\tau_{oem})^2 \leq 1$$

(TS11372-2.62)

şartını sağlamalıdır.

Burada;

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2$$

(TS11372-2.61)

τ_{oem} = müsaade edilen kayma gerilmesi değeri (ancak $0,4\sigma_a$ burada kullanılmamalıdır).

σ_{bg} = Flanş ile gövde ara kesitinde hesaplanmış olan basınç gerilmesi (MPa)

τ_o = Hesaplanmış olan ortalama kayma gerilmesidir (MPa).

Kolon Elemanların TS11372' ye göre Tahkiki

Kolon geometrik değerleri

r_x (mm)	r_y (mm)	x_o (mm)	C_w	J (mm ⁴)	A (mm ²)
57	17	33	$4,9 \times 10^8$	290	387

r_x, r_y : Kesitin asal eksenlerine göre atalet yarıçapı

x_o : x-asal eksenini doğrultusunda kesit kayma merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe

C_w : Kesitin çarpılma sabiti

(TS11372 –EK-A)

J : Kesitin St. Venant burulma sabiti

A: Enkesit alanı

$$E= 50000 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a= 350 \text{ MPa}$$

$$G= E / 2(1+\mu)$$

$$G= 19.68 \times 10^3 \text{ MPa}$$

$$A= 3,87 \text{ cm}^2$$

$$L= 3 \text{ m}$$

Profil başlığı net genişliği:

$$b_o= b - 2(r+t) \quad r= 5 \text{ mm} \quad t= 1,5 \text{ mm}$$

$$b_o= 0.045 \text{ m}$$

Profil başlığı etkin genişliği:

$$b_o/t \leq 0.95(E/\sigma)^{1/2} \text{ için } b_e= b_o \quad (\text{TS11372-2.17})$$

$$0.95(E/\sigma)^{1/2} < b_o/t < 500 \text{ için } b_e= 0.95(E/\sigma)^{1/2} \quad (\text{TS11372-2.18})$$

$$b_e= 0.017 \text{ m}$$

$$A_e= A - [2(b_o - b_e)t]$$

$$A_e= 3,03 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q= A_e / A$$

$$Q= 0,78$$

Tek simetri eksenli ve simetri eksensiz açık kesite sahip olup eğilme ve burkulma etkisine maruz kalabilen basınç çubukları

Bu tür çubuklarda P/A ortalama basınç gerilmesi σ_{obem1} ve σ_{obem2} gerilmelerini aşmamalıdır.

$\sigma_{BEO} > 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_a - [(\sigma_a)^2 / 7,67 \sigma_{BEO}] \quad (\text{TS11372})$$

2.4.7.1.2)

$\sigma_{BEO} \leq 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_{BEO} \quad (\text{TS11372})$$

2.4.7.1.2)

Burada;

σ_{obem2} = Eksenel basınç kuvveti halinde sınır gerilme

σ_{BEO} = Eksenel basınç kuvveti halinde aşağıdaki gibi hesaplanması gereken elastik burulmalı burkulma gerilmesidir. σ_{BEO} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.2.1 tek simetri eksenli kesitler için hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$r_x = 5,8 \quad r_y = 1,7 \quad x_o = 3.3$$

$$r_o = (r_x^2 + r_y^2 + x_o^2)^{1/2} \quad (TS11372-2.4.7.1.2.1)$$

$$r_o = 68 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 - (x_o / r_o)^2 \quad (TS11372-2.4.7.1.2.1)$$

$$\beta = 0.77$$

$$\sigma_t = 1 / A r_o^2 [GJ + (\Pi^2 E C_w / (KL)^2)] \quad (TS11372-2.4.7.1.2.1)$$

$$\sigma_t = 12 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ex} = \Pi^2 E / (KL / r_x)^2 \quad (TS11372-2.4.7.1.2.1)$$

$$\sigma_{ex} = 178 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{BEO} = 1/2\beta [(\sigma_{ex} + \sigma_t) - ((\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta \sigma_{ex} \sigma_t)^{1/2}]$$

$$\sigma_{BEO} = 12 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{obem2} = 6,4 \text{ MPa}$$

σ_{obem1} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.1.1 çift simetri eksenli, kapalı silindirik kesitlerle eğilmeli-burkulmalı burkulmaya maruz olmadığı hesap kurallarından belirlenmektedir.

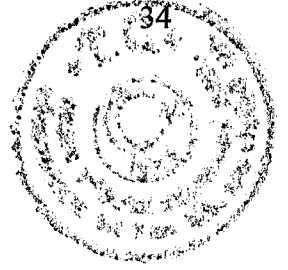
$$KL/r < \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = [(12/23)Q \sigma_a] - [3(Q \sigma_a)^2 / (23\pi^2 E)](KL/r_x)^2$$

$$KL/r > \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = 12\pi^2 E / 23 (KL/r_x)^2$$

Burada;



$$\lambda_{Kr} = (2\pi^2 E / \sigma_a)^{1/2}$$

E: Elastisite modülü

K: Etkin burkulma boyu faktörü

L: Elemanın burkulmaya karşı tutulmamış boyu

r: Yerel burkulma sebebiyle azaltılmamış kesitin atalet yarıçapı

σ_a : Çelik malzemesinin akma gerilmesi

Q: 0,91

$$\lambda_{Kr}=53$$

$$\sigma_{obem1}=87 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o < \sigma_{obem1}$$

$$\sigma_o < \sigma_{obem2}$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

Kirişin TS11372' ye Göre Tahkiki

KİRİŞ CM1506020

Yanal burkulmaya karşı tutulmamış kiriş başlıklarında oluşabilecek en büyük basınç gerilmesi σ_b , aşağıdaki değerleri geçmemelidir.

$$2.8 \pi E C_b / \sigma_a > L^2 W_{xc} / dI_{yc} > 0,36 \pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (\text{TS11372-2.50})$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 2/3 \sigma_a - \sigma_a^2 / (5,4 \pi^2 E C_b) (L^2 W_{xc} / dI_{yc}) \quad (\text{TS11372-2.51})$$

öte yandan,

$$L^2 W_{xc} / dI_{yc} \geq 1,8 \pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (\text{TS11372-2.52})$$

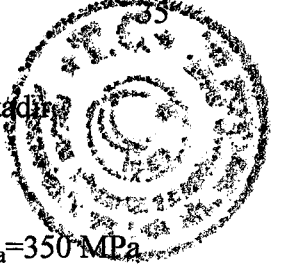
olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 0,6 \pi^2 dI_{yc} / L^2 W_{xc} \text{ olarak verilir.} \quad (\text{TS11372-2.53})$$

L = Elemanın yanal burkulmaya karşı tutulmamış boyu (cm)

I_{yc} = Kesitin basınç gerilmesi etkisindeki kısmının, kesit geometrik merkezinden geçen gövde levhasına paralel eksen etrafındaki atalet momenti (cm⁴)

W_{xc} = Tüm kesitin kuvvetli asal eksen etrafında basınç başlığına göre mukavemet momenti (cm³)



C_b = Eğilme katsayısı olup, emniyetli tarafında kalınıp bire eşit alınmaktadır.

d = kiriş yüksekliği (cm)

$$W_{xc} = 26 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$L = 4,5 \text{ m}$$

$$E = 50000 \text{ MPa}$$

$$C_b = 1 \sigma_a = 350 \text{ MPa}$$

$$L^2 W_{xc} / (d I_{yc}) < 1.8 \pi^2 E C_b / \sigma_a \text{ olduğundan,}$$

(TS11372-2.52)

$$\sigma_{bem} = 151 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b < \sigma_{bem}$$

Gövde Levhasında Eğilme Gerilmesi

Kiriş gövdesinde, gövde düzleminde etkiyen eğilme momentinden dolayı σ_{bg} (MPa) basınç gerilmesi,

$\sigma = 0,6 \sigma_a$ gerilmesini, ve

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2$$

(TS11372-2.61)

gerilmesini aşmamalıdır.

$$\sigma_{em} = \sigma = 0.6 \sigma_a$$

$$\sigma = 210 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bgem} = 655 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bg} < \sigma_{bgem}$$

Gövde Kayma Gerilmesi

Gövde zayıatsız kesit alanı üzerinde τ_o maksimum ortalama kayma gerilmesi (MPa) aşağıdaki

değerleri geçmemelidir.

$$h/t \leq 1450 / \sigma_a \text{ için,}$$

$$\tau_{oem} = [409,8 (\sigma_a)^{1/2}] / h/t$$

(TS11372-2.59)

olmalı, fakat $\tau_{oa} = 0,4 \sigma_a$ değerini geçmemelidir.

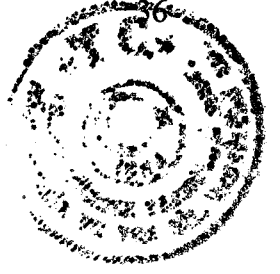
$$h/t > 1450 / (\sigma_a)^{1/2}$$

$$\tau_{oem} = 600000 / (h/t)^2 \text{ olmalıdır.}$$

(TS11372-2.60)

Burada;

t = gövde et kalınlığı, (cm)



h = gövde düzleminde ölçülen flanşlar arasındaki temiz mesafe, (cm)

σ_a = akma sınır gerilmesi, (Mpa) dir.

$\tau_{oem} = 107$ MPa

$\tau_o < \tau_{oem}$

Eğilme ve Kayma Gerilmesinin Birlikte Meydana Geldiği Hal

Eğilme ve kayma gerilmesinin her ikisinde maruz kalan gövde levhalarında bu gerilmeler,

$$(\sigma_{bg}/\sigma_{bgem})^2 + (\tau_o/\tau_{oem})^2 \leq 1 \quad (TS11372-2.62)$$

şartını sağlamalıdır.

Burada;

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2 \quad (TS11372-2.61)$$

τ_{oem} = müsaade edilen kayma gerilmesi değeri (ancak $0,4\sigma_a$ burada kullanılmamalıdır).

σ_{bg} = Flanş ile gövde ara kesitinde hesaplanmış olan basınç gerilmesi (MPa)

τ_o = Hesaplanmış olan ortalama kayma gerilmesidir (MPa).

Kolon Elemanların TS11372' ye göre Tahkiki

KOLON CC1506020

Kolon geometrik değerleri

r_x (mm)	r_y (mm)	x_o (mm)	C_w	J (mm ⁴)	A (mm ²)
59	22	34	$3,8 \times 10^8$	760	567

r_x, r_y : Kesitin asal eksenlerine göre atalet yarıçapı

x_o : x-asal eksenini doğrultusunda kesit kayma merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe

C_w : Kesitin çarpılma sabiti

(TS11372-EK-

A)

J : Kesitin St. Venant burulma sabiti

A : Enkesit alanı

$$E = 50000 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = 350 \text{ MPa}$$

$$G = E / 2(1+\mu)$$

$$G = 19.68 \times 10^3 \text{ MPa}$$

$$A = 5,67 \text{ cm}^2$$

$$L = 3 \text{ m}$$

Profil başlığı net genişliği:

$$b_o = b - 2(r+t)$$

$$r = 5 \text{ mm}$$

$$t = 2 \text{ mm}$$

$$b_o = 0.046 \text{ m}$$

Profil başlığı etkin genişliği:

$$b_o / t \leq 0.95(E/\sigma)^{1/2} \text{ için } b_e = b_o$$

(TS11372-2.17)

$$0.95 (E/\sigma)^{1/2} < b_o/t < 500 \text{ için } b_e = 0.95 (E/\sigma)^{1/2}$$

(TS11372-2.18)

$$b_e = 0.017 \text{ m}$$

$$A_e = A - [2(b_o - b_e)t]$$

$$A_e = 4,51 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q = A_e / A$$

$$Q = 0,79$$

Tek simetri eksenli ve simetri eksensiz açık kesite sahip olup eğilme ve burkulma etkisine maruz kalabilen basınç çubukları

Bu tür çubuklarda P/A ortalama basınç gerilmesi σ_{obem1} ve σ_{obem2} gerilmelerini aşmamalıdır.

$\sigma_{BEO} > 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_a - [(\sigma_a)^2 / 7,67 \sigma_{BEO}]$$

(TS11372

2.4.7.1.2)

$\sigma_{BEO} \leq 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_{BEO}$$

(TS11372

2.4.7.1.2)

Burada;

$$\sigma_{obem2} = \text{Eksenel basınç kuvveti halinde sınır gerilme}$$



σ_{BEO} = Eksenel basınç kuvveti halinde aşağıdaki gibi hesaplanması gereken elastik burulmalı burkulma gerilmesidir. σ_{BEO} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.2.1 tek simetri eksenli kesitler için hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$r_x = 5,9 \quad r_y = 2,2 \quad x_o = 3.4$$

$$r_o = (r_x^2 + r_y^2 + x_o^2)^{1/2} \quad (TS11372-2.4.7.1.2.1)$$

$$r_o = 71 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 - (x_o / r_o)^2 \quad (TS11372-2.4.7.1.2.1)$$

$$\beta = 0.77$$

$$\sigma_t = 1 / A r_o^2 [GJ + (\Pi^2 E C_w / (KL)^2)] \quad (TS11372-2.4.7.1.2.1)$$

$$\sigma_t = 13 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ex} = \Pi^2 E / (KL / r_x)^2 \quad (TS11372-2.4.7.1.2.1)$$

$$\sigma_{ex} = 190 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{BEO} = 1/2\beta [(\sigma_{ex} + \sigma_t) - ((\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta \sigma_{ex} \sigma_t)^{1/2}]$$

$$\sigma_{BEO} = 13 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{obem2} = 6,8 \text{ MPa}$$

σ_{obem1} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.1.1 çift simetri eksenli, kapalı silindirik kesitlerle eğilmeli-burkulmalı burkulmaya maruz olmadığı hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$KL/r < \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = [(12/23)Q \sigma_a] - [3(Q \sigma_a)^2 / (23\pi^2 E)](KL/r_x)^2$$

$$KL/r > \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = 12\Pi^2 E / 23 (KL/r_x)^2$$

Burada;

$$\lambda_{Kr} = (2\pi^2 E / \sigma_a)^{1/2}$$

E: Elastisite modülü

K: Etkin burkulma boyu faktörü

L: Elemanın burkulmaya karşı tutulmamış boyu

r: Yerel burkulma sebebiyle azaltılmamış kesitin atalet yarıçapı

σ_a : Çelik malzemesinin akma gerilmesi

Q: 0,91

$$\lambda_{Kr}=53$$

$$\sigma_{obem1}=91 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o < \sigma_{obem1}$$

$$\sigma_o < \sigma_{obem2}$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

Kirişin TS11372' ye Göre Tahkiki

KİRİŞ CM1506025

Yanal burkulmaya karşı tutulmamış kiriş başlıklarında oluşabilecek en büyük basınç gerilmesi σ_b , aşağıdaki değerleri geçmemelidir.

$$3.8 \pi E C_b / \sigma_a > L^2 W_{xc} / d_{lyc} > 0,36 \pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (\text{TS11372-2.50})$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 2/3 \sigma_a - \sigma_a^2 / (5,4 \pi^2 E C_b) (L^2 W_{xc} / d_{lyc}) \quad (\text{TS11372-2.51})$$

öte yandan,

$$L^2 W_{xc} / d_{lyc} \geq 1,8 \pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (\text{TS11372-2.52})$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 0,6 \pi^2 d_{lyc} / L^2 W_{xc} \text{ olarak verilir.} \quad (\text{TS11372-2.53})$$

L = Elemanın yanal burkulmaya karşı tutulmamış boyu (cm)

I_{yc} = Kesitin basınç gerilmesi etkisindeki kısmının, kesit geometrik merkezinden geçen gövde levhasına paralel eksen etrafındaki atalet momenti (cm⁴)

W_{xc} = Tüm kesitin kuvvetli asal eksen etrafında basınç başlığına göre mukavemet momenti (cm³)

C_b = Eğilme katsayısı olup, emniyetli tarafında kalınıp bire eşit alınmaktadır.

d = kiriş yüksekliği (cm)

$$W_{xc} = 34 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$L = 4,5 \text{ m}$$

$$E = 50000 \text{ MPa}$$

$$C_b = 1$$

$$\sigma_a = 350 \text{ MPa}$$

$$L^2 W_{xc} / (d I_{yc}) < 1.8 \pi^2 E C_b / \sigma_a \text{ olduğundan,}$$

(TS11372-2.52)

$$\sigma_{bem} = 150 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b < \sigma_{bem}$$

Gövde Levhasında Eğilme Gerilmesi

Kiriş gövdesinde, gövde düzleminde etkiyen eğilme momentinden dolayı σ_{bg} (MPa) basınç

gerilmesi, $\sigma = 0,6 \sigma_a$ gerilmesini, ve

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2$$

(TS11372-2.61)

gerilmesini aşmamalıdır.

$$\sigma_{em} = \sigma = 0.6 \sigma_a$$

$$\sigma = 210 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bgem} = 1023 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bg} < \sigma_{bgem}$$

Gövde Kayma Gerilmesi

Gövde zayıfsız kesit alanı üzerinde τ_o maksimum ortalama kayma gerilmesi (MPa) aşağıdaki

değerleri geçmemelidir.

$$h/t \leq 1450 / \sigma_a \text{ için,}$$

$$\tau_{oem} = [409,8 (\sigma_a)^{1/2}] / h/t$$

(TS11372-2.59)

olmalı, fakat $\tau_{oa} = 0,4 \sigma_a$ değerini geçmemelidir.

$$h/t > 1450 / (\sigma_a)^{1/2}$$

$$\tau_{oem} = 600000 / (h/t)^2 \text{ olmalıdır.}$$

2.60)

Burada;

t = gövde et kalınlığı,(cm)

h = gövde düzleminde ölçülen flanşlar arasındaki temiz mesafe, (cm)

σ_a = akma sınır gerilmesi,(Mpa) dir.

$$\tau_{oem} = 167 \text{ MPa}$$

$$\tau_o < \tau_{oem}$$

Eğilme ve Kayma Gerilmesinin Birlikte Meydana Geldiği Hal

Eğilme ve kayma gerilmesinin her ikisinde maruz kalan gövde levhalarında bu gerilmeler,

$$(\sigma_{bg} / \sigma_{bgem})^2 + (\tau_o / \tau_{oem})^2 \leq 1$$

(TS11372-

2.62)

şartını sağlamalıdır.

Burada;

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2$$

(TS11372-

2.61)

τ_{oem} = müsaade edilen kayma gerilmesi değeri (ancak $0,4 \sigma_a$ burada kullanılmamalıdır).

σ_{bg} = Flanş ile gövde ara kesitinde hesaplanmış olan basınç gerilmesi (MPa)

τ_o = Hesaplanmış olan ortalama kayma gerilmesidir (MPa).

Kolon Elemanların TS11372' ye göre Tahkiki

KOLON CC1506025

Kolon geometrik değerleri

r_x (mm)	r_y (mm)	x_o (mm)	C_w	J (mm ⁴)	A (mm ²)
---------------	---------------	---------------	-------	---------------------------	---------------------------

58	23	34	$4,7 \times 10^8$	1560	748
----	----	----	-------------------	------	-----

r_x, r_y : Kesitin asal eksenlerine göre atalet yarıçapı

x_0 : x-asal eksenini doğrultusunda kesit kayma merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe

C_w : Kesitin çarpılma sabiti
EK-A)

(TS11372 -

J: Kesitin St. Venant burulma sabiti

A: Enkesit alanı

$E = 50000 \text{ MPa}$ $\sigma_a = 350 \text{ MPa}$

$G = E / 2(1+\mu)$ $G = 19.68 \times 10^3 \text{ MPa}$

$A = 7,48 \text{ cm}^2$ $L = 3 \text{ m}$

Profil başlığı net genişliği:

$b_0 = b - 2(r+t)$ $r = 5 \text{ mm}$ $t = 2.5 \text{ mm}$

$b_0 = 0.045 \text{ m}$

Profil başlığı etkin genişliği:

$b_0 / t \leq 0.95(E/\sigma)^{1/2}$ için $b_e = b_0$

(TS11372-

2.17)

$0.95 (E/\sigma)^{1/2} < b_0/t < 500$ için $b_e = 0.95 t(E/\sigma)^{1/2}$

(TS11372-

2.18)

$b_e = 0.028 \text{ m}$

$A_e = A - [2(b_0 - b_e)t]$

$A_e = 6,63 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$Q = A_e / A$

$Q = 0,91$

Tek simetri eksenli ve simetri eksensiz açık kesite sahip olup eğilme ve burkulma etkisine maruz kalabilen basınç çubukları

Bu tür çubuklarda P/A ortalama basınç gerilmesi σ_{obem1} ve σ_{obem2} gerilmelerini aşmamalıdır.

$\sigma_{BEO} > 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_a - [(\sigma_a)^2 / 7,67 \sigma_{BEO}]$$

2.4.7.1.2)

$\sigma_{BEO} \leq 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_{BEO}$$

2.4.7.1.2)

Burada;

σ_{obem2} = Eksenel basınç kuvveti halinde sınır gerilme

σ_{BEO} = Eksenel basınç kuvveti halinde aşağıdaki gibi hesaplanması gereken elastik burulmalı burkulma gerilmesidir. σ_{BEO} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.2.1 tek simetri eksenli kesitler için hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$r_x = 5,8 \quad r_y = 2,3 \quad x_0 = 3.4$$

$$r_0 = (r_x^2 + r_y^2 + x_0^2)^{1/2}$$

2.4.7.1.2.1)

$$r_0 = 71 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 - (x_0 / r_0)^2$$

2.4.7.1.2.1)

$$\beta = 0.78$$

$$\sigma_t = 1 / A r_0^2 [GJ + (\Pi^2 E C_w / (KL)^2)]$$

2.4.7.1.2.1)

$$\sigma_t = 15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ex} = \Pi^2 E / (KL / r_x)^2$$

2.4.7.1.2.1)

$$\sigma_{ex} = 184 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{BEO} = 1/2\beta [(\sigma_{ex} + \sigma_t) - ((\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta \sigma_{ex} \sigma_t)^{1/2}]$$

$$\sigma_{BEO} = 15 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{obem2} = 7,7 \text{ MPa}$$

(TS11372-

(TS11372-

(TS11372-

(TS11372-

(TS11372-

(TS11372-

σ_{obem1} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.1.1 çift simetri eksenli, kapalı silindirik kesitlerle eğilmeli-burkulmalı burkulmaya maruz olmadığı hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$KL/r < \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = [(12/23)Q \sigma_a] - [3(Q \sigma_a)^2 / (23\pi^2 E)] (KL/r_x)^2$$

$$KL/r > \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = 12\pi^2 E / 23 (KL/r_x)^2$$

Burada;

$$\lambda_{Kr} = (2\pi^2 E / \sigma_a)^{1/2}$$

E: Elastisite modülü

K: Etkin burkulma boyu faktörü

L: Elemanın burkulmaya karşı tutulmamış boyu

r: Yerel burkulma sebebiyle azaltılmamış kesitin atalet yarıçapı

σ_a : Çelik malzemesinin akma gerilmesi

Q: 0,78

$\lambda_{Kr}=53$

$\sigma_{obem1}=90 \text{ MPa}$

$$\sigma_o < \sigma_{obem1}$$

$$\sigma_o < \sigma_{obem2}$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

Kirişin TS11372' ye Göre Tahkiki

KIRIŞ CM2007015

Yanal burkulmaya karşı tutulmamış kiriş başlıklarında oluşabilecek en büyük basınç gerilmesi σ_b , aşağıdaki değerleri geçmemelidir.

$$4.8 \pi E C_b / \sigma_a > L^2 W_{xc} / dI_{yc} > 0,36\pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (\text{TS11372-2.50})$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 2/3 \sigma_a - \sigma_a^2 / (5,4\pi^2 E C_b) (L^2 W_{xc} / dI_{yc}) \quad (\text{TS11372-2.51})$$

öte yandan,

$$L^2 W_{xc}/dI_{yc} \geq 1,8\pi^2 E C_b / \sigma_a$$

(TS11372-2.52)

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 0,6 \pi^2 dI_{yc} / L^2 W_{xc} \text{ olarak verilir.}$$

(TS11372-2.53)

L = Elemanın yanal burkulmaya karşı tutulmamış boyu (cm)

I_{yc} = Kesitin basınç gerilmesi etkisindeki kısmının, kesit geometrik merkezinden geçen gövde levhasına paralel eksen etrafındaki atalet momenti (cm⁴)

W_{xc} = Tüm kesitin kuvvetli asal eksen etrafında basınç başlığına göre mukavemet momenti (cm³)

C_b = Eğilme katsayısı olup, emniyetli tarafında kalınır bire eşit alınmaktadır.

d = kiriş yüksekliği (cm)

$$W_{xc} = 33 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$L = 4,5 \text{ m}$$

$$E = 50000 \text{ MPa}$$

$$C_b = 1$$

$$\sigma_a = 350 \text{ MPa}$$

$$L^2 W_{xc} / (dI_{yc}) < 1,8 \pi^2 E C_b / \sigma_a \text{ olduğundan,}$$

(TS11372-2.52)

$$\sigma_{bem} = 187 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b < \sigma_{bem}$$

Gövde Levhasında Eğilme Gerilmesi

Kiriş gövdesinde, gövde düzleminde etkiyen eğilme momentinden dolayı σ_{bg} (MPa) basınç

gerilmesi, $\sigma = 0,6 \sigma_a$ gerilmesini, ve

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2$$

(TS11372-2.61)

gerilmesini aşmamalıdır.

$$\sigma_{em} = \sigma = 0,6 \sigma_a$$

$$\sigma = 210 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bgem} = 207 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bg} < \sigma_{bgem}$$

Gövde Kayma Gerilmesi



Gövde zayıtsız kesit alanı üzerinde τ_o maksimum ortalama kayma gerilmesi (MPa) aşağıdaki

değerleri geçmemelidir.

$h/t \leq 1450 / \sigma_a$ için,

$$\tau_{oem} = [409,8 (\sigma_a)^{1/2}] / h/t \quad (TS11372-2.59)$$

olmalı, fakat $\tau_{oa} = 0,4\sigma_a$ değerini geçmemelidir.

$h/t > 1450 / (\sigma_a)^{1/2}$

$$\tau_{oem} = 600000 / (h/t)^2 \text{ olmalıdır.} \quad (TS11372-2.60)$$

Burada;

t = gövde et kalınlığı, (cm)

h = gövde düzleminde ölçülen flanşlar arasındaki temiz mesafe, (cm)

σ_a = akma sınır gerilmesi, (Mpa) dir.

$$\tau_{oem} = 34 \text{ MPa}$$

$$\tau_o < \tau_{oem}$$

Eğilme ve Kayma Gerilmesinin Birlikte Meydana Geldiği Hal

Eğilme ve kayma gerilmesinin her ikisinde maruz kalan gövde levhalarında bu gerilmeler,

$$(\sigma_{bg} / \sigma_{bgem})^2 + (\tau_o / \tau_{oem})^2 \leq 1 \quad (TS11372-2.62)$$

şartını sağlamalıdır.

Burada;

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2 \quad (TS11372-2.61)$$

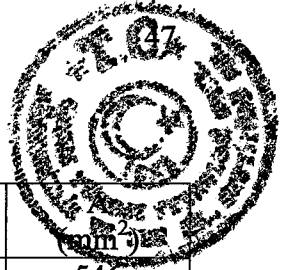
τ_{oem} = müsaade edilen kayma gerilmesi değeri (ancak $0,4\sigma_a$ burada kullanılmamalıdır).

σ_{bg} = Flanş ile gövde ara kesitinde hesaplanmış olan basınç gerilmesi (MPa)

τ_o = Hesaplanmış olan ortalama kayma gerilmesidir (MPa).

Kolon Elemanların TS11372' ye göre Tahkiki

KOLON CC2007015



Kolon geometrik değerleri

r_x (mm)	r_y (mm)	x_o (mm)	C_w	J (mm ⁴)	I_{xx} (mm ⁴)
78	25	38	$16,8 \times 10^8$	410	546

r_x, r_y : Kesitin asal eksenlerine göre atalet yarıçapı

x_o : x-asal eksenini doğrultusunda kesit kayma merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe

C_w : Kesitin  arpılma sabiti
EK-A)

(TS11372 –

J: Kesitin St. Venant burulma sabiti

A: Enkesit alanı

$E = 50000 \text{ MPa}$ $\sigma_a = 350 \text{ MPa}$

$G = E / 2(1+\mu)$ $G = 19.68 \times 10^3 \text{ MPa}$

$A = 5,67 \text{ cm}^2$ $L = 3 \text{ m}$

Profil başlığı net genişliği:

$b_o = b - 2(r+t)$ $r = 5 \text{ mm}$ $t = 1.5 \text{ mm}$

$b_o = 0.067 \text{ m}$

Profil başlığı etkin genişliği:

$b_o / t \leq 0.95(E/\sigma)^{1/2}$ için $b_e = b_o$ (TS11372-2.17)

$0.95 (E/\sigma)^{1/2} < b_o/t < 500$ için $b_e = 0.95 t(E/\sigma)^{1/2}$ (TS11372-2.18)

$b_e = 0.017 \text{ m}$

$A_e = A - [2(b_o - b_e)t]$

$A_e = 4,26 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$Q = A_e / A$

$Q = 0,78$

Tek simetri eksenli ve simetri eksensiz açık kesite sahip olup eğilme ve burkulma etkisine maruz kalabilen basınç  ubukları

Bu tür çubuklarda P/A ortalama basınç gerilmesi σ_{obem1} ve σ_{obem2} gerilmelerini aşmamalıdır.

$\sigma_{BEO} > 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_a - [(\sigma_a)^2 / 7,67 \sigma_{BEO}] \quad (TS11372$$

2.4.7.1.2)

$\sigma_{BEO} \leq 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_{BEO} \quad (TS11372$$

2.4.7.1.2)

Burada;

σ_{obem2} = Eksenel basınç kuvveti halinde sınır gerilme

σ_{BEO} = Eksenel basınç kuvveti halinde aşağıdaki gibi hesaplanması gereken elastik burulmalı burkulma gerilmesidir. σ_{BEO} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.2.1 tek simetri eksenli kesitler için hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$r_x = 7,8 \quad r_y = 2,5 \quad x_0 = 3,8$$

$$r_0 = (r_x^2 + r_y^2 + x_0^2)^{1/2} \quad (TS11372-$$

2.4.7.1.2.1)

$$r_0 = 90 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 - (x_0 / r_0)^2 \quad (TS11372-$$

2.4.7.1.2.1)

$$\beta = 0,82$$

$$\sigma_t = 1/A r_0^2 [GJ + (\Pi^2 E C_w / (KL)^2)] \quad (TS11372-$$

2.4.7.1.2.1)

$$\sigma_t = 8,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ex} = \Pi^2 E / (KL / r_x)^2 \quad (TS11372-$$

2.4.7.1.2.1)

$$\sigma_{ex} = 333 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{BEO} = 1/2\beta [(\sigma_{ex} + \sigma_t) - ((\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta \sigma_{ex} \sigma_t)^{1/2}]$$

$$\sigma_{BEO} = 8,5 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{obem2}=4,4 \text{ MPa}$$

σ_{obem1} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.1.1 çift simetri eksenli, kapalı silindirik kesitlerle eğilmeli-burkulmalı burkulmaya maruz olmadığı hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$KL/r < \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = [(12/23)Q \sigma_a] - [3(Q \sigma_a)^2 / (23\pi^2 E)](KL/r_x)^2$$

$$KL/r > \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = 12\pi^2 E / 23 (KL/r_x)^2$$

Burada;

$$\lambda_{Kr} = (2\pi^2 E / \sigma_a)^{1/2}$$

E: Elastisite modülü

K: Etkin burkulma boyu faktörü

L: Elemanın burkulmaya karşı tutulmamış boyu

r: Yerel burkulma sebebiyle azaltılmamış kesitin atalet yarıçapı

σ_a : Çelik malzemesinin akma gerilmesi

Q: 0,78

$$\lambda_{Kr}=53$$

$$\sigma_{obem1}=112 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o < \sigma_{obem1}$$

$$\sigma_o < \sigma_{obem2}$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

Kirişin TS11372' ye Göre Tahkiki

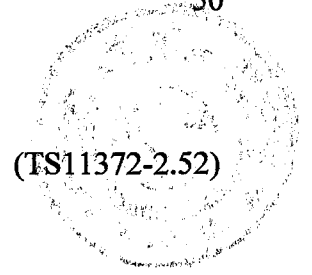
KİRİŞ CM2007020

Yanal burkulmaya karşı tutulmamış kiriş başlıklarında oluşabilecek en büyük basınç gerilmesi σ_b , aşağıdaki değerleri geçmemelidir.

$$5.8 \pi E C_b / \sigma_a > L^2 W_{xc} / dI_{yc} > 0,36\pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (\text{TS11372-2.50})$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 2/3 \sigma_a - \sigma_a^2 / (5,4\pi^2 E C_b) (L^2 W_{xc} / dI_{yc}) \quad (\text{TS11372-2.51})$$



öte yandan,

$$L^2 W_{xc} / dI_{yc} \geq 1,8 \pi^2 E C_b / \sigma_a$$

(TS11372-2.52)

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 0,6 \pi^2 dI_{yc} / L^2 W_{xc} \text{ olarak verilir.}$$

(TS11372-2.53)

L = Elemanın yanal burkulmaya karşı tutulmamış boyu (cm)

I_{yc} = Kesitin basınç gerilmesi etkisindeki kısmının, kesit geometrik merkezinden geçen gövde levhasına paralel eksen etrafındaki atalet momenti (cm^4)

W_{xc} = Tüm kesitin kuvvetli asal eksen etrafında basınç başlığına göre mukavemet momenti (cm^3)

C_b = Eğilme katsayısı olup, emniyetli tarafında kalınp bire eşit alınmaktadır.

d = kiriş yüksekliği (cm)

$$W_{xc} = 44 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$L = 4,5 \text{ m}$$

$$E = 50000 \text{ MPa}$$

$$C_b = 1$$

$$\sigma_a = 350 \text{ MPa}$$

$$L^2 W_{xc} / (dI_{yc}) < 1,8 \pi^2 E C_b / \sigma_a \text{ olduğundan,}$$

(TS11372-2.52)

$$\sigma_{bem} = 186 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b < \sigma_{bem}$$

Gövde Levhasında Eğilme Gerilmesi

Kiriş gövdesinde, gövde düzleminde etkiyen eğilme momentinden dolayı σ_{bg} (MPa) basınç

gerilmesi, $\sigma = 0,6 \sigma_a$ gerilmesini, ve

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2$$

(TS11372-2.61)

gerilmesini aşmamalıdır.

$$\sigma_{em} = \sigma = 0,6 \sigma_a$$

$$\sigma = 210 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bgem} = 368 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bg} < \sigma_{bgem}$$

Gövde Kayma Gerilmesi

Gövde zayıtsız kesit alanı üzerinde τ_o maksimum ortalama kayma gerilmesi (MPa) aşağıdaki

değerleri geçmemelidir.

$h/t \leq 1450 / \sigma_a$ için,

$$\tau_{oem} = [409,8 (\sigma_a)^{1/2}] / h/t \quad (TS11372-2.59)$$

olmalı, fakat $\tau_{oa} = 0,4\sigma_a$ değerini geçmemelidir.

$h/t > 1450 / (\sigma_a)^{1/2}$

$$\tau_{oem} = 600000 / (h/t)^2 \text{ olmalıdır.} \quad (TS11372-2.60)$$

Burada;

t = gövde et kalınlığı, (cm)

h = gövde düzleminde ölçülen flanşlar arasındaki temiz mesafe, (cm)

σ_a = akma sınır gerilmesi, (Mpa) dir.

$$\tau_{oem} = 60 \text{ MPa}$$

$$\tau_o < \tau_{oem}$$

Eğilme ve Kayma Gerilmesinin Birlikte Meydana Geldiği Hal

Eğilme ve kayma gerilmesinin her ikisinde maruz kalan gövde levhalarında bu gerilmeler,

$$(\sigma_{bg} / \sigma_{bgem})^2 + (\tau_o / \tau_{oem})^2 \leq 1 \quad (TS11372-2.62)$$

şartını sağlamalıdır.

Burada;

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2 \quad (TS11372-2.61)$$

τ_{oem} = müsaade edilen kayma gerilmesi değeri (ancak $0,4 \sigma_a$ burada kullanılmamalıdır).

σ_{bg} = Flanş ile gövde ara kesitinde hesaplanmış olan basınç gerilmesi (MPa)



τ_o = Hesaplanmış olan ortalama kayma gerilmesidir (MPa).

Kolon Elemanların TS11372' ye göre Tahkiki

KOLON CC1506025

Kolon geometrik değerleri

r_x (mm)	r_y (mm)	x_o (mm)	C_w	J (mm ⁴)	A (mm ²)
78	25	38	$22,4 \times 10^8$	960	723

r_x, r_y : Kesitin asal eksenlerine göre atalet yarıçapı

x_o : x-asal eksenini doğrultusunda kesit kayma merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe

C_w : Kesitin çarpılma sabiti

(TS11372 –

EK-A)

J : Kesitin St. Venant burulma sabiti

A : Enkesit alanı

$E = 50000$ MPa

$\sigma_a = 350$ MPa

$G = E / 2(1+\mu)$

$G = 19.68 \times 10^3$ MPa

$A = 5,67$ cm²

$L = 3$ m

Profil başlığı net genişliği:

$b_o = b - 2(r+t)$

$r = 5$ mm

$t = 2$ mm

$b_o = 0.066$ m

Profil başlığı etkin genişliği:

$b_o / t \leq 0.95(E/\sigma)^{1/2}$ için $b_e = b_o$

(TS11372-

2.17)

$0.95 (E/\sigma)^{1/2} < b_o/t < 500$ için $b_e = 0.95t (E/\sigma)^{1/2}$

(TS11372-

2.18)

$b_e = 0.023$ m

$A_e = A - [2(b_o - b_e)t]$

$A_e = 6 \times 10^{-4}$ m²



$$Q = A_c / A$$

$$Q = 0,82$$

Tek simetri eksenli ve simetri eksensiz açık kesite sahip olup eğilme ve burkulma etkisine maruz kalabilen basınç çubukları

Bu tür çubuklarda P/A ortalama basınç gerilmesi σ_{obem1} ve σ_{obem2} gerilmelerini aşmamalıdır.

$\sigma_{BEO} > 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_a - [(\sigma_a)^2 / 7,67 \sigma_{BEO}] \quad (\text{TS11372}$$

2.4.7.1.2)

$\sigma_{BEO} \leq 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_{BEO} \quad (\text{TS11372}$$

2.4.7.1.2)

Burada;

σ_{obem2} = Eksenel basınç kuvveti halinde sınır gerilme

σ_{BEO} = Eksenel basınç kuvveti halinde aşağıdaki gibi hesaplanması gereken elastik burulmalı burkulma gerilmesidir. σ_{BEO} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.2.1 tek simetri eksenli kesitler için hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$r_x = 7,8 \quad r_y = 2,5 \quad x_o = 3,8$$

$$r_o = (r_x^2 + r_y^2 + x_o^2)^{1/2} \quad (\text{TS11372-}$$

2.4.7.1.2.1)

$$r_o = 81 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 - (x_o / r_o)^2 \quad (\text{TS11372-}$$

2.4.7.1.2.1)

$$\beta = 0,78$$

$$\sigma_t = 1/A r_o^2 [GJ + (\Pi^2 E C_w / (KL)^2)] \quad (\text{TS11372-}$$

2.4.7.1.2.1)

$$\sigma_t = 30 \text{ MPa}$$



$$\sigma_{ex} = \Pi^2 E / (KL / r_x)^2$$

2.4.7.1.2.1)

$$\sigma_{ex} = 333 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{BEO} = 1/2\beta [(\sigma_{ex} + \sigma_t) - ((\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta \sigma_{ex} \sigma_t)^{1/2}]$$

$$\sigma_{BEO} = 15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{obem2} = 15 \text{ MPa}$$

σ_{obem1} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.1.1 çift simetri eksenli, kapalı silindirik kesitlerle eğilmeli-burkulmalı burkulmaya maruz olmadığı hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$KL/r < \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = [(12/23)Q \sigma_a] - [3(Q \sigma_a)^2 / (23\pi^2 E)](KL/r_x)^2$$

$$KL/r > \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = 12\pi^2 E / 23 (KL/r_x)^2$$

Burada;

$$\lambda_{Kr} = (2\pi^2 E / \sigma_a)^{1/2}$$

E: Elastisite modülü

K: Etkin burkulma boyu faktörü

L: Elemanın burkulmaya karşı tutulmamış boyu

r: Yerel burkulma sebebiyle azaltılmamış kesitin atalet yarıçapı

σ_a : Çelik malzemesinin akma gerilmesi

$$Q: 0,88$$

$$\lambda_{Kr} = 53$$

$$\sigma_{obem1} = 121 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o < \sigma_{obem1}$$

$$\sigma_o < \sigma_{obem2}$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

Kirişin TS11372' ye Göre Tahkiki

KİRİŞ CM2007025

Yanal burkulmaya karşı tutulmamış kiriş başlıklarında oluşabilecek en büyük basınç gerilmesi σ_b , aşağıdaki değerleri geçmemelidir.

$$6.8 \pi E C_b / \sigma_a > L^2 W_{xc} / d I_{yc} > 0,36 \pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (\text{TS11372-2.50})$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 2/3 \sigma_a - \sigma_a^2 / (5,4 \pi^2 E C_b) (L^2 W_{xc} / d I_{yc}) \quad (\text{TS11372-2.51})$$

öte yandan,

$$L^2 W_{xc} / d I_{yc} \geq 1,8 \pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (\text{TS11372-2.52})$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 0,6 \pi^2 d I_{yc} / L^2 W_{xc} \text{ olarak verilir.} \quad (\text{TS11372-2.53})$$

L = Elemanın yanal burkulmaya karşı tutulmamış boyu (cm)

I_{yc} = Kesitin basınç gerilmesi etkisindeki kısmının, kesit geometrik merkezinden geçen gövde levhasına paralel eksen etrafındaki atalet momenti (cm⁴)

W_{xc} = Tüm kesitin kuvvetli asal eksen etrafında basınç başlığına göre mukavemet momenti (cm³)

C_b = Eğilme katsayısı olup, emniyetli tarafında kalınıp bire eşit alınmaktadır.

d = kiriş yüksekliği (cm)

$$W_{xc} = 54 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \quad L = 4,5 \text{ m} \quad E = 50000 \text{ MPa} \quad C_b = 1$$

$$\sigma_a = 350 \text{ MPa}$$

$$L^2 W_{xc} / (d I_{yc}) < 1,8 \pi^2 E C_b / \sigma_a \text{ olduğundan,} \quad (\text{TS11372-2.52})$$

$$\sigma_{bem} = 187 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b < \sigma_{bem}$$

Gövde Levhasında Eğilme Gerilmesi

Kiriş gövdesinde, gövde düzleminde etkiyen eğilme momentinden dolayı σ_{bg} (MPa) basınç

gerilmesi, $\sigma = 0,6 \sigma_a$ gerilmesini, ve

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2$$

(TS11372-

2.61)

gerilmesini aşmamalıdır.

$$\sigma_{em} = \sigma = 0,6 \sigma_a$$

$$\sigma = 210 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bgem} = 575 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bg} < \sigma_{bgem}$$

Gövde Kayma Gerilmesi

Gövde zayıfsız kesit alanı üzerinde τ_o maksimum ortalama kayma gerilmesi (MPa) aşağıdaki

değerleri geçmemelidir.

$$h/t \leq 1450 / \sigma_a \text{ için,}$$

$$\tau_{oem} = [409,8 (\sigma_a)^{1/2}] / h/t$$

(TS11372-

2.59)

olmalı, fakat $\tau_{oa} = 0,4 \sigma_a$ değerini geçmemelidir.

$$h/t > 1450 / (\sigma_a)^{1/2}$$

$$\tau_{oem} = 600000 / (h/t)^2 \text{ olmalıdır.}$$

(TS11372-

2.60)

Burada;

t = gövde et kalınlığı, (cm)

h = gövde düzleminde ölçülen flanşlar arasındaki temiz mesafe, (cm)

σ_a = akma sınır gerilmesi, (Mpa) dir.

$$\tau_{oem} = 94 \text{ MPa}$$

$$\tau_o < \tau_{oem}$$

Eğilme ve Kayma Gerilmesinin Birlikte Meydana Geldiği Hal

Eğilme ve kayma gerilmesinin her ikisinde maruz kalan gövde levhalarında bu gerilmeler,

$$(\sigma_{bg} / \sigma_{bgem})^2 + (\tau_o / \tau_{oem})^2 \leq 1 \quad (\text{TS11372-2.62})$$

şartını sağlamalıdır.

Burada;

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2 \quad (\text{TS11372-2.61})$$

τ_{oem} = müsaade edilen kayma gerilmesi değeri (ancak $0,4\sigma_a$ burada kullanılmamalıdır).

σ_{bg} = Flanş ile gövde ara kesitinde hesaplanmış olan basınç gerilmesi (MPa)

τ_o = Hesaplanmış olan ortalama kayma gerilmesidir (MPa).

Kolon Elemanların TS11372' ye göre Tahkiki

KOLON CC2007025

Kolon geometrik değerleri

r_x (mm)	r_y (mm)	x_o (mm)	C_w	J (mm ⁴)	A (mm ²)
78	25	38	28×10^8	1870	898

r_x, r_y : Kesitin asal eksenlerine göre atalet yarıçapı

x_o : x-asal eksen doğrultusunda kesit kayma merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe

C_w : Kesitin çarpılma sabiti
EK-A)

(TS11372 –

J: Kesitin St. Venant burulma sabiti

A: Enkesit alanı

E= 50000 MPa

σ_a = 350 MPa

G= E / 2(1+ μ)

G= 19.68×10^3 MPa

A= 8,98 cm²

L= 3 m

Profil başlığı net genişliği:

$$b_o = b - 2(r+t) \quad r = 5 \text{ mm} \quad t = 2,5 \text{ mm}$$

$$b_o = 0.065 \text{ m}$$

Profil başlığı etkin genişliği:

$$b_o / t \leq 0.95(E/\sigma)^{1/2} \text{ için } b_e = b_o \quad (\text{TS11372-2.17})$$

$$0.95 (E/\sigma)^{1/2} < b_o/t < 500 \text{ için } b_e = 0.95t (E/\sigma)^{1/2} \quad (\text{TS11372-2.18})$$

$$b_e = 0.028 \text{ m}$$

$$A_e = A - [2(b_o - b_e)t]$$

$$A_e = 7 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q = A_e / A$$

$$Q = 0,79$$

Tek simetri eksenli ve simetri eksensiz açık kesite sahip olup eğilme ve burkulma etkisine maruz kalabilen basınç çubukları

Bu tür çubuklarda P/A ortalama basınç gerilmesi σ_{obem1} ve σ_{obem2} gerilmelerini aşmamalıdır.

$\sigma_{BEO} > 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_a - [(\sigma_a)^2 / 7,67 \sigma_{BEO}] \quad (\text{TS11372 2.4.7.1.2})$$

$\sigma_{BEO} \leq 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_{BEO} \quad (\text{TS11372 2.4.7.1.2})$$

Burada;

σ_{obem2} = Eksenel basınç kuvveti halinde sınır gerilme

σ_{BEO} = Eksenel basınç kuvveti halinde aşağıdaki gibi hesaplanması gereken elastik burulmalı burkulma gerilmesidir. σ_{BEO} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.2.1 tek simetri eksenli kesitler için hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$r_x = 7,8 \quad r_y = 2,5 \quad x_o = 3.8$$

$$r_o = (r_x^2 + r_y^2 + x_o^2)^{1/2}$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

$$r_o = 81 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 - (x_o / r_o)^2$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

$$\beta = 0.78$$

$$\sigma_t = 1 / A r_o^2 [GJ + (\Pi^2 E C_w / (KL)^2)]$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

$$\sigma_t = 32 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ex} = \Pi^2 E / (KL / r_x)^2$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

$$\sigma_{ex} = 333 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{BEO} = 1/2\beta [(\sigma_{ex} + \sigma_t) - ((\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta \sigma_{ex} \sigma_t)^{1/2}]$$

$$\sigma_{BEO} = 31 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{obem2} = 16 \text{ MPa}$$

σ_{obem1} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.1.1 çift simetri eksenli, kapalı silindirik kesitlerle eğilmeli-burkulmalı burkulmaya maruz olmadığı hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$KL/r < \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = [(12/23)Q \sigma_a] - [3(Q \sigma_a)^2 / (23\pi^2 E)] (KL/r_x)^2$$

$$KL/r > \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = 12\pi^2 E / 23 (KL/r_x)^2$$

Burada;

$$\lambda_{Kr} = (2\pi^2 E / \sigma_a)^{1/2}$$

E: Elastisite modülü

K: Etkin burkulma boyu faktörü

L: Elemanın burkulmaya karşı tutulmamış boyu

r: Yerel burkulma sebebiyle azaltılmamış kesitin atalet yarıçapı

σ_a : Çelik malzemesinin akma gerilmesi

Q: 0,78

$\lambda_{Kr}=53$

$\sigma_{obem1}=112 \text{ MPa}$

$\sigma_o < \sigma_{obem1}$

$\sigma_o < \sigma_{obem2}$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

Kirişin TS11372' ye Göre Tahkiki

KIRIŞ CM2708015

Yanal burkulmaya karşı tutulmamış kiriş başlıklarında oluşabilecek en büyük basınç gerilmesi σ_b , aşağıdaki değerleri geçmemelidir.

$$7.8 \pi E C_b / \sigma_a > L^2 W_{xc} / d l_{yc} > 0,36 \pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (\text{TS11372-2.50})$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 2/3 \sigma_a - \sigma_a^2 / (5,4 \pi^2 E C_b) (L^2 W_{xc} / d l_{yc}) \quad (\text{TS11372-2.51})$$

öte yandan,

$$L^2 W_{xc} / d l_{yc} \geq 1,8 \pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (\text{TS11372-2.52})$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 0,6 \pi^2 d l_{yc} / L^2 W_{xc} \text{ olarak verilir.} \quad (\text{TS11372-2.53})$$

L = Elemanın yanal burkulmaya karşı tutulmamış boyu (cm)

l_{yc} = Kesitin basınç gerilmesi etkisindeki kısmının, kesit geometrik merkezinden geçen gövde levhasına paralel eksen etrafındaki atalet momenti (cm^4)

W_{xc} = Tüm kesitin kuvvetli asal eksen etrafında basınç başlığına göre mukavemet momenti (cm^3)

C_b = Eğilme katsayısı olup, emniyetli tarafında kalınp bire eşit alınmaktadır.

d = kiriş yüksekliği (cm)

$$W_{xc} = 55 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$L = 4,5 \text{ m}$$

$$E = 50000 \text{ MPa}$$

$$C_b = 1$$

$$\sigma_a = 350 \text{ MPa}$$

$$L^2 W_{xc} / (d I_{yc}) < 1.8 \pi^2 E c_b / \sigma_a \text{ olduğundan,}$$

(TS11372-2.52)

$$\sigma_{bem} = 208 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b < \sigma_{bem}$$

Gövde Levhasında Eğilme Gerilmesi

Kiriş gövdesinde, gövde düzleminde etkiyen eğilme momentinden dolayı σ_{bg} (MPa) basınç

gerilmesi, $\sigma = 0,6 \sigma_a$ gerilmesini, ve

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2$$

(TS11372-2.61)

gerilmesini aşmamalıdır.

$$\sigma_{em} = \sigma = 0,6 \sigma_a$$

$$\sigma = 210 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bgem} = 113 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bg} < \sigma_{bgem}$$

Gövde Kayma Gerilmesi

Gövde zayıfsız kesit alanı üzerinde τ_o maksimum ortalama kayma gerilmesi (MPa) aşağıdaki

değerleri geçmemelidir.

$$h/t \leq 1450 / \sigma_a \text{ için,}$$

$$\tau_{oem} = [409,8 (\sigma_a)^{1/2}] / h/t$$

(TS11372-2.59)

olmalı, fakat $\tau_{oa} = 0,4 \sigma_a$ değerini geçmemelidir.

$$h/t > 1450 / (\sigma_a)^{1/2}$$

$$\tau_{oem} = 600000 / (h/t)^2 \text{ olmalıdır.}$$

(TS11372-2.60)

Burada;

t = gövde et kalınlığı, (cm)

h = gövde düzleminde ölçülen flanşlar arasındaki temiz mesafe, (cm)

σ_a = akma sınır gerilmesi, (Mpa) dir.

$$\tau_{oem}=18,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_o < \tau_{oem}$$

Eğilme ve Kayma Gerilmesinin Birlikte Meydana Geldiği Hal

Eğilme ve kayma gerilmesinin her ikisinde maruz kalan gövde levhalarında bu gerilmeler,

$$(\sigma_{bg} / \sigma_{bgem})^2 + (\tau_o / \tau_{oem})^2 \leq 1 \quad (\text{TS11372-2.62})$$

şartını sağlamalıdır.

Burada;

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2 \quad (\text{TS11372-2.61})$$

τ_{oem} = müsaade edilen kayma gerilmesi değeri (ancak $0,4 \sigma_a$ burada kullanılmamalıdır).

σ_{bg} = Flanş ile gövde ara kesitinde hesaplanmış olan basınç gerilmesi (MPa)

τ_o = Hesaplanmış olan ortalama kayma gerilmesidir (MPa).

Kolon Elemanların TS11372' ye göre Tahkiki

KOLON CC1506025

Kolon geometrik değerleri

r_x (mm)	r_y (mm)	x_o (mm)	C_w	J (mm ⁴)	A (mm ²)
104	26	40	$4,85 \times 10^9$	510	677

r_x, r_y : Kesitin asal eksenlerine göre atalet yarıçapı

x_o : x-asal eksenini doğrultusunda kesit kayma merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe

C_w : Kesitin çarpılma sabiti (TS11372 – EK-A)

J : Kesitin St. Venant burulma sabiti

A : Enkesit alanı

$E = 50000 \text{ MPa}$

$\sigma_a = 350 \text{ MPa}$

$$G = E / 2(1+\mu) \quad G = 19.68 \times 10^3 \text{ MPa}$$

$$A = 6,77 \text{ cm}^2 \quad L = 3 \text{ m}$$

Profil başlığı net genişliği:

$$b_o = b - 2(r+t) \quad r = 5 \text{ mm} \quad t = 1,5 \text{ mm}$$

$$b_o = 0.067 \text{ m}$$

Profil başlığı etkin genişliği:

$$b_o / t \leq 0.95(E/\sigma)^{1/2} \text{ için } b_e = b_o \quad (\text{TS11372-2.17})$$

$$0.95 (E/\sigma)^{1/2} < b_o/t < 500 \text{ için } b_e = 0.95t (E/\sigma)^{1/2} \quad (\text{TS11372-2.18})$$

$$b_e = 0.017 \text{ m}$$

$$A_e = A - [2(b_o - b_e)t]$$

$$A_e = 5,57 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q = A_e / A$$

$$Q = 0,82$$

Tek simetri eksenli ve simetri eksensiz açık kesite sahip olup eğilme ve burkulma etkisine maruz kalabilen basınç çubukları

Bu tür çubuklarda P/A ortalama basınç gerilmesi σ_{obem1} ve σ_{obem2} gerilmelerini aşmamalıdır.

$\sigma_{BEO} > 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_a - [(\sigma_a)^2 / 7,67 \sigma_{BEO}] \quad (\text{TS11372-2.4.7.1.2})$$

$\sigma_{BEO} \leq 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_{BEO} \quad (\text{TS11372-2.4.7.1.2})$$

Burada;

$$\sigma_{obem2} = \text{Eksenel basınç kuvveti halinde sınır gerilme}$$

σ_{BEO} = Eksenel basınç kuvveti halinde aşağıdaki gibi hesaplanması gereken elastik burulmalı burkulma gerilmesidir. σ_{BEO} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.2.1 tek simetri eksenli kesitler için hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$r_x = 10,4 \quad r_y = 2,6 \quad x_0 = 4,0$$

$$r_0 = (r_x^2 + r_y^2 + x_0^2)^{1/2} \quad (TS11372-2.4.7.1.2.1)$$

$$r_0 = 114 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 - (x_0 / r_0)^2 \quad (TS11372-2.4.7.1.2.1)$$

$$\beta = 0.88$$

$$\sigma_t = 1 / A r_0^2 [GJ + (\Pi^2 E C_w / (KL)^2)] \quad (TS11372-2.4.7.1.2.1)$$

$$\sigma_t = 31 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ex} = \Pi^2 E / (KL / r_x)^2 \quad (TS11372-2.4.7.1.2.1)$$

$$\sigma_{ex} = 712 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{BEO} = 1/2\beta [(\sigma_{ex} + \sigma_t) - ((\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta \sigma_{ex} \sigma_t)^{1/2}]$$

$$\sigma_{BEO} = 31 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{obem2} = 16 \text{ MPa}$$

σ_{obem1} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.1.1 çift simetri eksenli, kapalı silindirik kesitlerle eğilmeli-burkulmalı burkulmaya maruz olmadığı hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$KL/r < \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = [(12/23)Q \sigma_a] - [3(Q \sigma_a)^2 / (23\pi^2 E)](KL/r_x)^2$$

$$KL/r > \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = 12\pi^2 E / 23 (KL/r_x)^2$$

Burada;

$$\lambda_{Kr} = (2\pi^2 E / \sigma_a)^{1/2}$$

E: Elastisite modülü

K: Etkin burkulma boyu faktörü

L: Elemanın burkulmaya karşı tutulmamış boyu

r: Yerel burkulma sebebiyle azaltılmamış kesitin atalet yarıçapı

σ_a : Çelik malzemesinin akma gerilmesi

Q: 0,82

$\lambda_{Kr}=53$

$\sigma_{obem1}=132$ MPa

$\sigma_o < \sigma_{obem1}$

$\sigma_o < \sigma_{obem2}$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

Kirişin TS11372' ye Göre Tahkiki

KIRIŞ CM2708020

Yanal burkulmaya karşı tutulmamış kiriş başlıklarında oluşabilecek en büyük basınç gerilmesi σ_b , aşağıdaki değerleri geçmemelidir.

$$8.8 \pi E C_b / \sigma_a > L^2 W_{xc} / dI_{yc} > 0,36 \pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (\text{TS11372-2.50})$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 2/3 \sigma_a - \sigma_a^2 / (5,4 \pi^2 E C_b) (L^2 W_{xc} / dI_{yc}) \quad (\text{TS11372-2.51})$$

öte yandan,

$$L^2 W_{xc} / dI_{yc} \geq 1,8 \pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (\text{TS11372-2.52})$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 0,6 \pi^2 dI_{yc} / L^2 W_{xc} \text{ olarak verilir.} \quad (\text{TS11372-2.53})$$

L = Elemanın yanal burkulmaya karşı tutulmamış boyu (cm)

I_{yc} = Kesitin basınç gerilmesi etkisindeki kısmının, kesit geometrik merkezinden geçen gövde levhasına paralel eksen etrafındaki atalet momenti (cm⁴)

W_{xc} = Tüm kesitin kuvvetli asal eksen etrafında basınç başlığına göre mukavemet momenti (cm³)

C_b = Eğilme katsayısı olup, emniyetli tarafında kalınıp bire eşit alınmaktadır.

d = kiriş yüksekliği (cm)

$$W_{xc} = 73 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$L = 4,5 \text{ m}$$

$$E = 50000 \text{ MPa}$$

$$C_b = 1$$

$$\sigma_a = 350 \text{ MPa}$$

$$L^2 W_{xc} / (d I_{yc}) < 1.8 \pi^2 E C_b / \sigma_a \text{ olduğundan,}$$

(TS11372-2.52)

$$\sigma_{bem} = 208 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b < \sigma_{bem}$$

Gövde Levhasında Eğilme Gerilmesi

Kiriş gövdesinde, gövde düzleminde etkiyen eğilme momentinden dolayı σ_{bg} (MPa) basınç

gerilmesi, $\sigma = 0,6 \sigma_a$ gerilmesini, ve

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2$$

(TS11372-2.61)

gerilmesini aşmamalıdır.

$$\sigma_{em} = \sigma = 0.6 \times \sigma_a$$

$$\sigma = 210 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bgem} = 202 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bg} < \sigma_{bgem}$$

Gövde Kayma Gerilmesi

Gövde zayıfsız kesit alanı üzerinde τ_o maksimum ortalama kayma gerilmesi (MPa) aşağıdaki

değerleri geçmemelidir.

$$h/t \leq 1450 / \sigma_a \text{ için,}$$

$$\tau_{oem} = [409,8 (\sigma_a)^{1/2}] / h/t$$

(TS11372-2.59)

olmalı,

fakat $\tau_{oa} = 0,4 \sigma_a$ değerini geçmemelidir.

$$h/t > 1450 / (\sigma_a)^{1/2}$$

$$\tau_{oem} = 600000 / (h/t)^2 \text{ olmalıdır.}$$

2.60)

Burada;

t = gövde et kalınlığı,(cm)

h = gövde düzleminde ölçülen flanşlar arasındaki temiz mesafe, (cm)

σ_a = akma sınır gerilmesi,(Mpa) dir.

$$\tau_{oem} = 33 \text{ MPa}$$

$$\tau_o < \tau_{oem}$$

Eğilme ve Kayma Gerilmesinin Birlikte Meydana Geldiği Hal

Eğilme ve kayma gerilmesinin her ikisinde maruz kalan gövde levhalarında bu gerilmeler,

$$(\sigma_{bg} / \sigma_{bgem})^2 + (\tau_o / \tau_{oem})^2 \leq 1$$

2.62)

şartını sağlamalıdır.

Burada;

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2$$

2.61)

τ_{oem} = müsaade edilen kayma gerilmesi değeri (ancak $0,4 \sigma_a$ burada kullanılmamalıdır).

σ_{bg} = Flanş ile gövde ara kesitinde hesaplanmış olan basınç gerilmesi (MPa)

τ_o = Hesaplanmış olan ortalama kayma gerilmesidir (MPa).

Kolon Elemanların TS11372' ye göre Tahkiki

KOLON CC2708020

Kolon geometrik değerleri

r_x (mm)	r_y (mm)	x_o (mm)	C_w	J (mm ⁴)	A (mm ²)
103	29	40	$6,46 \times 10^9$	1230	923

r_x, r_y : Kesitin asal eksenlerine göre atalet yarıçapı

x_0 : x-asal eksenini doğrultusunda kesit kayma merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe

C_w : Kesitin çarpılma sabiti
EK-A)

(TS11372 –

J: Kesitin St. Venant burulma sabiti

A: Enkesit alanı

$E = 50000 \text{ MPa}$ $\sigma_a = 350 \text{ MPa}$

$G = E / 2(1+\mu)$ $G = 19.68 \times 10^3 \text{ MPa}$

$A = 9,23 \text{ cm}^2$ $L = 3 \text{ m}$

Profil başlığı net genişliği:

$b_0 = b - 2(r+t)$ $r = 5 \text{ mm}$ $t = 2 \text{ mm}$

$b_0 = 0.066 \text{ m}$

Profil başlığı etkin genişliği:

$b_0 / t \leq 0.95(E/\sigma)^{1/2}$ için $b_e = b_0$
2.17)

(TS11372-

$0.95(E/\sigma)^{1/2} < b_0/t < 500$ için $b_e = 0.95t(E/\sigma)^{1/2}$
2.18)

(TS11372-

$b_e = 0.022 \text{ m}$

$A_e = A - [2(b_0 - b_e)t]$

$A_e = 7,47 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$Q = A_e / A$

$Q = 0,81$

Tek simetri eksenli ve simetri eksensiz açık kesite sahip olup eğilme ve burkulma etkisine maruz kalabilen basınç çubukları

Bu tür çubuklarda P/A ortalama basınç gerilmesi σ_{obem1} ve σ_{obem2} gerilmelerini aşmamalıdır.

$\sigma_{BEO} > 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_a - [(\sigma_a)^2 / 7,67 \sigma_{BEO}]$$

2.4.7.1.2)

$\sigma_{BEO} \leq 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_{BEO}$$

2.4.7.1.2)

Burada;

σ_{obem2} = Eksenel basınç kuvveti halinde sınır gerilme

σ_{BEO} = Eksenel basınç kuvveti halinde aşağıdaki gibi hesaplanması gereken elastik burulmalı burkulma gerilmesidir. σ_{BEO} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.2.1 tek simetri eksenli kesitler için hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$r_x = 10,3 \quad r_y = 2,9 \quad x_o = 4,0$$

$$r_o = (r_x^2 + r_y^2 + x_o^2)^{1/2}$$

2.4.7.1.2.1)

$$r_o = 114 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 - (x_o / r_o)^2$$

2.4.7.1.2.1)

$$\beta = 0,88$$

$$\sigma_t = 1 / A r_o^2 [GJ + (\Pi^2 E C_w / (KL)^2)]$$

2.4.7.1.2.1)

$$\sigma_t = 32 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ex} = \Pi^2 E / (KL / r_x)^2$$

2.4.7.1.2.1)

$$\sigma_{ex} = 712 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{BEO} = 1/2\beta [(\sigma_{ex} + \sigma_t) - ((\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta \sigma_{ex} \sigma_t)^{1/2}]$$

$$\sigma_{BEO} = 31 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{obem2} = 16 \text{ MPa}$$

(TS11372-

(TS11372-

(TS11372-

(TS11372-

(TS11372-

(TS11372-

σ_{obem1} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.1.1 çift simetri eksenli, kapalı silindirik kesitlerle eğilmeli-burkulmalı burkulmaya maruz olmadığı hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$KL/r < \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = [(12/23)Q \sigma_a] - [3(Q \sigma_a)^2 / (23\pi^2 E)](KL/r_x)^2$$

$$KL/r > \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = 12\pi^2 E / 23 (KL/r_x)^2$$

Burada;

$$\lambda_{Kr} = (2\pi^2 E / \sigma_a)^{1/2}$$

E: Elastisite modülü

K: Etkin burkulma boyu faktörü

L: Elemanın burkulmaya karşı tutulmamış boyu

r: Yerel burkulma sebebiyle azaltılmamış kesitin atalet yarıçapı

σ_a : Çelik malzemesinin akma gerilmesi

Q: 0,81

$\lambda_{Kr}=53$

$\sigma_{obem1}=133 \text{ MPa}$

$$\sigma_o < \sigma_{obem1}$$

$$\sigma_o < \sigma_{obem2}$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

Kirişin TS11372' ye Göre Tahkiki

KIRIŞ CM2708025

Yanal burkulmaya karşı tutulmamış kiriş başlıklarında oluşabilecek en büyük basınç gerilmesi σ_b , aşağıdaki değerleri geçmemelidir.

$$9.8 \pi E C_b / \sigma_a > L^2 W_{xc} / dI_{yc} > 0,36\pi^2 EC_b / \sigma_a \quad (\text{TS11372-2.50})$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 2/3 \sigma_a - \sigma_a^2 / (5,4\pi^2 EC_b)(L^2 W_{xc} / dI_{yc}) \quad (\text{TS11372-2.51})$$

öte yandan,



$$L^2 W_{xc}/dI_{yc} \geq 1,8 \pi^2 E C_b / \sigma_a$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 0,6 \pi^2 dI_{yc} / L^2 W_{xc} \text{ olarak verilir.}$$

L = Elemanın yanal burkulmaya karşı tutulmamış boyu (cm)

I_{yc} = Kesitin basınç gerilmesi etkisindeki kısmının, kesit geometrik merkezinden geçen gövde levhasına paralel eksen etrafındaki atalet momenti (cm⁴)

W_{xc} = Tüm kesitin kuvvetli asal eksen etrafında basınç başlığına göre mukavemet momenti (cm³)

C_b = Eğilme katsayısı olup, emniyetli tarafında kalınp bire eşit alınmaktadır.

d = kiriş yüksekliği (cm)

$$W_{xc} = 90 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$L = 4,5 \text{ m}$$

$$E = 50000 \text{ MPa}$$

$$C_b = 1$$

$$\sigma_a = 350 \text{ MPa}$$

$$L^2 W_{xc} / (dI_{yc}) < 1,8 \pi^2 E C_b / \sigma_a \text{ olduğundan,}$$

(TS11372-2.52)

$$\sigma_{bem} = 208 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b < \sigma_{bem}$$

Gövde Levhasında Eğilme Gerilmesi

Kiriş gövdesinde, gövde düzleminde etkiyen eğilme momentinden dolayı σ_{bg} (MPa) basınç

gerilmesi, $\sigma = 0,6 \sigma_a$ gerilmesini, ve

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2$$

(TS11372-2.61)

gerilmesini aşmamalıdır.

$$\sigma_{cm} = \sigma = 0,6 \sigma_a$$

$$\sigma = 210 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bgem} = 315 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bg} < \sigma_{bgem}$$

Gövde Kayma Gerilmesi



Gövde zayıfsız kesit alanı üzerinde τ_o maksimum ortalama kayma gerilmesi (MPa) aşığıdaki

değerleri geçmemelidir.

$h/t \leq 1450 / \sigma_a$ için,

$$\tau_{oem} = [409,8 (\sigma_a)^{1/2}] / h/t \quad (TS11372-2.59)$$

olmalı, fakat $\tau_{oa} = 0,4\sigma_a$ değerini geçmemelidir.

$h/t > 1450 / (\sigma_a)^{1/2}$

$$\tau_{oem} = 600000 / (h/t)^2 \text{ olmalıdır.} \quad (TS11372-2.60)$$

Burada;

t = gövde et kalınlığı,(cm)

h = gövde düzleminde ölçülen flanşlar arasındaki temiz mesafe, (cm)

σ_a = akma sınır gerilmesi,(Mpa) dir.

$\tau_{oem}=51$ MPa

$\tau_o < \tau_{oem}$

Eğilme ve Kayma Gerilmesinin Birlikte Meydana Geldiği Hal

Eğilme ve kayma gerilmesinin her ikisinde maruz kalan gövde levhalarında bu gerilmeler,

$$(\sigma_{bg} / \sigma_{bgem})^2 + (\tau_o / \tau_{oem})^2 \leq 1 \quad (TS11372-2.62)$$

şartını sağlamalıdır.

Burada;

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2 \quad (TS11372-2.61)$$

τ_{oem} = müsaade edilen kayma gerilmesi değeri (ancak $0,4 \sigma_a$ burada kullanılmamalıdır).

σ_{bg} = Flanş ile gövde ara kesitinde hesaplanmış olan basınç gerilmesi (MPa)

τ_o = Hesaplanmış olan ortalama kayma gerilmesidir (MPa).

Kolon Elemanların TS11372' ye göre Tahkiki

KOLON CC2708020

Kolon geometrik değerleri

r_x (mm)	r_y (mm)	x_o (mm)	C_w	J (mm ⁴)	A (mm ²)
103	29	40	8×10^9	2390	1150

r_x, r_y : Kesitin asal eksenlerine göre atalet yarıçapı

x_o : x-asal eksenini doğrultusunda kesit kayma merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe

C_w : Kesitin çarpılma sabiti

(TS11372 –

EK-A)

J : Kesitin St. Venant burulma sabiti

A : Enkesit alanı

$E = 50000$ MPa

$\sigma_a = 350$ MPa

$G = E / 2(1+\mu)$

$G = 19.68 \times 10^3$ MPa

$A = 11,5$ cm²

$L = 3$ m

Profil başlığı net genişliği:

$b_o = b - 2(r+t)$ $r = 5$ mm $t = 2,5$ mm

$b_o = 0.065$ m

Profil başlığı etkin genişliği:

$b_o / t \leq 0.95(E/\sigma)^{1/2}$ için $b_e = b_o$

(TS11372-

2.17)

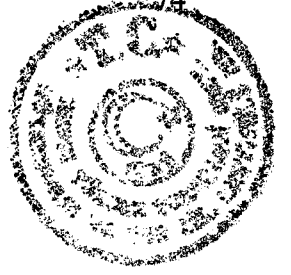
$0.95 (E/\sigma)^{1/2} < b_o/t < 500$ için $b_e = 0.95t (E/\sigma)^{1/2}$

(TS11372-

2.18)

$b_e = 0.028$ m

$A_e = A - [2(b_o - b_e)t]$



$$A_e = 9,65 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q = A_e / A$$

$$Q = 0,84$$

Tek simetri eksenli ve simetri eksensiz açık kesite sahip olup eğilme ve burkulma etkisine maruz kalabilen basınç çubukları

Bu tür çubuklarda P/A ortalama basınç gerilmesi σ_{obem1} ve σ_{obem2} gerilmelerini aşmamalıdır.

$$\sigma_{BEO} > 0,5 \sigma_a \text{ için:}$$

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_a - [(\sigma_a)^2 / 7,67 \sigma_{BEO}] \quad (\text{TS11372}$$

2.4.7.1.2)

$$\sigma_{BEO} \leq 0,5 \sigma_a \text{ için:}$$

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_{BEO} \quad (\text{TS11372}$$

2.4.7.1.2)

Burada;

σ_{obem2} = Eksenel basınç kuvveti halinde sınır gerilme

σ_{BEO} = Eksenel basınç kuvveti halinde aşağıdaki gibi hesaplanması gereken elastik burulmalı burkulma gerilmesidir. σ_{BEO} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.2.1 tek simetri eksenli kesitler için hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$r_x = 10,3 \quad r_y = 2,9 \quad x_o = 4,0$$

$$r_o = (r_x^2 + r_y^2 + x_o^2)^{1/2} \quad (\text{TS11372-}$$

2.4.7.1.2.1)

$$r_o = 114 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 - (x_o / r_o)^2 \quad (\text{TS11372-}$$

2.4.7.1.2.1)

$$\beta = 0,88$$

$$\sigma_t = 1/A r_o^2 [GJ + (\Pi^2 E C_w / (KL)^2)] \quad (\text{TS11372-}$$

2.4.7.1.2.1)

$$\sigma_t = 32 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ex} = \Pi^2 E / (KL / r_x)^2$$

2.4.7.1.2.1)

$$\sigma_{ex} = 712 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{BEO} = 1/2\beta [(\sigma_{ex} + \sigma_t) - ((\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta \sigma_{ex} \sigma_t)^{1/2}]$$

$$\sigma_{BEO} = 32 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{obem2} = 17 \text{ MPa}$$

σ_{obem1} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.1.1 çift simetri eksenli, kapalı silindirik kesitlerle eğilmeli-burkulmalı burkulmaya maruz olmadığı hesap kurallarından belirlenmektedir.

$KL/r < \lambda_{Kr} / Q^{1/2}$ ise;

$$\sigma_{obem1} = [(12/23)Q \sigma_a] - [3(Q \sigma_a)^2 / (23\pi^2 E)](KL/r_x)^2$$

$KL/r > \lambda_{Kr} / Q^{1/2}$ ise;

$$\sigma_{obem1} = 12\pi^2 E / 23 (KL/r_x)^2$$

Burada;

$$\lambda_{Kr} = (2\pi^2 E / \sigma_a)^{1/2}$$

E: Elastisite modülü

K: Etkin burkulma boyu faktörü

L: Elemanın burkulmaya karşı tutulmamış boyu

r: Yerel burkulma sebebiyle azaltılmamış kesitin atalet yarıçapı

σ_a : Çelik malzemesinin akma gerilmesi

Q: 0,84

$$\lambda_{Kr} = 53$$

$$\sigma_{obem1} = 134 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o < \sigma_{obem1}$$

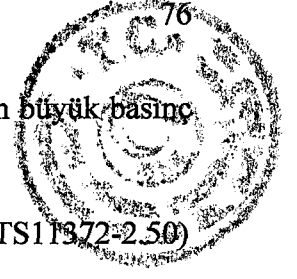
$$\sigma_o < \sigma_{obem2}$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

Kirişin TS11372' ye Göre Tahkiki

KİRİŞ CC1506015



Yanal burkulmaya karşı tutulmamış kiriş başlıklarında oluşabilecek en büyük basınç gerilmesi σ_b , aşağıdaki değerleri geçmemelidir.

$$10.8 \pi E C_b / \sigma_a > L^2 W_{xc} / dI_{yc} > 0,36\pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (TS11372-2.50)$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 2/3 \sigma_a - \sigma_a^2 / (5,4\pi^2 E C_b) (L^2 W_{xc} / dI_{yc}) \quad (TS11372-2.51)$$

öte yandan,

$$L^2 W_{xc} / dI_{yc} \geq 1,8\pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (TS11372-2.52)$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 0,6 \pi^2 dI_{yc} / L^2 W_{xc} \text{ olarak verilir.} \quad (TS11372-2.53)$$

L = Elemanın yanal burkulmaya karşı tutulmamış boyu (cm)

I_{yc} = Kesitin basınç gerilmesi etkisindeki kısmının, kesit geometrik merkezinden geçen gövde levhasına paralel eksen etrafındaki atalet momenti (cm⁴)

W_{xc} = Tüm kesitin kuvvetli asal eksen etrafında basınç başlığına göre mukavemet momenti (cm³)

C_b = Eğilme katsayısı olup, emniyetli tarafında kalınıp bire eşit alınmaktadır.

d = kiriş yüksekliği (cm)

$$W_{xc} = 18 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \quad L = 4,5 \text{ m} \quad E = 50000 \text{ MPa} \quad C_b = 1$$

$$\sigma_a = 350 \text{ MPa}$$

$$L^2 W_{xc} / (dI_{yc}) < 1,8 \pi^2 E C_b / \sigma_a \text{ olduğundan,} \quad (TS11372-2.50)$$

$$\sigma_{bem} = 2/3 \sigma_a - \sigma_a^2 (L^2 W_{xc} / dI_{yc}) / (5,4\pi^2 E C_b) \text{ kullanılmaktadır.} \quad (TS11372-2.51)$$

$$\sigma_{bem} = 150,51 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b < \sigma_{bem}$$

Gövde Levhasında Eğilme Gerilmesi

Kiriş gövdesinde, gövde düzleminde etkiyen eğilme momentinden dolayı σ_{bg} (MPa) basınç

gerilmesi, $\sigma = 0,6 \sigma_a$ gerilmesini, ve

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2 \quad (TS11372-2.61)$$



gerilmesini aşmamalıdır.

$$\sigma_{em} = \sigma = 0.6 \times \sigma_a$$

$$\sigma = 210 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bgem} = 368,42 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bg} < \sigma_{bgem}$$

Gövde Kayma Gerilmesi

Gövde zayıfsız kesit alanı üzerinde τ_o maksimum ortalama kayma gerilmesi (MPa) aşağıdaki

değerleri geçmemelidir.

$$h/t \leq 1450 / \sigma_a \text{ için,}$$

$$\tau_{oem} = [409,8 (\sigma_a)^{1/2}] / h/t$$

(TS11372-

2.59)

olmalı, fakat $\tau_{oa} = 0,4\sigma_a$ değerini geçmemelidir.

$$h/t > 1450 / (\sigma_a)^{1/2}$$

$$\tau_{oem} = 600000 / (h/t)^2 \text{ olmalıdır.}$$

(TS11372-

2.60)

Burada;

$$t = \text{gövde et kalınlığı, (cm)}$$

$$h = \text{gövde düzleminde ölçülen flanşlar arasındaki temiz mesafe, (cm)}$$

σ_a = akma sınır gerilmesi, (Mpa) dir.

$$\tau_{oem} = 60 \text{ MPa}$$

$$\tau_o < \tau_{oem}$$

Eğilme ve Kayma Gerilmesinin Birlikte Meydana Geldiği Hal

Eğilme ve kayma gerilmesinin her ikisinde maruz kalan gövde levhalarında bu gerilmeler,

$$(\sigma_{bg} / \sigma_{bgem})^2 + (\tau_o / \tau_{oem})^2 \leq 1$$

(TS11372-

2.62)

şartını sağlamalıdır.

Burada;

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2$$

(TS11372-

2.61)

τ_{oem} = müsaade edilen kayma gerilmesi değeri (ancak 0,4 σ_a burada kullanılmamalıdır).

σ_{bg} = Flanş ile gövde ara kesitinde hesaplanmış olan basınç gerilmesi (MPa)

τ_o = Hesaplanmış olan ortalama kayma gerilmesidir (MPa).

Kolon Elemanların TS11372' ye göre Tahkiki

KOLON CCI506015

Kolon geometrik değerleri

r_x (mm)	r_y (mm)	x_o (mm)	C_w	J (mm ⁴)	A (mm ²)
59	19	34	$3,8 \times 10^8$	290	393

r_x, r_y : Kesitin asal eksenlerine göre atalet yarıçapı

x_o : x-asal eksenini doğrultusunda kesit kayma merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe

C_w : Kesitin çarpılma sabiti

(TS11372 –

EK-A)

J: Kesitin St. Venant burulma sabiti

A: Enkesit alanı

E= 50000 MPa

σ_a = 350 MPa

G= E / 2(1+ μ)

G= 19.68 x10³ MPa

A= 3.93 cm²

L= 3 m

Profil başlığı net genişliği:

$b_o = b - 2(r+t)$

r= 5 mm

t= 1.5 mm

b_o = 0.047 m

Profil başlığı etkin genişliği:

$$b_o / t \leq 0.95(E/\sigma)^{1/2} \text{ için } b_e = b_o$$

(TS11372-

2.17)

$$0.95 (E/\sigma)^{1/2} < b_o/t < 500 \text{ için } b_e = 0.95t(E/\sigma)^{1/2}$$

(TS11372-

2.18)

$$b_e = 0.017 \text{ m}$$

$$A_e = A - [2(b_o - b_e)t]$$

$$A_e = 3,03 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q = A_e / A$$

$$Q = 0,77$$

Tek simetri eksenli ve simetri eksensiz açık kesite sahip olup eğilme ve burkulma etkisine maruz kalabilen basınç çubukları

Bu tür çubuklarda P/A ortalama basınç gerilmesi σ_{obem1} ve σ_{obem2} gerilmelerini aşmamalıdır.

$$\sigma_{BEO} > 0,5 \sigma_a \text{ için:}$$

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_a - [(\sigma_a)^2 / 7,67 \sigma_{BEO}]$$

(TS11372

2.4.7.1.2)

$$\sigma_{BEO} \leq 0,5 \sigma_a \text{ için:}$$

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_{BEO}$$

(TS11372

2.4.7.1.2)

Burada;

$$\sigma_{obem2} = \text{Eksenel basınç kuvveti halinde sınır gerilme}$$

σ_{BEO} = Eksenel basınç kuvveti halinde aşağıdaki gibi hesaplanması gereken elastik burulmalı burkulma gerilmesidir. σ_{BEO} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.2.1 tek simetri eksenli kesitler için hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$r_x = 5,9 \quad r_y = 1,9 \quad x_o = 3.4$$

$$r_o = (r_x^2 + r_y^2 + x_o^2)^{1/2}$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

$$r_o = 70 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 - (x_o / r_o)^2$$

2.4.7.1.2.1)

$$\beta = 0.77$$

$$\sigma_t = 1 / A r_o^2 [GJ + (\Pi^2 E C_w / (KL)^2)]$$

2.4.7.1.2.1)

$$\sigma_t = 14,17 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ex} = \Pi^2 E / (KL / r_x)^2$$

2.4.7.1.2.1)

$$\sigma_{ex} = 190 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{BEO} = 1/2\beta [(\sigma_{ex} + \sigma_t) - ((\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta \sigma_{ex} \sigma_t)^{1/2}]$$

$$\sigma_{BEO} = 14 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{obem2} = 7 \text{ MPa}$$

σ_{obem1} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.1.1 çift simetri eksenli, kapalı silindirik kesitlerle eğilmeli-burkulmalı burkulmaya maruz olmadığı hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$KL/r < \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = [(12/23)Q \sigma_a] - [3(Q \sigma_a)^2 / (23\pi^2 E)](KL/r_x)^2$$

$$KL/r > \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = 12\pi^2 E / 23 (KL/r_x)^2$$

Burada;

$$\lambda_{Kr} = (2\pi^2 E / \sigma_a)^{1/2}$$

E: Elastisite modülü

K: Etkin burkulma boyu faktörü

L: Elemanın burkulmaya karşı tutulmamış boyu

r: Yerel burkulma sebebiyle azaltılmamış kesitin atalet yarıçapı

σ_a : Çelik malzemesinin akma gerilmesi

$$Q: 0,77$$

(TS11372-

(TS11372-

(TS11372-

$$\lambda_{Kr}=53$$

$$\sigma_{obem1}=63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o < \sigma_{obem1}$$

$$\sigma_o < \sigma_{obem2}$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

Kirişin TS11372' ye Göre Tahkiki

KIRIŞ CC1506020

Yanal burkulmaya karşı tutulmamış kiriş başlıklarında oluşabilecek en büyük basınç gerilmesi σ_b , aşağıdaki değerleri geçmemelidir.

$$11.8 \pi E C_b / \sigma_a > L^2 W_{xc}/dI_{yc} > 0,36\pi^2 EC_b / \sigma_a \quad (\text{TS11372-2.50})$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem}=2/3 \sigma_a - \sigma_a^2 / (5,4\pi^2 EC_b) (L^2 W_{xc}/dI_{yc}) \quad (\text{TS11372-2.51})$$

öte yandan,

$$L^2 W_{xc}/dI_{yc} \geq 1,8\pi^2 EC_b / \sigma_a \quad (\text{TS11372-2.52})$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 0,6 \pi^2 dI_{yc} / L^2 W_{xc} \text{ olarak verilir.} \quad (\text{TS11372-2.53})$$

L = Elemanın yanal burkulmaya karşı tutulmamış boyu (cm)

I_{yc} = Kesitin basınç gerilmesi etkisindeki kısmının, kesit geometrik merkezinden geçen gövde levhasına paralel eksen etrafındaki atalet momenti (cm⁴)

W_{xc} = Tüm kesitin kuvvetli asal eksen etrafında basınç başlığına göre mukavemet momenti (cm³)

C_b = Eğilme katsayısı olup, emniyetli tarafında kalınıp bire eşit alınmaktadır.

d = kiriş yüksekliği (cm)

$$W_{xc}=23,75 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \quad L=4,5\text{m} \quad E=50000\text{MPa} \quad C_b=1$$

$$\sigma_a=350 \text{ MPa}$$

$$L^2 W_{xc}/(dI_{yc}) < 1.8 \pi^2 EC_b / \sigma_a \text{ olduğundan,} \quad (\text{TS11372-2.50})$$

$$\sigma_{bem}=2/3 \sigma_a - \sigma_a^2 (L^2 W_{xc}/dI_{yc}) / (5,4\pi^2 EC_b) \text{ kullanılmaktadır.} \quad (\text{TS11372-2.51})$$

$$\sigma_{bem}=150 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b < \sigma_{bem}$$

Gövde Levhasında Eğilme Gerilmesi

Kiriş gövdesinde, gövde düzleminde etkiyen eğilme momentinden dolayı σ_{bg} (MPa) basınç

gerilmesi, $\sigma = 0,6 \sigma_a$ gerilmesini, ve

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2 \quad (\text{TS11372-2.61})$$

gerilmesini aşmamalıdır.

$$\sigma_{em} = \sigma = 0.6 \times \sigma_a$$

$$\sigma = 210 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bgem} = 655 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bg} < \sigma_{bgem}$$

Gövde Kayma Gerilmesi

Gövde zayıatsız kesit alanı üzerinde τ_o maksimum ortalama kayma gerilmesi (MPa) aşağıdaki

değerleri geçmemelidir.

$$h/t \leq 1450 / \sigma_a \text{ için,}$$

$$\tau_{oem} = [409,8 (\sigma_a)^{1/2}] / h/t \quad (\text{TS11372-2.59})$$

olmalı, fakat $\tau_{oa} = 0,4 \sigma_a$ değerini geçmemelidir.

$$h/t > 1450 / (\sigma_a)^{1/2}$$

$$\tau_{oem} = 600000 / (h/t)^2 \text{ olmalıdır.} \quad (\text{TS11372-2.60})$$

Burada;

t = gövde et kalınlığı, (cm)

h = gövde düzleminde ölçülen flanşlar arasındaki temiz mesafe, (cm)

σ_a = akma sınır gerilmesi, (Mpa) dir.

$$\tau_{oem}=107 \text{ MPa}$$

$$\tau_o < \tau_{oem}$$

Eğilme ve Kayma Gerilmesinin Birlikte Meydana Geldiği Hal

Eğilme ve kayma gerilmesinin her ikisinde maruz kalan gövde levhalarında bu gerilmeler,

$$(\sigma_{bg} / \sigma_{bgem})^2 + (\tau_o / \tau_{oem})^2 \leq 1 \quad (\text{TS11372-2.62})$$

şartını sağlamalıdır.

Burada;

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2 \quad (\text{TS11372-2.61})$$

τ_{oem} = müsaade edilen kayma gerilmesi değeri (ancak 0,4 σ_a burada kullanılmamalıdır).

σ_{bg} = Flanş ile gövde ara kesitinde hesaplanmış olan basınç gerilmesi (MPa)

τ_o = Hesaplanmış olan ortalama kayma gerilmesidir (MPa).

Kolon Elemanların TS11372' ye göre Tahkiki

KOLON CC2737615

Kolon geometrik değerleri

r_x (mm)	r_y (mm)	x_o (mm)	C_w	J (mm ⁴)	A (mm ²)
19	59	34	$3,8 \times 10^8$	290	522

r_x, r_y : Kesitin asal eksenlerine göre atalet yarıçapı

x_o : x-asal eksenini doğrultusunda kesit kayma merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe

C_w : Kesitin çarpılma sabiti
(EK-A)

(TS11372 –

J: Kesitin St. Venant burulma sabiti

A: Enkesit alanı

E= 50000 MPa

σ_a = 350 MPa

$$G = E / 2(1+\mu) \quad G = 19.68 \times 10^3 \text{ MPa}$$

$$A = 5,22 \text{ cm}^2 \quad L = 3 \text{ m}$$

Profil başlığı net genişliği:

$$b_o = b - 2(r+t) \quad r = 5 \text{ mm} \quad t = 2 \text{ mm}$$

$$b_o = 0.046 \text{ m}$$

Profil başlığı etkin genişliği:

$$b_o / t \leq 0.95(E/\sigma)^{1/2} \text{ için } b_e = b_o \quad (\text{TS11372-2.17})$$

$$0.95 (E/\sigma)^{1/2} < b_o/t < 500 \text{ için } b_e = 0.95t(E/\sigma)^{1/2} \quad (\text{TS11372-2.18})$$

$$b_e = 0.017 \text{ m}$$

$$A_e = A - [2(b_o - b_e)t]$$

$$A_e = 4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q = A_e / A$$

$$Q = 0,77$$

Tek simetri eksenli ve simetri eksensiz açık kesite sahip olup eğilme ve burkulma etkisine maruz kalabilen basınç çubukları

Bu tür çubuklarda P/A ortalama basınç gerilmesi σ_{obem1} ve σ_{obem2} gerilmelerini aşmamalıdır.

$$\sigma_{BEO} > 0,5 \sigma_a \text{ için:}$$

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_a - [(\sigma_a)^2 / 7,67 \sigma_{BEO}] \quad (\text{TS11372-2.4.7.1.2})$$

$$\sigma_{BEO} \leq 0,5 \sigma_a \text{ için:}$$

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_{BEO} \quad (\text{TS11372-2.4.7.1.2})$$

Burada;

$$\sigma_{obem2} = \text{Eksenel basınç kuvveti halinde sınır gerilme}$$

σ_{BEO} = Eksenel basınç kuvveti halinde aşağıdaki gibi hesaplanması gereken elastik burulmalı burkulma gerilmesidir. σ_{BEO} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.2.1 tek simetri eksenli kesitler için hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$r_x = 1,9 \quad r_y = 5,9 \quad x_o = 3,4$$

$$r_o = (r_x^2 + r_y^2 + x_o^2)^{1/2} \quad (TS11372-2.4.7.1.2.1)$$

$$r_o = 69 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 - (x_o / r_o)^2 \quad (TS11372-2.4.7.1.2.1)$$

$$\beta = 0.77$$

$$\sigma_t = 1 / A r_o^2 [GJ + (\Pi^2 E C_w / (KL)^2)] \quad (TS11372-2.4.7.1.2.1)$$

$$\sigma_t = 104 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ex} = \Pi^2 E / (KL / r_x)^2 \quad (TS11372-2.4.7.1.2.1)$$

$$\sigma_{ex} = 190 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{BEO} = 1/2\beta [(\sigma_{ex} + \sigma_t) - ((\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta \sigma_{ex} \sigma_t)^{1/2}]$$

$$\sigma_{BEO} = 86 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{obem2} = 45 \text{ MPa}$$

σ_{obem1} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.1.1 çift simetri eksenli, kapalı silindirik kesitlerle eğilmeli-burkulmalı burkulmaya maruz olmadığı hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$KL/r < \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = [(12/23)Q \sigma_a] - [3(Q \sigma_a)^2 / (23\pi^2 E)](KL/r_x)^2$$

$$KL/r > \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = 12\pi^2 E / 23 (KL/r_x)^2$$

Burada;

$$\lambda_{Kr} = (2\pi^2 E / \sigma_a)^{1/2}$$

E: Elastisite modülü

K: Etkin burkulma boyu faktörü

L: Elemanın burkulmaya karşı tutulmamış boyu

r: Yerel burkulma sebebiyle azaltılmamış kesitin atalet yarıçapı

σ_a : Çelik malzemesinin akma gerilmesi

Q:0,77

$\lambda_{Kr}=53$

$\sigma_{obem1}=63$ MPa

$\sigma_o < \sigma_{obem1}$

$\sigma_o < \sigma_{obem2}$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

Kirişin TS11372' ye Göre Tahkiki

KİRİŞ CC1506025

Yanal burkulmaya karşı tutulmamış kiriş başlıklarında oluşabilecek en büyük basınç gerilmesi σ_b , aşağıdaki değerleri geçmemelidir.

$$12.8 \pi E C_b / \sigma_a > L^2 W_{xc} / dI_{yc} > 0,36\pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (TS11372-2.50)$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 2/3 \sigma_a - \sigma_a^2 / (5,4\pi^2 E C_b) (L^2 W_{xc} / dI_{yc}) \quad (TS11372-2.51)$$

öte yandan,

$$L^2 W_{xc} / dI_{yc} \geq 1,8\pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (TS11372-2.52)$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 0,6 \pi^2 dI_{yc} / L^2 W_{xc} \text{ olarak verilir.} \quad (TS11372-2.53)$$

L = Elemanın yanal burkulmaya karşı tutulmamış boyu (cm)

I_{yc} = Kesitin basınç gerilmesi etkisindeki kısmının, kesit geometrik merkezinden geçen gövde levhasına paralel eksen etrafındaki atalet momenti (cm⁴)

W_{xc} = Tüm kesitin kuvvetli asal eksen etrafında basınç başlığına göre mukavemet momenti (cm³)

C_b = Eğilme katsayısı olup, emniyetli tarafında kalınıp bire eşit alınmaktadır.

d = kiriş yüksekliği (cm)

$$W_{xc} = 29 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$L = 4,5 \text{ m}$$

$$E = 50000 \text{ MPa}$$

$$C_b = 1$$

$$\sigma_a = 350 \text{ MPa}$$

$$L^2 W_{xc} / (d I_{yc}) < 1.8 \pi^2 E C_b / \sigma_a \text{ olduğundan,}$$

(TS11372-2.52)

$$\sigma_{bem} = 151 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b < \sigma_{bem}$$

Gövde Levhasında Eğilme Gerilmesi

Kiriş gövdesinde, gövde düzleminde etkiyen eğilme momentinden dolayı σ_{bg} (MPa) basınç

gerilmesi, $\sigma = 0,6 \sigma_a$ gerilmesini, ve

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2$$

(TS11372-2.61)

gerilmesini aşmamalıdır.

$$\sigma_{em} = \sigma = 0.6 \sigma_a$$

$$\sigma = 210 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bgem} = 1023 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bg} < \sigma_{bgem}$$

Gövde Kayma Gerilmesi

Gövde zayıtsız kesit alanı üzerinde τ_o maksimum ortalama kayma gerilmesi (MPa) aşağıdaki

değerleri geçmemelidir.

$$h/t \leq 1450 / \sigma_a \text{ için,}$$

$$\tau_{oem} = [409,8 (\sigma_a)^{1/2}] / h/t$$

(TS11372-2.59)

olmalı, fakat $\tau_{oa} = 0,4 \sigma_a$ değerini geçmemelidir.



$$h/t > 1450 / (\sigma_a)^{1/2}$$

$$\tau_{oem} = 600000 / (h/t)^2 \text{ olmalıdır.}$$

2.60)

Burada;

t = gövde et kalınlığı,(cm)

h = gövde düzleminde ölçülen flanşlar arasındaki temiz mesafe, (cm)

σ_a = akma sınır gerilmesi,(Mpa) dir.

$$\tau_{oem}=128 \text{ MPa}$$

$$\tau_o < \tau_{oem}$$

Eğilme ve Kayma Gerilmesinin Birlikte Meydana Geldiği Hal

Eğilme ve kayma gerilmesinin her ikisinede maruz kalan gövde levhalarında bu gerilmeler,

$$(\sigma_{bg} / \sigma_{bgem})^2 + (\tau_o / \tau_{oem})^2 \leq 1$$

(TS11372-

2.62)

şartını sağlamalıdır.

Burada;

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2$$

(TS11372-

2.61)

τ_{oem} = müsaade edilen kayma gerilmesi değeri (ancak 0,4 σ_a burada kullanılmamalıdır).

σ_{bg} = Flanş ile gövde ara kesitinde hesaplanmış olan basınç gerilmesi (MPa)

τ_o = Hesaplanmış olan ortalama kayma gerilmesidir (MPa).

Kolon Elemanların TS11372' ye göre Tahkiki

KOLON CC2507615

Kolon geometrik değerleri

r_x (mm)	r_y (mm)	x_o (mm)	C_w	J (mm ⁴)	A (mm ²)
19	58	34	$6,3 \times 10^9$	1350	649

r_x, r_y : Kesitin asal eksenlerine göre atalet yarıçapı

x_0 : x-asal eksenini doğrultusunda kesit kayma merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe

C_w : Kesitin çarpılma sabiti
EK-A)

(TS11372 –

J: Kesitin St. Venant burulma sabiti

A: Enkesit alanı

$E = 50000 \text{ MPa}$ $\sigma_a = 350 \text{ MPa}$

$G = E / 2(1+\mu)$ $G = 19.68 \times 10^3 \text{ MPa}$

$A = 6,49 \text{ cm}^2$ $L = 3 \text{ m}$

Profil başlığı net genişliği:

$b_0 = b - 2(r+t)$ $r = 5 \text{ mm}$ $t = 2,5 \text{ mm}$

$b_0 = 0.045 \text{ m}$

Profil başlığı etkin genişliği:

$b_0 / t \leq 0.95(E/\sigma)^{1/2}$ için $b_e = b_0$
2.17)

(TS11372-

$0.95(E/\sigma)^{1/2} < b_0/t < 500$ için $b_e = 0.95t(E/\sigma)^{1/2}$
2.18)

(TS11372-

$b_e = 0.028 \text{ m}$

$A_e = A - [2(b_0 - b_e)t]$

$A_e = 5,64 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$Q = A_e / A$

$Q = 0,87$

Tek simetri eksenli ve simetri eksensiz açık kesite sahip olup eğilme ve burkulma etkisine maruz kalabilen basınç çubukları

Bu tür çubuklarda P/A ortalama basınç gerilmesi σ_{obem1} ve σ_{obem2} gerilmelerini aşmamalıdır.



$\sigma_{BEO} > 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_a - [(\sigma_a)^2 / 7,67 \sigma_{BEO}]$$

2.4.7.1.2)

$\sigma_{BEO} \leq 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_{BEO}$$

(TS11372

2.4.7.1.2)

Burada;

σ_{obem2} = Eksenel basınç kuvveti halinde sınır gerilme

σ_{BEO} = Eksenel basınç kuvveti halinde aşağıdaki gibi hesaplanması gereken elastik burulmalı burkulma gerilmesidir. σ_{BEO} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.2.1 tek simetri eksenli kesitler için hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$r_x = 1,9 \quad r_y = 5,8 \quad x_o = 3,4$$

$$r_o = (r_x^2 + r_y^2 + x_o^2)^{1/2}$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

$$r_o = 70 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 - (x_o / r_o)^2$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

$$\beta = 0,77$$

$$\sigma_t = 1 / A r_o^2 [GJ + (\Pi^2 E C_w / (KL)^2)]$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

$$\sigma_t = 117 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ex} = \Pi^2 E / (KL / r_x)^2$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

$$\sigma_{ex} = 184 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{BEO} = 1/2\beta [(\sigma_{ex} + \sigma_t) - ((\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta \sigma_{ex} \sigma_t)^{1/2}]$$

$$\sigma_{BEO} = 94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{obem2} = 49 \text{ MPa}$$



σ_{obem1} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.1.1 çift simetri eksenli, kapalı silindirik kesitlerde eğilmeli-burkulmalı burkulmaya maruz olmadığı hesap kuralılarından belirlenmektedir.

$KL/r < \lambda_{Kr} / Q^{1/2}$ ise;

$$\sigma_{obem1} = [(12/23)Q \sigma_a] - [3(Q \sigma_a)^2 / (23\pi^2 E)] (KL/r_x)^2$$

$KL/r > \lambda_{Kr} / Q^{1/2}$ ise;

$$\sigma_{obem1} = 12\pi^2 E / 23 (KL/r_x)^2$$

Burada;

$$\lambda_{Kr} = (2\pi^2 E / \sigma_a)^{1/2}$$

E: Elastisite modülü

K: Etkin burkulma boyu faktörü

L: Elemanın burkulmaya karşı tutulmamış boyu

r: Yerel burkulma sebebiyle azaltılmamış kesitin atalet yarıçapı

σ_a : Çelik malzemesinin akma gerilmesi

Q: 0,77

$\lambda_{Kr}=53$

$\sigma_{obem1}=90$ MPa

$\sigma_o < \sigma_{obem1}$

$\sigma_o < \sigma_{obem2}$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

Kirişin TS11372' ye Göre Tahkiki

KİRİŞ CC2507615

Yanal burkulmaya karşı tutulmamış kiriş başlıklarında oluşabilecek en büyük basınç gerilmesi σ_b , aşağıdaki değerleri geçmemelidir.

$$13.8 \pi E C_b / \sigma_a > L^2 W_{xc} / dI_{yc} > 0,36\pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (TS11372-2.50)$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 2/3 \sigma_a - \sigma_a^2 / (5,4\pi^2 E C_b) (L^2 W_{xc} / dI_{yc}) \quad (TS11372-2.51)$$

öte yandan,

$$L^2 W_{xc}/dI_{yc} \geq 1,8\pi^2 E C_b / \sigma_a$$

(TS11372-2.52)

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 0,6 \pi^2 dI_{yc} / L^2 W_{xc} \text{ olarak verilir.}$$

(TS11372-2.53)

L = Elemanın yanal burkulmaya karşı tutulmamış boyu (cm)

I_{yc} = Kesitin basınç gerilmesi etkisindeki kısmının, kesit geometrik merkezinden geçen gövde levhasına paralel eksen etrafındaki atalet momenti (cm⁴)

W_{xc} = Tüm kesitin kuvvetli asal eksen etrafında basınç başlığına göre mukavemet momenti (cm³)

C_b = Eğilme katsayısı olup, emniyetli tarafında kalınp bire eşit alınmaktadır.

d = kiriş yüksekliği (cm)

$$W_{xc} = 42.32 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$L = 4,5 \text{ m}$$

$$E = 50000 \text{ MPa}$$

$$C_b = 1$$

$$\sigma_a = 350 \text{ MPa}$$

$$L^2 W_{xc} / (dI_{yc}) > 1.8 \pi^2 E C_b / \sigma_a \text{ olduğundan,}$$

(TS11372-2.52)

$$\sigma_{bem} = 203 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b < \sigma_{bem}$$

Gövde Levhasında Eğilme Gerilmesi

Kiriş gövdesinde, gövde düzleminde etkiyen eğilme momentinden dolayı σ_{bg} (MPa) basınç

gerilmesi, $\sigma = 0,6 \sigma_a$ gerilmesini, ve

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2$$

(TS11372-2.61)

gerilmesini aşmamalıdır.

$$\sigma_{em} = \sigma = 0.6 \sigma_a$$

$$\sigma = 210 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bgem} = 132 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bg} < \sigma_{bgem}$$

Gövde Kayma Gerilmesi

Gövde zayıfsız kesit alanı üzerinde τ_o maksimum ortalama kayma gerilmesi (MPa) aşğıdaki

değerleri geçmemelidir.

$h/t \leq 1450 / \sigma_a$ için,

$$\tau_{oem} = [409,8 (\sigma_a)^{1/2}] / h/t \quad (\text{TS11372-2.59})$$

olmalı, fakat $\tau_{oa} = 0,4\sigma_a$ değerini geçmemelidir.

$h/t > 1450 / (\sigma_a)^{1/2}$

$$\tau_{oem} = 600000 / (h/t)^2 \text{ olmalıdır.} \quad (\text{TS11372-2.60})$$

Burada;

t = gövde et kalınlığı,(cm)

h = gövde düzleminde ölçülen flanşlar arasındaki temiz mesafe, (cm)

σ_a = akma sınır gerilmesi,(MPa) dir.

$$\tau_{oem}=22 \text{ MPa}$$

$$\tau_o < \tau_{oem}$$

Eğilme ve Kayma Gerilmesinin Birlikte Meydana Geldiği Hal

Eğilme ve kayma gerilmesinin her ikisinde maruz kalan gövde levhalarında bu gerilmeler,

$$(\sigma_{bg} / \sigma_{bgem})^2 + (\tau_o / \tau_{oem})^2 \leq 1 \quad (\text{TS11372-2.62})$$

şartını sağlamalıdır.

Burada;

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2 \quad (\text{TS11372-2.61})$$

τ_{oem} = müsaade edilen kayma gerilmesi değeri (ancak $0,4 \sigma_a$ burada kullanılmamalıdır).

σ_{bg} = Flanş ile gövde ara kesitinde hesaplanmış olan basınç gerilmesi (MPa)

τ_o = Hesaplanmış olan ortalama kayma gerilmesidir (MPa).

Kolon Elemanların TS11372' ye göre Tahkiki

KOLON CC2507615

Kolon geometrik değerleri

r_x (mm)	r_y (mm)	x_o (mm)	C_w	J (mm ⁴)	A (mm ²)
95	23	30	35×10^9	440	591

r_x, r_y : Kesitin asal eksenlerine göre atalet yarıçapı

x_o : x-asal eksenini doğrultusunda kesit kayma merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe

C_w : Kesitin çarpılma sabiti

(TS11372 –

EK-A)

J : Kesitin St. Venant burulma sabiti

A : Enkesit alanı

$E = 50000 \text{ MPa}$

$\sigma_a = 350 \text{ MPa}$

$G = E / 2(1+\mu)$

$G = 19.68 \times 10^3 \text{ MPa}$

$A = 5.91 \text{ cm}^2$

$L = 3 \text{ m}$

Profil başlığı net genişliği:

$b_o = b - 2(r+t) \quad r = 5 \text{ mm} \quad t = 1.5 \text{ mm}$

$b_o = 0.063 \text{ m}$

Profil başlığı etkin genişliği:

$b_o / t \leq 0.95(E/\sigma)^{1/2}$ için $b_e = b_o$

(TS11372-

2.17)

$0.95 (E/\sigma)^{1/2} < b_o/t < 500$ için $b_e = 0.95t (E/\sigma)^{1/2}$

(TS11372-

2.18)

$b_e = 0.017 \text{ m}$

$A_e = A - [2(b_o - b_e)t]$

$A_e = 4,53 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$$Q = A_e / A$$

$$Q = 0,76$$

Tek simetri eksenli ve simetri eksensiz açık kesite sahip olup eğilme ve burkulma etkisine maruz kalabilen basınç çubukları

Bu tür çubuklarda P/A ortalama basınç gerilmesi σ_{obem1} ve σ_{obem2} gerilmelerini aşmamalıdır.

$\sigma_{BEO} > 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_a - [(\sigma_a)^2 / 7,67 \sigma_{BEO}] \quad (TS11372-2.4.7.1.2)$$

$\sigma_{BEO} \leq 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_{BEO} \quad (TS11372-2.4.7.1.2)$$

Burada;

σ_{obem2} = Eksenel basınç kuvveti halinde sınır gerilme

σ_{BEO} = Eksenel basınç kuvveti halinde aşağıdaki gibi hesaplanması gereken elastik burulmalı burkulma gerilmesidir. σ_{BEO} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.2.1 tek simetri eksenli kesitler için hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$r_x = 9.46 \quad r_y = 2.26 \quad x_o = 3.1$$

$$r_o = (r_x^2 + r_y^2 + x_o^2)^{1/2} \quad (TS11372-2.4.7.1.2.1)$$

$$r_o = 101.7 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 - (x_o / r_o)^2 \quad (TS11372-2.4.7.1.2.1)$$

$$\beta = 0.856$$

$$\sigma_t = 1/A r_o^2 [GJ + (\Pi^2 E C_w / (KL)^2)] \quad (TS11372-2.4.7.1.2.1)$$

$$\sigma_t = 315 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ex} = \Pi^2 E / (KL / r_x)^2$$

2.4.7.1.2.1)

$$\sigma_{ex} = 490 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{BEO} = 1/2\beta [(\sigma_{ex} + \sigma_t) - ((\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta \sigma_{ex} \sigma_t)^{1/2}]$$

$$\sigma_{BEO} = 268 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{obem2} = 122 \text{ MPa}$$

σ_{obem1} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.1.1 çift simetri eksenli, kapalı silindirik kesitlerle eğilmeli-burkulmalı burkulmaya maruz olmadığı hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$KL/r < \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = [(12/23)Q \sigma_a] - [3(Q \sigma_a)^2 / (23\pi^2 E)](KL/r_x)^2$$

$$KL/r > \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = 12\pi^2 E / 23(KL/r_x)^2$$

Burada;

$$\lambda_{Kr} = (2\pi^2 E / \sigma_a)^{1/2}$$

E: Elastisite modülü

K: Etkin burkulma boyu faktörü

L: Elemanın burkulmaya karşı tutulmamış boyu

r: Yerel burkulma sebebiyle azaltılmamış kesitin atalet yarıçapı

σ_a : Çelik malzemesinin akma gerilmesi

Q: 0.76

$$\lambda_{Kr} = 53$$

$$\sigma_{obem1} = 150 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o < \sigma_{obem1}$$

$$\sigma_o < \sigma_{obem2}$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

Kirişin TS11372' ye Göre Tahkiki

KİRİŞ CC2507620

Yanal burkulmaya karşı tutulmamış kiriş başlıklarında oluşabilecek en büyük basınç gerilmesi σ_b , aşağıdaki değerleri geçmemelidir.

$$14.8 \pi E C_b / \sigma_a > L^2 W_{xc} / dI_{yc} > 0,36\pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (\text{TS11372-2.50})$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 2/3 \sigma_a - \sigma_a^2 / (5,4\pi^2 E C_b) (L^2 W_{xc} / dI_{yc}) \quad (\text{TS11372-2.51})$$

öte yandan,

$$L^2 W_{xc} / dI_{yc} \geq 1,8\pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (\text{TS11372-2.52})$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 0,6 \pi^2 dI_{yc} / L^2 W_{xc} \text{ olarak verilir.} \quad (\text{TS11372-2.53})$$

L = Elemanın yanal burkulmaya karşı tutulmamış boyu (cm)

I_{yc} = Kesitin basınç gerilmesi etkisindeki kısmının, kesit geometrik merkezinden geçen gövde levhasına paralel eksen etrafındaki atalet momenti (cm^4)

W_{xc} = Tüm kesitin kuvvetli asal eksen etrafında basınç başlığına göre mukavemet momenti (cm^3)

C_b = Eğilme katsayısı olup, emniyetli tarafında kalınıp bire eşit alınmaktadır.

d = kiriş yüksekliği (cm)

$$W_{xc} = 56 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \quad L = 4,5 \text{ m} \quad E = 50000 \text{ MPa} \quad C_b = 1$$

$$\sigma_a = 350 \text{ MPa}$$

$$L^2 W_{xc} / (dI_{yc}) < 1,8 \pi^2 E C_b / \sigma_a \text{ olduğundan,} \quad (\text{TS11372-2.50})$$

$$\sigma_{bem} = 2/3 \sigma_a - \sigma_a^2 (L^2 W_{xc} / dI_{yc}) / (5,4\pi^2 E C_b) \text{ kullanılmaktadır.} \quad (\text{TS11372-2.51})$$

$$\sigma_{bem} = 203 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b < \sigma_{bem}$$

Gövde Levhasında Eğilme Gerilmesi

Kiriş gövdesinde, gövde düzleminde etkiyen eğilme momentinden dolayı σ_{bg} (MPa) basınç

gerilmesi, $\sigma = 0,6 \sigma_a$ gerilmesini, ve

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2 \quad (\text{TS11372-2.61})$$

gerilmesini aşmamalıdır.

$$\sigma_{em} = \sigma = 0.6\sigma_a$$

$$\sigma = 210 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bgem} = 235 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bg} < \sigma_{bgem}$$

Gövde Kayma Gerilmesi

Gövde zayıfsız kesit alanı üzerinde τ_o maksimum ortalama kayma gerilmesi (MPa) aşağıdaki

değerleri geçmemelidir.

$$h/t \leq 1450 / \sigma_a \text{ için,}$$

$$\tau_{oem} = [409,8 (\sigma_a)^{1/2}] / h/t \quad (\text{TS11372-2.59})$$

olmalı, fakat $\tau_{oa} = 0,4\sigma_a$ değerini geçmemelidir.

$$h/t > 1450 / (\sigma_a)^{1/2}$$

$$\tau_{oem} = 600000 / (h/t)^2 \text{ olmalıdır.} \quad (\text{TS11372-2.60})$$

Burada;

t = gövde et kalınlığı, (cm)

h = gövde düzleminde ölçülen flanşlar arasındaki temiz mesafe, (cm)

σ_a = akma sınır gerilmesi, (Mpa) dir.

$$\tau_{oem} = 38 \text{ MPa}$$

$$\tau_o < \tau_{oem}$$

Eğilme ve Kayma Gerilmesinin Birlikte Meydana Geldiği Hal

Eğilme ve kayma gerilmesinin her ikisinde maruz kalan gövde levhalarında bu gerilmeler,

$$(\sigma_{bg} / \sigma_{bgem})^2 + (\tau_o / \tau_{oem})^2 \leq 1 \quad (\text{TS11372-2.62})$$

şartını sağlamalıdır.

Burada;

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2$$

(TS11372-2.61)

τ_{oem} = müsaade edilen kayma gerilmesi değeri (ancak $0,4 \sigma_a$ burada kullanılmamalıdır).

σ_{bg} = Flanş ile gövde ara kesitinde hesaplanmış olan basınç gerilmesi (MPa)

τ_o = Hesaplanmış olan ortalama kayma gerilmesidir (MPa).

Kolon Elemanların TS11372' ye göre Tahkiki

KOLON CC2507620

Kolon geometrik değerleri

r_x (mm)	r_y (mm)	x_o (mm)	C_w	J (mm ⁴)	A (mm ²)
22	94	39	$4,7 \times 10^9$	1050	786

r_x, r_y : Kesitin asal eksenlerine göre atalet yarıçapı

x_o : x-asal eksenini doğrultusunda kesit kayma merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe

C_w : Kesitin çarpılma sabiti
EK-A)

(TS11372 –

J: Kesitin St. Venant burulma sabiti

A: Enkesit alanı

E= 50000 MPa

σ_a = 350 MPa

G= E / 2(1+ μ)

G= 19.68×10^3 MPa

A=7,86 cm²

L= 3 m

Profil başlığı net genişliği:

$b_o = b - 2(r+t)$

r= 5 mm

t= 2 mm

b_o = 0.062 m

Profil başlığı etkin genişliği:

$b_o / t \leq 0.95(E/\sigma)^{1/2}$ için $b_e = b_o$

(TS11372-

2.17)

$$0.95 (E/\sigma)^{1/2} < b_o/t < 500 \text{ için } b_e = 0.95t(E/\sigma)^{1/2} \quad (2.18)$$

$$b_e = 0.022 \text{ m}$$

$$A_e = A - [2(b_o - b_e)t]$$

$$A_e = 7 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q = A_e / A$$

$$Q = 0.89$$

Tek simetri eksenli ve simetri eksensiz açık kesite sahip olup eğilme ve burkulma etkisine maruz kalabilen basınç çubukları

Bu tür çubuklarda P/A ortalama basınç gerilmesi σ_{obem1} ve σ_{obem2} gerilmelerini aşmamalıdır.

$\sigma_{BEO} > 0.5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0.522 \sigma_a - [(\sigma_a)^2 / 7.67 \sigma_{BEO}] \quad (TS11372$$

2.4.7.1.2)

$\sigma_{BEO} \leq 0.5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0.522 \sigma_{BEO} \quad (TS11372$$

2.4.7.1.2)

Burada;

σ_{obem2} = Eksenel basınç kuvveti halinde sınır gerilme

σ_{BEO} = Eksenel basınç kuvveti halinde aşağıdaki gibi hesaplanması gereken elastik burulmalı burkulma gerilmesidir. σ_{BEO} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.2.1 tek simetri eksenli kesitler için hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$r_x = 2.2 \quad r_y = 9.4 \quad x_o = 3.9$$

$$r_o = (r_x^2 + r_y^2 + x_o^2)^{1/2} \quad (TS11372-$$

2.4.7.1.2.1)

$$r_o = 104 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 - (x_o / r_o)^2 \quad (TS11372-$$

2.4.7.1.2.1)

$$\beta = 0.86$$

(TS11372-

$$\sigma_t = 1/A r_o^2 [GJ + (\pi^2 E C_w / (KL)^2)]$$

2.4.7.1.2.1)

$$\sigma_t = 33 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ex} = \pi^2 E / (KL / r_x)^2$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

$$\sigma_{ex} = 484 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{BEO} = 1/2\beta [(\sigma_{ex} + \sigma_t) - ((\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta \sigma_{ex} \sigma_t)^{1/2}]$$

$$\sigma_{BEO} = 35 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{obem2} = 18 \text{ MPa}$$

σ_{obem1} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.1.1 çift simetri eksenli, kapalı silindirik kesitlerle eğilmeli-burkulmalı burkulmaya maruz olmadığı hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$KL/r < \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = [(12/23)Q \sigma_a] - [3(Q \sigma_a)^2 / (23\pi^2 E)](KL/r_x)^2$$

$$KL/r > \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = 12\pi^2 E / 23 (KL/r_x)^2$$

Burada;

$$\lambda_{Kr} = (2\pi^2 E / \sigma_a)^{1/2}$$

E: Elastisite modülü

K: Etkin burkulma boyu faktörü

L: Elemanın burkulmaya karşı tutulmamış boyu

r: Yerel burkulma sebebiyle azaltılmamış kesitin atalet yarıçapı

σ_a : Çelik malzemesinin akma gerilmesi

$$Q: 0,77$$

$$\lambda_{Kr} = 53$$

$$\sigma_{obem1} = 132 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o < \sigma_{obem1}$$

$$\sigma_o < \sigma_{obem2}$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

Kirişin TS11372' ye Göre Tahkiki

KIRIŞ CC2507625

Yanal burkulmaya karşı tutulmamış kiriş başlıklarında oluşabilecek en büyük basınç gerilmesi σ_b , aşağıdaki değerleri geçmemelidir.

$$15.8 \pi E C_b / \sigma_a > L^2 W_{xc} / dI_{yc} > 0,36 \pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (TS11372-2.50)$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 2/3 \sigma_a - \sigma_a^2 / (5,4 \pi^2 E C_b) (L^2 W_{xc} / dI_{yc}) \quad (TS11372-2.51)$$

öte yandan,

$$L^2 W_{xc} / dI_{yc} \geq 1,8 \pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (TS11372-2.52)$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 0,6 \pi^2 dI_{yc} / L^2 W_{xc} \text{ olarak verilir.} \quad (TS11372-2.53)$$

L = Elemanın yanal burkulmaya karşı tutulmamış boyu (cm)

I_{yc} = Kesitin basınç gerilmesi etkisindeki kısmının, kesit geometrik merkezinden geçen gövde levhasına paralel eksen etrafındaki atalet momenti (cm⁴)

W_{xc} = Tüm kesitin kuvvetli asal eksen etrafında basınç başlığına göre mukavemet momenti (cm³)

C_b = Eğilme katsayısı olup, emniyetli tarafında kalınıp bire eşit alınmaktadır.

d = kiriş yüksekliği (cm)

$$W_{xc} = 69 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \quad L = 4,5 \text{ m} \quad E = 50000 \text{ MPa} \quad C_b = 1$$

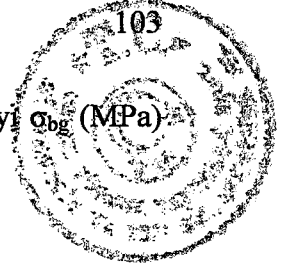
$$\sigma_a = 350 \text{ MPa}$$

$$L^2 W_{xc} / (dI_{yc}) < 1,8 \pi^2 E C_b / \sigma_a \text{ olduğundan,} \quad (TS11372-2.52)$$

$$\sigma_{bem} = 204 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b < \sigma_{bem}$$

Gövde Levhasında Eğilme Gerilmesi



Kiriş gövdesinde, gövde düzleminde etkiyen eğilme momentinden dolayı basınç

gerilmesi, $\sigma = 0,6 \sigma_a$ gerilmesini, ve

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2$$

(TS11372-2.61)

gerilmesini aşmamalıdır.

$$\sigma_{em} = \sigma = 0.6 \sigma_a$$

$$\sigma = 210 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bgem} = 368 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bg} < \sigma_{bgem}$$

Gövde Kayma Gerilmesi

Gövde zayıtsız kesit alanı üzerinde τ_o maksimum ortalama kayma gerilmesi (MPa) aşağıdaki

değerleri geçmemelidir.

$$h/t \leq 1450 / \sigma_a \text{ için,}$$

$$\tau_{oem} = [409,8 (\sigma_a)^{1/2}] / h/t$$

(TS11372-2.59)

olmalı, fakat $\tau_{oa} = 0,4 \sigma_a$ değerini geçmemelidir.

$$h/t > 1450 / (\sigma_a)^{1/2}$$

$$\tau_{oem} = 600000 / (h/t)^2 \text{ olmalıdır.}$$

(TS11372-2.60)

Burada;

t = gövde et kalınlığı, (cm)

h = gövde düzleminde ölçülen flanşlar arasındaki temiz mesafe, (cm)

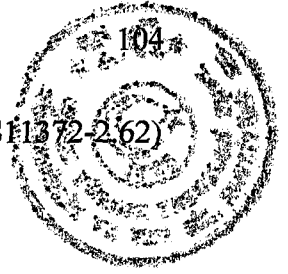
σ_a = akma sınır gerilmesi, (Mpa) dir.

$$\tau_{oem} = 60 \text{ MPa}$$

$$\tau_o < \tau_{oem}$$

Eğilme ve Kayma Gerilmesinin Birlikte Meydana Geldiği Hal

Eğilme ve kayma gerilmesinin her ikisinede maruz kalan gövde levhalarında bu gerilmeler,



$$(\sigma_{bg} / \sigma_{bgem})^2 + (\tau_o / \tau_{oem})^2 \leq 1$$

(TS11372-2.62)

şartını sağlamalıdır.

Burada;

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2$$

(TS11372-2.61)

τ_{oem} = müsaade edilen kayma gerilmesi değeri (ancak 0,4 σ_a burada kullanılmamalıdır).

σ_{bg} = Flanş ile gövde ara kesitinde hesaplanmış olan basınç gerilmesi (MPa)

τ_o = Hesaplanmış olan ortalama kayma gerilmesidir (MPa).

Kolon Elemanların TS11372' ye göre Tahkiki

KOLON CC2507625

Kolon geometrik değerleri

r_x (mm)	r_y (mm)	x_o (mm)	C_w	J (mm ⁴)	A (mm ²)
22	94	39	$5,9 \times 10^9$	2040	979

r_x, r_y : Kesitin asal eksenlerine göre atalet yarıçapı

x_o : x-asal eksenini doğrultusunda kesit kayma merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe

C_w : Kesitin çarpılma sabiti

(TS11372 –

EK-A)

J: Kesitin St. Venant burulma sabiti

A: Enkesit alanı

E= 50000 MPa

σ_a = 350 MPa

G= E / 2(1+ μ)

G= 19.68×10^3 MPa

A= 9,79 cm²

L= 3 m

Profil başlığı net genişliği:

$b_o = b - 2(r+t)$

$r = 5$ mm

$t = 2,5$ mm

$b_o = 0.061$ m

Profil başlığı etkin genişliği:



$$b_o / t \leq 0.95(E/\sigma)^{1/2} \text{ için } b_e = b_o$$

(TS11372-2.4.7.1)

$$0.95 (E/\sigma)^{1/2} < b_o/t < 500 \text{ için } b_e = 0.95 t(E/\sigma)^{1/2}$$

(TS11372-2.4.7.1)

$$b_e = 0.028m$$

$$A_e = A - [2(b_o - b_e)t]$$

$$A_e = 8,14 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q = A_e / A$$

$$Q = 0,83$$

Tek simetri eksenli ve simetri eksensiz açık kesite sahip olup eğilme ve burkulma etkisine maruz kalabilen basınç çubukları

Bu tür çubuklarda P/A ortalama basınç gerilmesi σ_{obem1} ve σ_{obem2} gerilmelerini aşmamalıdır.

$$\sigma_{BEO} > 0,5 \sigma_a \text{ için:}$$

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_a - [(\sigma_a)^2 / 7,67 \sigma_{BEO}]$$

(TS11372

2.4.7.1.2)

$$\sigma_{BEO} \leq 0,5 \sigma_a \text{ için:}$$

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_{BEO}$$

(TS11372

2.4.7.1.2)

Burada;

σ_{obem2} = Eksenel basınç kuvveti halinde sınır gerilme

σ_{BEO} = Eksenel basınç kuvveti halinde aşağıdaki gibi hesaplanması gereken elastik burulmalı burkulma gerilmesidir. σ_{BEO} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.2.1 tek simetri eksenli kesitler için hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$r_x = 2,2 \quad r_y = 9,4 \quad x_o = 3.9$$

$$r_o = (r_x^2 + r_y^2 + x_o^2)^{1/2}$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

$$r_o = 104 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 - (x_o / r_o)^2$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

$$\beta=0.86$$

$$\sigma_t = 1/Ar_o^2 [GJ + (\Pi^2 EC_w / (KL)^2)]$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

$$\sigma_t=278 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ex} = \Pi^2 E / (KL / r_x)^2$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

$$\sigma_{ex}=484 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{BEO} = 1/2\beta [(\sigma_{ex} + \sigma_t) - ((\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta \sigma_{ex} \sigma_t)^{1/2}]$$

$$\sigma_{BEO}=243 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{obem2}=116 \text{ MPa}$$

σ_{obem1} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.1.1 çift simetri eksenli, kapalı silindirik kesitlerle eğilmeli-burkulmalı burkulmaya maruz olmadığı hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$KL/r < \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = [(12/23)Q \sigma_a] - [3(Q \sigma_a)^2 / (23\pi^2 E)](KL/r_x)^2$$

$$KL/r > \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = 12\pi^2 E / 23 (KL/r_x)^2$$

Burada;

$$\lambda_{Kr} = (2\pi^2 E / \sigma_a)^{1/2}$$

E: Elastisite modülü

K: Etkin burkulma boyu faktörü

L: Elemanın burkulmaya karşı tutulmamış boyu

r: Yerel burkulma sebebiyle azaltılmamış kesitin atalet yarıçapı

σ_a : Çelik malzemesinin akma gerilmesi

$$Q: 0,83$$

$$\lambda_{Kr}=53$$

$$\sigma_{obem1}=132 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o < \sigma_{obem1}$$

$$\sigma_o < \sigma_{obem2}$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

Kirişin TS11372' ye Göre Tahkiki

KIRIŞ CC2737615

Yanal burkulmaya karşı tutulmamış kiriş başlıklarında oluşabilecek en büyük basınç gerilmesi σ_b , aşağıdaki değerleri geçmemelidir.

$$16.8 \pi E C_b / \sigma_a > L^2 W_{xc}/dI_{yc} > 0,36\pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (\text{TS11372-2.50})$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem}=2/3 \sigma_a - \sigma_a^2 / (5,4\pi^2 E C_b) (L^2 W_{xc}/dI_{yc}) \quad (\text{TS11372-2.51})$$

öte yandan,

$$L^2 W_{xc}/dI_{yc} \geq 1,8\pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (\text{TS11372-2.52})$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem}= 0,6 \pi^2 dI_{yc} / L^2 W_{xc} \text{ olarak verilir.} \quad (\text{TS11372-2.53})$$

L = Elemanın yanal burkulmaya karşı tutulmamış boyu (cm)

I_{yc} = Kesitin basınç gerilmesi etkisindeki kısmının, kesit geometrik merkezinden geçen gövde levhasına paralel eksen etrafındaki atalet momenti (cm⁴)

W_{xc} = Tüm kesitin kuvvetli asal eksen etrafında basınç başlığına göre mukavemet momenti (cm³)

C_b = Eğilme katsayısı olup, emniyetli tarafında kalınp bire eşit alınmaktadır.

d = kiriş yüksekliği (cm)

$$W_{xc}=47,76 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \quad L=4,5\text{m} \quad E=50000\text{MPa} \quad C_b=1$$

$$\sigma_a=350 \text{ MPa}$$

$$L^2 W_{xc}/(dI_{yc}) < 1.8 \pi^2 E C_b / \sigma_a \text{ olduğundan,} \quad (\text{TS11372-2.50})$$

$$\sigma_{bem}=2/3 \sigma_a - \sigma_a^2 (L^2 W_{xc}/dI_{yc}) / (5,4\pi^2 E C_b) \text{ kullanılmaktadır.} \quad (\text{TS11372-2.51})$$

$$\sigma_{bem}=208 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b < \sigma_{bem}$$

Gövde Levhasında Eğilme Gerilmesi

Kiriş gövdesinde, gövde düzleminde etkiyen eğilme momentinden dolayı σ_{bg} (MPa) basınç

gerilmesi, $\sigma = 0,6 \sigma_a$ gerilmesini, ve

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2 \quad (TS11372-2.61)$$

gerilmesini aşmamalıdır.

$$\sigma_{em} = \sigma = 0.6 \sigma_a$$

$$\sigma = 210 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bgem} = 111 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bg} < \sigma_{bgem}$$

Gövde Kayma Gerilmesi

Gövde zayıatsız kesit alanı üzerinde τ_o maksimum ortalama kayma gerilmesi (MPa) aşağıdaki

değerleri geçmemelidir.

$$h/t \leq 1450 / \sigma_a \text{ için,}$$

$$\tau_{oem} = [409,8 (\sigma_a)^{1/2}] / h/t \quad (TS11372-2.59)$$

olmalı, fakat $\tau_{oa} = 0,4 \sigma_a$ değerini geçmemelidir.

$$h/t > 1450 / (\sigma_a)^{1/2}$$

$$\tau_{oem} = 600000 / (h/t)^2 \text{ olmalıdır.} \quad (TS11372-2.60)$$

Burada;

t = gövde et kalınlığı, (cm)

h = gövde düzleminde ölçülen flanşlar arasındaki temiz mesafe, (cm)

σ_a = akma sınır gerilmesi, (Mpa) dir.

$$\tau_{oem} = 18 \text{ MPa}$$

$$\tau_o < \tau_{oem}$$

Eğilme ve Kayma Gerilmesinin Birlikte Meydana Geldiği Hal

Eğilme ve kayma gerilmesinin her ikisinde maruz kalan gövde levhalarında bu gerilmeler,

$$(\sigma_{bg} / \sigma_{bgem})^2 + (\tau_o / \tau_{oem})^2 \leq 1 \quad (TS11372-2.62)$$

şartını sağlamalıdır.

Burada;

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2 \quad (TS11372-2.61)$$

τ_{oem} = müsaade edilen kayma gerilmesi değeri (ancak $0,4\sigma_a$ burada kullanılmamalıdır).

σ_{bg} = Flanş ile gövde ara kesitinde hesaplanmış olan basınç gerilmesi (MPa)

τ_o = Hesaplanmış olan ortalama kayma gerilmesidir (MPa).

Kolon Elemanların TS11372' ye göre Tahkiki

KOLON CC2737615

Kolon geometrik değerleri

r_x (mm)	r_y (mm)	x_o (mm)	C_w	J (mm ⁴)	A (mm ²)
22	102	37	$4,5 \times 10^9$	470	626

r_x, r_y : Kesitin asal eksenlerine göre atalet yarıçapı

x_o : x-asal eksenini doğrultusunda kesit kayma merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe

C_w : Kesitin çarpılma sabiti
EK-A)

(TS11372 –

J: Kesitin St. Venant burulma sabiti

A: Enkesit alanı

E= 50000 MPa

σ_a = 350 MPa

G= E / 2(1+ μ)

G= 19.68×10^3 MPa

$$A = 6,26 \text{ cm}^2 \quad L = 3 \text{ m}$$

Profil başlığı net genişliği:

$$b_o = b - 2(r+t) \quad r = 5 \text{ mm} \quad t = 1.5 \text{ mm}$$

$$b_o = 0.063 \text{ m}$$

Profil başlığı etkin genişliği:

$$b_o / t \leq 0.95(E/\sigma)^{1/2} \text{ için } b_e = b_o \quad (\text{TS11372-2.17})$$

$$0.95 (E/\sigma)^{1/2} < b_o/t < 500 \text{ için } b_e = 0.95t(E/\sigma)^{1/2} \quad (\text{TS11372-2.18})$$

$$b_e = 0.017 \text{ m}$$

$$A_e = A - [2(b_o - b_e)t]$$

$$A_e = 5,57 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q = A_e / A$$

$$Q = 0,89$$

Tek simetri eksenli ve simetri eksensiz açık kesite sahip olup eğilme ve burkulma etkisine maruz kalabilen basınç çubukları

Bu tür çubuklarda P/A ortalama basınç gerilmesi σ_{obem1} ve σ_{obem2} gerilmelerini aşmamalıdır.

$$\sigma_{BEO} > 0,5 \sigma_a \text{ için:}$$

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_a - [(\sigma_a)^2 / 7,67 \sigma_{BEO}] \quad (\text{TS11372 2.4.7.1.2})$$

$$\sigma_{BEO} \leq 0,5 \sigma_a \text{ için:}$$

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_{BEO} \quad (\text{TS11372 2.4.7.1.2})$$

Burada;

$$\sigma_{obem2} = \text{Eksenel basınç kuvveti halinde sınır gerilme}$$

σ_{BEO} = Eksenel basınç kuvveti halinde aşağıdaki gibi hesaplanması gereken elastik burulmalı burkulma gerilmesidir. σ_{BEO} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.2.1 tek simetri eksenli kesitler için hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$r_x = 2,2 \quad r_y = 10,2 \quad x_o = 37$$

$$r_o = (r_x^2 + r_y^2 + x_o^2)^{1/2}$$

$$2.4.7.1.2.1)$$

$$r_o = 38 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 - (x_o / r_o)^2$$

$$2.4.7.1.2.1)$$

$$\beta = 0.77$$

$$\sigma_t = 1 / A r_o^2 [GJ + (\Pi^2 E C_w / (KL)^2)]$$

$$2.4.7.1.2.1)$$

$$\sigma_t = 33,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ex} = \Pi^2 E / (KL / r_x)^2$$

$$2.4.7.1.2.1)$$

$$\sigma_{ex} = 190 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{BEO} = 1/2\beta [(\sigma_{ex} + \sigma_t) - ((\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta \sigma_{ex} \sigma_t)^{1/2}]$$

$$\sigma_{BEO} = 13 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{obem2} = 7 \text{ MPa}$$

σ_{obem1} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.1.1 çift simetri eksenli, kapalı silindirik kesitlerle eğilmeli-burkulmalı burkulmaya maruz olmadığı hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$KL/r < \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = [(12/23)Q \sigma_a] - [3(Q \sigma_a)^2 / (23\pi^2 E)](KL/r_x)^2$$

$$KL/r > \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = 12\pi^2 E / 23 (KL/r_x)^2$$

Burada;

$$\lambda_{Kr} = (2\pi^2 E / \sigma_a)^{1/2}$$

E: Elastisite modülü

K: Etkin burkulma boyu faktörü

(TS11372-

(TS11372-

(TS11372-

(TS11372-

L: Elemanın burkulmaya karşı tutulmamış boyu

r: Yerel burkulma sebebiyle azaltılmamış kesitin atalet yarıçapı

σ_a : Çelik malzemesinin akma gerilmesi

Q:0,77

$\lambda_{Kr}=53$

$\sigma_{obem1}=94$ MPa

$\sigma_o < \sigma_{obem1}$

$\sigma_o < \sigma_{obem2}$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

Kirişin TS11372' ye Göre Tahkiki

KİRİŞ CC2747620

Yanal burkulmaya karşı tutulmamış kiriş başlıklarında oluşabilecek en büyük basınç gerilmesi σ_b , aşağıdaki değerleri geçmemelidir.

$$17.8 \pi E C_b / \sigma_a > L^2 W_{xc} / d I_{yc} > 0,36 \pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (TS11372-2.50)$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 2/3 \sigma_a - \sigma_a^2 / (5,4 \pi^2 E C_b) (L^2 W_{xc} / d I_{yc}) \quad (TS11372-2.51)$$

öte yandan,

$$L^2 W_{xc} / d I_{yc} \geq 1,8 \pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (TS11372-2.52)$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 0,6 \pi^2 d I_{yc} / L^2 W_{xc} \text{ olarak verilir.} \quad (TS11372-2.53)$$

L = Elemanın yanal burkulmaya karşı tutulmamış boyu (cm)

I_{yc} = Kesitin basınç gerilmesi etkisindeki kısmının, kesit geometrik merkezinden geçen gövde levhasına paralel eksen etrafındaki atalet momenti (cm⁴)

W_{xc} = Tüm kesitin kuvvetli asal eksen etrafında basınç başlığına göre mukavemet momenti (cm³)

C_b = Eğilme katsayısı olup, emniyetli tarafında kalınıp bire eşit alınmaktadır.

d = kiriş yüksekliği (cm)

$$W_{xc} = 63 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$L = 4,5 \text{ m}$$

$$E = 50000 \text{ MPa}$$

$$C_b = 1$$

$$\sigma_a = 350 \text{ MPa}$$

$L^2 W_{xc} / (d I_{yc}) < 1.8 \pi^2 E c_b / \sigma_a$ olduğundan,

(TS11372-2.52)

$$\sigma_{bem} = 208 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b < \sigma_{bem}$$

Gövde Levhasında Eğilme Gerilmesi

Kiriş gövdesinde, gövde düzleminde etkiyen eğilme momentinden dolayı σ_{bg} (MPa) basınç

gerilmesi, $\sigma = 0,6 \sigma_a$ gerilmesini, ve

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2$$

(TS11372-2.61)

gerilmesini aşmamalıdır.

$$\sigma_{em} = \sigma = 0.6 \sigma_a$$

$$\sigma = 210 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bgem} = 196 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bg} < \sigma_{bgem}$$

Gövde Kayma Gerilmesi

Gövde zayıfsız kesit alanı üzerinde τ_o maksimum ortalama kayma gerilmesi (MPa) aşağıdaki

değerleri geçmemelidir.

$$h/t \leq 1450 / \sigma_a \text{ için,}$$

$$\tau_{oem} = [409,8 (\sigma_a)^{1/2}] / h/t$$

(TS11372-2.59)

olmalı, fakat $\tau_{oa} = 0,4 \sigma_a$ değerini geçmemelidir.

$$h/t > 1450 / (\sigma_a)^{1/2}$$

$$\tau_{oem} = 600000 / (h/t)^2 \text{ olmalıdır.}$$

(TS11372-2.60)

Burada;

t = gövde et kalınlığı, (cm)

h = gövde düzleminde ölçülen flanşlar arasındaki temiz mesafe, (cm)

σ_a = akma sınır gerilmesi, (Mpa) dir.

$$\tau_{oem}=32 \text{ MPa}$$

$$\tau_o < \tau_{oem}$$

Eğilme ve Kayma Gerilmesinin Birlikte Meydana Geldiği Hal

Eğilme ve kayma gerilmesinin her ikisinde maruz kalan gövde levhalarında bu gerilmeler,

$$(\sigma_{bg} / \sigma_{bgem})^2 + (\tau_o / \tau_{oem})^2 \leq 1 \quad (\text{TS11372-2.62})$$

şartını sağlamalıdır.

Burada;

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2 \quad (\text{TS11372-2.61})$$

τ_{oem} = müsaade edilen kayma gerilmesi değeri (ancak $0,4\sigma_a$ burada kullanılmamalıdır).

σ_{bg} = Flanş ile gövde ara kesitinde hesaplanmış olan basınç gerilmesi (MPa)

τ_o = Hesaplanmış olan ortalama kayma gerilmesidir (MPa).

Kolon Elemanların TS11372' ye göre Tahkiki

KOLON CC2747620

Kolon geometrik değerleri

r_x (mm)	r_y (mm)	x_o (mm)	C_w	J (mm ⁴)	A (mm ²)
22	102	37	$2,9 \times 10^9$	1110	834

r_x, r_y : Kesitin asal eksenlerine göre atalet yarıçapı

x_o : x-asal eksenini doğrultusunda kesit kayma merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe

C_w : Kesitin çarpılma sabiti
A)

(TS11372 –EK-

J: Kesitin St. Venant burulma sabiti

A: Enkesit alanı

$$E = 50000 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = 350 \text{ MPa}$$

$$G = E / 2(1+\mu)$$

$$G = 19.68 \times 10^3 \text{ MPa}$$

$$A = 8,34 \text{ cm}^2 \quad L = 3 \text{ m}$$

Profil başlığı net genişliği:

$$b_o = b - 2(r+t) \quad r = 5 \text{ mm} \quad t = 2 \text{ mm}$$

$$b_o = 0.062 \text{ m}$$

Profil başlığı etkin genişliği:

$$b_o / t \leq 0.95(E/\sigma)^{1/2} \text{ için } b_e = b_o \quad (\text{TS11372-2.17})$$

$$0.95 (E/\sigma)^{1/2} < b_o/t < 500 \text{ için } b_e = 0.95 t(E/\sigma)^{1/2} \quad (\text{TS11372-2.18})$$

$$b_e = 0.023 \text{ m}$$

$$A_e = A - [2(b_o - b_e)t]$$

$$A_e = 6,78 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q = A_e / A$$

$$Q = 0,81$$

Tek simetri eksenli ve simetri eksensiz açık kesite sahip olup eğilme ve burkulma etkisine maruz kalabilen basınç çubukları

Bu tür çubuklarda P/A ortalama basınç gerilmesi σ_{obem1} ve σ_{obem2} gerilmelerini aşmamalıdır.

$\sigma_{BEO} > 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_a - [(\sigma_a)^2 / 7,67 \sigma_{BEO}] \quad (\text{TS11372-2.4.7.1.2})$$

$\sigma_{BEO} \leq 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_{BEO} \quad (\text{TS11372-2.4.7.1.2})$$

Burada;

$$\sigma_{obem2} = \text{Eksenel basınç kuvveti halinde sınır gerilme}$$

σ_{BEO} = Eksenel basınç kuvveti halinde aşağıdaki gibi hesaplanması gereken elastik burulmalı burkulma gerilmesidir. σ_{BEO} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.2.1 tek simetri eksenli kesitler için hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$r_x = 2,2 \quad r_y = 10,2 \quad x_0 = 3.7$$

$$r_o = (r_x^2 + r_y^2 + x_0^2)^{1/2} \quad (TS11372-2.4.7.1.2.1)$$

$$r_o = 110 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 - (x_0 / r_o)^2 \quad (TS11372-2.4.7.1.2.1)$$

$$\beta = 0.89$$

$$\sigma_t = 1/A r_o^2 [GJ + (\Pi^2 E C_w / (KL)^2)] \quad (TS11372-2.4.7.1.2.1)$$

$$\sigma_t = 18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ex} = \Pi^2 E / (KL / r_x)^2 \quad (TS11372-2.4.7.1.2.1)$$

$$\sigma_{ex} = 569 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{BEO} = 1/2\beta [(\sigma_{ex} + \sigma_t) - ((\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta \sigma_{ex} \sigma_t)^{1/2}]$$

$$\sigma_{BEO} = 28,6 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{obem2} = 15 \text{ MPa}$$

σ_{obem1} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.1.1 çift simetri eksenli, kapalı silindirik kesitlerle eğilmeli-burkulmalı burkulmaya maruz olmadığı hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$KL/r < \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = [(12/23)Q \sigma_a] - [3(Q \sigma_a)^2 / (23\pi^2 E)](KL/r_x)^2$$

$$KL/r > \lambda_{Kr} / Q^{1/2} \text{ ise;}$$

$$\sigma_{obem1} = 12\Pi^2 E / 23 (KL/r_x)^2$$

Burada;



$$\lambda_{Kr} = (2\pi^2 E / \sigma_a)^{1/2}$$

E: Elastisite modülü

K: Etkin burkulma boyu faktörü

L: Elemanın burkulmaya karşı tutulmamış boyu

r: Yerel burkulma sebebiyle azaltılmamış kesitin atalet yarıçapı

σ_a : Çelik malzemesinin akma gerilmesi

Q: 0,89

$\lambda_{Kr}=53$

$\sigma_{obem1}=140$ MPa

$\sigma_o < \sigma_{obem1}$

$\sigma_o < \sigma_{obem2}$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

Kirişin TS11372' ye Göre Tahkiki

KİRİŞ CC2757625

Yanal burkulmaya karşı tutulmamış kiriş başlıklarında oluşabilecek en büyük basınç gerilmesi σ_b , aşağıdaki değerleri geçmemelidir.

$$18.8 \pi E C_b / \sigma_a > L^2 W_{xc} / dI_{yc} > 0,36 \pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (\text{TS11372-2.50})$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 2/3 \sigma_a - \sigma_a^2 / (5,4 \pi^2 E C_b) (L^2 W_{xc} / dI_{yc}) \quad (\text{TS11372-2.51})$$

öte yandan,

$$L^2 W_{xc} / dI_{yc} \geq 1,8 \pi^2 E C_b / \sigma_a \quad (\text{TS11372-2.52})$$

olması halinde sınır gerilme,

$$\sigma_{bem} = 0,6 \pi^2 dI_{yc} / L^2 W_{xc} \text{ olarak verilir.} \quad (\text{TS11372-2.53})$$

L = Elemanın yanal burkulmaya karşı tutulmamış boyu (cm)

I_{yc} = Kesitin basınç gerilmesi etkisindeki kısmının, kesit geometrik merkezinden geçen gövde levhasına paralel eksen etrafındaki atalet momenti (cm⁴)

W_{xc} = Tüm kesitin kuvvetli asal eksen etrafında basınç başlığına göre mukavemet momenti (cm³)



C_b = Eğilme katsayısı olup, emniyetli tarafında kalınıp bire eşit alınmaktadır.

d = kiriş yüksekliği (cm)

$$W_{xc} = 79 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$L = 4,5 \text{ m}$$

$$E = 50000 \text{ MPa}$$

$$C_b = 1$$

$$\sigma_a = 350 \text{ MPa}$$

$$L^2 W_{xc} / (d I_{yc}) < 1.8 \pi^2 E C_b / \sigma_a \text{ olduğundan,}$$
$$2.52)$$

(TS11372-

$$\sigma_{bem} = 209 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b < \sigma_{bem}$$

Gövde Levhasında Eğilme Gerilmesi

Kiriş gövdesinde, gövde düzleminde etkiyen eğilme momentinden dolayı σ_{bg} (MPa) basınç

gerilmesi, $\sigma = 0,6 \sigma_a$ gerilmesini, ve

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2$$
$$2.61)$$

(TS11372-

gerilmesini aşmamalıdır.

$$\sigma_{cm} = \sigma = 0.6 \sigma_a$$

$$\sigma = 210 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bgem} = 304 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bg} < \sigma_{bgem}$$

Gövde Kayma Gerilmesi

Gövde zayıtsız kesit alanı üzerinde τ_o maksimum ortalama kayma gerilmesi (MPa) aşağıdaki

değerleri geçmemelidir.

$$h/t \leq 1450 / \sigma_a \text{ için,}$$

$$\tau_{oem} = [409,8 (\sigma_a)^{1/2}] / h/t$$
$$2.59)$$

(TS11372-

olmalı, fakat $\tau_{oa} = 0,4 \sigma_a$ değerini geçmemelidir.

$$h/t > 1450 / (\sigma_a)^{1/2}$$

$$\tau_{oem} = 600000 / (h/t)^2 \text{ olmalıdır.}$$

(TS11372-

2.60)

Burada;

t = gövde et kalınlığı,(cm)

h = gövde düzleminde ölçülen flanşlar arasındaki temiz mesafe, (cm)

 σ_a = akma sınır gerilmesi,(Mpa) dir.

$$\tau_{oem}=50 \text{ MPa}$$

$$\tau_o < \tau_{oem}$$

Eğilme ve Kayma Gerilmesinin Birlikte Meydana Geldiği Hal

Eğilme ve kayma gerilmesinin her ikisinde maruz kalan gövde levhalarında bu gerilmeler,

$$(\sigma_{bg} / \sigma_{bgem})^2 + (\tau_o / \tau_{oem})^2 \leq 1$$

(TS11372-

2.62)

şartını sağlamalıdır.

Burada;

$$\sigma_{bgem} = 3684200 / (h/t)^2$$

(TS11372-

2.61)

τ_{oem} = müsaade edilen kayma gerilmesi değeri (ancak $0,4\sigma_a$ burada kullanılmamalıdır).

σ_{bg} = Flanş ile gövde ara kesitinde hesaplanmış olan basınç gerilmesi (MPa)

τ_o = Hesaplanmış olan ortalama kayma gerilmesidir (MPa).

Kolon Elemanların TS11372' ye göre Tahkiki

KOLON CC2757625

Kolon geometrik değerleri

r_x (mm)	r_y (mm)	x_o (mm)	C_w	J (mm ⁴)	A (mm ²)
22	102	38	$7,3 \times 10^9$	2170	1040

r_x, r_y : Kesitin asal eksenlerine göre atalet yarıçapı

x_o : x-asal eksen doğrultusunda kesit kayma merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe

C_w : Kesitin çarpılma sabiti

(TS11372

–EK-A)

J : Kesitin St. Venant burulma sabiti

A : Enkesit alanı

$E = 50000 \text{ MPa}$

$\sigma_a = 350 \text{ MPa}$

$G = E / 2(1+\mu)$

$G = 19.68 \times 10^3 \text{ MPa}$

$A = 10,4 \text{ cm}^2$

$L = 3 \text{ m}$

Profil başlığı net genişliği:

$b_o = b - 2(r+t) \quad r = 5 \text{ mm} \quad t = 2,5 \text{ mm}$

$b_o = 0.061 \text{ m}$

Profil başlığı etkin genişliği:

$b_o / t \leq 0.95(E/\sigma)^{1/2}$ için $b_e = b_o$

(TS11372-

2.17)

$0.95 (E/\sigma)^{1/2} < b_o/t < 500$ için $b_e = 0.95t (E/\sigma)^{1/2}$

(TS11372-

2.18)

$b_e = 0.028 \text{ m}$

$A_e = A - [2(b_o - b_e)t]$

$A_e = 8,75 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$Q = A_e / A$

$Q = 0,84$

Tek simetri eksenli ve simetri eksensiz açık kesite sahip olup eğilme ve burkulma etkisine maruz kalabilen basınç çubukları

Bu tür çubuklarda P/A ortalama basınç gerilmesi σ_{obem1} ve σ_{obem2} gerilmelerini aşmamalıdır.

$\sigma_{BEO} > 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_a - [(\sigma_a)^2 / 7,67 \sigma_{BEO}]$$

(TS11372

2.4.7.1.2)

$\sigma_{BEO} \leq 0,5 \sigma_a$ için:

$$\sigma_{obem2} = 0,522 \sigma_{BEO}$$

(TS11372

2.4.7.1.2)

Burada;

σ_{obem2} = Eksenel basınç kuvveti halinde sınır gerilme

σ_{BEO} = Eksenel basınç kuvveti halinde aşağıdaki gibi hesaplanması gereken elastik burulmalı burkulma gerilmesidir. σ_{BEO} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.2.1 tek simetri eksenli kesitler için hesap kurallarından belirlenmektedir.

$$r_x = 2,2 \quad r_y = 10,2 \quad x_0 = 3,8$$

$$r_0 = (r_x^2 + r_y^2 + x_0^2)^{1/2}$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

$$r_0 = 111 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 - (x_0 / r_0)^2$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

$$\beta = 0,89$$

$$\sigma_t = 1 / A r_0^2 [GJ + (\Pi^2 E C_w / (KL)^2)]$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

$$\sigma_t = 314 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ex} = \Pi^2 E / (KL / r_x)^2$$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

$$\sigma_{ex} = 58 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{BEO} = 1/2\beta [(\sigma_{ex} + \sigma_t) - ((\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta \sigma_{ex} \sigma_t)^{1/2}]$$

$$\sigma_{BEO} = 57 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{obem2} = 30 \text{ MPa}$$

σ_{obem1} TS11372 Bölüm 2.4.7.1.1.1 çift simetri eksenli, kapalı silindirik kesitlerle eğilmeli-burkulmalı burkulmaya maruz olmadığı hesap kurallarından belirlenmektedir.

$KL/r < \lambda_{Kr} / Q^{1/2}$ ise;

$$\sigma_{obem1} = [(12/23)Q \sigma_a] - [3(Q \sigma_a)^2 / (23\pi^2 E)] (KL/r_x)^2$$

$KL/r > \lambda_{Kr} / Q^{1/2}$ ise;

$$\sigma_{obem1} = 12\pi^2 E / 23 (KL/r_x)^2$$

Burada;

$$\lambda_{Kr} = (2\pi^2 E / \sigma_a)^{1/2}$$

E: Elastisite modülü

K: Etkin burkulma boyu faktörü

L: Elemanın burkulmaya karşı tutulmamış boyu

r: Yerel burkulma sebebiyle azaltılmamış kesitin atalet yarıçapı

σ_a : Çelik malzemesinin akma gerilmesi

Q: 0,89

$\lambda_{Kr}=53$

$\sigma_{obem1}=138$ MPa

$\sigma_o < \sigma_{obem1}$

$\sigma_o < \sigma_{obem2}$

(TS11372-

2.4.7.1.2.1)

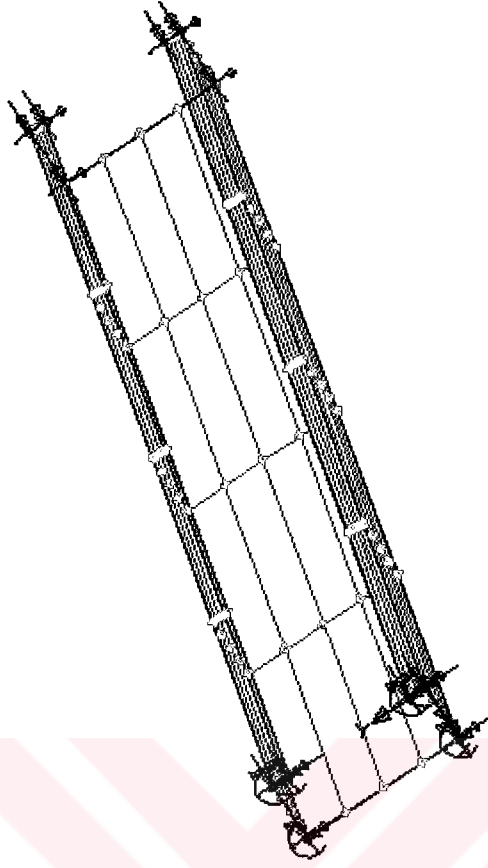
4. BİLGİSAYAR ORTAMINDA TEST ANALİZLERİ

Sanal ortamdaki test çalışmasında, laboratuvar deneyleriyle hesaplanmış CTP malzemesinin malzeme parametreleri ve en olumlu sonuçla tasarlanan çelik takviyeli CTP kolon ve kiriş elemanları, sonlu elemanlar yazılımı olan LUSAS (London University Stress Analysis System) 13.5'te modellenerek düşey yükler altında statik analizleri yapılmaktadır. Doğrusal olmayan bir yöntemle, düşey yükler altında kolon ve kirişlerdeki düşey deplasman, basınç, kayma ve eğilme gerilmelerin tahmini amaçlanmaktadır.

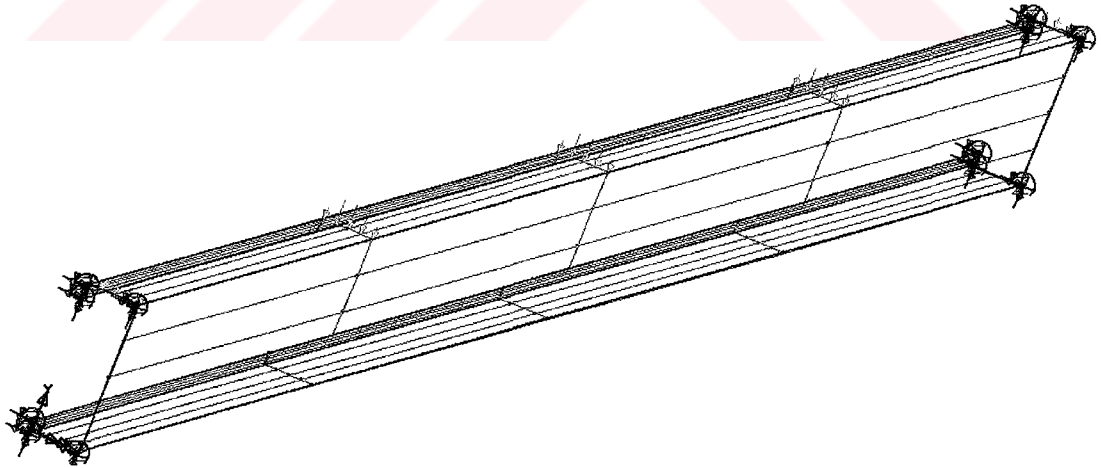
4.1. Test Düzeneği Kabulleri

Lusas 13,5 sonlu elemanlar yazılımında yapı elemanını modelleme ve analizinde kullanılmak üzere kuvvet için Newton (N), kütle için kilogram (kg), uzunluk için metre (m) birimleri kullanılmaktadır.

Tez çalışmasında seçilen profiller, hafif çelik üretimi yapan Akşan şirketinin profil tablosundan alınmaktadır. Şekil 4.3'te gösterilen U ve C profil kesitlerine göre 18 adet kolon ve kiriş modeli oluşturulmaktadır. Kolon ve kirişi oluşturan tüm köşe noktaları Tablo 4.3'te gösterilen profil boyutları esas alınarak yerleştirilmektedir. Bu noktalar, elemanlar oluşacak şekilde çizgi ile birleştirilmekte ve yüzey eleman olarak modellenmektedir. Böylece ince cidarlı yapı elemanı olarak tasarlanmaktadır (Bkz. Şekil 4.1, 4.2). Tasarlanan kiriş ve kolon elemanın tanımlanması yapılmaktadır. CTP malzemeli profil Lusas programında Thick shell, Quadrilateral, Linear özellikler seçilmektedir. Rijitleştirici bölüntüleri ile plakalar arasındaki bölüntü koordinasyonunu sağlayacak biçimde yüzey elemanlar otomatik olarak Lusas programına göre bölünmektedir. Kolon ve kiriş elemanların bağlantı noktaları yay elemanı, Joint for beams, 3 Diresional, Lineer olarak tanımlanmaktadır. CTP profiller, 1.5cm, 2.0cm, 2.5cm olarak üç farklı geometrik plaka kalınlıkları ile oluşturulmaktadır. Elemanlara ait bir eksentrisitenin oluşmadığı öngörülmektedir.



Şekil 4.1. Yüzey elemanlar ile oluşturulan sonlu elemanlar kolon modeli.



Şekil 4.2. Yüzey elemanlar ile oluşturulan sonlu elemanlar kiriş modeli.

Oluşturulan yüzey elemanlara tanımlanan malzeme özellikleri için deney bulgularından ve literatür araştırmasında belirlenen CTP özelliklerinden

yararlanılmaktadır. Literatürde (Turvey, 1997; Sarıbiyık, 2001; Abdalla, 2002; Hashem, 2000; Keller, 2003) E tipi sürekli cam elyaf ve polyester bağlayıcı kullanılarak, profil çekme yöntemi ile üretilmekte olan yapısal CTP profillerin elastisite modülü 17.24GPa ile 42GPa arasında değişmektedir. Bulgulara dayanarak profil çekme yöntemi ile %70 oranında cam elyaf takviyeye sahip CTP profillerin elastisite modülü 35GPa olarak kabul edilmektedir. Yapılan deney sonuçları %3.5 çelik hasır takviyesi ile elastisite modülünde %40'lık artış elde edilebildiğini göstermektedir. Buradan yola çıkılarak 35GPa elastisite modülüne sahip CTP profilin %3.5 çelik hasır takviyesi ile elastisite modülünün %40 oranında artış göstererek 49GPa'a ulaşabileceği varsayımı yapılmaktadır. Yine aynı literatür çalışmalarında yapısal CTP profiller için Poisson's oranı olarak 0.23 ile 0.3 arasında değişen değerler verilmektedir. Bu çalışmada yeni CTP profiller için ortalama bir değer olan 0.27 Poisson's oranı kabul edilmektedir. Çalışmalarda E tipi sürekli cam elyaf takviyeli polyester kompozitlerin yoğunluğu ortalama olarak 2100kg/m^3 rapor edilmektedir. CTP profile kesit alanı olarak %3.5 oranında çelik hasır takviyesi yapılması hacmen %6.5 oranında çelik takviyesine karşılık gelmektedir. Böylece analiz edilen %3.5 çelik hasır takviyeli CTP kompozitin yoğunluğu 2803kg/m^3 alınmaktadır. Bu değerler Tablo 4.1'de verilmektedir.

Tablo 4.1. Analizde kullanılan CTP malzeme parametreleri

Malzeme Parametresi	CTP
Elastisite Modülü (N/m^2)	50.10^9
Birim Ağırlık (N/m^3)	$2,803.10^3$
Poisson Oranı	0,27

Kullanılan eleman tiplerine ait serbestlik dereceleri ve lusas yazılımındaki standart kod isimleri Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Kullanılan sonlu eleman tipleri ve serbestlik dereceleri

Eleman kod numarası	Kullanıldığı yer	Nodal serbestlik derecesi
BMS3 3D Engineering Thick Beam	Panel dikme ve kiriş profilleri Döşeme kiriş profilleri	U, V, W, θ_x , θ_y , θ_z
JSH4 3D Joints	Panellerin birbirleri ile olan bağlantılarını sağlayan vidalar Panellerin döşeme kirişleriyle olan bağlantısını sağlayan bulonlar	U, V, W, θ_x , θ_y , θ_z

Kiriş bağlantı noktalarındaki mesnetler, dönme ve deplasmana göre x, y, z yönlerine göre sabitlenmektedir. Kolon üst mesneti düşey yönde serbest ve diğer yönler sabit ve taban mesneti her üç yönde sabitlenmektedir.

4.2. Yükleme Esasları

Modellere uygulanacak yüklerin hesap değerleri Türk Standardı, TS498 esas alınarak oluşturulmuştur. Profillerin boyutlarına göre hesaplanan yükler Tablo 4.4'te verilmiştir. Ölü yük olarak sadece kiriş ve kolonun kendi ağırlığı alınmaktadır. Malzemenin akma gerilmesi (F_y) değeri 2277 kg/cm^2 olarak belirlenmektedir. Malzemenin emniyet gerilmesi,

$$\sigma_{em} = 0.6 F_y = 1366 \text{ kg/cm}^2$$

Kirişte oluşacak moment,

$$M_{elastik} = \sigma_{em} \cdot W$$

Tablo yardımıyla hesaplanan açısai moment,

$$W = I_x / y_{\max}$$

Kiriş birim yayılı yükü,

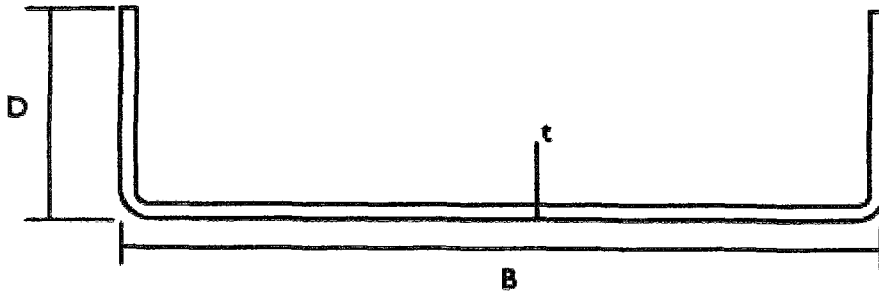
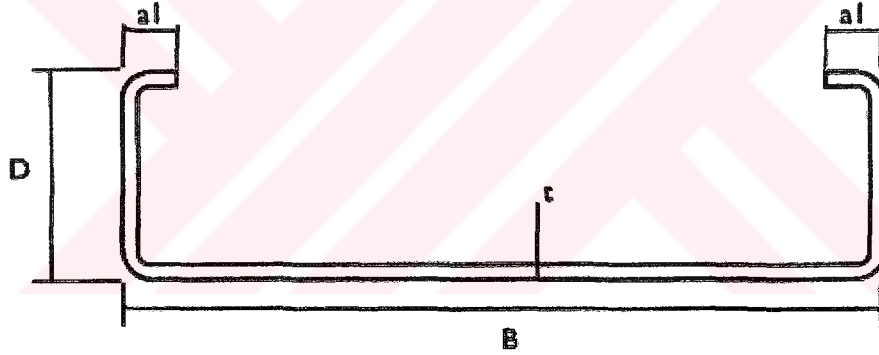
$$q = \text{Melastik.8} / L^2 \text{ olarak hesaplanmaktadır.}$$

Kolona uygulanan yük,

$$P_{em} = \pi^2 E I / L^2$$

$$\lambda = KL/r=60 \quad K=1$$

formüllerii kullanarak kolona gelen yük ve farklı kolon boyutları hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu değerler doğrusal olmayan analizde başlangıç yükü olarak veri girişi yapılmaktadır. Her bir kiriş için farklı basınç yükleri yerine 1000N değerinde bir yük kullanılmaktadır. Bu değerler Tablo 4.4 gösterilmektedir.



Şekil 4.3. C ve U profil kesitleri

4.3. Analiz Bulguları ve Yönetmelik Esasları ile Karşılaştırılması

18 adet CTP (cam takviyeli plastik) numunesi hem kiriş hemde kolon için doğrusal olmayan analiz (non-lineer) yöntemi kullanılarak analiz edilmektedir. Analizlerin sonucunda profillerin boyutlarına göre farklı yükler altında gerilme ve deplasman farklılıkları görülmektedir.

Kiriş analiz bulgularına göre, yük-kiriş orta çökmesi, yük-gövde normal gerilmesi, yük-gövde kayma gerilmesi ve yük-üst başlık gerilmesi grafiği oluşturulmaktadır. Oluşan grafiklerden elastik sınırlar belirlenerek kaydedilmektedir. Lusas programından plastikleşme anındaki yüklemenin tekrar analiz yapılmasıyla gövde normal gerilme, gövde kayma gerilme ve üst başlık gerilme kontörleri basılmıştır. Daha önceden TS11372 yönetmeliğine göre hesaplanan kayma, gövde ve üst başlık gerilmeleri, oluşturulan bu gerilme grafiklerinde gösterilmektedir.

Kolon analiz bulgularında yük-kolon kısalması ve yük-normal gerilme grafikleri oluşturularak gösterilmektedir. Kirişteki gibi elastik sınır belirlenip, kolonun plastikleşme gerilmesi ve deplasmanı bulunmaktadır. Plastikleşme yükü altında kolon tekrar analiz edilip gerilme kontörü bastırıldı. TS11372 yönetmeliğine göre gerilme değeri grafikte işaretlenmektedir. Modellemesi yapılan kolon ve kirişlerin düşey yükler altında statik analiz sonuçlarına göre düşey deplasman, gerilme grafikleri ve kontörleri Ek1 ve Ek2’de sunulmaktadır.

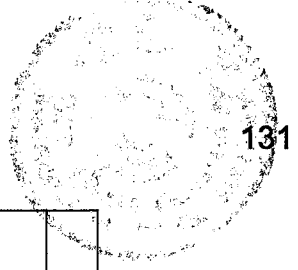
TS498 yönetmeliğinde kirişlerin plastikleşme sınırı olarak verilen maksimum deplasman sınırı $L/300$ (L =kiriş açıklığı) formülüyle $450\text{cm}/300 = 1.5\text{cm}$ olarak hesaplanmaktadır. Kiriş analiz grafiklerine göre bütün profillerin 1000N yük altında kiriş orta çökmeleri bu değerden yüksek çıkmasıyla kirişin rijitlikte olduğunu göstermektedir. TS11372 yönetmeliğine göre hesaplanan gövde normal (σ_{bgem}) ve üst başlık gerilmeleri (σ_{bem}) grafikten belirlenen elastik sınır gerilmelerine göre oldukça yüksek çıkmaktadır. Ancak, gövde kayma gerilmesi (τ_{oem}) ise elastik sınır gerilmesinden daha düşük olduğu görülmektedir.

Tablo4.3. Profil tablosu

PROFIL TIPI	t(mm)	D(mm)	B(mm)	aI(mm)	$I_x(\text{cm}^4)$	$I_y(\text{cm}^4)$	$F(\text{cm}^2)$
AK-CM1505015	15	50	150	12	11,6	128	3,87
AK-CM2007015	15	70	200	20	35,6	332	5,46
AK-CM2708015	15	80	270	25	47,7	739	6,77
AK-CM1506020	20	60	150	16	26,4	196	5,67
AK-CM2007020	20	70	200	20	46,2	437	7,23
AK-CM2708020	20	80	270	25	76,8	987	9,23
AK-CM1506025	25	60	150	16	39	254	7,48
AK-CM2007025	25	70	200	20	56,3	538	8,98
AK-CM2708025	25	80	270	25	94	1220	11,5
AK-CS1506015	15	60	150		13,7	135	3,93
AK-CS2507615	15	76	250		30,4	529	5,91
AK-CS2737615	15	76	273		31,1	652	6,26
AK-CS1506020	20	60	150		18,1	178	5,22
AK-CS2507620	20	76	250		40,1	699	7,86
AK-CS2747620	20	76	274		41	871	8,34
AK-CS1506025	25	60	150		22,3	219	6,49
AK-CS2507625	25	76	250		49,7	867	9,79
AK-CS2757625	25	76	275		50,9	1090	10,4

Tablo 4.4. Sanal deneyde profilere uygulanan yükler

PROFİL TİPİ	Kiriş için yayılı yük(N/m)	Kiriş uzunluğu(cm)	Kolon için yük(kN)	Kolon yüksekliği(cm)
AK-CM1505015	1000	450	53	345
AK-CM2007015	1000	450	74,7	467
AK-CM2708015	1000	450	92,7	626
AK-CM1506020	1000	450	77,5	352
AK-CM2007020	1000	450	99	466
AK-CM2708020	1000	450	126,3	620
AK-CM1506025	1000	450	102,4	350
AK-CM2007025	1000	450	123	464
AK-CM2708025	1000	450	157,4	618
AK-CS1506015	1000	450	53,8	351
AK-CS2507615	1000	450	81	567
AK-CS2737615	1000	450	85,7	612
AK-CS1506020	1000	450	71,4	350
AK-CS2507620	1000	450	107,6	565
AK-CS2747620	1000	450	114,2	613
AK-CS1506025	1000	450	88,8	348
AK-CS2507625	1000	450	134	564
AK-CS2757625	1000	450	142,4	614



5. SONUÇ ve ÖNERİLER

CTP kompozit malzemesinin kendi başına yapısal bir malzeme olarak kullanımı konusunda yapılan araştırmalarda, düşük elastisite modülünün etkisi ile inşaat uygulamalarında sınırlı kaldığı görülmektedir. Çelik hasır takviye önerisi getirilen CTP kompozitlerin deneysel bulguları hem elastisite modülü hem de mukavemet değerlerinde önemli artışlar elde edilebileceğini göstermektedir.

Yapısal elemanların üretiminde en çok kullanılan E tipi sürekli cam elyaf takviye ve polyester reçinenin hem mekanik değerler hem de ekonomiklik açısından en uygun malzemeler olduğu belirlenmektedir. Üretim hızı ve kompozitte en fazla elyaf takviyesinin elde edilebileceği üretim yöntemi olarakta profil çekme yönteminin amaca uygunluğu literatür araştırmasından ön plana çıkmaktadır. Tasarlanan CTP profillerin sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan doğrusal olmayan statik analiz değerleri de sistemin konut veya farklı kullanımlar için uygun olduğu ve yapılan araştırmalarla optimum değerlere ulaşılabileceğinin ön bulgularını vermektedir.

Geleneksel çelik ve betonarme sistemlere göre daha üstün tasarım kriterleri olan CTP strüktürün rekabet ettiği bu malzemelerle benzer maliyetlere sahip olacağı tahmin edilmektedir. Ancak, basit detay, az parçalı, genişleyebilir, prefabrike ve kolay inşa edilebilir esnek dış görünüş olanakları ile tezde geliştirilen sistem büyük avantajlar sunmaktadır. Ayrıca, nem, UV ışınları ve kimyasal malzemeler gibi olumsuz dış etkilere karşı daha dayanıklı olan ve hijyenik bir yaşam ortamı sağlayacak bir malzeme olan CTP'nin uzun kullanım ömrü sayesinde yapı sektöründe kullanımı potansiyel bir malzeme özelliği taşımaktadır.

Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan sanal deneylerde elde edilen sonuçlarla, TS11372 hafif çelik yönetmeliğinde hesaplanan sınır değerler farklı olduğu görülmektedir. Kirişler için hesaplama ile bulunan gövde normal gerilme ve üst başlık sınır gerilmelerin, deneyde bulunan elastik gerilmelerden yüksek olması, hafif çelik yönetmeliği hesaplamalarının CTP malzemesi için uygun olmadığı sonucu elde

edilmektedir. Yalnız elastik kayma gerilmesinin yönetmelik değerinden büyük olması bize olumlu sonuç versede tek değerli birşey ifade etmemektedir. Malzemenin elastik orta çökme değeri, normal şartlarda hesaplanan $L/300$ değerinden fazla olması malzemenin geç aktığı olumlu sonucunu göstermektedir. Kolonlardaki test analizlerinin, yönetmelik hesaplamalarından oldukça farklı olduğu eklerdeki grafiklerden görülmektedir.

Sonuç olarak, yapılan test analizleri ile oluşturulmuş hafif çelik yönetmeliğinin sonuçları istediğimiz gibi sonuçlar vermemektedir. İnce cidarlı çelik takviyeli CTP malzemesinin tasarımında, ince cidarlı çelik yapı hesap standartlarının kullanılabilirliği sonuçlara göre uygun olmamaktadır.

İnşaat uygulamalarında kullanımı uygun olacak bu malzemenin hesap yönetmeliğinin araştırılıp belirlenmesi önem arz etmektedir. Hafif çelik yönetmeliğinde yapılacak ufak değişikliklerle CTP malzemesinin tasarımında bu hesap standartları kullanılabilir.

KAYNAKLAR

1. LUSAS V.13.5, London University Stress Analysis Systems, FEA Ltd., Forge House, 66 High Street, Kingston upon Thames, Surrey, KT1 1HN, United Kingdom.
2. LUSAS Theory Manual 1, FEA Ltd., Forge House, 66 High Street, Kingston upon Thames, Surrey, KT1 1HN, United Kingdom, Version 13, 2000.
3. TS 113721 Nisan 1994 Celik Yapilar-Hafif-Sogukta Sekil Verilmis Profillerle Olusturulan Hesap Kurallari Yonetmeligi
4. TSE, Türk Standardı, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, TS498, 1997.
5. AKMAN M.S., Betonarme ve Öngerilmeli Betonda Çelik Yerine Liflerle Güçlendirilmiş Plastik Çubuk ve Toron Kullanımı, TCMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi 1. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, Kongre Bildirileri 1, 11-27, 2002.
6. ABDALLA H.A., Evaluation of Deflection in Concrete Members Reinforced with Fibre Reinforced Polymer (FRP) Bars, Composite Structures, 56, 63-71, 2002.
7. MORTAVAZI A.A., PILAKOUTAS K. and SON K.S., RC Column Strengthening by Lateral Pre-tensioning of FRP, Construction and Building Materials, 17, 491-497, 2003.
8. ARIKAN A.T., CTP Malzemesinin Yapısal Strüktürlerde Kullanılmasına Yönelik Sorunlar ve Strüktürel Davranışının İrdelenmesi, 2004.
9. SARIBIYIK M., Use of Analytical Method for Determination of Material Properties of Pultruded GRP Box Section, SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5/1, 85-88, 2001.
10. PHILIPPIDIS T.P. and VASSILOPOULOS A.P., Complex Stress State Effect on Fatigue Life of GRP Laminates Part I Experimental, International Journal of Fatigue, 24, 813-823, 2002.

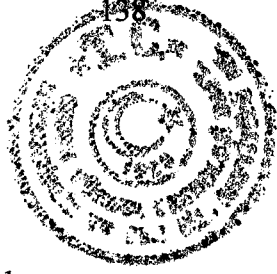


11. PHILIPPIDIS T.P. and VASSILOPOULOS A.P., Complex Stress State Effect on Fatigue Life of GRP Laminates Part II Theoretical Formulation, International Journal of Fatigue, 24, 825-830, 2002.
12. REINHART T.J. and CLEMENTS L.L., Introduction to Composites, 27-34, (Dostal C.A., COMPOSITES, Engineered Materials Handbook, Vol. 1, 8, 1989).
13. WATSON J.C. and RAGHUPATHI N., Glass Fibers, 107-111, (Dostal C.A., COMPOSITES, Engineered Materials Handbook, Vol. 1, 8, 1989).
14. BRADY, G.S. and CLAUSER, R., Materials Handbook, 12. Edition, 1979.
15. BURGOYNE C.J., Advanced Composites in Civil Engineering in Europe, Structural Engineering International, 4, 1999.
16. CASE J., CHILVER A.H., Materials and Structures, London, 1988.
17. CLIFFORD S.M., MANGER C.I.C. and CLYNE T.W., Characterisation of a Glass-fibre Reinforced Vinylester to Steel Joint for Use between a Naval GRP Superstructure and a Steel Hull, Composite Structures, 57, 59-66, 2002.
18. CORRADI M., BORRI A. and VIGNOLI A., Strengthening Techniques Tested on Masonry Structures Struck by the Umbria-Marche Earthquake of 1997-1998, Construction and Building Materials, 16, 229-239, 2002.
19. DIMANT R.A., SHERCLIFF H.R. and BEAUMONT P.W.R., Evaluation of a Damage-mechanics Approach to the Modelling of Notched Strength in KFRP and GRP Cross-ply Laminates, Composites Science and Technology, 62, 255-263, 2002.
20. HASHEM Z.A. and YUAN R.L., Experimental and Analytical Investigations on Short GFRP Composite Compression Members, Composites, Part B 31, 611-618, 2000.
21. HULATT J., HOLLAWAY L. and THORNE A., Preliminary Investigations on the Environmental Effects on New Heavyweight Fabrics for Use in Civil Engineering, Composites, Part B 33, 407-414, 2002.



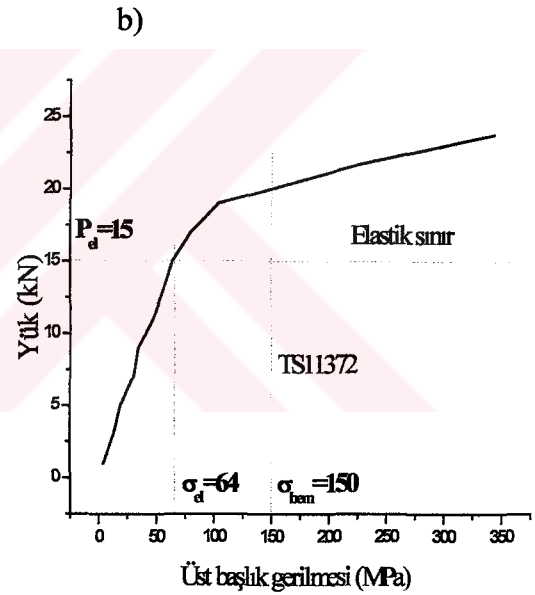
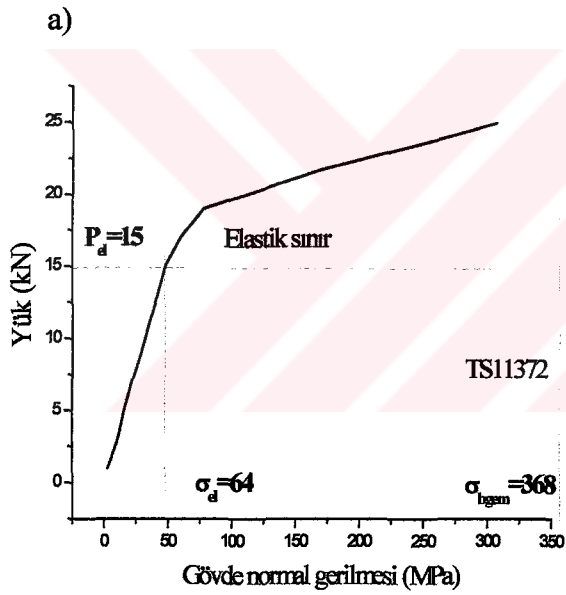
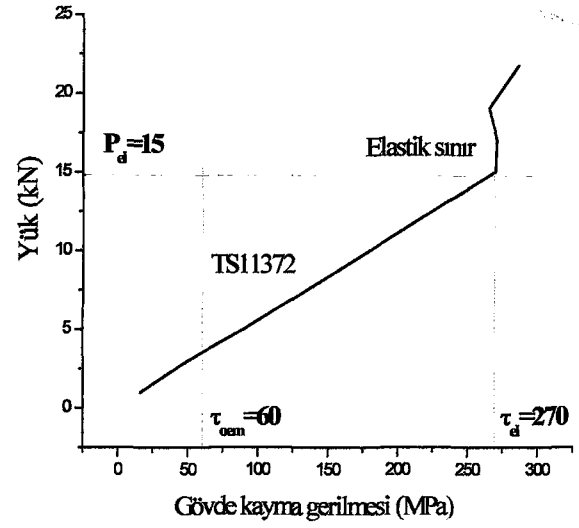
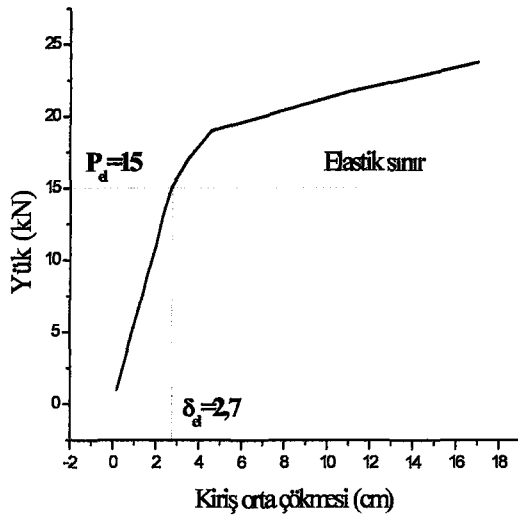
22. KELLER T. and SCHOLLMAYER M., Plate Bending Behaviour of Pultruded GFRP Bridge Deck System, Composite Structures, 2003.
23. KHAN M.Z.S. and SIMPSON G., Mechanical Properties of a Glass Reinforced Plastic Naval Composite Material under Increasing Compressive Strain Rates, Materials Letters, 45, 167-174, 2000.
24. MILLER D.M., Glass Fibers, 45-48, (Dostal C.A., COMPOSITES, Engineered Materials Handbook, Vol. 1, 8, 1989).
25. OCHOLA R.O., MARCUS K., NURICK G.N., FRANZ T., Mechanical Behaviour of Glass and Carbon Fibre Reinforced Composites at Varying Strain Rates, Composite Structures, 2003.
26. SMITH S.J., PARSONS I.D. and HJELMSTAD K.D., An Experimental Study of the Behavior of Connections for Pultruded GFRP I-beams and Rectangular Tubes, Composite Structures, 42, 281-290, 1998.
27. SMITH S.J., BANK L.C., GENTRY T.R., NUSS K.H., HURD S.H., DUICH S.J., OH B., Analysis and Testing of a Prototype Pultruded Composite Causeway Structure, Composite Structures, 49, 141-150, 2000.
28. SONG H.W. and DU X.W., Off-axis Crushing of GFRP Tubes, Composites Science and Technology, 62, 2065-2073, 2002.
29. SPAGNOLI, A., ELGHAZOULI A.Y. and CHRYSSANTHOPOULOS M.K., Numerical Simulation of Glass-reinforced Plastic Cylinders Under Axial Compression, Marine Structures, 14, 353-374, 2001.
30. TENG J.G., CAO S.Y. and LAM L., Behaviour of GFRP-strengthened RC Cantilever Slabs, Construction and Building Materials, 15, 339-349, 2001.
31. TONG J., Characteristics of Fatigue Crack Growth in GFRP Laminates, International Journal of Fatigue, 24, 291-297, 2002.
32. TURVEY, G.J., Analysis of Pultruded Glass Reinforced Plastic Beams with Semi-rigid End Connections, Composite Structures, 38(1-4), 3-16, 1997.

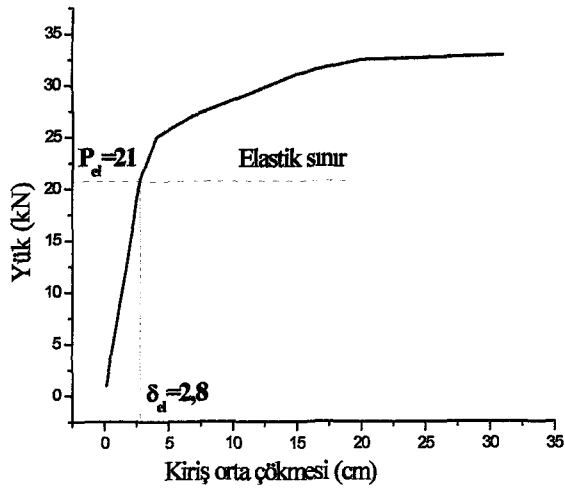
33. TURVEY, G.J. and COOPER, C., Semi-rigid Column-base Connections in Pultreded GRP Frame Structures, *Computer & Structures*, 76, 77-88, 2000.
34. VANGRIMDE B. and BOUKHILI R., Analysis of the Bearing Response Test for Polymer Matrix Composite Laminates: Bearing Stiffness Measurement and Simulation, *Composite Structures*, 56, 359-374, 2002.
35. WANG Y.C. and CHEN C.H., Analytical Study on Reinforced Concrete Beams Strengthened for Flexure and Shear with Composite Plates, *Composite Structures*, 59, 137-148, 2003.
36. WRIGHT R.E., Thermosets, Reinforced Plastics, and Composites, Chapter 2, (Harper C.A., *Modern Plastics Handbook*, 2000).
37. YAO X.F., KOLSTEIN M.H., BIJLAARD F.S.K., XU W., XU M.Q., Tensile Strength and Fracture of Glass Fiber-reinforced Plastic (GFRP) Plate with an Eccentrically Located Circular Hole, *Polymer Testing*, 22, 955-963, 2003.



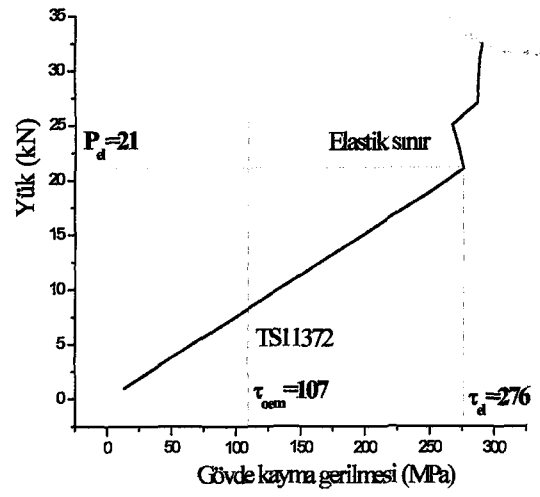
ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Eskişehir’de doğdu. 1993 yılında Atatürk Lisesi’nden mezun oldu. 1994 yılında başladığı Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fakültesi İnşaat Müh. Bölümü’nden Ocak 2000 yılında inşaat müh. ünvanı alarak mezun oldu. Ağustos 1999-Subat 2000 tarihleri arasında İzmir’de IGIT A.Ş.’de çeşitli proje ve inşaat görevlerini üstlendi. Mart 2000-Ekim 2000 tarihleri arasında Ankara’da DKY Telekom A.S.’de şantiye şefi olarak çalıştı. Kasım 2000-Temmuz 2001 tarihleri arasında askerlik görevini Adana’da MSB İnşaat Emlak’ta tamamladı. Eylül 2001 tarihinde G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Fakültesi Deprem ve Yapı Anabilim Dalı’nda yüksek lisans programına başladı. Ağustos 2001-Mart 2002 tarihleri arasında Yaşar Mühendislik’te şantiye şefi, Mart 2002-Ağustos 2002 Azim Eğitim A.Ş.’de şantiye şefi, Ağustos 2002-Ocak 2003 Ak Mimarlık’ta şantiye şefi, Mart 2003-Ocak 2004 tarihleri arasında Yapı Teknik’te şantiye şefi olarak çalıştı. Halen inşaat mühendisliği çalışmalarını serbest olarak devam ettirmektedir.

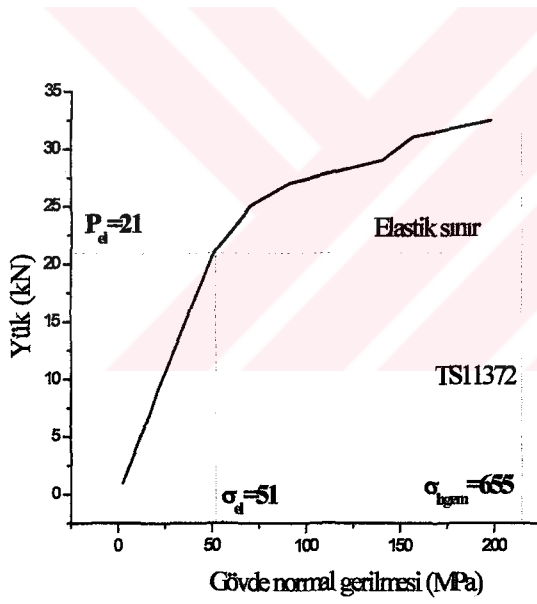




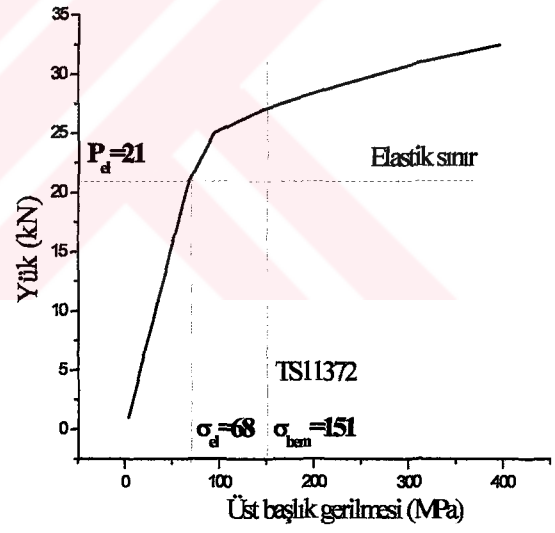
a)



b)

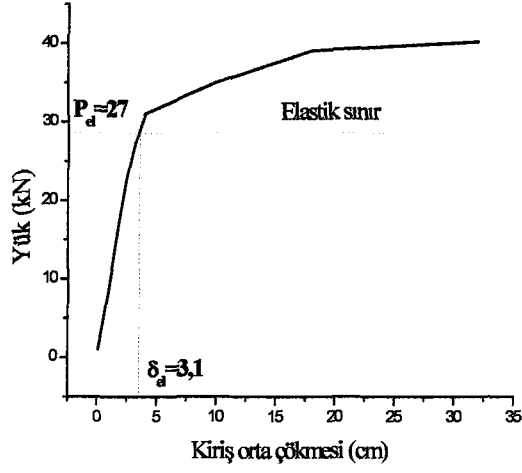


c)

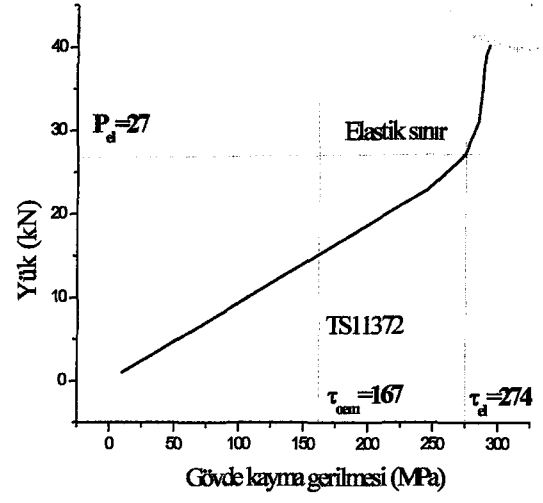


d)

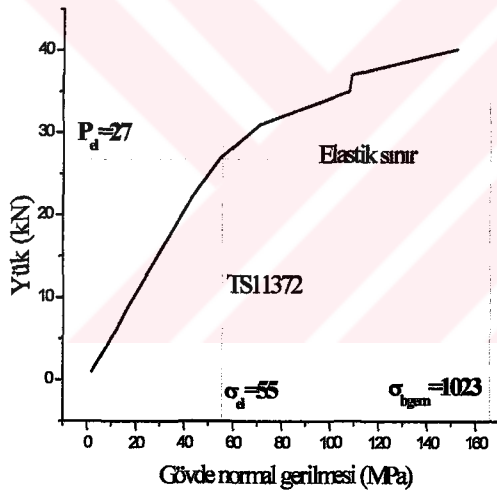
AKCM1506020 Kiriş Analiz Sonuçları



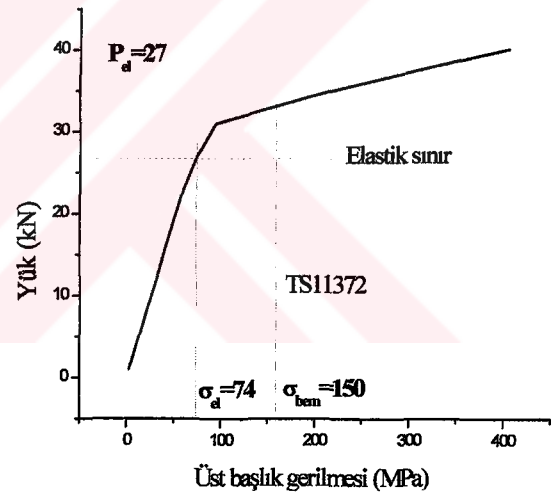
a)



b)

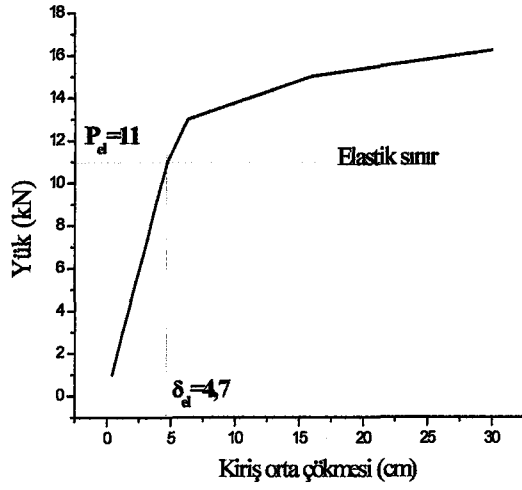


c)

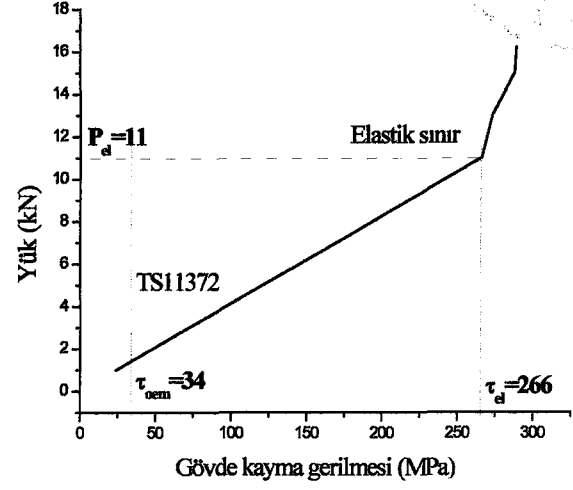


d)

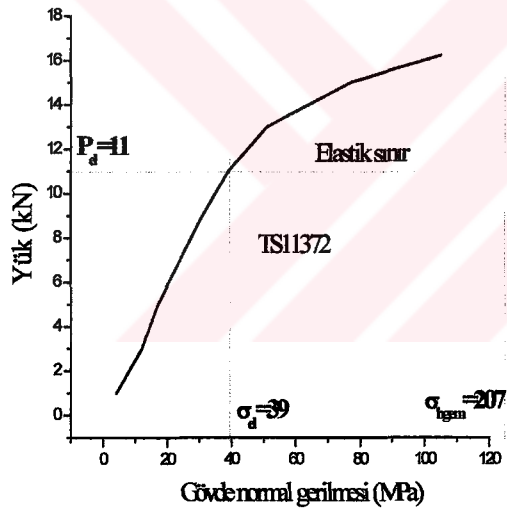
AKCM1506025 Kiriş Analiz Sonuçları



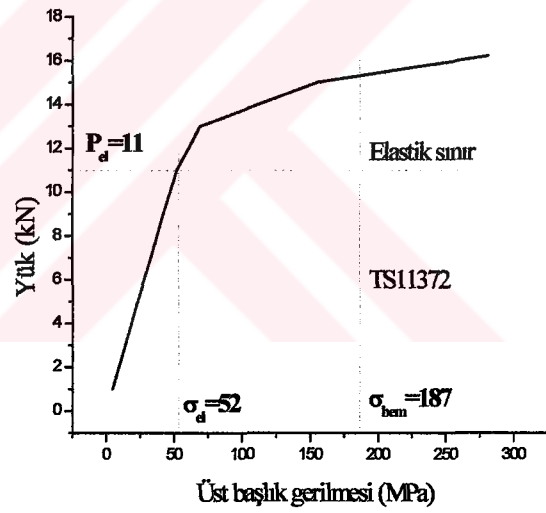
a)



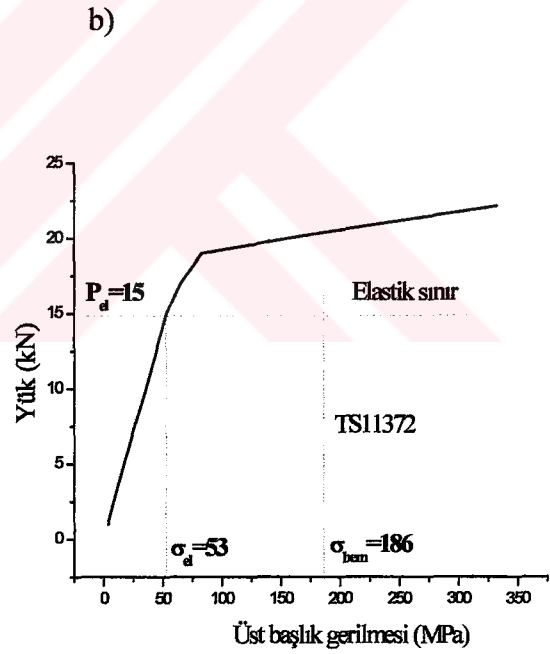
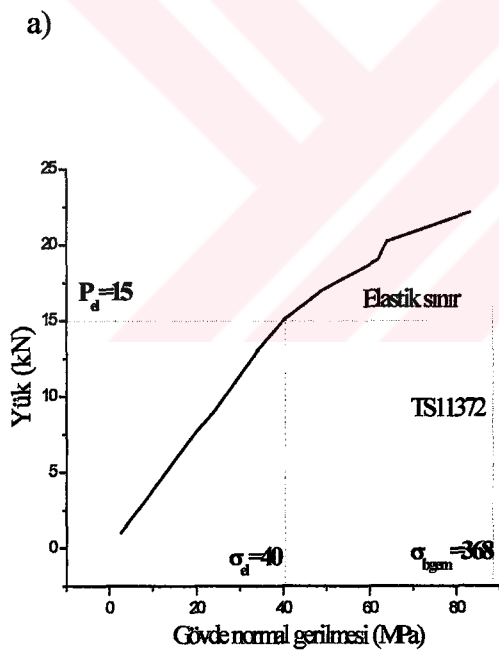
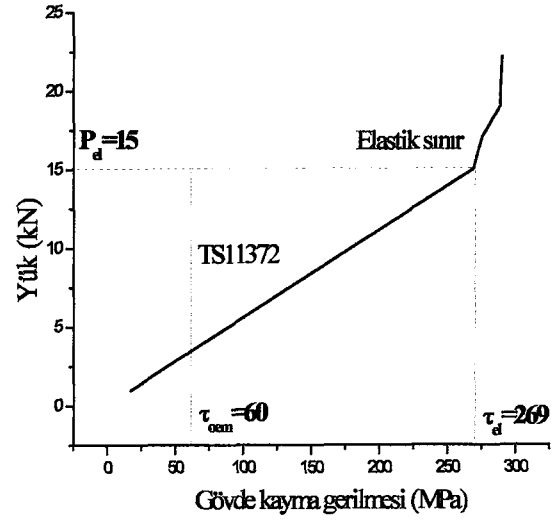
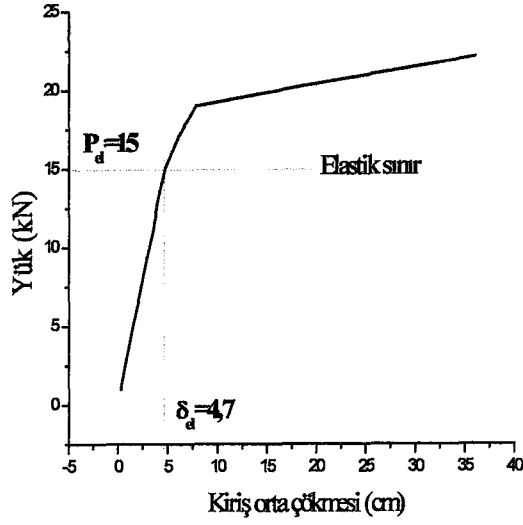
b)

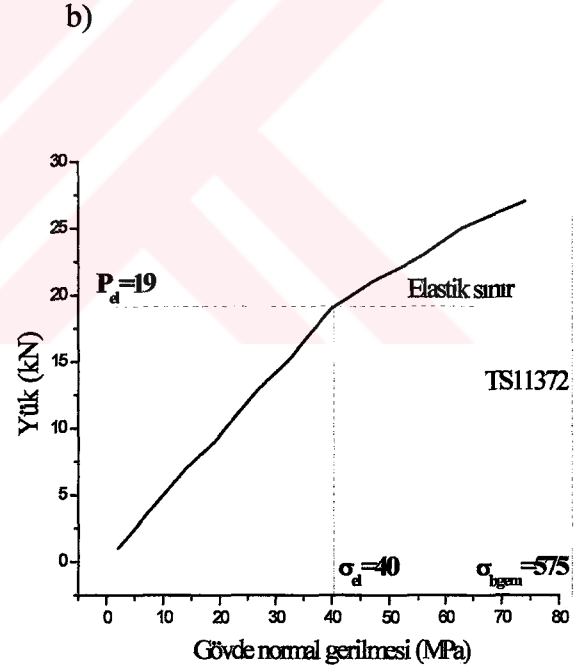
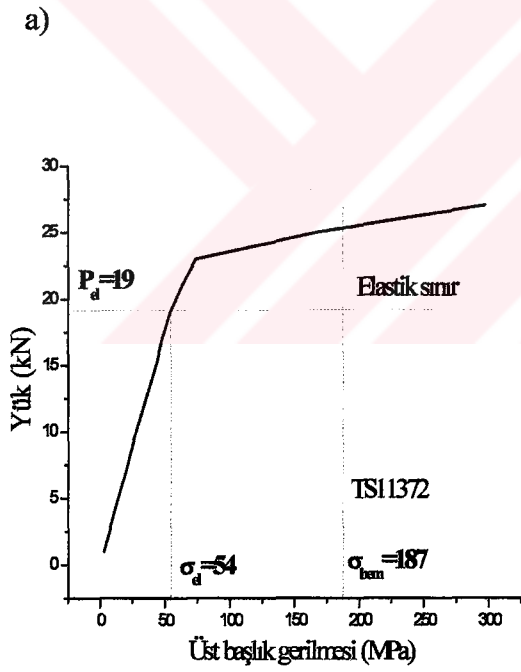
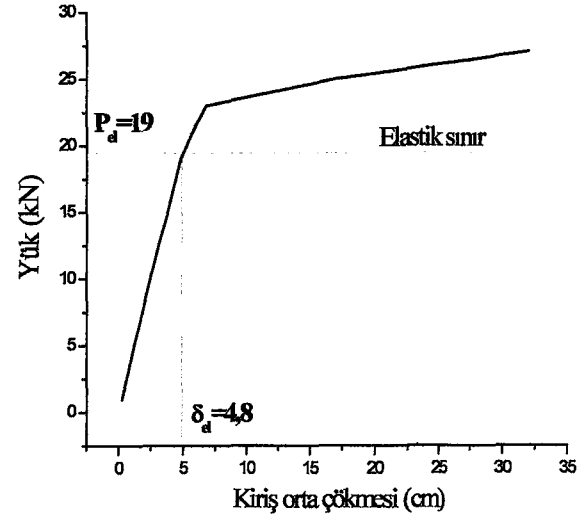
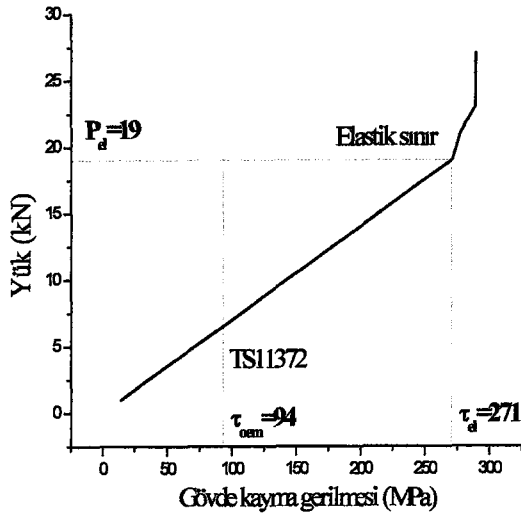


c)



d)

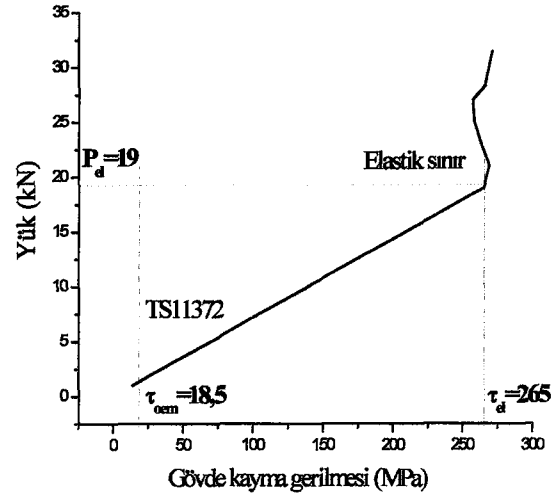
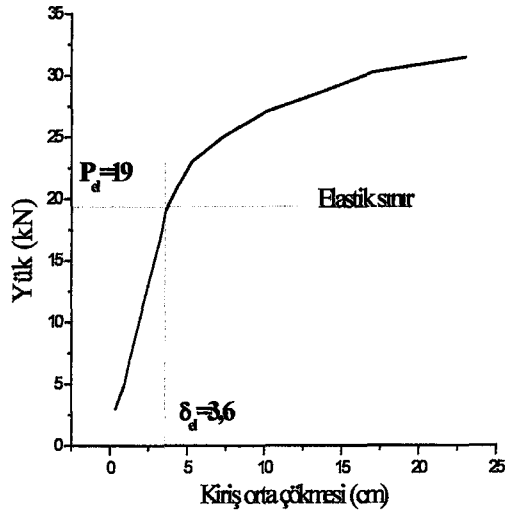




c)

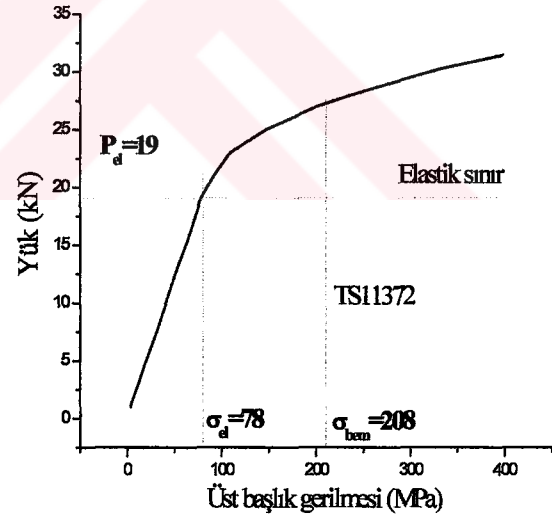
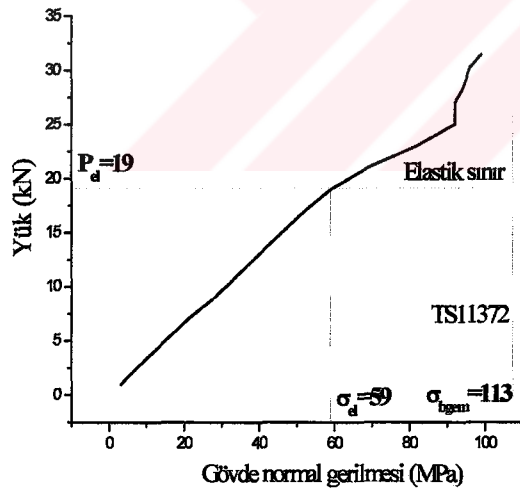
d)

AKCM2007025 Kiriş Analiz Sonuçları



a)

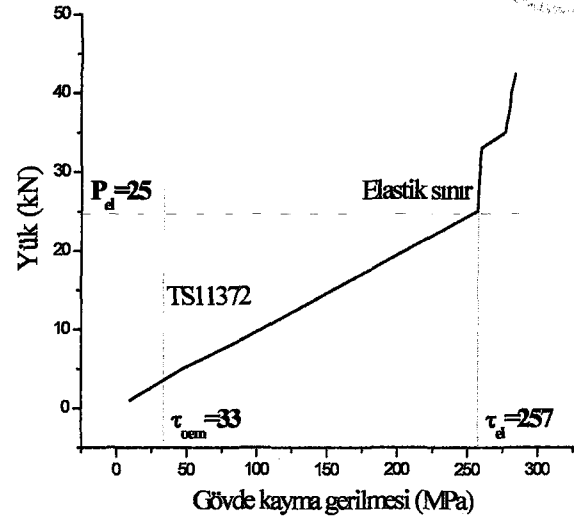
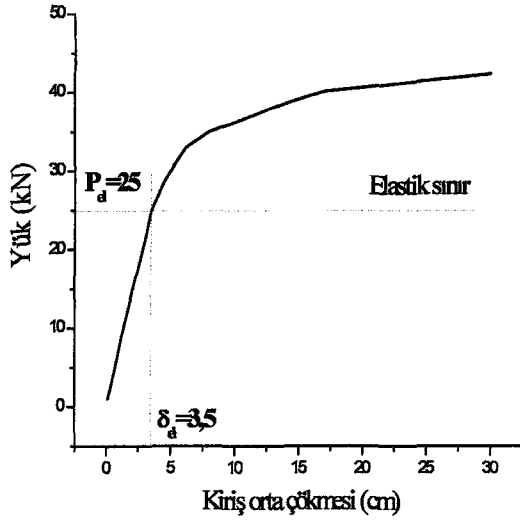
b)



c)

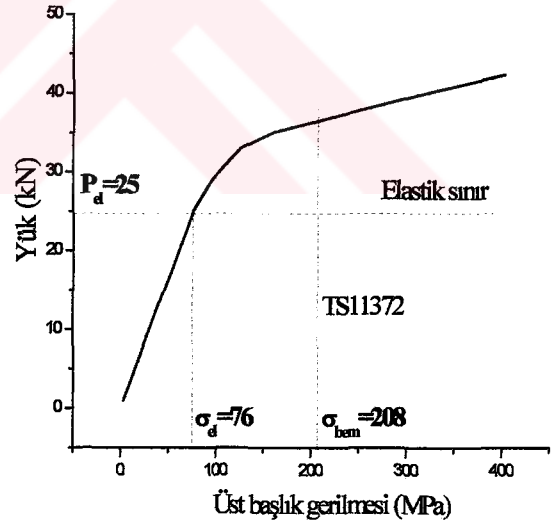
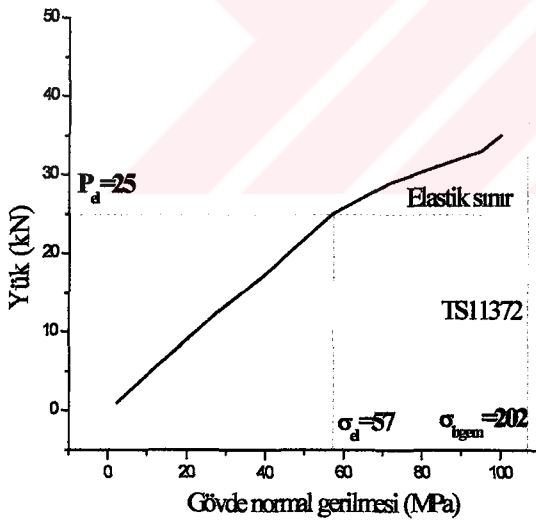
d)

AKCM2708015 Kiriş Analiz Sonuçları



a)

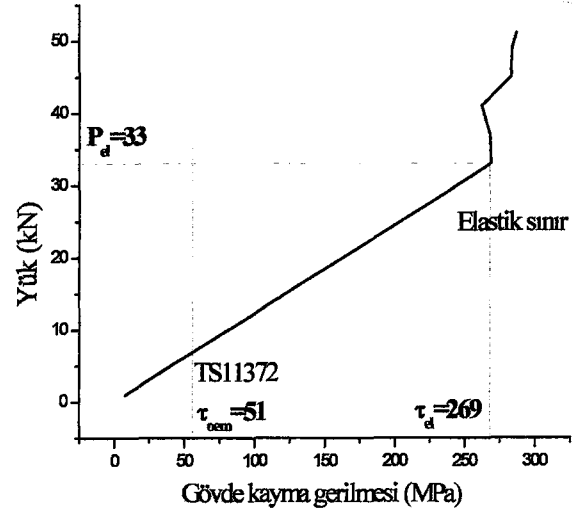
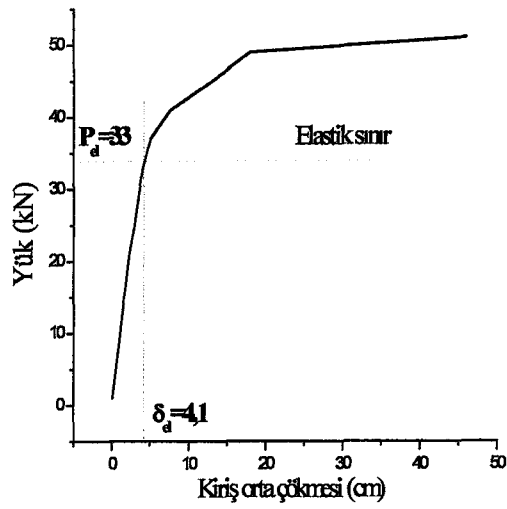
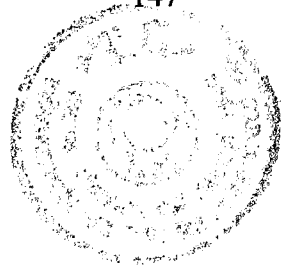
b)



c)

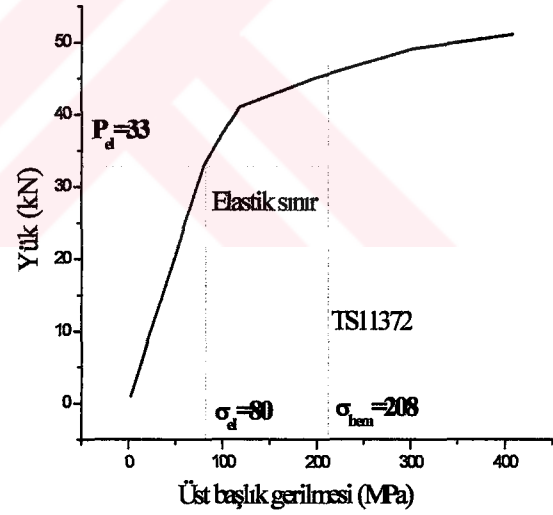
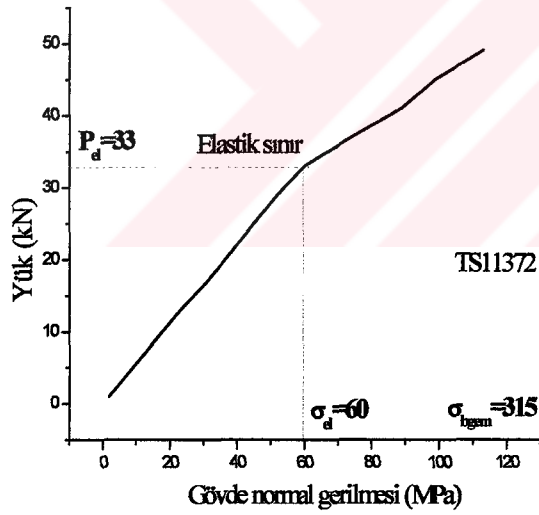
d)

AKCM2708020 Kiriş Analiz Sonuçları



a)

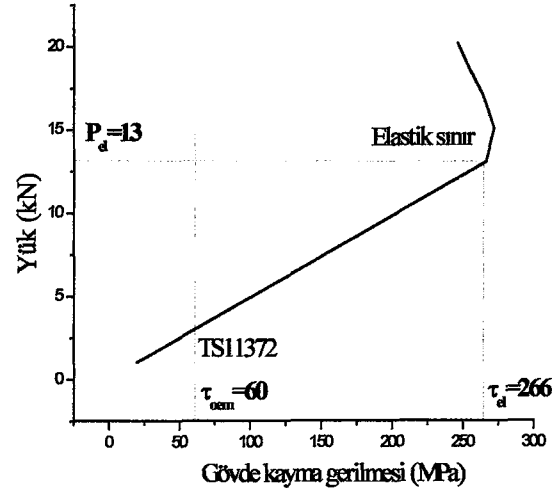
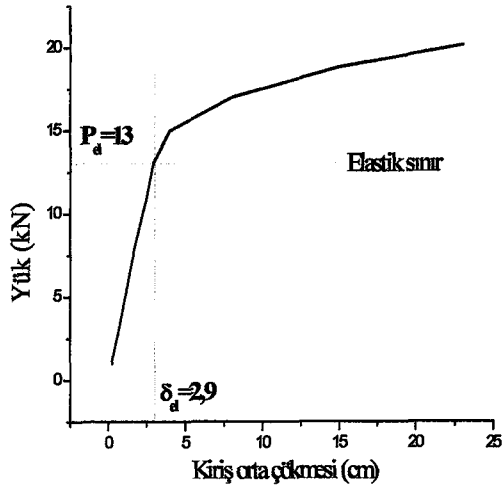
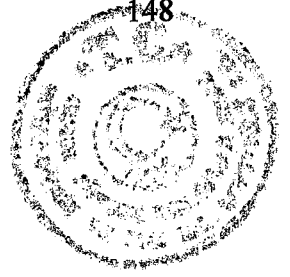
b)



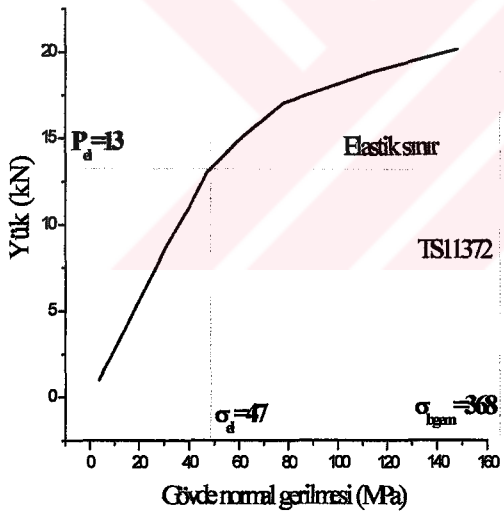
c)

d)

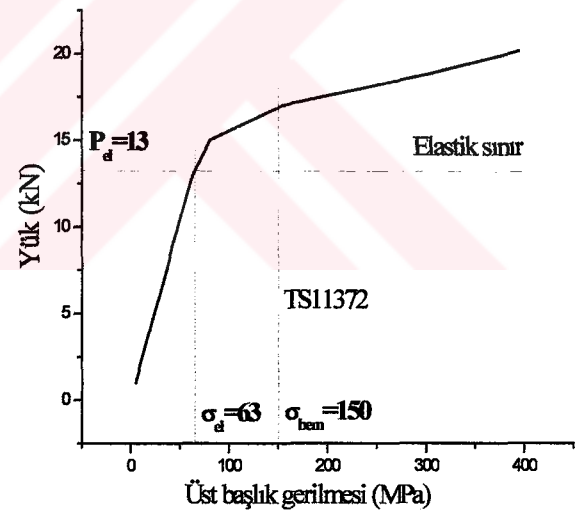
AKCM2708025 Kiriş Analiz Sonuçları



a)



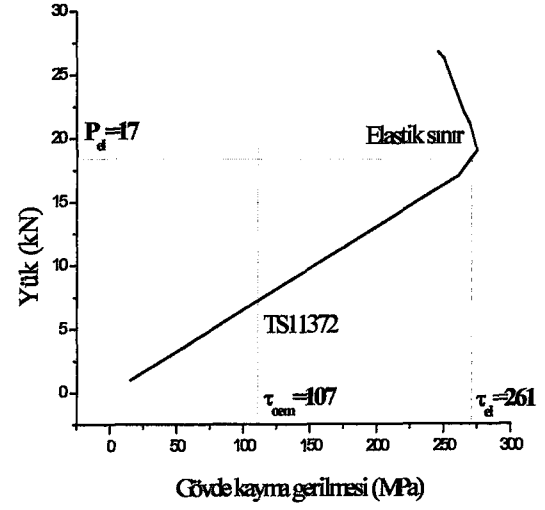
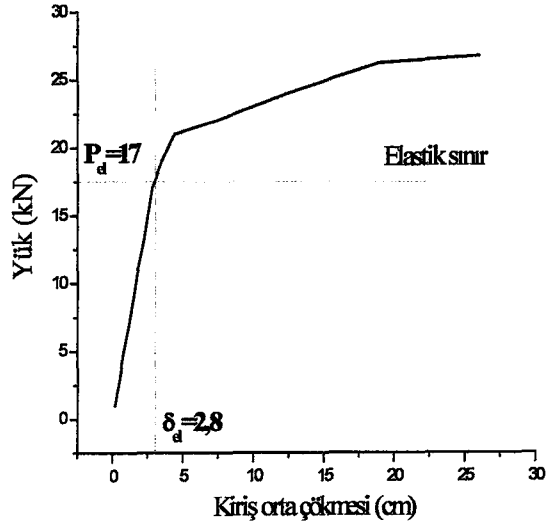
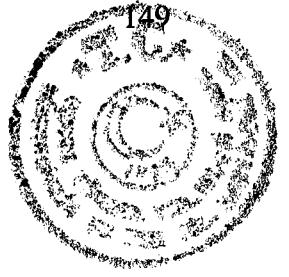
b)



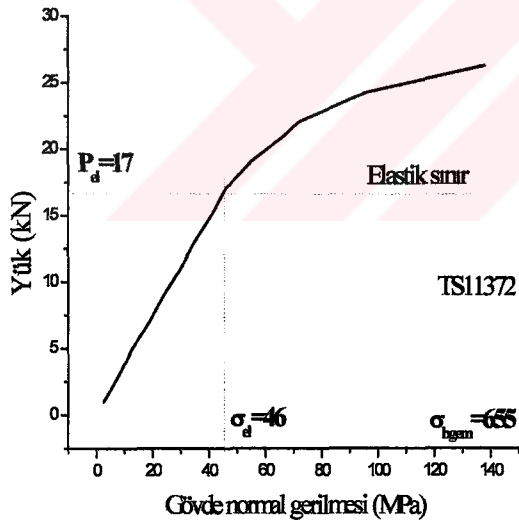
c)

d)

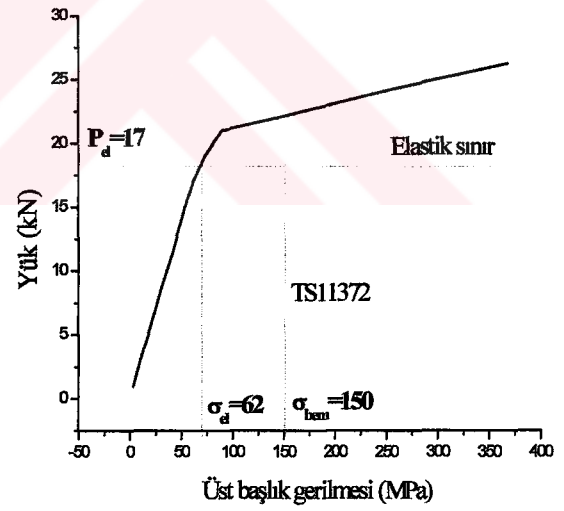
AKCS1506015 Kiriş Analiz Sonuçları



a)



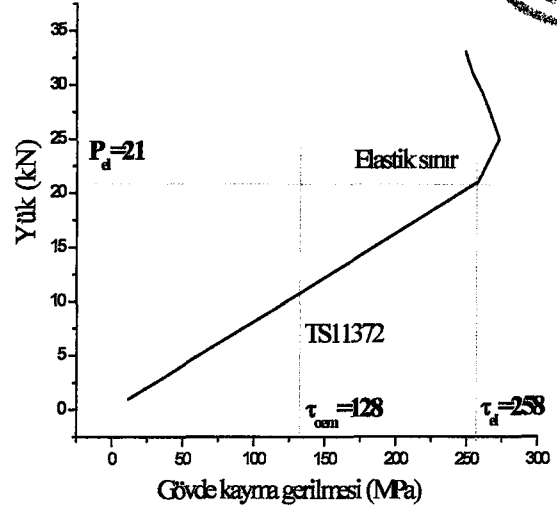
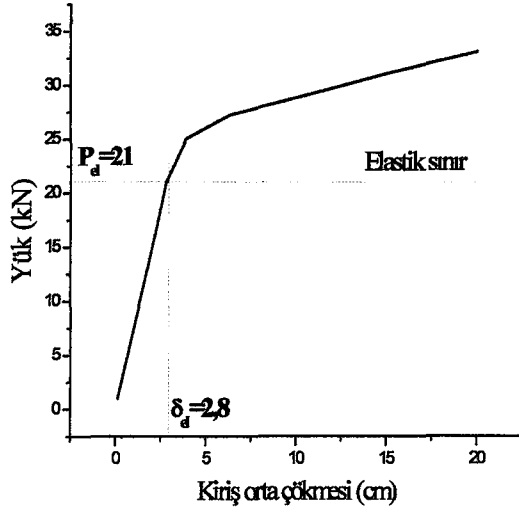
b)



c)

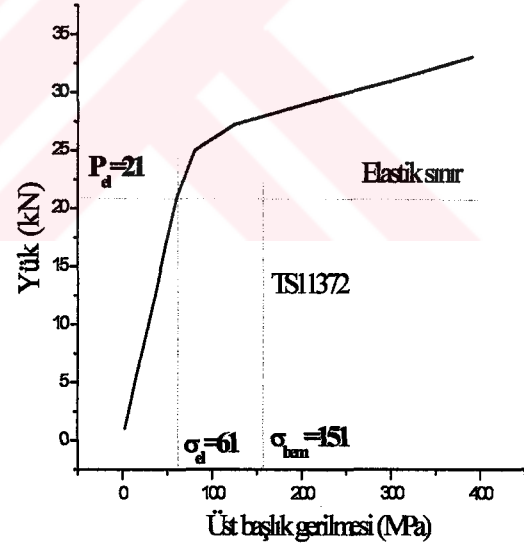
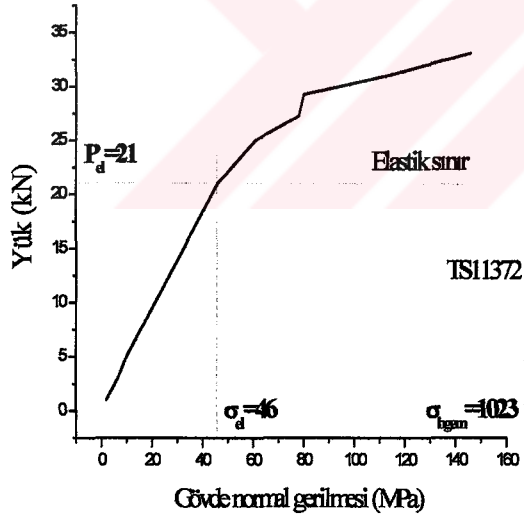
d)

AKCS1506020 Kiriş Analiz Sonuçları



a)

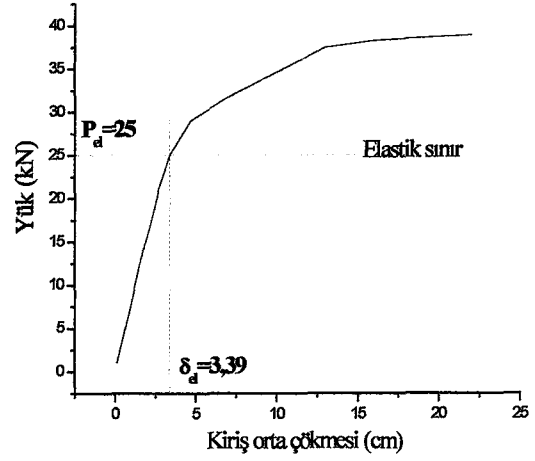
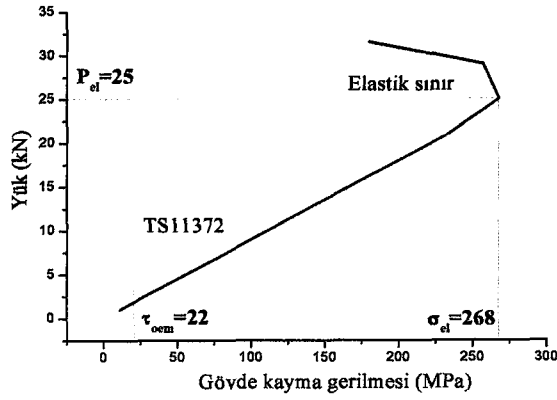
b)



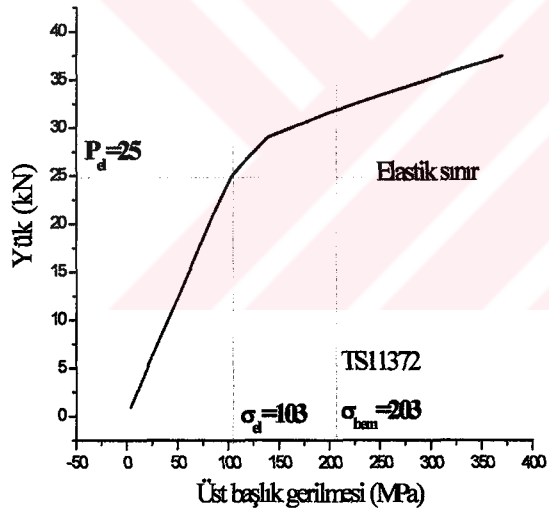
c)

d)

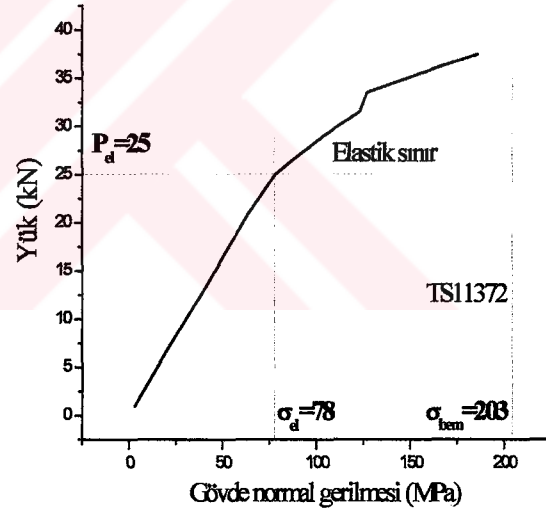
AKCS1506025 Kiriş Analiz Sonuçları



a)



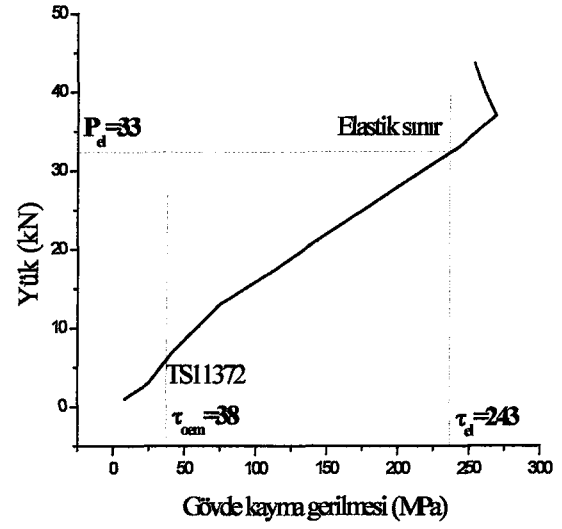
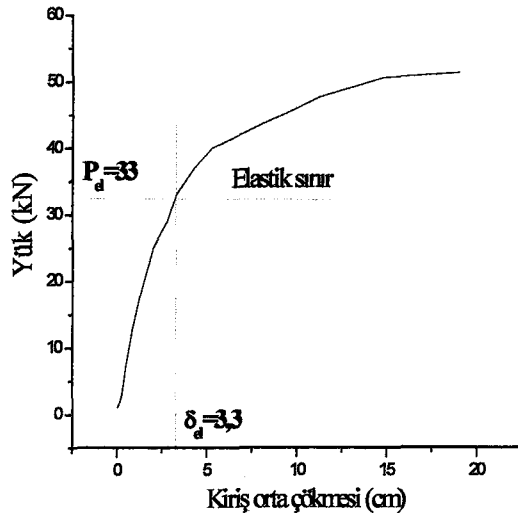
b)



c)

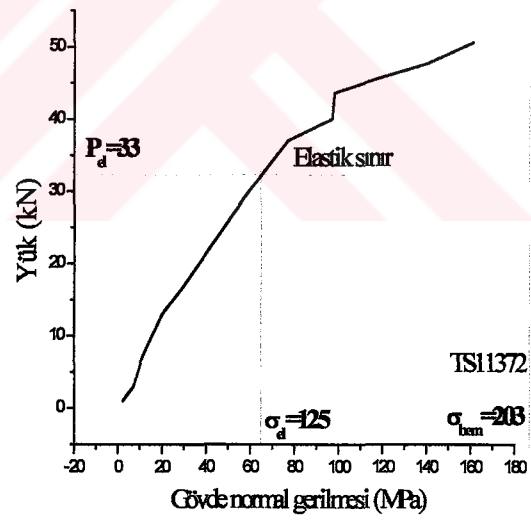
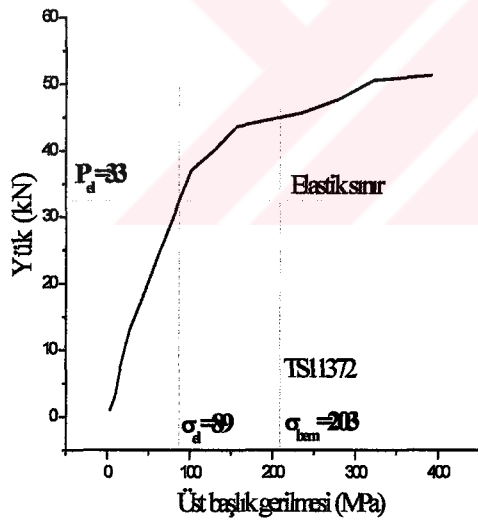
d)

AKCS2507615 Kiriş Analiz Sonuçları



a)

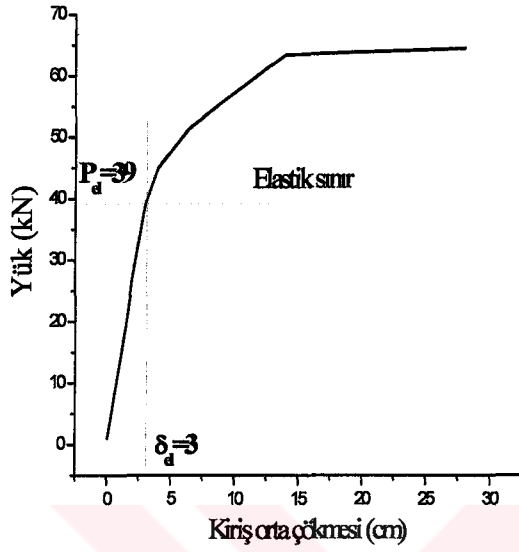
b)



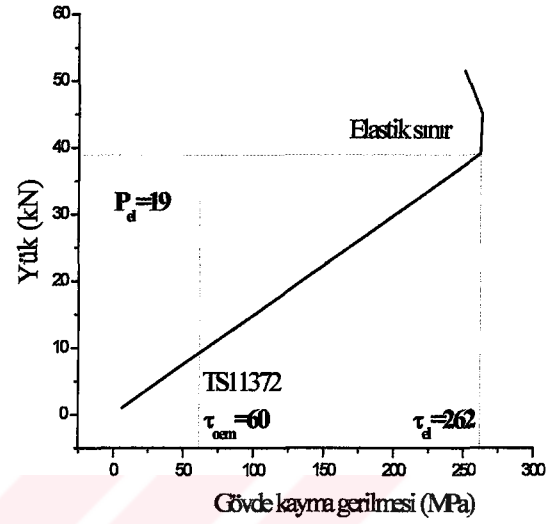
c)

d)

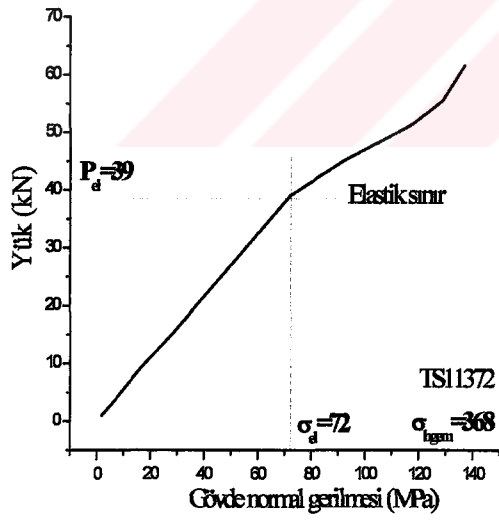
AKCS2507620 Kiriş Analiz Sonuçları



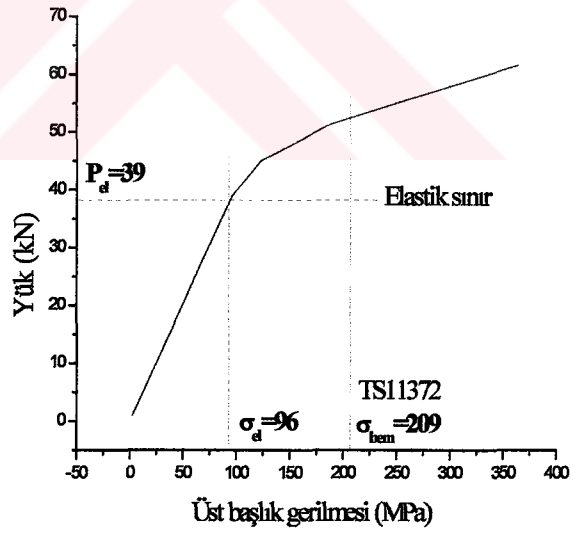
a)



b)

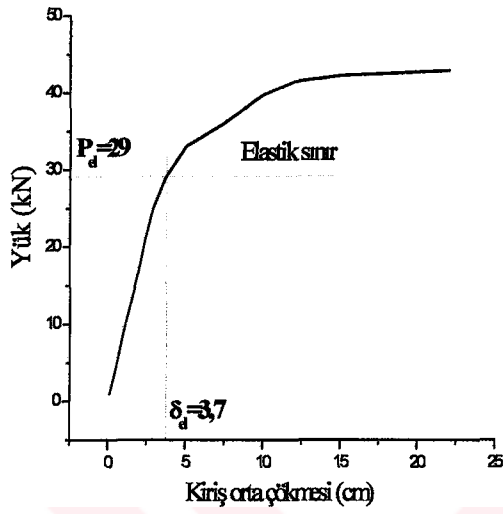


c)

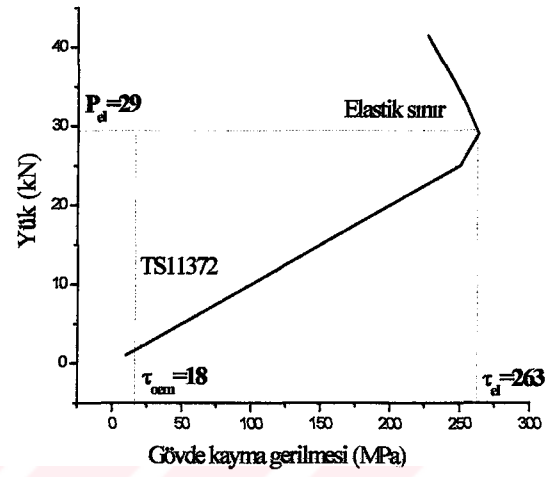


d)

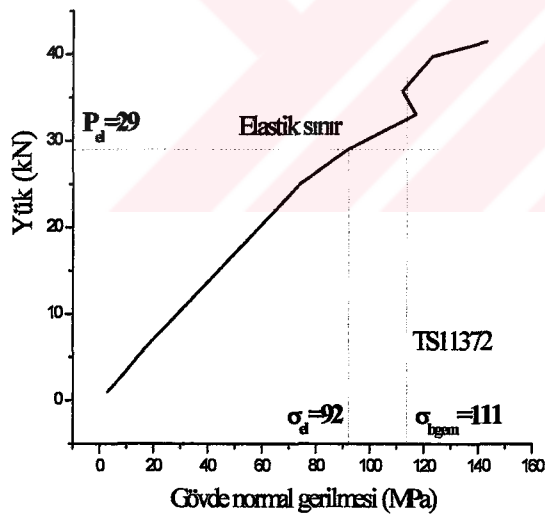
AKCS2507625 Kiriş Analiz Sonuçları



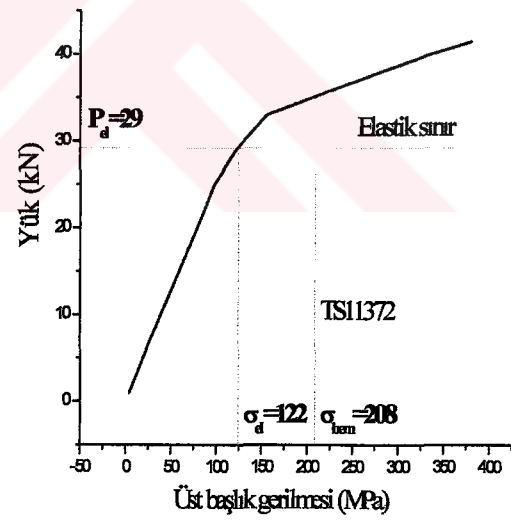
a)



b)

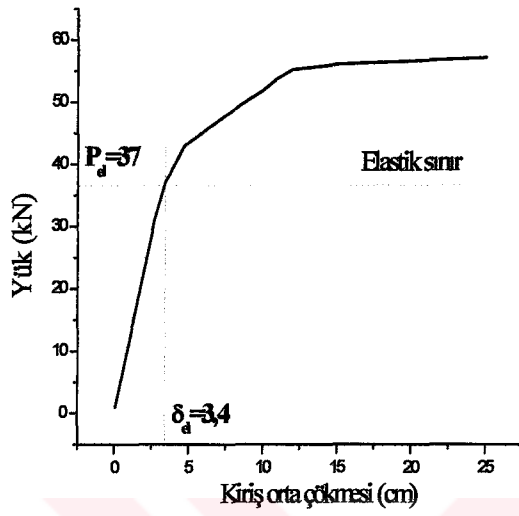


c)

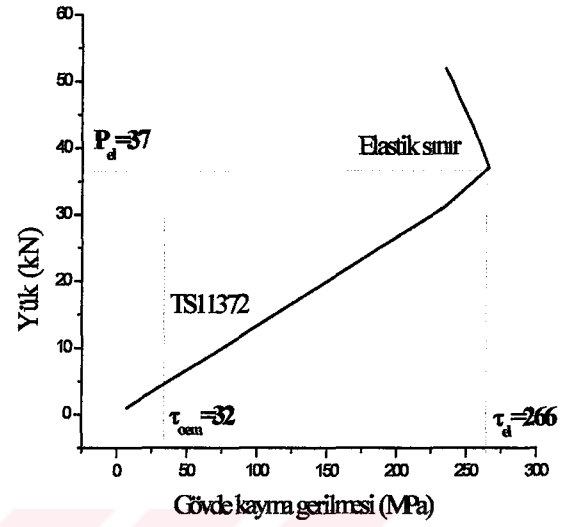


d)

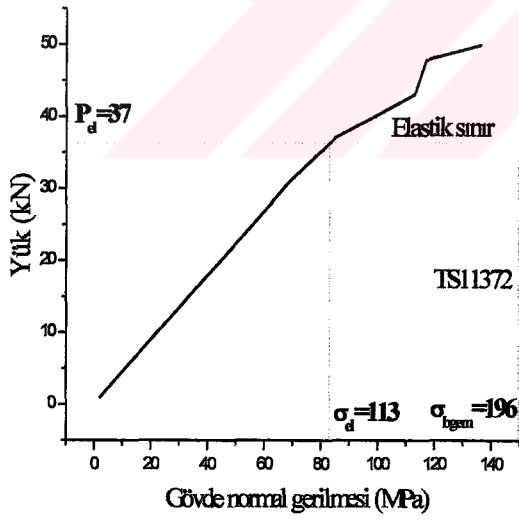
AKCS2737615 Kiriş Analiz Sonuçları



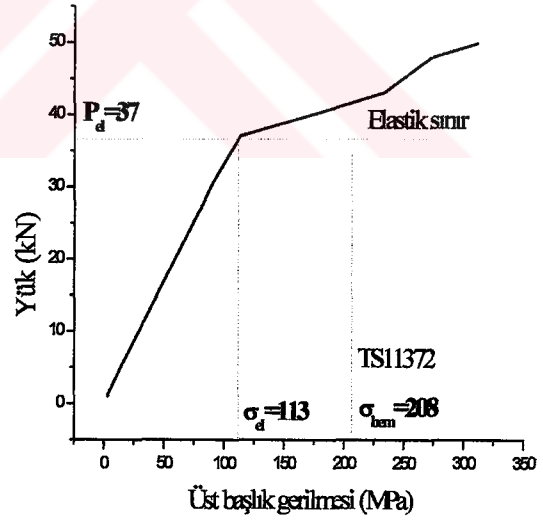
a)



b)

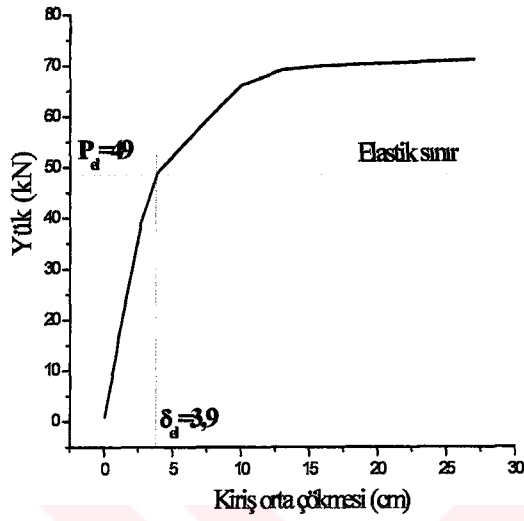


c)

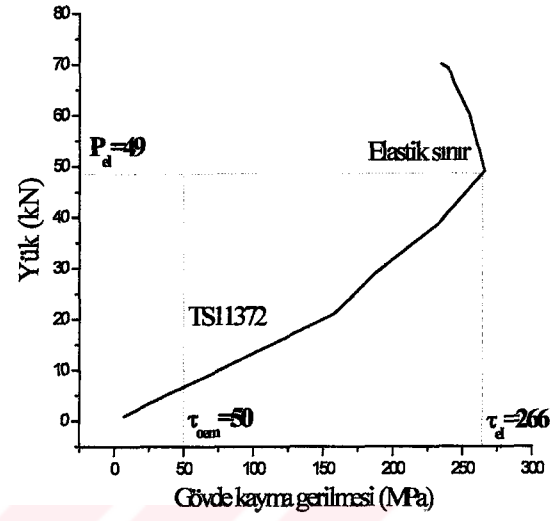


d)

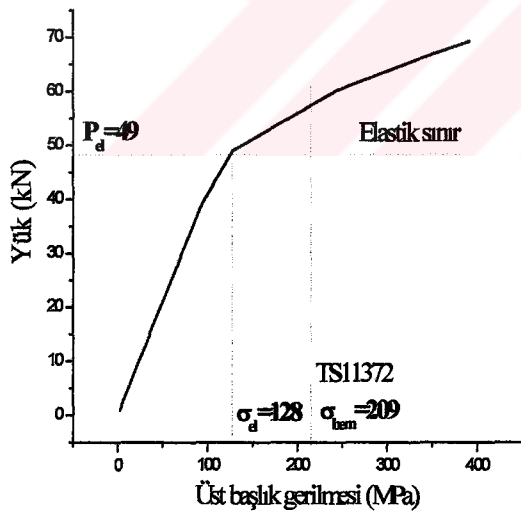
AKCS2747620 Kiriş Analiz Sonuçları



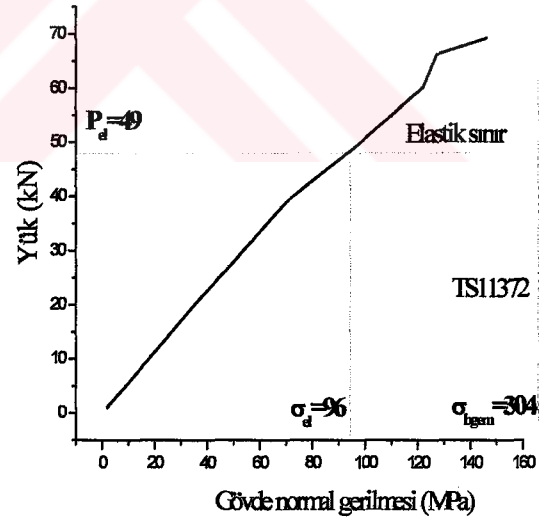
a)



b)



c)



d)

AKCS2757625 Kiriş Analiz Sonuçları

EK.2 LUSAS PROGRAMDA KİRİŞ ANALİZ SONUÇLARI

AKCM1505015

LOAD CASE = 15
Increment 15 Load Factor = 0.247E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SI

0
10,0055E5
36,171E5
54,2564E5
72,3419E5
90,4274E5
108,513E5
126,598E5
144,684E5
162,769E5
180,855E5
198,94E5
217,026E5
235,111E5
253,197E5
271,282E5

Max: 0.2911E+09 at Node 234
Min: 0.1764E+07 at Node 37



a) Gövde kayma gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 10
Increment 10 Load Factor = 0.190E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ

-104,427E5
-91,3736E5
-78,3202E5
-65,2668E5
-52,2135E5
-39,1601E5
-26,1067E5
-13,0534E5
0
13,0534E5
26,1067E5
39,1601E5
52,2135E5
65,2668E5
78,3202E5
91,3736E5

Max: 0.1042E+09 at Node 130
Min: -0.1047E+09 at Node 74

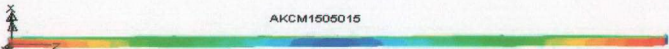


b) Gövde normal gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 10
Increment 10 Load Factor = 0.190E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ

-104,427E5
-91,3736E5
-78,3202E5
-65,2668E5
-52,2135E5
-39,1601E5
-26,1067E5
-13,0534E5
0
13,0534E5
26,1067E5
39,1601E5
52,2135E5
65,2668E5
78,3202E5
91,3736E5

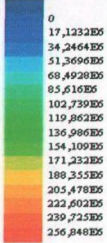
Max: 0.1042E+09 at Node 130
Min: -0.1047E+09 at Node 74



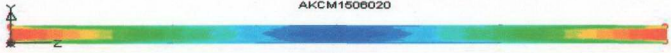
c) Üst başlık gerilmesi (N/m²)

KİRİŞ AKCM1506020

LOAD CASE = 11
Increment 11 Load Factor = 0.210E+02
RESULTS FILE = 1
MID STRESS
CONTOURS OF S1

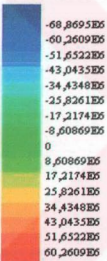


Max 0.2763E+09 at Node 65
Min 0.2355E+07 at Node 379



a) Gövde kayma gerilmesi (N/m^2)

LOAD CASE = 11
Increment 11 Load Factor = 0.210E+02
RESULTS FILE = 1
MID STRESS
CONTOURS OF SZ

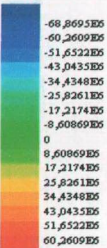


Max 0.6872E+08 at Node 2
Min -0.6902E+08 at Node 35

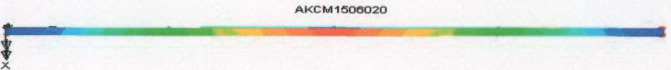


b) Gövde normal gerilmesi (N/m^2)

LOAD CASE = 11
Increment 11 Load Factor = 0.210E+02
RESULTS FILE = 1
MID STRESS
CONTOURS OF SZ



Max 0.6872E+08 at Node 2
Min -0.6902E+08 at Node 35



c) Üst başlık gerilmesi (N/m^2)

KİRİŞ AKCM1506025

LOAD CASE = 14
Increment 14 Load Factor = 0.270E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SI

0
17,0251E6
34,0503E6
51,0754E6
68,1005E6
85,1257E6
102,151E6
119,176E6
136,201E6
153,226E6
170,251E6
187,276E6
204,302E6
221,327E6
238,352E6
255,377E6

Max 0.2748E+09 at Node 4
Min 0.2411E+07 at Node 37



a) Gövde kayma gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 14
Increment 14 Load Factor = 0.270E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ

-74,3053E6
-65,0959E6
-55,7965E6
-46,4971E6
-37,1977E6
-27,8983E6
-18,5988E6
-9,29942E6
0
9,29942E6
18,5988E6
27,8983E6
37,1977E6
46,4971E6
55,7965E6
65,0959E6

Max 0.7424E+08 at Node 130
Min -0.7455E+08 at Node 74



b) Gövde normal gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 14
Increment 14 Load Factor = 0.270E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ

-74,3053E6
-65,0959E6
-55,7965E6
-46,4971E6
-37,1977E6
-27,8983E6
-18,5988E6
-9,29942E6
0
9,29942E6
18,5988E6
27,8983E6
37,1977E6
46,4971E6
55,7965E6
65,0959E6

Max 0.7424E+08 at Node 130
Min -0.7455E+08 at Node 74



c) Üst başlık gerilmesi (N/m²)

KİRİŞ AKCM2007015

LOAD CASE = 6
Increment 6 Load Factor = 0.110E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SI



a) Gövde kayma gerilmesi (N/m^2)

LOAD CASE = 6
Increment 6 Load Factor = 0.110E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ



b) Gövde normal gerilmesi (N/m^2)

LOAD CASE = 6
Increment 6 Load Factor = 0.110E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ



c) Üst başlık gerilmesi (N/m^2)

KİRİŞ AKCM2007020

LOAD CASE = 13
Increment 13 Load Factor = 0.250E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SI



a) Gövde kayma gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 13
Increment 13 Load Factor = 0.250E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ



b) Gövde normal gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 13
Increment 13 Load Factor = 0.250E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ



c) Üst başlık gerilmesi (N/m²)

Kiriş AKCM2007025

LOAD CASE = 10
Increment 10 Load Factor = 0.190E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SI



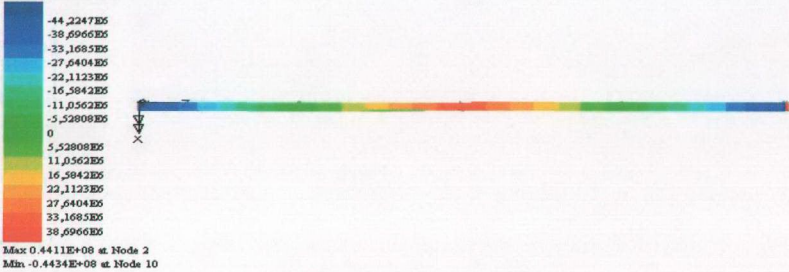
a) Gövde kayma gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 10
Increment 10 Load Factor = 0.190E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ



b) Gövde normal gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 10
Increment 10 Load Factor = 0.190E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ



c) Üst başlık gerilmesi (N/m²)

KİRİŞ AKCM2708015

LOAD CASE = 10
Increment 10 Load Factor = 0.190E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SI

0
11,0584E5
22,1168E5
33,1753E5
44,2337E5
55,2921E5
66,3505E5
77,409E5
88,4674E5
99,5258E5
110,584E5
121,643E5
132,701E5
143,759E5
154,818E5
165,876E5

Max 0.1797E+09 at Node 84
Min 0.2793E+07 at Node 93



a) Gövde kayma gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 10
Increment 10 Load Factor = 0.190E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ

-68,6286E5
-60,05E5
-51,4714E5
-42,8929E5
-34,3143E5
-25,7357E5
-17,1571E5
-8,57857E5
0
8,57857E5
17,1571E5
25,7357E5
34,3143E5
42,8929E5
51,4714E5
60,05E5

Max 0.6842E+08 at Node 18
Min -0.6884E+08 at Node 74



b) Gövde normal gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 10
Increment 10 Load Factor = 0.190E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ

-68,6286E5
-60,05E5
-51,4714E5
-42,8929E5
-34,3143E5
-25,7357E5
-17,1571E5
-8,57857E5
0
8,57857E5
17,1571E5
25,7357E5
34,3143E5
42,8929E5
51,4714E5
60,05E5

Max 0.6842E+08 at Node 18
Min -0.6884E+08 at Node 74



c) Üst başlık gerilmesi (N/m²)

KIRIŞ

AKCM2708020



LOAD CASE = 13
Increment 13 Load Factor = 0.250E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SI

0
10,771E5
21,542E5
32,312E5
43,083E5
53,854E5
64,625E5
75,396E5
86,167E5
96,938E5
107,71E5
118,481E5
129,252E5
140,023E5
150,794E5
161,565E5

Max: 0.1751E+09 at Node 69
Min: 0.2760E+07 at Node 93



a) Gövde kayma gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 13
Increment 13 Load Factor = 0.250E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ

-66,931E5
-58,564E5
-50,198E5
-41,832E5
-33,465E5
-25,099E5
-16,732E5
-8,366E5
0
8,366E5
16,732E5
25,099E5
33,465E5
41,832E5
50,198E5
58,564E5

Max: 0.6673E+08 at Node 18
Min: -0.6714E+08 at Node 74



b) Gövde normal gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 13
Increment 13 Load Factor = 0.250E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ

-66,931E5
-58,564E5
-50,198E5
-41,832E5
-33,465E5
-25,099E5
-16,732E5
-8,366E5
0
8,366E5
16,732E5
25,099E5
33,465E5
41,832E5
50,198E5
58,564E5

Max: 0.6673E+08 at Node 18
Min: -0.6714E+08 at Node 74

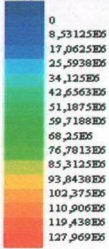


c) Üst başlık gerilmesi (N/m²)

KİRİŞ AKCM2708025



LOAD CASE = 13
Increment 13 Load Factor = 0.250E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SI

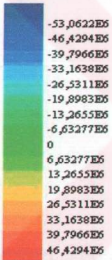


Max 0.1397E+09 at Node 84
Min 0.2222E+07 at Node 93



a) Gövde kayma gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 13
Increment 13 Load Factor = 0.250E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ

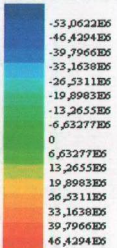


Max 0.5290E+08 at Node 18
Min -0.5323E+08 at Node 66



b) Gövde normal gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 13
Increment 13 Load Factor = 0.250E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ



Max 0.5290E+08 at Node 18
Min -0.5323E+08 at Node 66



c) Üst başlık gerilmesi (N/m²)

KİRİŞ AKCS1506015

LOAD CASE = 7
Increment 7 Load Factor = 0.130E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SI

0
16,5229E5
33,0457E5
49,5686E5
66,0915E5
82,6143E5
99,1372E5
115,66E5
132,183E5
148,706E5
165,229E5
181,751E5
198,274E5
214,797E5
231,32E5
247,843E5

Max 0.2662E+09 at Node 140
Min 0.1882E+07 at Node 149



a) Gövde kayma gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 7
Increment 7 Load Factor = 0.130E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ

-63,1153E5
-55,2259E5
-47,3365E5
-39,4471E5
-31,5576E5
-23,6682E5
-15,7788E5
-7,88941E5
0
7,88941E5
15,7788E5
23,6682E5
31,5576E5
39,4471E5
47,3365E5
55,2259E5

Max 0.6296E+08 at Node 18
Min -0.6327E+08 at Node 67



b) Gövde normal gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 7
Increment 7 Load Factor = 0.130E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ

-63,1153E5
-55,2259E5
-47,3365E5
-39,4471E5
-31,5576E5
-23,6682E5
-15,7788E5
-7,88941E5
0
7,88941E5
15,7788E5
23,6682E5
31,5576E5
39,4471E5
47,3365E5
55,2259E5

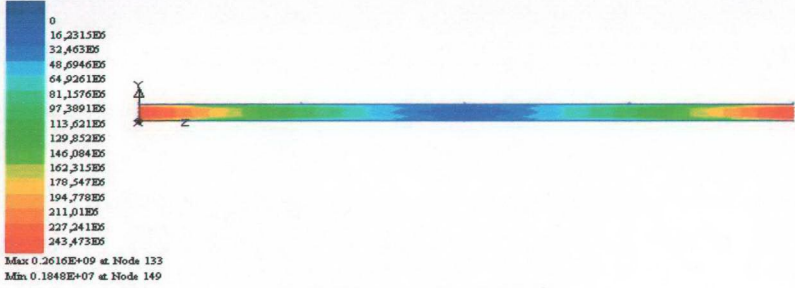
Max 0.6296E+08 at Node 18
Min -0.6327E+08 at Node 67



c) Üst başlık gerilmesi (N/m²)

KİRİŞ AKCS1506020

LOAD CASE = 9
Increment 9 Load Factor = 0.170E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SI



a) Gövde kayma gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 9
Increment 9 Load Factor = 0.170E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ



b) Gövde normal gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 9
Increment 9 Load Factor = 0.170E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ

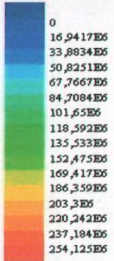


c) Üst başlık gerilmesi (N/m²)

KİRİŞ AKCS1506025



LOAD CASE = 13
Increment 13 Load Factor = 0.250E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SI

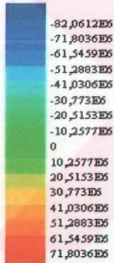


Max 0.2732E+09 at Node 132
Min 0.2180E+07 at Node 149



a) Gövde kayma gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 13
Increment 13 Load Factor = 0.250E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ

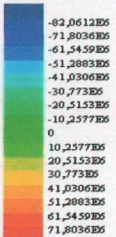


Max 0.8188E+08 at Node 21
Min -0.8224E+08 at Node 86



b) Gövde normal gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 13
Increment 13 Load Factor = 0.250E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ



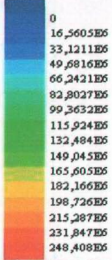
Max 0.8188E+08 at Node 21
Min -0.8224E+08 at Node 86



c) Üst başlık gerilmesi (N/m²)

KİRİŞ AKCS2507615

LOAD CASE = 13
Increment 13 Load Factor = 0.250E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SI

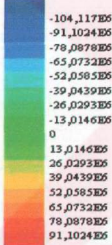


Max 0.2686E+09 at Node 132
Min 0.3639E+07 at Node 149



a) Gövde kayma gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 13
Increment 13 Load Factor = 0.250E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ

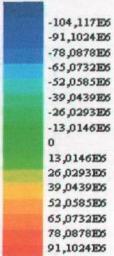


Max 0.1038E+09 at Node 21
Min -0.1044E+09 at Node 86



b) Gövde normal gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 13
Increment 13 Load Factor = 0.250E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ



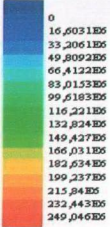
Max 0.1038E+09 at Node 21
Min -0.1044E+09 at Node 86



c) Üst başlık gerilmesi (N/m²)

KIRIŞ AKCS2507620

LOAD CASE = 17
Increment 17 Load Factor = 0.330E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SI

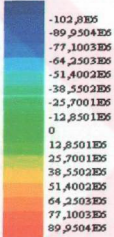


Max 0.2693E+09 at Node 132
Min 0.3605E+07 at Node 149



a) Gövde kayma gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 17
Increment 17 Load Factor = 0.330E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ

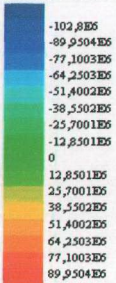


Max 0.1025E+09 at Node 21
Min -0.1031E+09 at Node 86



b) Gövde normal gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 17
Increment 17 Load Factor = 0.330E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ



Max 0.1025E+09 at Node 21
Min -0.1031E+09 at Node 86

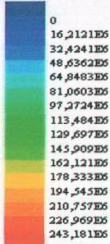


c) Üst başlık gerilmesi (N/m²)



KİRİŞ AKCS2507625

LOAD CASE = 20
Increment 20 Load Factor = 0.390E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SI

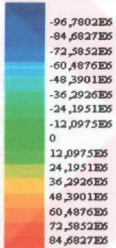


Max: 0.2628E+09 at Node 133
Min: 0.3419E+07 at Node 149



a) Gövde kayma gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 20
Increment 20 Load Factor = 0.390E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ

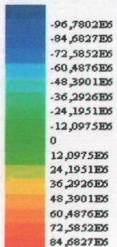


Max: 0.9650E+08 at Node 2
Min: -0.9706E+08 at Node 83



b) Gövde normal gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 20
Increment 20 Load Factor = 0.390E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ



Max: 0.9650E+08 at Node 2
Min: -0.9706E+08 at Node 83

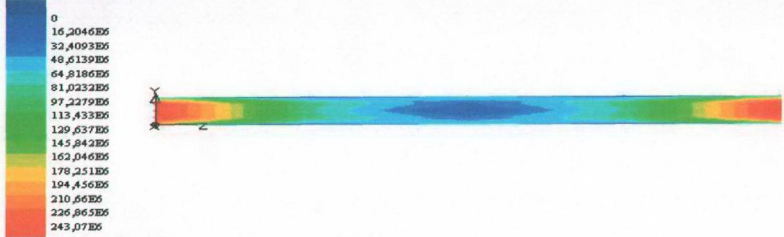


c) Üst başlık gerilmesi (N/m²)



Kiriş AKCS2737615

LOAD CASE = 15
Increment 15 Load Factor = 0.290E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SI



Max 0.2635E+09 at Node 132
Min 0.4222E+07 at Node 149

a) Gövde kayma gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 15
Increment 15 Load Factor = 0.290E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ



Max 0.1227E+09 at Node 21
Min -0.1234E+09 at Node 86

b) Gövde normal gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 15
Increment 15 Load Factor = 0.290E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ



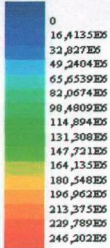
Max 0.1227E+09 at Node 21
Min -0.1234E+09 at Node 86

c) Üst başlık gerilmesi (N/m²)

KIRIŞ AKCS2747620



LOAD CASE = 19
Increment 19 Load Factor = 0.370E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SI

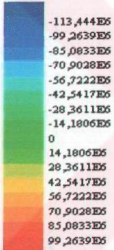


Max 0.2667E+09 at Node 132
Min 0.4048E+07 at Node 149



a) Gövde kayma gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 19
Increment 19 Load Factor = 0.370E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ

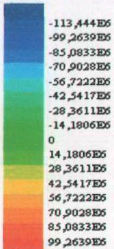


Max 0.1131E+09 at Node 21
Min -0.1138E+09 at Node 86



b) Gövde normal gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 19
Increment 19 Load Factor = 0.370E+02
RESULTS FILE = 0
MID STRESS
CONTOURS OF SZ



Max 0.1131E+09 at Node 21
Min -0.1138E+09 at Node 86

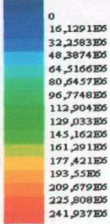


c) Üst başlık gerilmesi (N/m²)

KİRİŞ AKCS2757625



LOAD CASE = 25
Increment 25 Load Factor = 0.490E+02
RESULTS FILE = 1
MID STRESS
CONTOURS OF SI



Max 0.2623E+09 at Node 132
Min 0.4280E+07 at Node 149

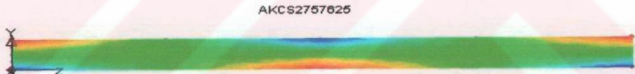


a) Gövde kayma gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 25
Increment 25 Load Factor = 0.490E+02
RESULTS FILE = 1
MID STRESS
CONTOURS OF SZ

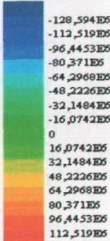


Max 0.1282E+09 at Node 21
Min -0.1290E+09 at Node 86

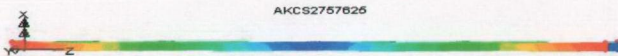


b) Gövde normal gerilmesi (N/m²)

LOAD CASE = 25
Increment 25 Load Factor = 0.490E+02
RESULTS FILE = 1
MID STRESS
CONTOURS OF SZ



Max 0.1282E+09 at Node 21
Min -0.1290E+09 at Node 86



c) Üst başlık gerilmesi (N/m²)