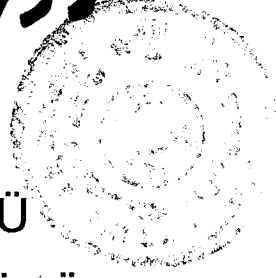


171138



T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SOĞUKTA ŞEKİL VERİLMİŞ İNCE CİDARLI
ÇELİK PROFİLLERLE OLUŞTURULAN
YAPI PANELLERİNDE KAPLAMANIN
YANAL DAYANIMA ETKİSİ

Kezban KARADUMAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI BİLİMLERİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr. Bülent AKBAŞ

GEBZE
2005



Kerem Karaduman 'nın tez çalışması, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 08.09.2005 tarih ve 2005/32 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Deprem Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS Tezi olarak kabul edilmiştir. Ypı B1.

JÜRİ

ÜYE :
(Tez Danışmanı)

İ. Doç. Dr. Bülent ALBAŞ

ÜYE :

Dr. Zekeriya POLAT

ÜYE :

İ. Doç. Dr. Bülent Hekimoglu

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 08.09.2005 tarih ve 2005/32 sayılı kararı.

İmza/Mühür

ÖZET

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı profillerden oluşmuş yapı panellerinin davranışı ile ilgili uluslararası literatürde yapılan bilimsel çalışmalar oldukça yeni ve sınırlıdır. Özellikle yanal kaplamaların duvar panellerine sağladığı rijitlik, üretici ve uygulayıcı firmaların önem vermediği ve yönetmeliklerde etkisinin değerlendirilmediği bir konu haline gelmiştir. Bu konuyu araştıran deneysel çalışmalar son bir iki yıl içinde yaygınlık kazanmaya başlamıştır. Bu çalışmalar genellikle kaplamalı duvar panellerinin düşey yük taşıma kapasitelerini araştırmakta çok az sayıda çalışma da deprem ve rüzgar yüklerine maruz kaplamalı duvar panellerinin yatay yük taşıma kapasitelerini monotonik (monotonic) veya tekrarlı (cyclic) yükler altında incelemektedir. İlgili çalışmalarda belirtildiği üzere dikme karakteristikleri, bağlantı elemanlarının boyutları ve yerleştirilme sıklığı rijitlik üzerinde oldukça etkilidir. Bu bilgilerin ışığında Türkiye'deki şartlara öncelik tanıyan fakat aynı zamanda uluslararası çalışmaların paralelinde ve bu çalışma bulgularına katkıda bulunacak bir test programı tez çalışması dahilinde ele alınmıştır. Çalışma programı, alçıpan levha kaplamalı duvar panellerinin davranışını yatay yük taşıma kapasitelerini monotonik yükler altında incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma, son yıllarda yaygınlık kazanan ve deney prosedürleri ile yakın sonuçlar elde edebilen sonlu elemanlar yöntemi ile yapılmıştır. Tez bulguları ileride uygulanacak bir test programında gerekli olan araştırma parametrelerini ortaya koyacağı gibi test yönteminin uluslararası bilgi birikimine katkıda bulunacaktır.

SUMMARY

Scientific studies in the international literature concerning the behaviour of structural panels made of cold formed light gauge profiles are highly recent and limited. Especially, the rigidity of wall panels provided by side covers has become a subject that is not mentioned in the standards and not considered by the manufacturers. Experimental studies concerning this subject has become recently widespread. These studies concern generally, the vertical load resisting capacity of covered wall panels and rarely, the lateral load resisting capacity under monotonic and cyclic loads of covered wall panels, that is subjected to earthquake and wind effects. As it is mentioned in related studies, post characteristics, dimensions and placing frequency of connection members greatly affect the rigidity. In the light of this information, a test program, considering mostly Turkish standards but also in conjunction with international studies and improving the diagnoses of these studies has been considered within the thesis study. The study program aims to investigate the behaviour and the lateral load resisting capacity of gypsum plasterboard covered wall panels under monotonic loads. In this work, finite elements method that can get similar results with experimental results and becomes widespread recently is applied. The thesis findings will be contribute to international knowledge aggregation of this test method as well as to expose the research parameters that will be necessary for future test programs.

TEŞEKKÜR

Öğrenciliğim ve tez çalışmam boyunca benden bilgisini, tecrübesini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgememiş olan saygıyla andığımız değerli hocam Yrd. Doç. Dr. V. Atilla ÖVEN'e ve sayın Yrd. Doç. Dr. Bülent AKBAŞ'a teşekkürü borç bilirim. Ayrıca manevi destekleriyle her zaman yanımda olan ailem, eşim ve oda arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

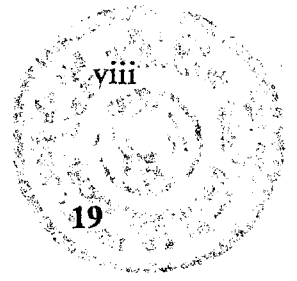
Ağustos 2005,

Kezban KARADUMAN.



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

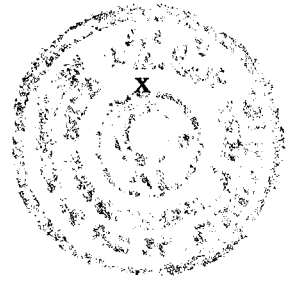
	Sayfa
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Hafif Çelik Yapıların Gelişme Süreci	1
1.2. Hafif Çelik Yapı Sisteminin Üstünlükleri	2
1.3. Soğukta Şekil Verilmiş İnce Cidarlı Yapı Tekniği	4
1.3.1. Soğuk Şekil Verme Yöntemleri	5
1.3.1.1. Sürekli Şekil Verme Yöntemi	5
1.3.1.2. Pres Kullanma	6
1.3.1.3. Üretim Verimliliği	7
1.3.2. İnce Cidarlı Profil ve Levhalarda Temel Kavramlar	7
1.3.3. Malzeme ve Kesit Özellikleri	11
1.4. Problem	16
1.5. Amaç ve Önem	16



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	19
2.1. Deneysel Çalışmalar	19
2.2. Artık Gerilmeler	30
2.3. Kesit Düzensizliği	32
3. METOT	35
3.1. Genel Tanımlama	35
3.2. Kullanılan Sonlu Eleman Modeli	35
3.2.1. Lusas Standart Sonlu Elemanlar Yazılımı	35
3.3. Modelin Oluşturulması	39
3.3.1. Kesit Düzensizliğinin Modele Uyarlanması	39
3.3.2. Modelin Geometrisi	50
3.3.3. Malzeme Modeli	48
3.3.3.1. Soğukta Şekil Verilmiş Çelik	48
3.3.3.2. Vidaları Modelleyen Yay Elemanlar	49
3.3.3.3. Alçıpan Kaplama Malzemesi	51
3.3.4. Yükleme ve Sınır Şartları	53
3.4. Parametrik Çalışma	54
3.4.1. Yatay Yükleme Deneylerinde Araştırılacak Parametreler	54
4. ANALİZ BULGULARI	59

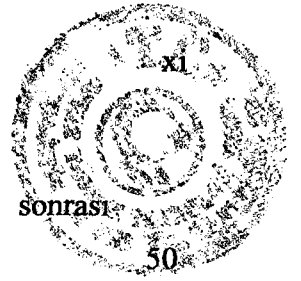
5. SONUÇLAR VE TAVSİYELER	65
5.1. Sonuçlar	65
5.2. Tavsiyeler	66
EK 1	76
EK 2	82
KAYNAKLAR	92
ÖZGEÇMİŞ	96





ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
1.1. Z kesit tipinin üretilmesinde 'istasyon' sayısı	5
1.2. Sürekli şekil verme makinesi	6
1.3. Presleme makinesi	6
1.4. Şekil verme yönteminde maliyet-üretim arasındaki ilişki	7
1.5.1. Soğukta şekil verilmiş elemanların tipik kesitleri	8
1.5.2. Soğukta şekil verilmiş elemanlar ve profil levhalar	9
1.5.3. Soğukta şekil verilmiş eleman ve levhalar için tipik rijitleştirici şekilleri	10
1.5.4. Tipik kenar rijitleştiricileri	11
1.5.5. Boyuna doğrultulu ara rijitleştiriciler	11
2.1. Ölçülen ortalama artık gerilme dağılımı	30
2.2. Kesit düzensizliklerinin tanımlanması	32
2.3. Burkulma modları ve kesit düzensizliği	34
3.1. LUSAS kabuk eleman modeli	38
3.2. Analizde kullanılan kabuk eleman tipi	39
3.3. CM15015 profili kesiti	40
3.4. Profil başlığı kesiti	40
3.5. CM20015 profili kesiti	43



3.6.	CM15015 profili 'özdeğer burkulma' analizi sonrası deformasyon modeli	50
3.7.	CM20015 profili 'özdeğer burkulma' analizi sonrası deformasyon modeli	50
3.8.	Normal P kuvvetiyle nedeniyle doğrusal yay sabiti	52
3.9.	Deneyde kullanılan birleşim detayı	53
3.10.	Kiriş-kiriş, gövde birleşiminde kuvvet-dönme grafiği	53
3.11.	Basınç testi, yük-deplasman grafiği	55
3.12.	Çerçeve numunesi	56
3.13.	Artık gerilme değerleri, % f_y	56
4.1	Analizde kullanılan düzlem çerçevenin üç boyutlu görünüşü	59
4.2	Analizde kullanılan düzlem çerçevenin kaplamalı üç boyutlu görünüşü	60
4.3	Profil boyutlarının yanıl dayanıma etkisi	62
4.4	Kaplamanın yanıl dayanıma etkisi	63
4.5	Dikme aralığının yanıl dayanıma etkisi	63
4.6	Vida aralığının yanıl dayanıma etkisi	64
4.7	Kaplama ve profil boyutlarının Tian et. al., [2004a] ile karşılaştırılması	64
E.1.1.	Deney numunesi	70
E.1.2.a.	Test düzeneğinin genel görünüşü	71
E.1.2.b.	Test düzeneğinin üstten görünüşü	72
E.1.2.c.	Test düzeneğinin kesiti	73

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
1.1. Akma mukavemeti f_{yb} ve kopma mukavemeti f_u ' nun nominal değerleri	14
1.2. Maksimum b/t ve h/t oranları	15
3.1. CM15015 profili kritik burkulma yükü hesabı iterasyon adımları	47
3.2. CM20015 profili kritik burkulma yükü hesabı iterasyon adımları	48
3.3. Kullanılan sonlu eleman tipleri ve serbestlik dereceleri	51
3.4. Analizde kullanılan hafif çelik malzeme parametreleri	51
3.5. Yay elemanların kullanım yerleri ve yay sabiti değerleri	54
3.6. Alçıpanın basınç deneyleri neticesinde elde edilen mekanik özellikleri	55
4.1. Parametrik çalışma (Yatay yük)	58
5.1. Düşey yük test programı	74
5.2. Yatay yük test programı	75

1. GİRİŞ

1.1. Hafif Çelik Yapıların Gelişme Süreci

Soğukta şekil verilmiş elemanlar; otomobil gövdelerinde, demiryolu vagonlarında, çeşitli ekipmanların imalinde, köprülerde vb. alanlarda geniş uygulama alanı bulmaktadırlar. Soğukta şekil verilerek üretilen hafif çelik yapılar konusunda bilgi ve tecrübe birikimine temel teşkil eden sektör uçak endüstrisidir [Yu, 1991]. 20. yüzyılın başlarında uçak endüstrisinin mümkün olduğunca hafif, fakat taşıma kapasitesi o nispette yüksek taşıyıcı elemanlara ihtiyaç duyması, konuyla ilgili bilgi birikimini hızlandıran yoğun araştırmaların yapılmasına neden olmuştur. Uçak endüstrisinde kullanılan malzeme, yapı öz ağırlığını azaltmak amacıyla alüminyum alaşım ise de boyutlandırma prensipleri ufak değişikliklerle çelik malzeme için de geçerli hale getirilebilmiştir. Bu tür yapı üretim tekniği ve boyutlandırma prensibiyle ilgili bilgi birikiminin hızlanmasına neden olan ikinci faktör ise otomobil endüstrisidir. Birinci dünya savaşı sırasında, otomobil kaportasının ve demiryolu vagonlarının üretimi; ince çelik levhaların soğukta şekillendirilmesi suretiyle elde edilen elemanların kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu teknik daha sonra pencere çerçevesi, kapı doğraması gibi yapıların taşıyıcı olmayan elemanlarının üretiminde kullanılmaya başlanmıştır [Yu, 1991]. Uçak ve otomobil endüstrisinin neden olduğu bilgi ve tecrübe birikimi, soğukta şekil verilmiş çelik taşıyıcı elemanların yapı endüstrisinde de yaygınlaşmasına yol açmış, ikinci dünya savaşı sonrasında baş gösteren çelik üretimi sıkıntısı, bu tekniğin daha da gelişmesine zemin hazırlamıştır.

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik profillerin yapı tekniğinde kullanılmaya başlanması 1850'li yılların başlarında Amerika ve İngiltere'de olmuştur. Buna rağmen, bu tip çelik elemanlar, yapılarda 1940'lara kadar yaygın olarak kullanılmamıştır. 1946'dan beri ABD'de bu yapı teknolojisinin gelişimi, bu konuda hazırlanmış olan boyutlandırma standardının (Specification for the Design of Cold Formed Steel Structural Members), AISI (American Iron and Steel Institute) tarafından yapılan çeşitli baskıları ve bunlara kaynak teşkil eden araştırmalar sayesinde olmuştur [Yu, 1991]. İnce cidarlı çelik profillerle oluşturulan yapı taşıyıcı elemanları özellikle ABD, Japonya, Avustralya ve Avrupa'da hızla yaygınlık

kazanmaktadır [Peköz, 1995]. Uygulamada bu sistem ahşap yapı tekniğinden esinlenerek geliştirilmiş, böylece çeliğin çevreci, dönüştürülebilir ve dayanım niteliklerinin avantajı bu tarz bir yapı sistemine yansıtılmıştır [Tian et.al., 2004].

Çeliğin diğer yapı malzemelerine göre çok üstün mekanik özellikleri, yapısal avantajları ve yapım sırasında sağladığı standartlaşma ve uygulama kolaylıkları nedeniyle ülkemizde de hızla yaygınlaşması kaçınılmaz hale gelmiştir.

1990'lı yılların başına kadar ahşap dikme çerçeveli duvar panelleriyle oluşturulan yapı tekniği, özellikle ABD'de, az katlı (1-2 kat) konutlarda yaygın olarak kullanılan ekonomik bir yapım sistemi olarak bilinmektedir. Ancak bu yıllarda ahşap fiyatlarının aşırı tırmanışı [Bateman, 1997] ve bu malzemenin kullanımından dolayı doğal çevreye verilen zarar ve bu malzemenin geriye dönüşümünün olmaması, soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik profiller kullanılarak taşıyıcı duvar panellerinin oluşturulmasının yaygınlaşmasına sebep olmuştur [Bateman, 1997, Burstrand, 1998].

1.2. Hafif Çelik Yapı Sisteminin Üstünlükleri

Hadde mamulü çelik profillerle çelik inşaat tekniği, yapısal maliyetlerin yüksek oluşu nedeniyle, özellikle gelişmekte olan ülkelerde ucuz ve uzmanlaşmış işçilik gerektirmeyen betonarme yapı tekniği ile rekabet edememektedir. Hafif çelik yapı tekniği olarak da bilinen ince cidarlı çelik yapılar her iki yapı tekniğine karşı etkin bir alternatif oluşturmaktadır. Temel avantajları olarak; 1) Yapısal çelikten yüksek mukavemeti ve rijitliği, 2) Hafiflik, profil çeşitliliği ve betonarme ile rekabet edebilecek ekonomi, 3) Kalite ve toleransların kolay kontrol edilebildiği seri üretim imkanı, 4) Çok hızlı montaj ve hava koşullarına bağımlı olmaması, 5) Büyümeye ve sökülmeyle kolaylıkla imkan tanınması gösterilebilmektedir.

Hafif çeliğin, ham maddesinin elde edilmesi, üretimi, taşınması, montajı ve geri dönüşümü yapısal çelik elemanlara göre çok daha az enerji gerektirmektedir. Betonarme, ahşap ve taş malzeme gibi doğal kaynakların tüketimine ya da doğanın zarar görmesine yol açmamaktadır. Bu avantajlar malzemenin ekolojik niteliklerini de ön plana çıkarmaktadır. Özellikle, nitelikli konut talebinin Türkiye'de artış gösterdiği ve önemli olduğu düşünülürse, bu yapım tekniğinin faydaları daha iyi

anlaşılabilmektedir. Bunların ötesinde, bu yapı tekniğinin gelişimine katkıda bulunmanın en büyük önemi depremde sergilediği üstün dayanımdır. Malzemenin yüksek sünekliği deprem enerjisini yutma özelliğini arttırmaktadır. Hafif olması hem daha az dinamik yüklere maruz kalmasını, hem de yıkım halinde kullanıcıların ölüm ve yaralanmalarını azaltmaktadır. Ayrıca, kurtarma çalışmaları da hızlanabilecek ve kolaylaşacaktır. Çeliğin dinamik yükler altındaki bu avantajları 1994 Northridge depremi sonrasında gerçek deprem şartları altında doğrulanmıştır [Wang, Wen, 2000]. Çelik yapıların depremden çok az etkilendiğinin rapor edildiği bu çalışmada ana sorunun tekrarlı yükler altındaki dikme-yatay eleman bağlantı noktalarının gevrek davranışından kaynaklandığı bildirilmektedir. Esnek kolon-kiriş bağlantı noktalarının %70 oranında kapasite kaybına uğraması halinde dahi enerji dağıtımına katkıda bulunan yapılar olarak işlev görebildikleri ve deprem davranışını iyileştirici rol oynadıkları belirtilmektedir. Hafif çeliğin yatay yer değiştirme açıları en olumsuz dinamik koşullarda dahi 1/60 ile 1/300 rad. arasında değişebileceği rapor edilmektedir [Fülöp, Dubina, 2004].

Genel olarak soğukta şekil verilmiş ince cidarlı taşıyıcı elemanların yapı tekniğinde sağladığı yararlar aşağıda özetlenmektedir:

- Çelik profiller, homojen, izotropik, yüksek rijitlik, yüksek düktilite özelliklerine sahiptir.
- Hadde profiline oranla, orta büyüklükte açıklıklar ve orta şiddette yükler için daha ekonomik boyutlamaya imkan sağlamaktadır.
- Yük kapasitesi/ ağırlık oranı oldukça yüksektir.
- Optimum kesit şekillerinin ekonomik ve hızlı olarak üretilebilmesi mümkündür. Sıcakta haddelenmiş profillerin ebatları standart ve belirli sayıda iken, soğukta şekil verilmiş profiller istenilen ebatlarda üretilebilmektedir. Hem mimari detayların çözümünü kolaylaştıran ve hem de optimum taşıma kapasitesi sağlayan kesit şekillerini kolayca üretmek mümkündür.
- Hızlı bir yapı üretimi imkanı sağlamaktadır.
- Kolay stoklama imkanı tanımaktadır. Yapı elemanlarının hafif oluşu ekonomik ve süratli bir şekilde taşınabilmesine imkan sağlamaktadır.

- Kren ve kaldırma elemanları gerektirmediginden ucuz montaja imkan verir.
- İmalat hava şartlarından etkilenmemektedir.
- Yapı elemanları prefabrik olarak imal edileceklerinden tolerans ve kalite dikkatle kontrol edilebilmektedir.
- İnce cidarlı çelik yapı, diğer yapı türlerine oranla daha hafif olduğu için depremde çok daha az etkilenir.
- Galvanizleme yolu ile sağlanan korozyon direnci, sistemin çok uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır.
- Uygulamada herhangi bir şekilde kalıp kullanılmadığından, ölü malzeme maliyetini ortadan kaldırmaktadır.
- Ön üretim esnasında tesisat geçişlerine ait delikler açıldığından elektrik tesisatı, sıhhi tesisat ve kalorifer tesisatı işçiliğinden tasarruf sağlamaktadır.
- Çelik geri dönüşümlüdür, doğaya zarar vermez, ekolojik bir malzemedir.

1.3. Soğukta Şekil Verilmiş İnce Cidarlı Çelik Yapı Tekniği

Genellikle 2 veya 3 kata kadar yapıların taşıyıcı sistemi için kullanılan hafif yapı çeliği olarak adlandırılan soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik profiller duvar panelleri haline getirilerek fabrikada üretilmekte ve şantiyede birleştirilerek çok daha kısa sürede stabil bir yapı oluşturulmaktadır.

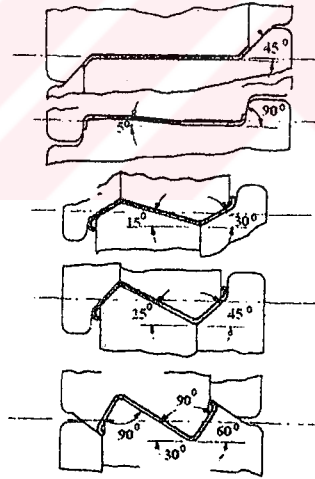
Ana taşıyıcı olarak kullanılmaları durumunda daha çok U, C, L, T, I kesitli profillerle dikdörtgen ya da kare enkesitli kutu profiller tercih edilmektedir. Bu elemanların gövde yüksekliği 50-300 mm arasında, et kalınlıkları ise 1,5-6 mm arasında değişebilmektedir. Ancak son Avrupa standartları [5], kullanılan profillerin boyutlarında belirli sınırlamalar getirmektedir. Söz konusu profil tipleri Şekil 1.5.1’de gösterilmektedir.

1.3.1. Soğukta Şekil Verme Yöntemleri

Uygun kalınlıkta levhalar ısıtılma tabi tutulmaksızın, 1) Sürekli şekil verme, 2) Presleme yöntemlerinden birinin uygulanması suretiyle ince cidarlı çelik profiller üretilmektedirler.

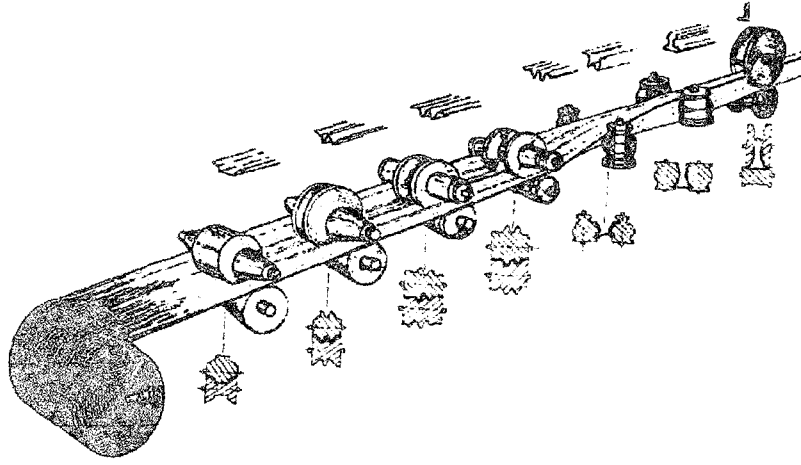
1.3.1.1. Sürekli Şekil Verme Yöntemi

Sürekli şekil verme işlemi ve bu işlemde kullanılan makine Şekil 1.2’de görülmektedir. Saç şeridi çeşitli kademelerde adım adım şekillendirilerek son formunu alır. Bu adımların her birine ‘pas’ ya da ‘istasyon’ adı verilmektedir. Bir kesit şeklinin oluşması için gerekli pas ya da istasyon sayısı kesit şeklinin ne kadar karmaşık olduğuna bağlıdır. Mesela 2 mm’nin üstünde et kalınlığı olan Z kesitli bir profilin oluşturulması için beş veya daha fazla pas gerekmektedir [Uzgider, Arda, 1989] (bkz. Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Z kesit tipinin üretilmesinde ‘istasyon’ sayısı

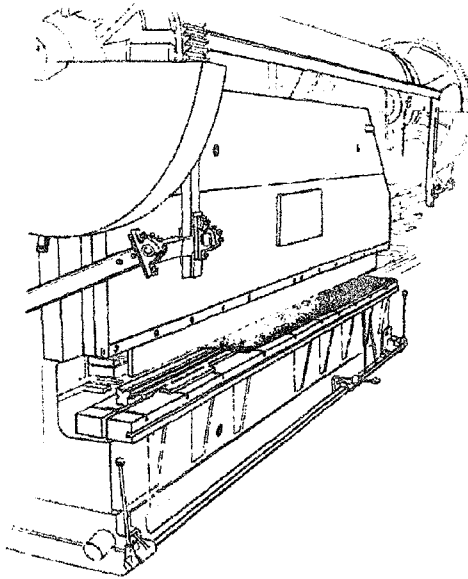
Sürekli şekil verme yönteminin avantajı, üretim hızının yüksek oluşu ve önceden galvanizlenmiş ya da boyanmış bir malzemenin kaplamasına hasar verilmeden şekillendirilebilmesidir.



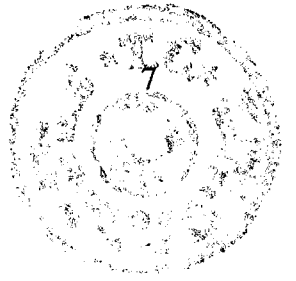
Şekil 1.2. Sürekli şekil verme makinesi [Uzgider, Arda, 1989]

1.3.1.2. Presleme Yöntemi

Bu şekil verme işlemi daha çok kısa boydaki elemanlara şekil vermek için kullanılmaktadır. Kesit şeklini oluştururken meydana getirilen her köşe bir pres darbesiyle oluşturulmaktadır. Üretilebilecek kesitin karmaşıklığı kullanılan pres yatağının şekline bağlıdır. Bu amaçla kullanılan preslerin basma gücü genellikle 3-3.5 m uzunluğunda eleman oluşturulmasına imkan vermektedir. Fakat 8 m uzunluğunda eleman üretimine imkan veren kuvvetli presler de mevcuttur. Bu yöntemde kullanılan makine (Abkant Pres) Şekil 1.3'te görülmektedir [Uzgider, Arda, 1989].

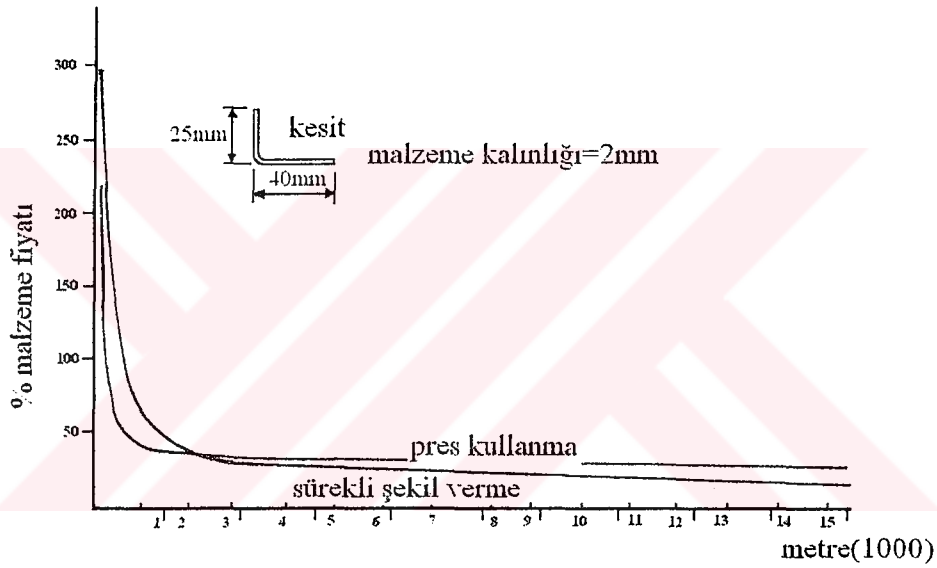


Şekil 1.3. Presleme makinesi [Uzgider, Arda, 1989]



1.3.1.3. Üretim Verimliliği

Şekil verme yöntemlerinden hangisinin uygun olduğunu belirleyecek en önemli faktör maliyettir. Eğer çok miktarda profilin hızlı üretimi gerekli ise sürekli şekil verme yöntemi daha uygun olmaktadır. Şekil 4'te korniyer üretiminde maliyet-üretim miktarı ve tipi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Görülmektedir ki eğer mevcut tesisler kullanılıyor ise pres kullanma 1000-2500 m'lik üretim kapasitesinde daha ekonomiktir. Bu durumda, sürekli şekil verme yöntemi yüksek üretim kapasitesi hedeflenmedikçe tercih edilmemelidir.



Şekil 1.4. Şekil verme yönteminde maliyet-üretim arasındaki ilişki

[Uzgider, Arda, 1989]

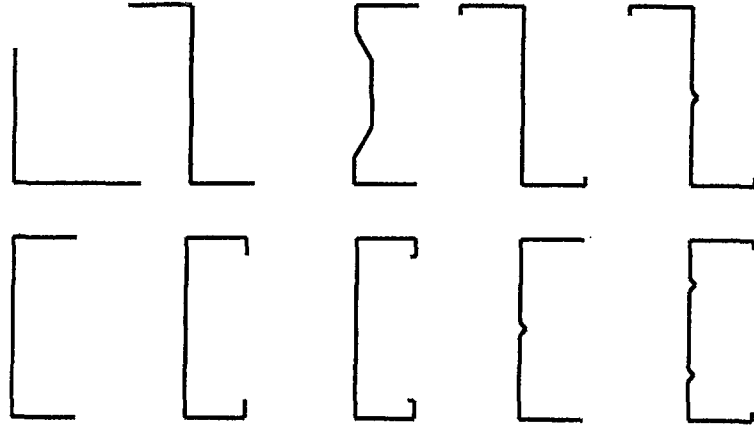
1.3.2. İnce Cidarlı Profil ve Levhalarda Temel Kavramlar

Soğukta şekil verilmiş profillerin ve oluklu levhaların malzeme kalınlıkları izin verilen toleranslar dahilinde eleman uzunluğu boyunca sabit kalmaktadır. Kesit şekilleri ise düzlem elemanlarla eğrisel elemanların birleştirilmesinden oluşmaktadır.

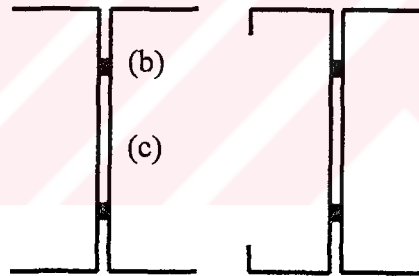
Soğukta şekil verilmiş elemanlarda tipik kesit şekilleri aşağıdaki kategorilerde ele alınmaktadır:



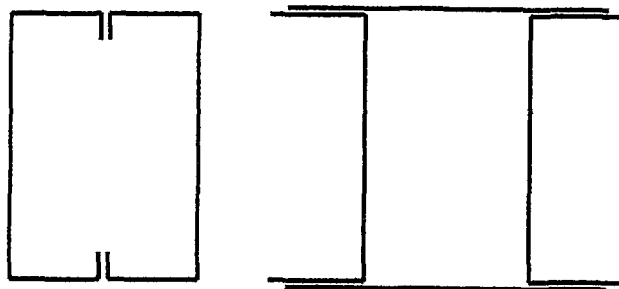
- 1) Açık kesitler (bkz. Şekil 1.5.1.a);
- 2) Açık yapma kesitler (bkz. Şekil 1.5.1.b);
- 3) Kapalı yapma kesitler (bkz. Şekil 1.5.1.c)



(a) Açık kesitler



(b) Açık yapma kesitler



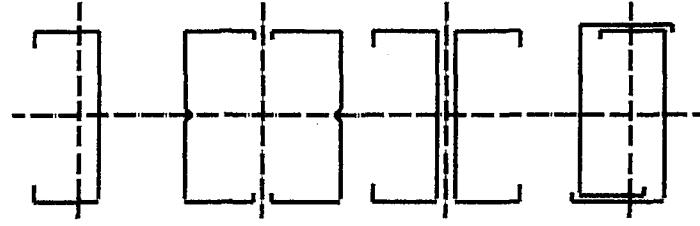
(c) Kapalı yapma kesitler

Şekil 1.5.1. Soğukta şekil verilmiş elemanların tipik kesitleri

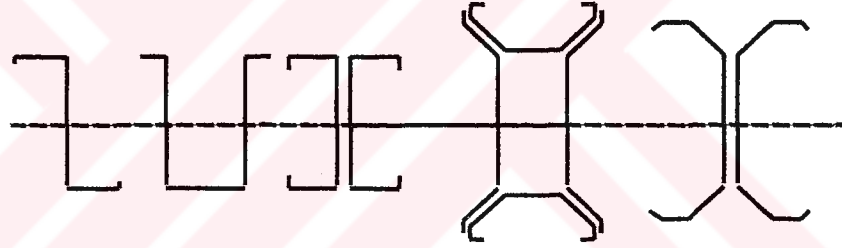


İnce cidarlı profiller üç ayrı taşıyıcı eleman tipinin gereklerini yerine getirecek biçimde seçilmeli ya da şekillendirilmelidir:

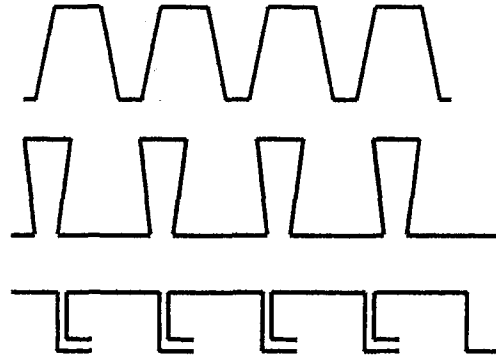
- 1) Basınç ve çekme elemanları (bkz. Şekil 1.5.2.a);
- 2) Kirişler ve eğilmeye maruz diğer elemanlar (bkz. Şekil 1.5.2.b);
- 3) Bindirmeli ve oluklu levhalar (bkz. Şekil 1.5.2.c).



(a) Basınç ve çekme elemanları



(b) Kirişler ve eğilmeye maruz diğer elemanlar



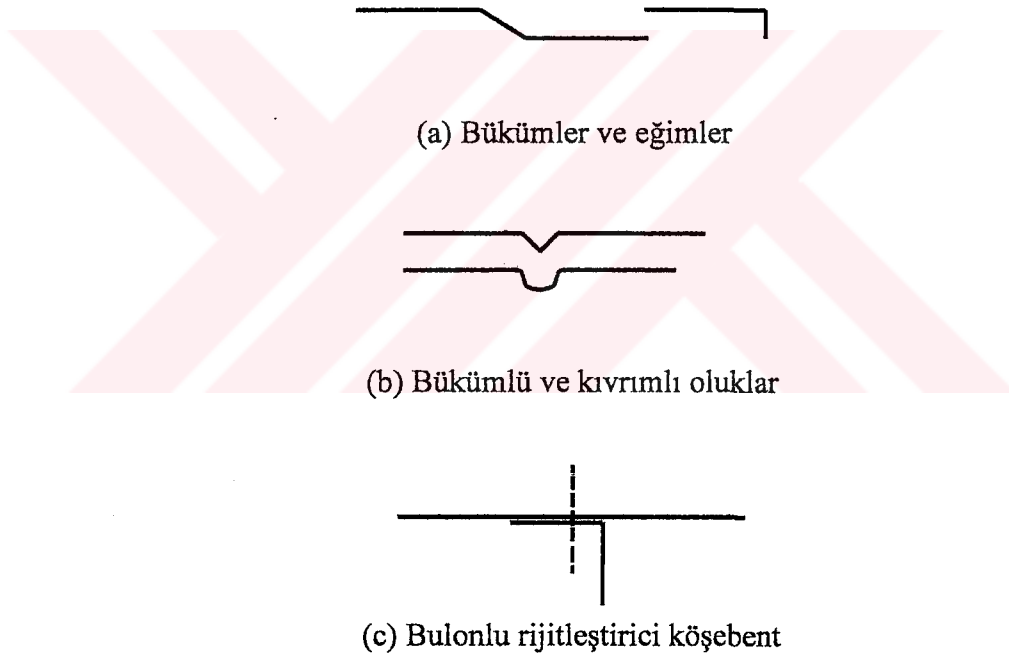
c) Profil levhalar ve geçmeli profiller

Şekil 1.5.2. Soğukta şekil verilmiş elemanlar ve profil levhalar

Soğukta şekil verilmiş elemanlar ve levhalar rijitleştirilmiş veya rijitleştirilmemiş olabilmektedir. Rijitleştirilmiş eleman, kendi düzleminde etkiyen basınç gerilmelerinin doğrultusuna paralel başlıkların her ikisinde birden uygulanan bir kıvrım ve/veya gövdeye uygulanan bir ya da birden fazla girintiden oluşmaktadır.

Soğukta şekil verilmiş elemanlar ve levhalardaki tipik rijitleştirici şekilleri Şekil 1.5.3(a,b,c)'te verilmektedir.

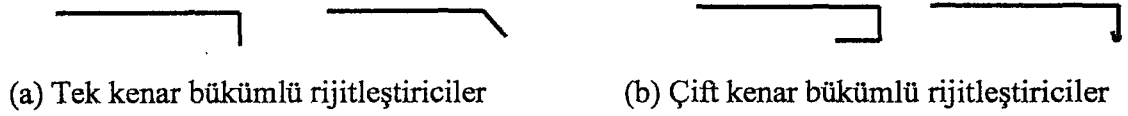
- eğimli kıvrımlar (bkz. Şekil 1.5.3.a);
- bükümlü ya da kıvrımlı oluklar (bkz. Şekil 1.5.3.b);
- bulonlu, perçinli ya da kaynaklı diğer kesitler (bkz. Şekil 1.5.3.c)



Şekil 1.5.3. Soğukta şekil verilmiş eleman ve levhalar için tipik rijitleştirici şekilleri

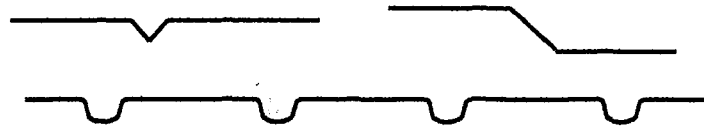
Boyuna doğrultudaki başlık rijitleştiricileri, kenar veya ara rijitleştiriciler şeklinde olabilmektedir.

- Tipik kenar rijitleştiriciler aşağıdaki gibidir:
- Tek bükümlü kenar rijitleştiricileri (bkz. Şekil 1.5.4.(a));
- Çift bükümlü kenar rijitleştiricileri (bkz. Şekil 1.5.4.(b))



Şekil 1.5.4. Tipik kenar rijitleştiricileri

- Boyuna doğrultulu tipik ara rijitleştiriciler aşağıdaki gibidir:
- Başlıklar için olan (bkz. Şekil 1.5.5.(a));
- Gövdeler için olan (bkz. Şekil 1.5.5.(b)).



Şekil 1.5.5. Boyuna doğrultulu ara rijitleştiriciler

1.3.3. Malzeme ve Kesit Özellikleri

ENV 1993-1-3:1996, [5], soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik profillerin malzeme, kesit ve mukavemet özellikleriyle ilgili bazı tanımlamalar yapmaktadır:

Ana malzeme: Soğukta şekil verilmiş kesitlerin dışındaki çelik levha ve soğukta şekil verilerek yapılmış oluklu levhalardır.

Akma gerilmesi: Ana malzemenin çekme akma mukavemetidir.

Diyafram etkisi: Levhaların düzlem içi kayma gerilmeleriyle yük taşıması davranışıdır.

Geçmeli oluklu levhalar: Bitişik panellerle bağlantıyı sağlayacak biçimde kenarları uzun rijitleştiricilerle oluşturulan oluklu levhalar olup, olukların doğrultusuna dik doğrultuda yerleştirilen bindirmeli oluklu levhaları taşıyabilen elemanlardır.

Kısmi mesnetleme: Düzlemsel taşıyıcı bir elemanın düzlem dışı veya dönel deformasyonlarının veya burulma ya da çarpılma deformasyonlarının engellenmesidir. Bu durumda elemanın burkulma dayanımının yarı rijit mafsallık ile mesnetlendirilmiş elemanlardan daha yüksek, tamamen rijit mesnetlendirilmiş elemanlardan da daha düşük olduğu kabul edilmektedir.

Rölatif narinlik: Normalleştirilmiş narinlik oranıdır.

Tam mesnetleme: Çubuk veya düzlemsel bir taşıyıcı elemanın yanal veya dönel deformasyonlarının veya burulma ya da çarpılma deformasyonlarının, elemanların burkulma dayanımını sağlayacak biçimde rijit bir mesnet olarak kısıtlanmasıdır.

Gergin yüzey tasarımı: Diyafram etkisinin levhanın rijitlik ve dayanımına sağladığı katkıyı değerlendiren tasarım yöntemidir.

Mesnet: Bir elemanın temele ya da başka bir elemana veya başka bir taşıyıcı sisteme yük ve moment aktardığı bağlantı noktasıdır.

ENV 1993-1-3:1996, tasarım hesaplarında kullanılan çeliğin nominal akma mukavemeti, f_{yb} , ve nominal nihai çekme mukavemeti, f_u , için Tablo 1.1’de verilen karakteristik değerleri almaktadır.

ENV 1993-1-3:1996, tanımladığı bu çelik sınıfları için tasarımda kullanılacak malzeme özelliklerini aşağıdaki gibi belirlemektedir:

- elastisite modülü : $E=210\,000\text{ N/mm}^2$
- kayma modülü : $G = \frac{E}{2(1 + \nu)}\text{ N/mm}^2$
- poisson oranı : $\nu=0,3$
- doğrusal termal genişleme katsayısı : $\alpha=12 \times 10^{-6}\text{ 1/K}$
- birim kütle : $\rho=7850\text{ kg/m}^3$

Bağlantı elemanları olarak ise ENV 1993-1-3:1996, otomatik diş açan vida (sivri uçlu sac vidası, kesik uçlu sac vidası; kendi deliğini açan sac vidası), tabancalı pim, perçin ve kaynağı önermektedir.

Yeterli sayıda deneyle davranışı belirlenmiş kesitler için genişlik/kalınlık oranları olan b/t ve h/t 'nin maksimum değerleri Tablo 1.2'de verilmektedir. ENV 1993-1-3:1996, bu sınırların dışında genişlik/kalınlık oranına sahip kesitlerin kullanımına; taşıma gücü dayanımları ve servis yükü dayanımları söz konusu standardın 9. bölümünde verilen test yöntemine dayandırıldığı taktirde, izin vermektedir.

ENV 1993-1-3:1996, yeterli rijitliği sağlamak ve rijitleştiricinin ön burkulmasını önlemek için rijitleştiricinin boyutlarını aşağıdaki gibi sınırlamaktadır:

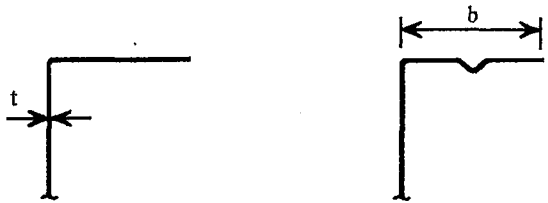
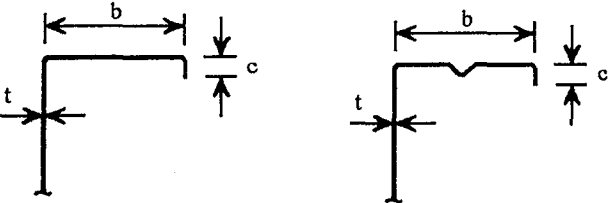
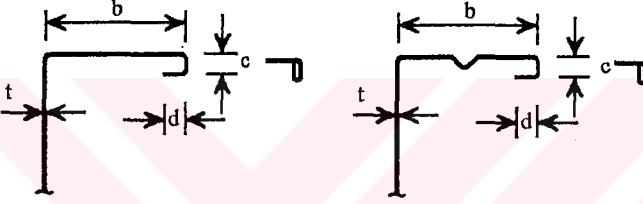
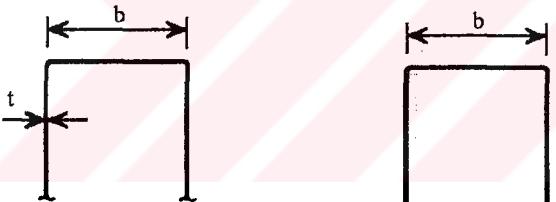
$$0,2 \leq c/b \leq 0,6 \quad (\text{ENV 1993-1-3:1996, Denklem 3.4a})$$

$$0,1 \leq d/b \leq 0,3 \quad (\text{ENV 1993-1-3:1996, Denklem 3.4b})$$

Burada, 'b', 'c' ve 'd' boyutları Tablo 1.2'de gösterildiği gibidir.

Çelik tipi	Standart	Sınıfı	f_{yb} N/mm ²	f_u N/mm ²
Yapısal çelik levha	EN 10025	S235 S275 S355	235 275 355	360 430 510
Yüksek mukavemetli yapısal çelik levha	EN 10113: Bölüm 2	S275 N S355 N S420 N S460 N	275 355 420 460	370 470 520 550
	EN10113: Bölüm 3	S275 M S355 M S420M S460 M	275 355 420 460	360 450 500 530
Soğukta şekil verilmiş çelik	ISO 4997	CR220 CR 250 CR 320	220 250 320	300 330 400
Sıcak daldırma yoluyla çinko kaplanan çelik levha	EN 10147	Fe E 220 G Fe E 250 G Fe E 280 G Fe E 320 G Fe E 350 G	220 250 280 320 350	300 330 360 390 420
Soğukta şekil verilmiş yüksek mukavemetli çelik	prEN 10149:Bölüm 2	S 315 MC S355 MC S 420 MC S 460 MC S 500 MC S 550 MC	315 355 420 460 500 550	390 430 480 520 550 600
	prEN 10149:Bölüm 3	S 260 NC S 315 NC S 355 NC S 420 NC	260 315 355 420	370 430 470 530

Tablo 1.1. Akma mukavemeti f_{yb} ve kopma mukavemeti f_u 'nın nominal değerleri, [5]

Eleman kesiti	Maksimum değer
	$b / t \leq 50$
	$b / t \leq 60$
	$b / t \leq 90$
	$b / t \leq 500$
	$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ $h / t \leq 500 \sin \phi$

Tablo 1.2. Maksimum b/t ve h/t oranları

1.4. Problem

Bu tarz bir yapım tekniğinin göreceli olarak yeni olması hem tasarım standartlarının bazı hususlarda yetersiz kalmasını, hem de daha çok katlı (4-5 kat) yapı uygulamalarının gerçekleştirilmesini engellemektedir. ABD’de AISI, [1], Avrupa’da ENV 1993-1-3:1996, [5], bu yapım tekniği ile ilgili hesap standartlarının oluşturulmasında öncülük etse de, aşağıda tartışılan alanlarda yapısal davranışın anlaşılmasında ciddi eksiklikler bulunmaktadır. Bu yüzden ki, ENV 1993-1-3:1996 hesapla uygunluk yerine, uygulaması yapılacak elemanın tam ölçekli deneysel prosedürlerle dayanım uygunluğunun ispatlanmasını tercih edebilmektedir. Türkiye’de ise, TS 11372, [30], bu tarz elemanlarla yapım tekniklerinin hesap standartlarını belirlemektedir.

İnce cidarlı çelik profillerle oluşturulan yapı taşıyıcıları özellikle ABD, Japonya, Avustralya ve Avrupa’da hızla yaygınlık kazanmaktadır, [Peköz, 1995]. Uygulamada bu sistem ahşap yapı tekniğinden esinlenerek geliştirilmiş, böylece çeliğin çevreci, dönüştürülebilir ve dayanım niteliklerinin avantajı bu tarz bir yapı sistemine yansıtılmıştır, [Tian et. al., 2004]. 1999 Marmara depreminden sonra Türkiye’de bu yapım tarzı ile üretilen konut sayısında hızlı bir artış gözlemlenmekte, bu konuda uzmanlaşmaya çalışan firma sayısında da bir artış görülmektedir. Bununla birlikte üretim kalitesi, uygulama detayları ve tasarım konusunda geniş bir çeşitliliğe rastlanmaktadır. Bu yapı sistemine ilişkin standart ve yönetmelikler mevcut olsa dahi, bazı hususlarda (birleşim noktalarının rijitliği, birleşim noktalarının teşkili, yanal kaplamaların yanal ve düşey rijitliğe etkisi ve buna bağlı olarak dikme göçme modları vb.) önemli boşluklar bulunmaktadır [Telue and Mahendran, 2001, 2004].

1.5. Amaç ve Önem

Tez çalışmasında düşey yük taşıyan hafif çelik profillerle oluşturulan panellerin yanal yük taşıma kapasitelerinin araştırılması amaçlanmaktadır. Deneysel metotla bu konunun araştırılması uzun ve maliyetli bir süreç olması nedeniyle, son yıllarda yaygınlık kazanan ve deney prosedürleri ile yakın sonuçlar elde edebilen sonlu elemanlar yöntemi ile konunun irdelenmesi uygun görülmektedir. Tez bulguları ileride uygulanacak bir test programında gerekli olan araştırma parametrelerini ortaya



koyacağı gibi test yönteminin uluslararası bilgi birikimine katkıda bulunabilecek bir formata sahip olması için gereken bilgi donanımını da sunacaktır.

Çalışma kendi başına kesinlikle bağımsız olmayıp, literatür araştırması neticesinde önemi vurgulanan yanal rijitlik parametrelerine odaklanmaktadır. Bu parametrelerin Türkiye şartlarında imal edilen profil, malzeme ve imalat yöntemleriyle nasıl sonuçlar vereceğinin ön araştırma bulguları bu tez çalışması ile amaçlanmaktadır. Uzun vadede bu bulgular firmaları uygun detaylanmalarla bu yapı tarzını güvenle kullanabilmeleri imkanı sağlanabilecektir.

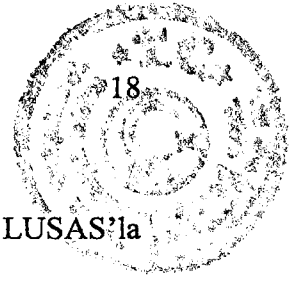
Tezde panel yanal rijitliği monotonik yükler altında literatür bulgularında önemi vurgulanan 4 ayrı parametre için irdelenmektedir:

1. Dikme aralığı,
2. Kaplama türü,
3. Kaplama vida aralığı,
4. Dikme boyutu.

Tezin birinci bölümünde soğukta şekil verilmiş çelik malzemenin kullanımının tarihsel süreci anlatılmakta, soğuk şekil verme yöntemleri, soğukta şekil verilmiş ince cidarlı profil ve oluklu levhaların malzeme ve kesit özellikleri anlatılmakta ve hafif çelik yapı sistemlerinin yapısal problemlerinden bahsedilmektedir. Bu problemler dahilinde tezin amaç ve önemi açıklanmıştır.

İkinci bölümde dünya literatürüne girmiş ve günümüze kadar yayınlanmış, soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik profiller ve bu profiller ile oluşturulmuş yapı panellerinin davranışını araştıran çalışmalar sunulmakta, bu bölümde araştırılan parametrelerin test ve analitik yöntemlerinin ayrıntılı bir tartışması yapılarak, tezin uluslararası çalışmalarla paralelliği için gerekli şartlar sağlanmaktadır.

Üçüncü bölümde, çalışmada kullanılan metot ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Yapılan sonlu elemanlar analizinin esasları, analiz modelini oluşturan unsurlar verilmektedir.



Dördüncü bölümde standart sonlu elemanlar analizi programı olan LUSAS'la yapılmış analiz sonuçları ayrıntılı olarak verilmektedir.

Beşinci bölümde ise yapılan analizlerin sonuçlarının genel bir değerlendirmesi yapılmakla birlikte ileride yapılması gerekli görülen çalışmaların planlarından bahsedilmektedir.





2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Hafif çelik yapı tekniğinin göreceli olarak yeni olması, bu konuda yayınlanmış bilimsel çalışma bulgularının da yeni ve tam olarak kabul görmemesine yol açmaktadır.

Genel olarak bakıldığında yapı teknolojisini ilgilendiren hususlarda bilimsel yayınlar üç ana başlıkta ele alınmaktadır.

1. Dikme-kiriş ya da dikme-panel yatay eleman bağlantılarının teşkili ve rijitliği,
2. Dikme elemanlarının basınç altında davranışı ve göçme modları,
3. Dikme ve yatay elemanlarla oluşturulan çerçeve panellerinin düşey ve yatay yük kapasiteleri.

Yapılan literatür araştırması başlıca üç ana grupta toplanmaktadır.

1. Deneysel çalışmalar,
2. Artık gerilmeler,
3. Kesit düzensizliği.

2.1. Deneysel Çalışmalar

Araştırmacılar kısa kolonlar, kolon kiriş birleşimleri, bağlantı elemanları ve çerçevelerle tam ölçekli deneysel çalışmalar ve sonlu eleman analizleri yapmışlardır. Deneylerden elde ettikleri sonuçlarla, sonlu eleman analizi sonuçlarını kıyaslayarak modellerinin doğrulanmasını sağlamaya çalışmışlardır.

Chung and Lau, [1999], standart ve yönetmeliklerin yetersiz olduklarını ileri sürerek, 6 farklı kolon-kiriş ve 3 farklı kolon-temel bağlantı türünün rijitliğini deneysel olarak belirlemektedir. Bu çalışmada bağlantı noktasının, en fazla bağlanan elemanın moment kapasitesinin %83'ü kadar dayanım gösterebildiği, gevrek kırılma sergilediği rapor edilmektedir. Daha az rijit bağlantıların ise bağlanan elemanın %48'i

kadar dayanım göstererek, yanal burulmalı burkulma ile erken göçme sergilediği görülmektedir. Sonlu elemanlar analizlerine dayandırılan bağlantı noktası ile ilgili çalışmalarda ise, [Chung and Ip, 2001, Sarawit, 2002], bindirmeli eklerde yüksek mukavemetli bulon etkisini ve depolama raflarında bulonlu birleşim modellemesini değerlendirmektedirler.

Chung and Ip, [2001], yüksek mukavemetli bulon kullanarak ince cidarlı levhalarda kesme göçme modlarını; basınç ezilmesi (bearing failure), yırtılma (shearing-out) ve deliğin yanal daralma (net-section failure) ile zayıflamasını incelemektedirler. Sonlu elemanlar analizi sonuçları ile Avustralya (AS/NZ 4600:1996), İngiliz (BS5950 Part 5:1998) ve Avrupa (ENV 1993-1-3:1996) standartlarını karşılaştırdıklarında bu standartların güvensiz olarak, analiz dayanımlarının üzerinde dayanımlar verdiklerini belirtmektedirler. Bu durumun cidar kalınlığının artması ile daha da olumsuz olduğu bildirilmektedir.

Sarawit, [2002], ince cidarlı çelik profillerle oluşturulan depolama raf bağlantı noktasının ABAQUS ile kapsamlı bir sonlu eleman modelini tarif etmektedir. Sonuçlar analizlerin moment-açısal dönme davranışını hassas olarak modelleyebildiğini ancak göçme modunu doğru tahmin edemediğini ve nihai moment kapasitesini olduğundan yüksek belirlediğini göstermektedir. Bunun nedeni malzeme modelinin yetersizliğine bağlanmaktadır. Açıktır ki, bu çalışmaların hiçbiri bu yapım sisteminde sıklıkla kullanılan ve kendi yuvasını açabilen vidalarla dikme-yatay eleman bağlantı şekillerini araştırmamaktadır. Bu alanda ciddi bir araştırma eksikliği bulunduğu söylenebilmektedir. Sadece, Rogers and Hancock, [1999], münferit bir çalışma ile vidalı birleşimlerde göçme modunun vidalarda eğilmeli-kesmeye bağlı olarak geliştiğini rapor etmektedirler.

Örnekleri sunulan bu çalışmalar tekil eleman davranışına yoğunlaşmaktadır. Halbuki panel çerçeve elemanlarının ve kaplama etkisinin, dikme yapısal davranışını ve yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde değiştirmesi beklenmelidir. Özellikle konuya bu açıdan yaklaşan çalışmalar uluslararası literatürde oldukça sınırlıdır ve bu tezin de ana ilgi odağını oluşturmaktadır.

Telue and Mahendran, [2001, 2004a-c], kaplama malzemesinin çerçevenin düşey taşıma gücüne olan etkisini araştırmak için 20 adet gerçek ölçülü çerçeve deneyi yapmışlardır. Deneyler kapsamında incelenen parametreler ise kaplama malzemesi kalınlığı, kaplanmış olduğu yüzey, dikme kesit geometrisi, dikme kesit kalınlığı, çelik sınıfı, dikme sayısı ve aralığıdır.

Bu parametrelerin etkilerini araştırmak için aralıkları 300 ve 600 mm olan üç dikmeden meydana gelmiş toplam 20 gerçek ölçülü çerçeve seçilmiştir. 1,15 mm et kalınlığındaki dikme ve kirişler, minimum akma gerilmesi 175 ve 500 Mpa olan iki çelik sınıftan imal edilen U profillerinden yapılmıştır. Panel yüksekliği ise 2,4 m'dir. Kaplama malzemesi 10 mm kalınlığında alçıpandır.

Alçıpan levhayı sadece dikmeye bağlayan Telue and Mahendran, [2001, 2004a], 3,33 mm'lik otomatik diş açan vidaları 220 mm aralıklarla kullanmaktadırlar. İlk vida her iki uçta da 75 mm'lik mesafeye yerleştirilmiştir. Test çerçevelerinde dikmeler kirişlere bağlantı noktalarından S8-18x12 mm'lik tek bir vida ile tespit edilmiştir. Aynı yazarlar test sonuçlarına göre kalibre ettikleri sonlu eleman analizleri ile üç ayrı vida aralığını (142, 220, 285 mm) incelemişler, 140 mm'nin altındaki vida aralığı için panel rijitliğinde önemli artışlar olmayacağını iddia etmişlerdir. Telue and Mahendran, [2001,2004], düşey rijitlik testlerini her üç dikmeye de yük etkitmek suretiyle gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar çerçevenin düzlem dışı deformasyonlarını engellemek maksadıyla çerçeveyi dört noktada üst kirişten mesnetlemişlerdir. Panel numunesinin alt kirişi ise çelik bir I profiline mesnetlenmek suretiyle test uygulanmıştır. Deformasyonların, makalede direk olarak söylenmese de, orta dikmenin üst kirişe bağlandığı noktada transducer kullanılarak düşey olarak ölçüldüğü anlaşılmaktadır.

İlk çalışma, [2001], 20 adet tam ölçekli duvar panelinin deneysel bulgularını, müteakip çalışma ise; [2004a-c], test numunelerinin ABAQUS ile sonlu eleman modelinin geliştirilmesini, doğrulanmasını ve tasarım amaçlı parametrik çalışmalar için kullanılmasını içermektedir. Tekil kısa kolon (600 mm) testlerinde dahi kaplamanın dikmeye bağlantı aralığı 100 mm'nin altına düşürüldüğünde, alçıpan levha kaplama yerel burkulma yükünü %25 oranında arttırmaktadır. Tam ölçekli üç dikme içeren panel (2400 mm yüksekliğinde) testlerinde alçıpan levha

kullanılmadığında göçme modunun eğilmeli-burkulma yada eğilmeli-burulmalı-burkulma olduğu rapor edilmektedir. Alçıpan kaplama her iki yüzeye kaplandığında, aynı panel içindeki dikme dayanımları %250 artmakta ve göçme modu levha bağlantı vidaları arasındaki lokal burkulma olarak belirlenmektedir, [2001]. Kullanılan iki farklı dikme aralığının (300 mm ve 600 mm) burkulma kapasitelerinde bir değişikliğe yol açmadığı, ancak kaplama vida aralığının (65, 130 ve 260 mm) 100 mm'nin altına düşmesi ile yerel burkulma kapasitesinde önemli artışlar elde edildiği bildirilmektedir. AS4600 ve AISI hesap yöntemleri ile karşılaştırıldığında hesap dayanımlarının güvensiz ve deneysel kapasitelerden fazla olduğu görülmektedir. ABAQUS sonlu eleman modelleri, artık gerilmelerin (residual stress), kesit düzensizliklerinin (geometric imperfections), vida, dikme ve yatay bağlantı elemanlarının etkileşimini değerlendirebilmektedir, [2004a-c]. İki ayrı çalışmada kaplamalı, [2004a], ve kaplamasız, [2004c], panellerin malzeme özellikleri, kesit ve/veya kaplama kalınlıkları, vida çap ve aralıkları değiştirilmek suretiyle, parametrik çalışmalar yürütülerek tasarım için gerekli olan burkulma katsayıları belirlenmektedir. Burkulma katsayısının özellikle yatay eleman eğilme rijitliğinin dikme rijitliğine oranının düşmesi ile arttığı belirlenmektedir. Kaplama kalınlığının, dikme aralığının dayanım üzerinde etkisinin önemli olmadığı belirtilmektedir. Sonlu eleman model sonuçları dikmenin yatay elemana kaynaklanmasının dikme dayanımlarını arttıracaklarını göstermektedir, [2004a].

Tian et. al., [2004b], tek tarafı OSB ya da alçıpan kaplı panellerin yanal rijitliğe katkısı ile, tek ya da çift taraflı çapraz kuşaklı panellerin yanal rijitliğe katkılarını karşılaştırmaktadırlar. 10 adet çift dikmeli, 20 adet tek dikmeli taşıyıcı duvar panelinin testini gerçekleştirmişlerdir. 3 ayrı kaplama malzemesinin; OSB (oriented strand board), CPB (cement particle board) ve CSB (calcium silicate board), düşey yük taşıma kapasitesine olan katkısı araştırılmaktadır. Bu çalışmada sadece rijitleştirici malzeme ya da elemanın etkisi kısmen incelenmekte, kimi değişken için tam karşılaştırma yapılamamaktadır. Mesela, çift taraflı kuşak ile çift taraflı OSB ya da alçıpan kaplamanın karşılaştırılması yapılamamaktadır.

Deneysel kapsamında gerçek ölçülü 20 adet tek orta dikmeli ve 10 adet iki orta dikmeli olmak üzere 30 adet 1250x2450 mm ebatlarında panel test edilmiştir. Panel profilleri 200 N/mm² ve 350 N/mm² akma mukavemetli farklı iki çelik sınıfından

seçilmiştir. Dikmeler için beş farklı ölçülerde C profili kullanılmıştır (90x1.5, 90x1.5, 90x1.2, 90x0.9, 90x0.7 mm). Profil et kalınlıklarının 0.7-1.5mm arasında değiştiği dikkat çekmektedir. Kirişler ise 93x1.2 mm'lik U profili olarak seçilmiştir. Dikmeler kirişlere her birinin başlığından üç adet perçinle, kirişler ise kenar dikmelere her birinin başlığından 2 adet perçinle tespit ettirilmiştir. Kaplamalarda 5 mm'lik otomatik diş açan vidalar ile hem kiriş başlıklarına hem de dikmelere 300 mm aralıklarla kullanılmıştır. Orta dikmelerde ise vida aralığı 300, 400 ve 600 mm olarak değişmektedir. Bu çalışmada vida aralıkları azaldıkça panel dikme rijitliğinin önemli artışlar gösterdiği rapor edilmektedir. Panellerden 3 tanesi kaplamasız, 14 tanesi tek tarafı kaplamalı(OSB, alçıpan ya da betopan), 3 tanesi de iki tarafı da kaplamalı (OSB, alçıpan ya da betopan) olarak seçilmiştir. OSB kaplamalı paneller CPB (betopan) ve CSB (alçıpan) kaplamalı panellere göre sırasıyla %20 ve %70 daha yüksek yük kapasitesi sergilemektedir. Panel dikme dayanımı 300 mm arayla bağlanan kaplamalarda, 600 mm arayla bağlanan kaplamalara göre, %15-%94 arasında bir artış göstermektedir. Artışın kuvvetli kaplamalarla daha fazla olduğu belirlenmektedir. Numunelerde temel göçme modu kaplamasız panellerde eğilmeli burkulma, iki tarafı kaplamalı panellerde ise eğilmeli burulma burkulması olmaktadır. Tek ve çift dikmeli panel testlerinde dikme dayanımları önemli farklılıklar göstermemektedir.

Tian et. al., [2004a], hem düşey hem de yatay rijitlik testleri uygulamışlardır. Düşey rijitlik testlerinde deney numunesi dikey konumda, yatay rijitlik testlerinde ise deney numunesi döşemeye paralel yatay konumda test edilmiştir. Düşey rijitlik testlerinde panel numuneleri her üç dikmeye de yük etkitmek ya da sadece orta dikmeye yük etkitmek suretiyle test edilmiştir. Elemanın deformasyonları düşey rijitlik testlerinde üç ayrı noktadan (orta dikmenin ortasında yanal, sağ dikmenin üst ve altında düşey olmak üzere transducer ile) ölçülmektedir. Yanal rijitlik testleri ise panel numunesinin laboratuvar döşemesine paralel konumda yerleştirilmesi ve sağ üst köşeden yük etkittirilmesi suretiyle uygulanmaktadır. Bu testlerde yük numuneye doğrudan değil, panel kirişine bağlanan bir ahşap kiriş vasıtası ile uygulanmaktadır. Numunenin alt başlığı yine ahşap bir kirişe köşebentler ile dış uç dikmelerden 10 mm'lik bulonlar ile bağlanmaktadır. Ahşap kiriş ise döşemeye 20 mm'lik bulonlar ile sabitlenmektedir. Ölçümler üst ve alt başlığın sol ucundan yanal, sol ve sağ dikmenin

alt başlığa bağlandığı ucundan da düşey yönde olmak üzere dört ayrı transducer ile yapılmaktadır.

Kaplamasız olanlara kıyasla, kaplama içeren paneller ya da çapraz şerit kullanılan paneller 10 kat fazla yanal dayanım sergilemektedir. Göçme çapraz şeritli panellerde çapraz şerit bağlantılarının kesilmesi ve basınç alan dikmenin lokal burkulması, kaplamalı panellerde ise üst başlık elemanında burkulma ya da kaplama bağlantılarının sökülmesi ile gerçekleşmektedir.

İnce cidarlı çelik duvar panellerinin yanal yükler karşısında davranışı daha az bilinmektedir. ABD’de NAHB (National Association of Home Builders) araştırma merkezinin yürüttüğü monotonik yanal dayanım testlerinde kaplama malzemesi olarak, bir yüzde OSB, diğer yüzde de alçıpan kullanılmaktadır, [1997]. Kapı ve pencere boşluklarının ve taban bağlantılarının etkisi araştırılmaktadır.

NAHB, [1997], bir yüzeyi OSB, diğer yüzeyi alçıpan levha ile kaplı panellerde boşluk alanının yanal rijitlik üzerindeki etkisini incelemek için 2.4x12 m boyutlarında toplam dört adet panel test etmişlerdir. Testte kullanılan tüm profiller 0.88 mm kalınlığındadır. Dikmeler kirişlere kiriş profil başlıklarından 2.78 mm çaplı vidalarla bağlanmışlardır. Paneli oluşturan dikmeler 610 mm aralıklarla yerleştirilmiştir. Alt kirişin iki ucunda da kirişi deney düzeneğine bağlayan iki adet bağlantı köşebenti ve 16 mm’lik bulon kullanılmıştır. Numunelerden bir tanesinde ise geleneksel çerçeve yaklaşımına uygun olması açısından bağlantı köşebenti kullanılmamıştır. Dış yüzey kaplaması olarak 1.2x2.4 m ebatlarında 11 mm kalınlığında OSB kullanılmıştır. OSB, 2.78 mm’lik vidalarla 150 ve 300 mm aralıklarla panelin çevresi boyunca tespit ettirilmiştir. Alçıpan levha ise iç yüzey kaplaması olarak panel çevresi boyunca 2.38 mm çapında vidalarla 180 ve 250 mm aralıklarla tespit ettirilmiştir. NAHB Research Center, [1997], deney numunelerini döşemeye paralel olarak yatay konumda test etmişlerdir. Yükleme için 500 kN yük kapasiteli hidrolik yük aktivatörü kullanılmış, yanal yükü panele aktarmak için ise çelik bir kiriş kullanmışlardır. Deformasyonlar üç LVDT yardımı ile üst ve alt başlıkta yatay yönde, bir dikmede de düşey yönde ölçülmüştür.

Deney neticelerinde ise numunelerde bağlantı köşebentlerini de kapsayan benzer göçme modları gözlenmiştir. Alçıpan kaplamasında vidalardan kurtulma gözlenmiş bu da rijitliğin bir miktar azalmasıyla sonuçlanmıştır. Alçıpan kaplamanın göçmesini ise OSB levhanın göçmesi takip etmiştir. Paneller üst başlığın dikmelerle bağlantı noktalarında koparak göçmektedir. OSB çevresi boyunca olan vidalar etrafında çatlaklar ve üst kiriş bağlantı elemanlarında yırtılma meydana gelmiştir. Deney numunesini yükleme tüpüne bağlayan açıklıkların üstündeki vidalar nihai kapasiteye yakın bir değerde başlıklarından ayrılmış, pek çok dikme zayıf ekseninde eğilmiştir. Bu göçmeyi OSB'nin panel üst vidaları etrafında yırtılması izlemiştir. Tamamen kaplamalı panellere kıyasla %30 boşluk oranı yanal dayanımı yarıya düşürmektedir. Taban bağlantısının köşebentlerle bağlandığı numunede yanal dayanımın bulonlu bağlantının kullanıldığı numuneye göre 2 kat fazla olduğu tespit edilmektedir. Bu durum yanal kuvvetin uygulandığı noktaya en yakın dikmenin çekmeye maruz kalması ile açıklanmaktadır.

Fülöp and Dubina, [2004], panellerin yanal dayanım ve rijitliklerini hem monotonik hem de tekrarlı-dönüşümlü yükler altında incelemektedir. Oluklu metal kaplama, OSB ve çapraz şerit etkisi araştırılmaktadır. Fülöp and Dubina, genellikle tek taraflı farklı kaplamaların (oluklu levha, OSB) ve iki taraflı çapraz kuşağın yanal rijitliğe etkisini incelemektedir. Deneyler kapsamında 6 adet gerçek ölçülü duvar paneline monotonik ve tekrarlı yükleme yapılmıştır. 2440x3600 mm ölçülerindeki paneli oluşturan alt ve üst kirişler 154/1.5 mm U profillerden, dikmeler ise 150/1.5 mm C profillerden oluşturulmuştur. Kirişler dikmelere her iki ucundan da 4.8 mm çaplı vidalarla tutturulmuştur. Kaplama elemanı olarak kullanılan oluklu levha dikmelere 4.8 mm çaplı vidalarla 200 mm aralıklarla tespit edilmiştir. Numunelerden bir tanesinde kaplama elemanı olarak dış yüzeyde oluklu levha kullanılırken iç yüzeyde ise 1200x2440 mm ebatlarında 12.5 mm kalınlıklı alçıpan levha kullanılmıştır. Bu numunede alçıpan dikmelere 4.8 mm çaplı vidalarla 250 mm aralıklarla tutturulmuştur. Panelin her iki yüzüne de uygulanan 110x1.5 mm ölçülerindeki çapraz kuşaklar üç ayrı numunede kullanılmıştır. 1200x2440 mm ölçülerinde 10 mm kalınlığındaki OSB kaplaması ise iki numunenin dış yüzey kaplaması olarak kullanılmış olup dikmelere 4.2 mm'lik vidalarla 105 mm aralıklarla tespit edilmiştir. Kaplamalı numuneler hem dolu hem de boşluklu test edilmek

suretiyle kısmen boşluk alanının etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Alçıpan levhanın etkisi sadece bir numune ile (dış yüzeyin oluklu levha, iç yüzeyin alçıpan levha olduğu) incelenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada incelenmek istenen etki, sistematik olarak planlanmamış bir dizi test bulgusunun sunulduğu bir araştırma olarak karşımıza çıkmaktadır.

Fülöp and Dubina, [2004], yatay rijitlik testlerinde numune panellerini dikey konumda test eden tek çalışmadır. Bu testlerin dikey konumda uygulanması yerçekiminin yanal mukavemete olan etkisini değerlendirmesi bakımından, yatay konumdaki testlere göre daha gerçekçi sınır şartları sağlamaktadır. Ancak bu testlerde çerçevenin düzlem dışı deformasyon yapmasını engelleyecek rijitleştirici ek bir çerçevenin, numunenin üst kirişine destek vermesi sağlanmıştır. Diğer deney düzeneklerine benzer şekilde numunenin alt ve üst kirişi ince cidarlı ikincil kirişlere yedi ayrı bulonla bağlanmıştır. Yanal yük üst kirişe eklenen ikincil ince cidarlı kiriş yardımı ile etkilmiştir. Bunun için 500 ve 1000 kN'luk iki aktivatör kullanılmıştır. Dört ayrı noktadan (sol alt ve üst kiriş noktalarından iki yatay, sol ve sağ dikmenin alt köşesinden iki düşey) ölçüm transducerler yardımı ile alınmıştır.

Genel olarak, tekrarlı-dönüşümlü yanal yükleme testleri, monotonik yükleme testlerine nazaran, yanal yük kapasitesinde %10, rijitlikte ise %20 oranında azalmaya yol açmaktadır. OSB kaplama metal kaplamaya ve çaprazlamaya oranla sırasıyla %20 ve %10 daha yüksek yanal mukavemetler sergilemektedir. Özellikle çapraz şerit içeren panel sünekliğinin ve enerji dağıtma kapasitelerinin düşük olduğu belirtilmektedir. Yanal yükün doğrultusuna göre çekme alan dikmelerin alt başlık elemanına aktardığı eğilme momentlerinin önemli düzeylerde olduğu belirtilmektedir. Bu yüzden alt başlık elemanının tabana bulonlarla sıklıkla ankrajlanması gerektiği vurgulanmaktadır. Göçme tüm numunelerde kaplama ya da çapraz bağlantı elemanlarında kesme ile gerçekleşmektedir.

Gad et. al., [1999], panel en/boy oranının (aspect ratio, 0.25-2) ve kaplama bağlantı aralığının (100, 200, 400, 600 mm) yanal dayanıma etkisini ANSYS sonlu elemanlar modeli kullanarak incelemektedir. En/boy oranının 0.25'ten 2'ye yükselmesi ile yatay dayanım %250 oranında artmaktadır. Kaplama bağlantı



aralığının 400 mm'den 100 mm'ye düşürülmesi yanal dayanımda %9'luk bir artışa yol açmaktadır.

İnce cidarlı çelik profilli dikme elemanların tekil burkulma davranışı daha ayrıntılı olarak incelenmiştir. Hancock, [2003], ve Davies, [2000], ince cidarlı çelik profillerde karşılaşılan 3 ayrı burkulma modunu ayrıntılı olarak tanımlamaktadır: 1) yerel burkulma (local buckling), 2) kesitsel çarpılma burkulması (distortional buckling), 3) eğilmeli ya da eğilmeli burulma burkulması. Yerel burkulma ve kesitsel çarpılma burkulması kısa elemanlarda kısa dalga boylarında gerçekleşirken, uzun elemanlarda uzun dalga boylarında eğilmeli ya da eğilmeli burulma burkulması gözlemlenmektedir [Hancock, 2003, Iwamoto et. al., 2000]. Davies, [2000], özellikle yerel burkulma ve kesitsel çarpılma burkulması için ENV 1993-1-3:1996'da tanımlanan hesap prosedürünün yetersiz ve çok karmaşık olmasından yakınmakta, yeni tasarım hesap önerileri sunmaktadır.

Iwamoto et. al., [2000], 2 m boyunda iki ucu ankastre kirişlerde kesitsel çarpılma burkulmasını farklı uzunluklarda başlık rijitleştiricileri kullanarak incelemektedir. Rijitleştirici boyunun nihai burkulma dayanımını etkilemediği belirlenmektedir. Burkulma modu kısa rijitleştirici kullanımı ile (AISI belirlenen sınırın altı) kesitsel çarpılma burkulması olduğu, ancak uzun rijitleştiricilerle (AISI belirlenen sınırın üstü) göçme modunun eğilmeli-burulmalı burkulmaya döndüğü rapor edilmektedir.

Kwon and Hancock, [1992], 400-1000 mm arasında uzunlukları değişen kenar rijitleştiricisi olan, ara gövde rijitleştiricisi olan ve olmayan C profillerin yerel burkulmasını ve kesitsel çarpılma burkulmasını incelemektedir. 800 mm'nin üzerindeki elemanlar kesitsel çarpılma burkulması ile geçerken, kısa kolonlar genellikle yerel burkulma ve kesitsel çarpılma burkulmasına aynı anda erişmektedirler.

Tüm testlerde çeliğin akma sınırının %8-34'ü arasında gerilmelerde test numuneleri burkulmuştur. Ara rijitleştiricinin varlığı kesitsel çarpılma burkulmasına yol açan gerilmeleri %20 oranında arttırdığı rapor edilmektedir. AISI standartlarına



göre hesaplanan kesitsel çarpılma burkulma kapasitelerinin güvensiz olarak test verilerinin üzerinde oldukları belirlenmektedir.

LaBoube and Yu, [1998], ince cidarlı çelik C-profil elemanların burkulma davranışını bir çatı kafes kirişi içinde araştırmaktadır. Çalışmada 100 ile 180 arasında değişen narinlik katsayısının, 214-414 MPa arasında değişen malzeme mukavemetinin ve 0.91-1.4 mm arasında değişen kesit et kalınlığının etkisi incelenmektedir. Dikmelerde tesisat delik genişliğinin kesit derinliğinin %38'ini aştığında eğilme ve kesme kapasitelerinde önemli düşüşler görüldüğü belirtilmektedir. Test düzeneğinde düzlem dışı deplasmanlara izin verilmemesi, narinliğin ve eksenel yüklerin yüksek olması, kafes kiriş elemanlarında sadece eğilmeli burkulma (flexural-buckling) göçmesine yol açmaktadır. Bu göçme modu için AISI hesaplarının aşırı güvenli sonuçlar verdiği ve bu oranın narinlik arttıkça azaldığı (0.58-0.74) bildirilmektedir. Araştırılan diğer parametrelerin etkileri hakkında belirli bir sonuca ulaşılamamıştır.

El-Sheikh et. al., [2001], C kesitlerde başlık genişliği/kesit derinliği (b/h) ile kenar (l/h) ve gövde (d/h) ara rijitleştirici boyutlarının eğilmeli burkulma ve eğilmeli burulma burkulması (flexural-torsional-buckling) kapasiteleri üzerindeki etkileri, BS5950 Part:5 hesap esaslarını kullanarak araştırmaktadır. Farklı b/h oranları (0.3-1.0) için, gövde ara rijitleştirici boyutlarının artışından eğilmeli-burkulma kapasitesinde elde edilen artışlar başlık kenar rijitleştiricisi olmayan kesitlerde ortalama %463 seviyelerinde gerçekleşirken, başlık kenar rijitleştiricisi olan kesitlerde %38 seviyelerinde seyretmektedir. Başlık kenar rijitleştiricisinin ($l/h=0.3$) eğilmeli-burulma kapasitesi üzerindeki etkisi özellikle düşük b/h (0.3), (kesit dikdörtgen forma yaklaştıkça) ve ara rijitleştiricinin kullanılmadığı ($d/h=0$) durumlarda önemli (%408) olabilmektedir. Gövde rijitleştiricisi kullanımının eğilmeli-burulmalı-burkulma kapasitesini arttırmada etkisi minimal olmaktadır. Başlık kenar rijitleştiricinin kullanıldığı durumlarda ortalama %3 seviyesinde, kullanılmadığı durumlarda da düşük b/h oranlarında (0.3) %22 seviyesinde gerçekleşmektedir. Yazarlar incelenen burkulma modları için başlık kenar rijitleştiricilerinin çok daha etkili oldukları sonucuna varmaktadırlar.

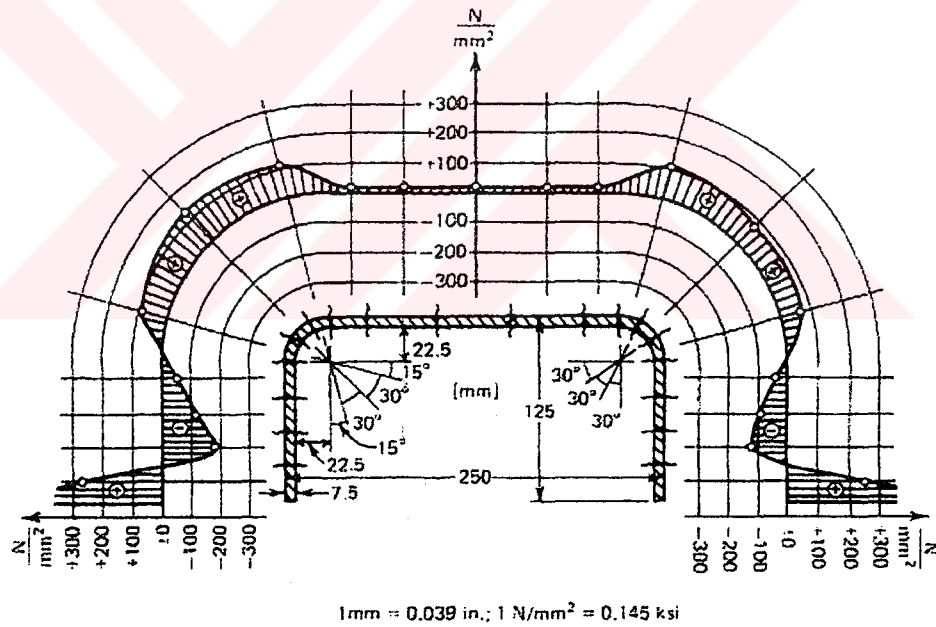
Bu durumda Telue and Mahendran, [2001, 2004a-b], ve Fülöp and Dubina' nın, [2004], çalışmalarında kullandıkları sırasıyla 200x1.5 mm ve 150x1.5 mm profiller karşılaştırma bakımından daha uygun oldukları kanaatine varılmaktadır. Bu iki tip profilin (200x1.5 mm ve 150x1.5 mm) Türkiye'deki yapısal uygulamalarda sıklıkla kullanılan profiller olması analizlerde kullanımlarını uygun hale getirmektedir.

Literatür özetinin genel çıkarımları aşağıdaki maddelerle özetlenebilmektedir:

- Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik profiller içeren taşıyıcı elemanların yapısal davranışının tam olarak anlaşılamadığı, araştırma sonuçları arasında tam bir uyum olmadığı ve bu yüzden, kesin sonuçlara ulaşamadığı belirlenmektedir.
- Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik profilli tekil elemanların yapısal davranışı ve göçme modları, duvar panelleri içerisinde yer alan elemanlardan oldukça farklıdır.
- Duvar panelleri içinde yer alan ince cidarlı çelik profilli dikmelerin yapısal davranışı üretimden kaynaklı geometrik bozukluklardan, artık gerilmelerden etkilendiği gibi, [Schafer and Peköz, 1998], kesit boyutlarına, kaplamaya, bağlantı elemanlarına, tipine ve aralığına bağlı olarak önemli değişiklikler gösterebilmektedir. Bu parametrelerin bütünü ya da bir kısmını sistematik olarak ele alarak inceleyen bir araştırma sonucuna rastlanmamaktadır.
- Literatür araştırması göstermektedir ki, bu yapım sisteminin 3 ana alanda yapısal davranışı zafiyet göstermektedir: 1) Bağlantı noktalarının rijitliği, 2) Düşey yükler altında tekil elemanların burkulma davranışı ve düşey panellerin rijitliği, 3) Yatay yükler altında panellerin yanal rijitliği.

2.2. Artık Gerilmeler

Artık gerilmeler, imalat işlemlerinin bir sonucu olarak elemanda biriken gerilmelerdir. Geçmişte, artık gerilmelerin dağılımı ve çelik elemanların yük taşıma kapasitesindeki bu tip gerilmelerin etkileri geniş başlıklı hadde mamülü profillerde ve kaynaklı elemanlarda geniş ölçüde araştırılmıştır. Yapısal elemanlarda artık gerilmeler sıcak şekil verme ve kaynaklama işleminden sonraki düzensiz soğumadan kaynaklanmaktadır. Bu gerilmeler eleman kalınlığı boyunca düzgün yayılı olarak kabul edilmiştir [Yu, 1991]. Soğukta şekil verilmiş çelik elemanlarla hadde mamülü elemanlarda artık gerilmelerin gerilme-şekil değiştirme ilişkisine etkilerinin benzemesi beklenmektedir [Yu, 1991]. Son yıllarda soğukta şekil verilmiş elemanlarda artık gerilme dağılımı, analitik ve deneysel olarak çalışılmıştır. Şekil 2.1, bir U kesitin iç ve dış yüzeylerinde ölçülen ortalama artık gerilmeleri vermektedir.



Şekil 2.1. Ölçülen ortalama artık gerilme dağılımı, [Yu, 1991]

Yu, [1991], soğukta şekil verilmiş çelik elemanların tasarımında AISI'nın burkulma şartlarını incelemiştir. Bu şartların ham çeliğin akma noktasından oldukça düşük olan orantılılık sınırı için yazıldığını ve varsayılan orantılılık sınırının artık gerilmelerin etkisi için doğrulandığı söylemektedir.

Schafer and Peköz, [1998], Artık gerilmelerin bilgisayar analizlerinin oldukça zahmetli olduğunu vurgulamakta, bu gerilmelerin modelin entegrasyon noktalarına dahil edilmesinin ise bu işi daha da karmaşık hale getirdiğini söylemektedirler. Uygun büyüklüğün seçilmesi verilerin yetersizliği ile zor hale gelmektedir. Sonuç olarak artık gerilmeler ya ihmal edilmektedir ya da gerilme-deformasyon eğrileri artık gerilmelerin etkileri göz önünde bulundurularak yeniden düzenlenmektedir.

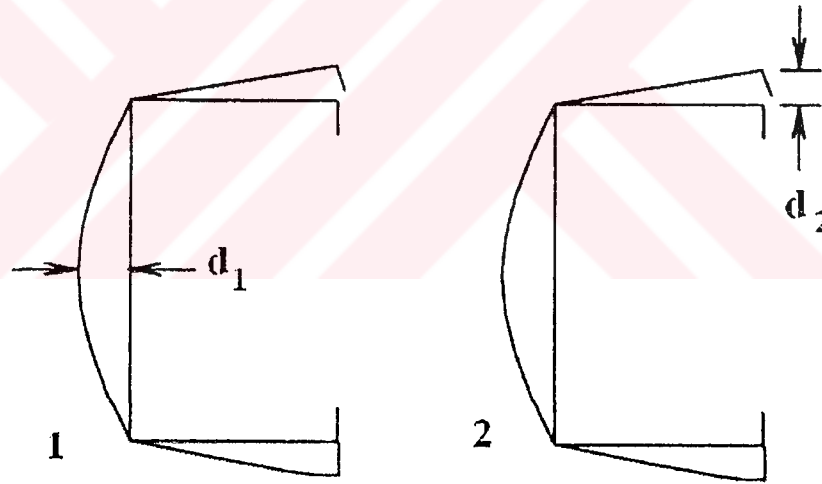
Hadde mamülü elemanlarda artık gerilmeler kalınlık boyunca önemli ölçüde değişmezken soğukta şekil verilmiş elemanlarda kalınlık boyunca değişmekle beraber eğilmede önemli rol oynamaktadır. Bu değişim soğukta şekil verilmiş levha yüzeylerinde akmanın beklenenden erken olmasına neden olmaktadır. Yük taşıma davranışındaki bu önemli durum, artık gerilmeler analizlerde açık bir şekilde göz önünde bulundurulmadıkça tam anlamıyla değerlendirilememektedir.

Artık gerilmeler üzerine yapılan deneysel çalışmalarda 16 adet preslenerek şekil verilmiş, 13 adet de sürekli şekil verilmiş numune kullanılmıştır. Artık gerilmeler eğilme ve membranın toplamı olarak idealize edilmiştir (Schafer ve Peköz, [1998], Şekil8).

2.3. Kesit Düzensizliği

Literatüre bakıldığında soğukta şekil verilmiş ince cidarlı kesitlerde kesit düzensizlikleriyle ilgili araştırma ve analizler yapıldığı, yapılan sonlu eleman çalışmalarında modele kesit düzensizliklerinin de yansıtıldığı görülmektedir.

Schafer and Peköz [1998], soğukta şekil verilmiş, ince cidarlı elemanların kesit düzensizlikleri ve artık gerilmeleri ile ilgili yaptıkları çalışmalarında; kesit düzensizliğini, elemanın bükülmesi, çarpılması, burulması gibi yerel sapmalardan dolayı kusursuz yapısından ayrılması olarak tanımlamışlardır. Yerel sapmalar, levhada oyuklar ve düzenli dalgalanmalar ile karakterize edilebilmektedir. Yazarlar, kesit düzensizlikleriyle ilgili yapılan çalışma verilerini iki kategoride toplamaktadırlar: 1) Rijit elemanda maksimum yerel düzensizlikler, 2) Rijitleştirilmemiş başlıkta ya da uç kıvrımıyla rijitleştirilmiş başlıkta doğrusallıktan sapma (bkz. Şekil 2.3).



Şekil 2.2. Kesit düzensizliklerinin tanımlanması, [Schafer, Peköz, 1998]

Eleman uzunluğu boyunca olan kesit düzensizliğinin değişimi hakkında bilinen fazla detay olmamasına rağmen en büyük kesit düzensizliğinin büyüklüğünün belli olduğunu, en büyük öz-modun, kesit düzensizliğinin büyüklüğünü belirlemek için yeterli olduğunu söylemektedirler. Kesit başlık genişliği/et kalınlığı (w/t) 200'den küçük elemanlarda 1.tip, 100'den küçük elemanlarda ise 2.tip kesit düzensizliğinin olduğu kabulünü yapmaktadırlar. Kesit et kalınlığı 3mm'den küçük

olmak kaydıyla 1.tip kesit düzensizliği için levha genişliğine dayanan basit bir lineer regresyon önermektedirler:

$$d_1 \approx 0,006.w \quad \text{Denklem 2.1}$$

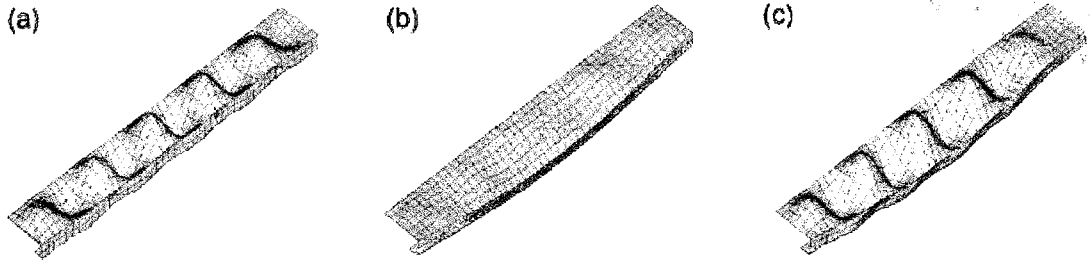
Alternatif olarak et kalınlığına bağlı üstel bir fonksiyona dayanan aşağıdaki denklem kullanılabilir:

$$d_1 \approx 6e^{-2t} \quad (d_1 \text{ ve } t, \text{ mm olmak üzere}) \quad \text{Denklem 2.2}$$

2. tip kesit düzensizliği için ise, doğrusallıktan maksimum sapma değerinin et kalınlığına yaklaşık olarak eşit olduğunu söylemektedirler:

$$d_2 \approx t \quad \text{Denklem 2.3}$$

Sarawit et al., [2003], Cornell Üniversitesinde yürüttükleri çalışmalarında ince cidarlı elemanlarda sonlu eleman analizleri yapmışlar, kesit düzensizlikleri için ise üç farklı yaklaşım kullanmışlardır. İlk yaklaşım, burkulma modlarını süperpoze ederek burkulma modlarının büyüklüğünü kontrol etmektir. Düzensizliğin büyüklüğü, maksimum düzensizlik değerinin sağlandığı düzensizlik değerlerini kullanarak kontrol edilmektedir. Diğer yandan, yapılan düzensizlik ölçümlerinden türetilen bir düzensizlik spektrumu, özel bir özmoda ait düzensizlik ölçümlerinin yaklaşık değeri için kullanılabilir. Kesit düzensizliklerinin istatistiksel özeti ve uygulamalara dair daha özel açıklamalar Schafer and Peköz'ün, [1998], çalışmalarında verilmektedir. Diğer bir metot ise düzensizliklerin geometrik şekli için rastgele sinyaller üretmeye yönelik olasılıksal bir metot kullanmaktır. Uygun olasılıksal modeli oluşturmak için fazla miktarda ölçüm verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü sinyaller rastgele üretilmektedir ve yaklaşım, istatistiksel sonucu elde etmek için, fazla sayıda simülasyona gerek duymaktadır. Başlangıç kesit düzensizliğinin şekli yerel ve kesitsel deformasyon burkulmaları özmodlarının süperpozisyonu olarak verilmektedir (bkz. Şekil 2.4).



(a) Yerel burkulma, (b) Kesitsel deformasyon burkulması, (c) Geometrik düzensizlik

Şekil 2.3 Burkulma modları ve kesit düzensizliği, [Sarawit et. al., 2003]

Feng et. al. [2004], düzgün değişen sıcaklık şartlarında soğukta şekil verilmiş ince cidarlı dikdörtgen kutu kesitli kolonların kesit düzensizlikleriyle ilgili sayısal bir çalışma yapmışlardır. Sayısal simülasyonları için ABAQUS programını kullandıkları bu çalışmalar iki adımda gerçekleştirilmiştir. İlk adım ‘elastik özdeğer burkulma analizi’ (elastic eigenvalue buckling analysis) yapmaktır. Analiz sonuçlarından en düşük burkulma modu kolon başlangıç düzensizliğini belirlemek için kullanılmaktadır. İkinci adım ise göçme gerçekleşene kadar kolona yükleme yapmaktır.

Yerel burkulma için başlangıç düzensizliğinin büyüklüğü, kesit boyutu ve kalınlıkla; genel burkulma içinse kolon uzunluğu ile orantılıdır. Kaitila’ya, [2002], göre en büyük başlangıç düzensizliği yerel ve genel burkulma için sırasıyla $h/200$ ve $L/500$ civarındadır (h : kesit gövde yüksekliği, L : kolon uzunluğudur). Feng et. al. [2004], analizlerinde başlangıç yerel düzensizliklerinin etkileri için en büyük düzensizlik değeri olarak $h/200$, $10t$ ve $50t$ değerlerini (t , kesit et kalınlığıdır), genel burkulma için ise $L/1000$ ve $L/500$ değerlerini kullanmışlardır.

3. METOT

3.1. Genel Tanımlama

Literatürden elde edilen bu bilgilerin doğrultusunda sistematik bir monotonik yanal test programı önerilmektedir. Çalışmada ana amaç çift taraflı alçıpan levha kaplamanın yanal rijitliğe etkisini belirlerken, bugüne kadar literatürde rastlanmayan dikme aralığı, kaplama elemanı ve dikme profili bağlantısını sağlayan vidaların aralığı ve dikme profil derinliği parametrelerinin yanal rijitliğe olan katkılarını muhtemel tüm kombinasyonlar için belirleyebilmektir. Tablo 5.1’de görüldüğü üzere iki ayrı vida aralığı (140 ve 300 mm), iki ayrı dikme aralığı (400 ve 600 mm) ve iki ayrı dikme profil derinliği (150 ve 200 mm) için numuneler tasarlanmıştır. Yanal rijitlik testlerinde kullanılacak numune kombinasyonları Tablo 5.1’de özetlenmektedir.

3.2. Kullanılan Sonlu Eleman Modeli

3.2.1. LUSAS Standart Sonlu Elemanlar Yazılımı

Sonlu elemanlar metodu, günümüzde yapı, makine, zemin, uçak ve uzay gibi birçok mühendislik dalından tıp alanına kadar mühendislik tasarımı gerektiren ve geleneksel hesap prosedürleri ile çözülemeyecek kadar karmaşık mühendislik yapıları için kullanılabilen bir sayısal çözümleme yöntemidir. Büyük işlem gücü gerektiren bu yöntemin, bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile birlikte, uygulamaları da yaygınlaşmıştır. İnşaat mühendisliği uygulamalarında yapıların tasarım maksatlı statik ve dinamik analizleri için SAP2000, ETABS, LUSAS, ANSYS gibi sonlu elemanlar paket programları bulunmaktadır.

Soğukta şekil verilmiş ince cidarlı çelik profillerle oluşturulmuş yapı panellerinde kaplamanın yanal dayanıma olan etkisi LUSAS sonlu elemanlar programı kullanılarak tespit edilmiştir. LUSAS (London University Stress Analysis Systems), [41], Londra Üniversitesi’nde ilk olarak akademik amaçlar için hazırlanmış, zaman içerisinde, genel maksatlara uygun ticari bir standart sonlu elemanlar programı olarak geliştirilmiştir. Program, doğrusal ve doğrusal olmayan

statik ve dinamik analizleri yapabilen ve akademik çalışmalara zemin sağlayabilen, hassas bir algoritmaya sahip, gelişmiş bir yazılımdır. Bu nitelikleri sebebi ile tez çalışmasında kullanılması tercih sebebi olmuştur. Çalışmalarda WINDOWS işletim sistemi tabanlı LUSAS 13.6 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 çözüm kapasitesine bağlı olarak, farklı serbestlik derecelerine sahip çubuk, düzlem ve üç boyutlu katı sonlu elemanlar kullanılabilir. Bu elemanlar, komşu diğer elemanlarla düğüm noktalarından bağlanmakta ve cisim bir ağ görüntüsü almaktadır. Bunun dışında, cismin sınır şartları malzeme özellikleri, 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 alarak 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, ' f ' cisim kuvvetleri, ' t ' yüzey 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 şartını sağlayan iç işi tanımlamaktadır.

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

Elemanı oluşturan sonlu elemanların düğüm noktalarında oluşan deformasyonların bilinmesi halinde, sonlu elemanın herhangi bir noktasında meydana gelen deformasyonlar, ' u ', Denklem 3.2'de verilen ' N ' şekil fonksiyonları ve ' a ' düğüm noktası deplasmanlarının yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$u = Na \quad (3.2)$$

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

$$\varepsilon = Ba \quad (3.3)$$

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 ', yükleme öncesi mevcut ise gerilmeleri ve birim uzamaları göstermektedir.

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

$$\sum^n \delta a^T \int B^T E B \, dv = \delta a^T \left[\sum_v^n \int N_s^T f \, dv + \sum_s^n \int N_s^T t \, ds - \sum_v^n \int B^T (\sigma_0 - E \varepsilon_0) \, dv + F \right]$$

(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.

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

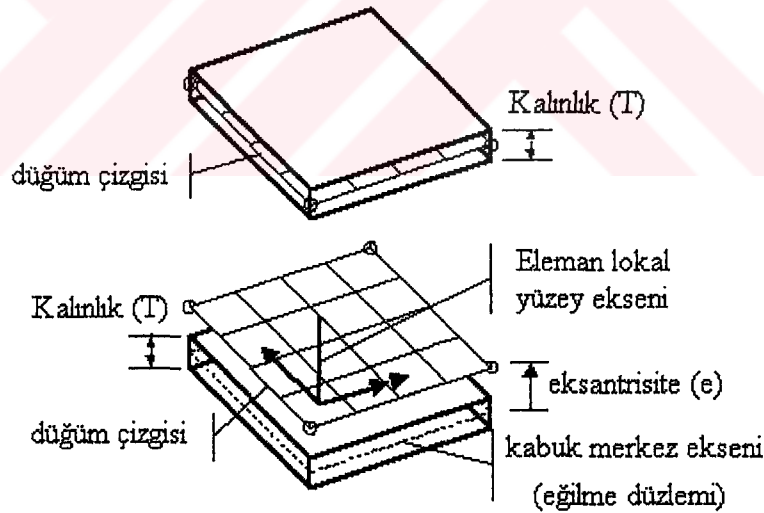
Burada ' $[K]$ ' rijitlik matrisini (Denklem 3.7), ' $\{R\}$ ' ise kuvvet vektörünü (Denklem 3.8) temsil etmektedir.

$$K = \sum_v^n \int B^T E B \, dv \quad (3.7)$$

$$R = \sum_v \int_v N^T f dv + \sum_s \int_s N_s^T t ds - \sum_v \int_v B^T (\sigma_0 - E \epsilon_0) dv + F \quad (3.8)$$

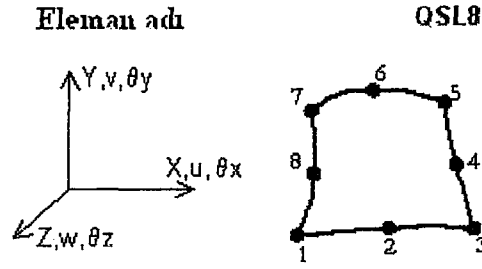
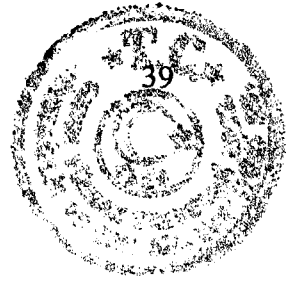
Sayısal çözümleme Denklem 3.6'da yer alan düğüm noktası deplasmanlarının ilk çözüm adımında tahmin edilmesi ve Denklem 3.7 ve 3.8'de verilen rijitlik matrisi ve dış kuvvet vektörünün hesaplanarak yeni düğüm noktası deplasmanlarının elde edilmesini içermektedir. İteratif çözümlemenin neticesinde birbirini 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.

Sonlu eleman analizlerinde çubuk elemanlar, kiriş elemanlar, levha elemanlar, kabuk elemanlar, membran elemanlar, yay elemanlar..vs. gibi eleman tipleri mevcuttur. Bunlardan en uygunu seçilerek geometrisi modellenmiş yapıya eleman tanımlanmaktadır. Kalınlık tanımlanmak istenilen yapılar iki boyutlu modellenerek kabuk elemanlar (shell elements) olarak tanımlanmaktadır (bkz. Şekil3.1).



Şekil 3.1. LUSAS Kabuk Eleman Modeli

Yapı modelini oluşturan dikme ve kiriş profilleri LUSAS QSL8 kabuk eleman olarak tanımlanmıştır. QSL8, sekiz düğüm noktalı beş serbestlik dereceli (U, V, W, θ_1 , θ_2) doğrusal olmayan geometriye sahip bir kabuk modelidir.



Şekil 3.2. Analizde kullanılan kabuk eleman tipi (Thin-shell)

3.3. Modelin Oluşturulması

3.3.1. Kesit Düzensizliğinin Modele Uyarlanması

Kesit düzensizliklerinin belirlenebilmesi için 2400mm uzunluğunda modellenmiş CM15015 ve CM20015 profillerine LUSAS sonlu elemanlar yazılımıyla ‘özdeğer burkulma’ (eigenvalue buckling) analizleri yapılmıştır. Bu burkulma analizinde modele etkitilecek kritik basınç kuvveti ise hesap esasları Ek.1’de verilen ENV 1993-1-3:1996 standardına uygun olarak aşağıdaki gibi bir dizi iteratif metotla hesaplanmıştır. İlk iterasyon açık bir şekilde gösterilmiş, iterasyonun diğer adımları ise Tablo 3.1 ve 3.2’de özetlenmiştir. Kritik burkulma yükü için yakınsamanın sağlandığı son iterasyonda hesaplanan kritik burkulma gerilmesi kullanılmıştır.

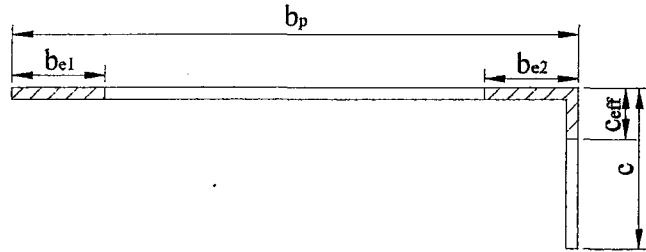
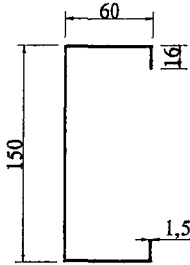
CM15015 profili kritik burkulma gerilmesi hesabı için ilk iterasyon hesap detayları

$$E=210000 \text{ MPa} \quad \nu=0,3 \quad (\text{ENV 1993-1-3, 3.1.1.7(P)})$$

$$f_{yb}=350 \text{ MPa} \quad (\text{ENV 1993-1-3, Tablo 3.1})$$

$$\gamma_{M1}=1,1 \quad (\text{ENV 1993-1-3, 2.3.(3)})$$

Kesit değerleri



Şekil 3.3. CM15015 profili kesiti

Şekil 3.4. Profil başlığı kesiti

$$t_1=1,5 \text{ mm}$$

$$b_p=b_1=60 \text{ mm}$$

$$c=c_1=16 \text{ mm}$$

Elemanın nihai basınç dayanım gerilmesi:

$$\sigma_{com,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M1} \quad (\text{ENV 1993-1-3, 4.2.(4)})$$

$$\sigma_{com,Ed,1} = 318,1818 \text{ MPa}$$

Net kesit değerleri:

$$b_{p,c,i}=c_1-t_1/2$$

$$b_{p,c,i}=15,25 \text{ mm}$$

$$b_{p,i}=b_1-t_1/2$$

$$b_{p,i}=59,25 \text{ mm} \quad (\text{ENV 1993-1-3, Şekil 4.2})$$

Burkulma faktörü $k_{\sigma,i}$:

$$\frac{b_{p,c,i}}{b_{p,i}} \leq 0,35 \quad \text{ise} \quad k_{\sigma,i} = 0,5 \quad (\text{ENV 1993-1-3, Denklem 4.10b})$$

$$0,35 < \frac{b_{p,c,i}}{b_{p,i}} \leq 0,6 \quad \text{ise} \quad k_{\sigma,i} = 0,5 + 0,83 \times \sqrt{\left(\frac{b_{p,c,i}}{b_{p,i}} - 0,35 \right)^2} \quad (4.10c)$$

$$k_{\sigma,i}=0,5$$

Levha narinliği:

$$\bar{\lambda}_{p,i} = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{cr}}} = \frac{b_{p,i}}{t_i} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)f_{yb}}{\pi^2 E k_\sigma}} \cong 1,052 \frac{b_p}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E k_\sigma}} \cong \frac{\frac{b_p}{t}}{28,4 \epsilon \sqrt{k_\sigma}} \quad (4.2)$$

$$\bar{\lambda}_{p,1} = 2,3988$$

Azaltma faktörü:

$$- \bar{\lambda}_{p,i} \leq 0,673 : \quad \rho_i = 1,0 \quad (4.1a)$$

$$- \bar{\lambda}_{p,i} > 0,673 : \quad \rho_i = \frac{(1,0 - \frac{0,22}{\bar{\lambda}_{p,i}})}{\bar{\lambda}_{p,i}} \quad (4.1b)$$

$$\rho_1 = 0,3786$$

Etkin kesit genişlikleri:

$$c_{eff,i} = \rho_i b_{p,i} \quad c_{eff,1} = 5,7743 \text{ mm} \quad (4.10a)$$

$$b_{eff,i} = \rho_i b_{p,i} \quad b_{eff,1} = 22,4344 \text{ mm}$$

$$b_{e1,i} = 0,5 b_{eff,i} \quad b_{e2} = b_{e1} \\ b_{e2,1} = 11,2172 \text{ mm}$$

$$A_{s,i} = t_i (b_{e2,i} + c_{eff,i} + d_{eff,i}) \quad (4.11)$$

$$A_{s,1} = 25,4872 \text{ mm}^2$$

Kesit başlığı ağırlık merkezi:

$$x_{g,i} = \frac{b_{e2,i} t_i \cdot t_i / 2 + t_i c_{eff,i} \cdot c_{eff,i} / 2}{A_{s,i}} \quad x_{g,1} = 1,4763 \text{ mm}$$

Kesit başlığı atalet momenti:

$$I_{s,i} = \frac{b_{e2,i} \cdot t_i^3}{12} + b_{e2,i} \cdot t_i \cdot (t_i / 2 + x_{g,i})^2 + \frac{c_{eff,i}^3 \cdot t_i}{12} + c_{eff,i} \cdot t_i \cdot (c_{eff,i} / 2 - x_{g,i})^2$$

$$I_{s,1} = 127,8541 \text{ mm}^4$$

Kesit başlığı birim uzunluğu atalet momenti;

$$I_i = \frac{1 \cdot t_i^3}{12} \quad I_i = 0,2813 \text{ mm}^4$$

$$L_i = 150 \text{ mm (gövde yüksekliği)} \quad u = 1 \text{ N (birim kuvvet)}$$

Dönel rijitlik;

$$C_{\theta,i} = \frac{2 \cdot E \cdot I_i}{b_{p,i} \cdot L_i} \quad C_{\theta,i} = 13,2911$$

$$\theta_i = \frac{u b_{p,i}}{C_{\theta,i}} \quad \theta_i = 4,4579$$

$$\delta_i = \theta_i b_{p,i} + \frac{u b_{p,i}^3}{3} \times \frac{12(1-\nu^2)}{E t_i^3} \quad \delta_i = 265,1963 \quad (4.7)$$

Birim uzunluk için yay rijitliği;

$$K_i = u / \delta_i \quad K_i = 0,0038 \quad (\text{ENV 1993-1-3, 4.3.1.(2)})$$

Kritik elastik gerilme;

$$\sigma_{cr,s,i} = \frac{2 \sqrt{K_i E I_{s,i}}}{A_{s,i}} \quad \sigma_{cr,s,i} = 24,9685 \text{ MPa} \quad (4.12)$$

Rölatif narinlik;

$$\bar{\lambda}_i = \sqrt{\frac{f_{yb,i}}{\sigma_{cr,s,i}}} \quad \bar{\lambda}_i = 3,744 \quad (4.9)$$

Burkulma dayanımı azaltma faktörü;

$$\phi_i = 0,5[1 + \alpha_i(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2] \quad \phi_i = 7,7392 \quad (6.2.b)$$

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + [\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2]^{0,5}} \quad \chi_i = 0,0689 \quad (6.2.a)$$

Nihai basınç dayanım gerilmesi;

$$\sigma_{com,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M1} \quad \sigma_{com,Ed} = 21,924 \text{ MPa}$$

Azaltılmış etkin kesit alanı;

$$A_{s,red,i} = \chi_i \cdot A_{s,i} \quad A_{s,red,1} = 1,7562 \text{ mm}^2$$

Azaltılmış kalınlık;

$$t_{red,i} = t_i \frac{A_{s,red,i}}{A_{s,i}} \quad t_{red,1} = 0,1034 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_{p,red,i} = \bar{\lambda}_{p,i} \sqrt{\frac{\sigma_{com,Ed,i}}{f_{yb}/\gamma_{M1}}} \quad \bar{\lambda}_{p,red,1} = 0,6297$$

$$\bar{\lambda}_{p,red,i} \leq 0,673 : \quad \rho_i = 1,0 \quad (4.4a)$$

$$\bar{\lambda}_{p,red,i} > 0,673 : \quad \rho_i = \frac{1 - \frac{0,22}{\bar{\lambda}_{p,red,i}}}{\bar{\lambda}_{p,red,i}} + 0,18 \frac{\bar{\lambda}_{p,i} - \bar{\lambda}_{p,red,i}}{\bar{\lambda}_{p,i} - 0,6} \text{ ve } \rho_i \leq 1,0 \text{ olmalıdır} \quad (4.4b)$$

$$\rho_1 = 1,0$$

İterasyonun diğer adımlarına ilişkin hesap sonuçları Tablo 3.1'de verilmektedir.

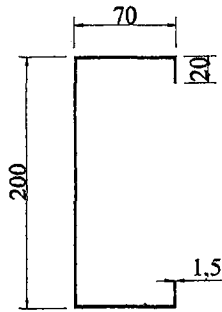
CM20015 profili kritik burkulma gerilmesi hesabı için ilk iterasyon hesap detayları

$$E = 210000 \text{ MPa} \quad \nu = 0,3 \quad (\text{ENV 1993-1-3, 3.1.1.7(P)})$$

$$f_{yb} = 350 \text{ MPa} \quad (\text{ENV 1993-1-3, Tablo 3.1})$$

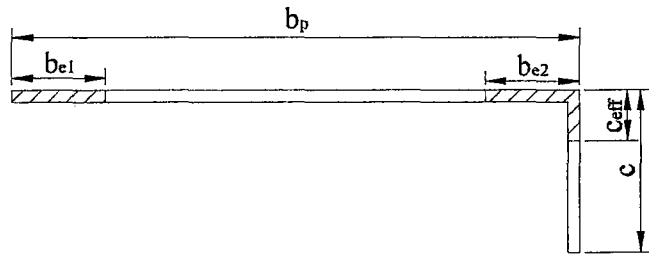
$$\gamma_{M1} = 1,1 \quad (\text{ENV 1993-1-3, 2.3.(3)})$$

Kesit değerleri



Şekil 3.5. CM20015 profili kesiti

$$t_1 = 1,5 \text{ mm}$$



Şekil 3.4. Profil başlığı kesiti

$$b_1 = 70 \text{ mm}$$

$$c_1 = 20 \text{ mm}$$

Elemanın nihai basınç dayanım gerilmesi:

$$\sigma_{com,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M1} \quad (ENV 1993-1-3, 4.2.(4))$$

$$\sigma_{com,Ed,1} = 318,1818 \text{ MPa}$$

Net kesit değerleri:

$$\begin{aligned} b_{p,c,i} &= c_1 - t_1 / 2 & b_{p,c,1} &= 19,25 \text{ mm} \\ b_{p,i} &= b_1 - t_1 / 2 & b_{p,1} &= 69,25 \text{ mm} \end{aligned} \quad (ENV 1993-1-3, \text{Şekil 4.2})$$

Burkulma faktörü $k_{\sigma,i}$:

$$\frac{b_{p,c,i}}{b_{p,i}} \leq 0,35 \quad \text{ise} \quad k_{\sigma,i} = 0,5 \quad (4.10b)$$

$$0,35 < \frac{b_{p,c,i}}{b_{p,i}} \leq 0,6 \quad \text{ise} \quad k_{\sigma,i} = 0,5 + 0,83 \times \sqrt{\left(\frac{b_{p,c,i}}{b_{p,i}} - 0,35 \right)^2} \quad (4.10c)$$

$$k_{\sigma,1} = 0,5$$

Levha narinliği:

$$\bar{\lambda}_{p,i} = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{cr}}} = \frac{b_{p,i}}{t_i} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)f_{yb}}{\pi^2 E k_{\sigma}}} \cong 1,052 \frac{b_p}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E k_{\sigma}}} \cong \frac{b_p}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_{\sigma}}} \quad (4.2)$$

$$\bar{\lambda}_{p,1} = 2,8037$$

Azaltma faktörü:

$$- \bar{\lambda}_{p,i} \leq 0,673: \quad \rho_i = 1,0 \quad (4.1a)$$

$$- \bar{\lambda}_{p,i} > 0,673: \quad \rho_i = \frac{(1,0 - \frac{0,22}{\bar{\lambda}_{p,i}})}{\bar{\lambda}_{p,i}} \quad \rho_1 = 0,3287 \quad (4.1b)$$

Etkin kesit genişlikleri:

$$c_{eff,i} = \rho_i b_{p,c,i} \quad c_{eff,1} = 6,3272 \text{ mm} \quad (4.10a)$$

$$b_{eff,i} = \rho_i b_{p,i} \quad b_{eff,1} = 22,7615 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} b_{e1,i} &= 0,5 b_{eff,i} & b_{e2} &= b_{e1} \\ b_{e2,1} &= 11,2172 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_{s,i} = t_i (b_{e2,i} + c_{eff,i} + d_{eff,i}) \quad (4.11)$$

$$A_{s,1} = 26,5619 \text{ mm}^2$$

Kesit başlığı ağırlık merkezi;

$$x_{g,i} = \frac{b_{e2,i} \cdot t_i \cdot t_i / 2 + t_i \cdot c_{eff,i} \cdot c_{eff,i} / 2}{A_{s,i}} \quad x_{g,i} = 1,6124 \text{ mm}$$

Kesit başlığı atalet momenti;

$$I_{s,i} = \frac{b_{e2,i} \cdot t_i^3}{12} + b_{e2,i} \cdot t_i \cdot (t_i / 2 + x_{g,i})^2 + \frac{c_{eff,i}^3 \cdot t_i}{12} + c_{eff,i} \cdot t_i \cdot (c_{eff,i} / 2 - x_{g,i})^2$$

$$I_{s,1} = 152,9732 \text{ mm}^4$$

Kesit başlığı birim uzunluğu atalet momenti;

$$I_i = \frac{1 \cdot t_i^3}{12} \quad I_i = 0,2813 \text{ mm}^4$$

$$L_1 = 200 \text{ mm (gövde yüksekliği)} \quad u = 1 \text{ N (birim kuvvet)}$$

Dönel rijitlik;

$$C_{\theta,i} = \frac{2 \cdot E \cdot I_i}{b_{p,i} \cdot L_i} \quad C_{\theta,1} = 8,5289$$

$$\theta_i = \frac{u b_{p,i}}{C_{\theta,i}} \quad \theta_1 = 8,1195$$

$$\delta_i = \theta_i b_{p,i} + \frac{u b_{p,i}^3}{3} \times \frac{12(1-\nu^2)}{E t_i^3} \quad \delta_1 = 563,9789 \quad (4.7)$$

Birim uzunluk için yay rijitliği;

$$K_i = u / \delta_i \quad K_1 = 0,0018 \quad (\text{ENV 1993-1-3, 4.3.1.(2)})$$

Kritik elastik gerilme;

$$\sigma_{cr,s,i} = \frac{2 \sqrt{K_i E I_{s,i}}}{A_{s,i}} \quad \sigma_{cr,s,1} = 17,9703 \text{ MPa} \quad (4.12)$$

Rölatif narinlik;

$$\bar{\lambda}_i = \sqrt{\frac{f_{yb,i}}{\sigma_{cr,s,i}}} \quad \bar{\lambda}_1 = 4,4132 \quad (4.9)$$

Burkulma dayanımı azaltma faktörü:

$$\phi_i = 0,5[1 + \alpha_i(\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^{-2}] \quad \phi = 10,5121 \quad (6.2.b)$$

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + [\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^{-2}]^{0,5}} \quad \chi_i = 0,0499 \quad (6.2.a)$$

Nihai basınç dayanım gerilmesi:

$$\sigma_{com,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M1} \quad \sigma_{com,Ed} = 15,867 \text{ MPa}$$

Azaltılmış etkin kesit alanı:

$$A_{s,red,i} = \chi_i \cdot A_{s,i} \quad A_{s,red,i} = 1,3246 \text{ mm}^2$$

Azaltılmış kalınlık:

$$t_{red,i} = t_i \frac{A_{s,red,i}}{A_{s,i}} \quad t_{red,i} = 0,0748 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_{p,red,i} = \bar{\lambda}_{p,i} \sqrt{\frac{\sigma_{com,Ed,i}}{f_{yb} / \gamma_{M1}}} \quad \bar{\lambda}_{p,red,i} = 0,6261$$

$$\bar{\lambda}_{p,red,i} \leq 0,673: \quad \rho_i = 1,0 \quad (4.4a)$$

$$\bar{\lambda}_{p,red,i} > 0,673: \quad \rho_i = \frac{1 - \frac{0,22}{\bar{\lambda}_{p,red,i}}}{\bar{\lambda}_{p,red,i}} + 0,18 \frac{\bar{\lambda}_{p,i} - \bar{\lambda}_{p,red,i}}{\bar{\lambda}_{p,i} - 0,6} \text{ ve } \rho_i \leq 1,0 \text{ olmalıdır} \quad (4.4b)$$

$$\rho_i = 1,0$$

İterasyonun diğer adımlarına ilişkin hesap sonuçları Tablo 3.2’de verilmektedir.

	t_i	$b_{p,i}$	$b_{p,i}$	p_i	$c_{eff,i}$	$b_{eff,i}$	$b_{e2,i}$	$A_{s,i}$	$x_{g,i}$	$I_{s,i}$	$\sigma_{cr,s,i}$	λ_i	ϕ_i	χ_i	$\sigma_{com,Ed,i}$	$\lambda_{p,i}$	$A_{s,red,i}$	$t_{red,i}$	$\lambda_{p,red,i}$	ρ
1	1,5000	15,250	59,250	0,379	5,774	22,434	11,217	25,487	1,48	127,854	24,969	3,744	7,7392	0,0689	21,924	0,6297	1,7562	0,1034	0,6297	1,0000
2	0,1034	15,948	59,948	1,000	15,948	59,948	29,974	4,747	2,80	104,269	121,08	1,700	2,0428	0,3149	100,20	2,399	8,0266	0,4724	1,3463	0,7267
3	0,4724	15,764	59,764	0,727	11,456	43,433	21,716	15,670	2,13	186,904	49,102	2,670	4,2246	0,1334	42,433	2,399	3,3990	0,2000	0,8761	1,0000
4	0,2000	15,900	59,900	1,000	15,900	59,900	29,950	9,172	2,82	201,821	87,176	2,004	2,6247	0,2315	73,653	2,399	5,8998	0,3472	1,1542	0,8258
5	0,3472	15,826	59,826	0,826	13,069	49,404	24,702	13,115	2,38	198,910	60,523	2,405	3,5348	0,1633	51,944	2,399	4,1609	0,2449	0,9693	0,9406
6	0,2449	15,878	59,878	0,941	14,934	56,318	28,159	10,553	2,67	205,910	76,532	2,139	2,9126	0,2045	65,068	2,399	5,2121	0,3067	1,0849	0,8663
7	0,3067	15,847	59,847	0,866	13,729	51,847	25,924	12,163	2,48	202,277	65,810	2,306	3,2961	0,1770	56,306	2,399	4,5102	0,2654	1,0092	0,9139
8	0,2654	15,867	59,867	0,914	14,502	54,716	27,358	11,111	2,60	204,996	72,523	2,197	3,0428	0,1942	61,805	2,399	4,9507	0,2914	1,0573	0,8832
9	0,2914	15,854	59,854	0,883	14,003	52,866	26,433	11,782	2,52	203,398	68,130	2,267	3,2030	0,1829	58,210	2,399	4,6628	0,2744	1,0261	0,9030
10	0,2744	15,863	59,863	0,903	14,324	54,055	27,027	11,348	2,57	204,491	70,926	2,221	3,0988	0,1901	60,499	2,399	4,8462	0,2852	1,0461	0,8903
11	0,2852	15,857	59,857	0,890	14,117	53,289	26,645	11,626	2,54	203,814	69,114	2,250	3,1653	0,1855	59,017	2,399	4,7274	0,2782	1,0332	0,8984
12	0,2782	15,861	59,861	0,898	14,250	53,781	26,891	11,446	2,56	204,261	70,274	2,232	3,1223	0,1885	59,967	2,399	4,8035	0,2827	1,0415	0,8932
13	0,2827	15,859	59,859	0,893	14,165	53,464	26,732	11,562	2,55	203,978	69,525	2,244	3,1499	0,1865	59,354	2,399	4,7544	0,2798	1,0361	0,8966

Tablo 3.1. CM15015 profili kritik burkulma yükü hesabı iterasyon adımları

	t_i	$b_{p,i}$	$b_{p,i}$	ρ_i	$c_{eff,i}$	$b_{eff,i}$	$b_{a,i}$	$A_{s,i}$	$x_{g,i}$	$I_{s,i}$	$\sigma_{ex,i}$	λ_i	ϕ_i	χ_i	$\sigma_{cum,Ed,i}$	$\lambda_{p,i}$	$A_{s,red,i}$	$t_{red,i}$	$\lambda_{p,red,i}$	ρ
1	1,5000	19,250	69,250	0,329	6,327	22,762	11,381	26,562	1,61	152,973	17,970	4,413	10,5121	0,0499	15,867	2,8037	1,3246	0,0748	0,6261	1,0000
2	0,0748	19,963	69,963	1,000	19,963	69,963	34,981	4,110	3,65	145,026	113,080	1,759	2,1490	0,2956	94,055	2,399	7,8517	0,4434	1,3043	0,7469
3	0,4434	19,778	69,778	0,747	14,772	52,117	26,059	18,105	2,81	362,709	40,596	2,936	4,9886	0,1108	35,269	2,399	2,9443	0,1663	0,7987	1,000
4	0,1663	19,917	69,917	1,000	19,917	69,917	34,958	9,124	3,67	322,306	75,935	2,147	2,931	0,203	64,582	2,399	5,3913	0,3045	1,1543	0,8258
5	0,3045	19,848	69,848	0,826	16,390	57,678	28,839	13,770	3,07	333,968	51,216	2,614	4,074	0,1389	44,202	2,399	3,6900	0,2084	0,8942	0,9938
6	0,2084	19,896	69,896	0,994	19,772	69,460	34,730	11,357	3,65	396,476	67,6592	2,274	3,221	0,1817	57,824	2,399	4,8272	0,2726	1,0227	0,9052
7	0,2726	19,864	69,864	0,905	17,980	63,238	31,619	13,521	3,35	392,749	56,565	2,488	3,7425	0,1529	48,662	2,399	4,0623	0,2294	0,9382	0,9621
8	0,2294	19,885	69,885	0,962	19,132	67,237	33,619	12,101	3,54	396,296	63,485	2,348	3,3962	0,1709	54,391	2,399	4,5406	0,2564	0,9919	0,9254
9	0,2564	19,872	69,872	0,925	18,389	64,657	32,329	13,005	3,42	394,469	58,939	2,437	3,6146	0,1591	50,632	2,399	4,2270	0,2387	0,9570	0,9490
10	0,2387	19,881	69,881	0,949	18,867	66,317	33,159	12,418	3,50	395,840	61,829	2,379	3,472	0,167	53,024	2,399	4,4265	0,2500	0,9793	0,9338
11	0,2500	19,875	69,875	0,934	18,559	65,247	32,624	12,794	3,44	395,036	59,952	2,416	3,563	0,162	51,472	2,399	4,2969	0,2427	0,9649	0,9436
12	0,2427	19,879	69,879	0,944	18,757	65,936	32,968	12,551	3,48	395,587	61,155	2,392	3,504	0,165	52,467	2,399	4,3799	0,2473	0,9742	0,9373
13	0,2473	19,876	69,876	0,937	18,629	65,492	32,746	12,707	3,46	395,246	60,378	2,408	3,542	0,163	51,824	2,399	4,3263	0,2443	0,9682	0,9413
14	0,2443	19,878	69,878	0,941	18,712	65,778	32,889	12,607	3,47	395,472	60,877	2,398	3,518	0,164	52,237	2,399	4,361	0,2463	0,9720	0,9387
15	0,2463	19,877	69,877	0,939	18,657	65,594	32,797	12,671	3,46	395,329	60,555	2,404	3,533	0,163	51,970	2,399	4,339	0,2450	0,9696	0,9404
16	0,2450	19,878	69,878	0,940	18,693	65,712	32,856	12,630	3,47	395,422	60,762	2,400	3,523	0,164	52,142	2,399	4,353	0,2458	0,9711	0,9393
17	0,2458	19,877	69,877	0,939	18,671	65,636	32,818	12,657	3,46	395,362	60,629	2,403	3,530	0,164	52,031	2,399	4,344	0,2453	0,9701	0,9400

Tablo 3.2. CM20015 profilli kritik burkulma yükü hesabı iterasyon adımları



CM15015 profili kritik burkulma yükü

$$\sum A_{15015} = 2 \cdot [t_1 \cdot (b_{e1,l} + b_{e2,l} + c_{eff,l})]$$

(ilk durum için toplam alan değeri)

$$\sum A_{15015} = 2 \cdot [1,5 \cdot (11,2172 + 11,2172 + 5,7743)]$$

$$\sum A_{15015} = 84,6259 \text{ mm}^2$$

$$P_{cr} = \sigma_{crs,i} \cdot \sum A_{15015}$$

(kritik burkulma yükü)

$$P_{cr} = 69,5251 \cdot 84,6259$$

$$P_{cr} = 5883,624 \text{ N}$$

$$F = \frac{P_{cr}}{150.60 \cdot 10^{-6}}$$

$$F = 653735,9988 \text{ N/m}^2$$

CM20015 profili kritik burkulma yükü

$$\sum A_{20015} = 2 \cdot [t_1 \cdot (b_{e1,l} + b_{e2,l} + c_{eff,l})]$$

$$\sum A_{20015} = 2 \cdot [1,5 \cdot (11,3807 + 11,3807 + 6,3272)]$$

$$\sum A_{20015} = 87,2661 \text{ mm}^2$$

$$P_{cr} = \sigma_{crs,i} \cdot \sum A_{20015}$$

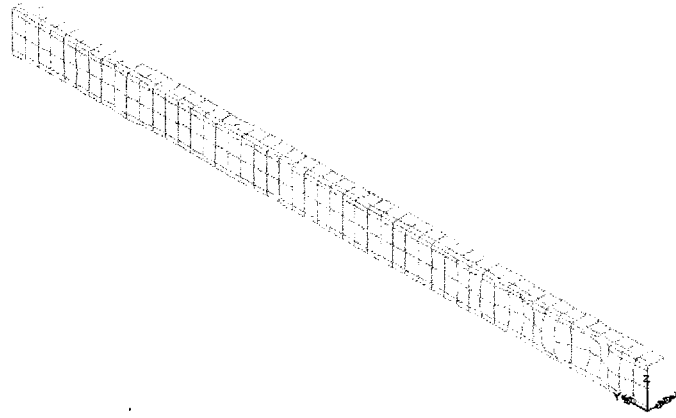
$$P_{cr} = 60,6285 \cdot 87,2661$$

$$P_{cr} = 5290,8119 \text{ N}$$

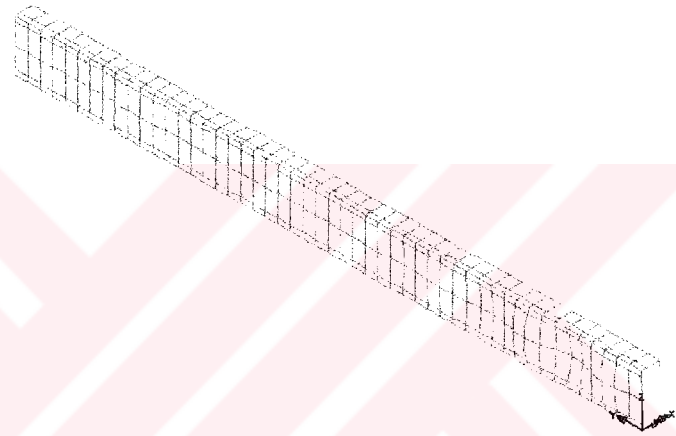
$$F = \frac{P_{cr}}{200.70 \cdot 10^{-6}}$$

$$F = 3779915,1358 \text{ N/m}^2$$

Ek.1'de verilen ENV 1993-1-3:1996 standardı ilgili maddelerine göre hesaplanmış kritik gerilmelerden CM15015 ve CM20015 profilleri için kritik burkulma yükleri hesaplanmış ve bu yükler 2.4 m uzunluğundaki tekil kolonlara bir yükleme levhası yardımıyla uygulanmış ve sonlu elemanlar yazılımı olan LUSAS, [41], programıyla 'özdeğer burkulma' analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarından elde edilen deformasyon modelleri Şekil 3.6 ve 3.7'de görülmektedir. Bu modellerin deformasyona uğramış her bir noktasının koordinatları 'h/200' değeriyle çarpılarak normalleştirilmiştir. Elde edilen yeni koordinatlarla oluşturulan bu model artık kusursuz bir geometriye sahip olmamakta kesit düzensizliği de içermektedir.



Şekil 3.6. CM15015 profili ‘özdeğer burkulma’ analizi sonrası deformasyon modeli



Şekil 3.7. CM20015 profili ‘özdeğer burkulma’ analizi sonrası deformasyon modeli

Sonlu elemanlar analizi yapılacak modelin geometrisi, kesit düzensizliği içeren, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de deformasyon modelleri görülen bu profiller ile oluşturulmuştur.

3.3.2. Modelin Geometrisi

Geometrik modellemede paneli oluşturan dikme ve kiriş profilleri kabuk eleman (QSL8, Thin shell) olarak kabul edilmiş, imalatçı firma profil tablolarından, [42], alınan profil et kalınlıkları elemanlara atanmıştır. Dikme ve kiriş profillerinin birbirleriyle ve dikme profillerinin kaplama elemanı ile olan bağlantılarını sağlayan vidalar ise üç boyutlu doğrusal yay elemanlar (JSH4, 3D joint for beams) olarak modellenmiştir. Kullanılan eleman tiplerine ait serbestlik dereceleri ve LUSAS yazılımındaki standart kod isimleri Tablo 3.3’de verilmektedir.

Eleman kod numarası	Kullanıldığı yer	Nodal serbestlik derecesi
QSL8 Thin shell	Panel dikme ve kiriş profilleri	U, V, W, θ_1 , θ_2
JSH4 3D Joints	Paneli oluşturan dikme ve kiriş profillerinin birbirleri ile bağlantılarını sağlayan vidalar Kaplama elemanını dikmeler ile bağlantısını sağlayan vidalar	U, V, W, θ_x , θ_y , θ_z

Tablo 3.3. Kullanılan sonlu eleman tipleri ve serbestlik dereceleri

3.3.3. Malzeme Modeli

3.3.3.1. Soğukta Şekil Verilmiş Çelik

Sistemi oluşturan hafif çelik profiller elastik izotropik non-lineer malzeme olup ilgili parametreler Tablo 3.4'te verilmektedir.

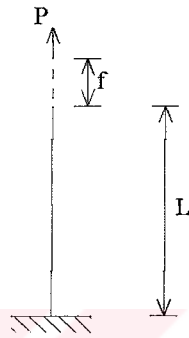
Malzeme Parametresi	Hafif Çelik
Elastisite Modülü (N/m^2)	2.10^{11}
Birim Ağırlık (N/m^3)	$7,85.10^3$
Poisson Oranı	0,3

Tablo 3.4. Analizde kullanılan hafif çelik malzeme parametreleri

3.3.3.2. Vidaları Modelleyen Yay Elemanlar

Yay elemanlar, vidaları gerçek duruma en uygun şekilde modellemek açısından büyük önem taşımaktadır. Yay elemanlar, üç boyutlu lineer yaylar olup yay sabitleri her yön için aşağıda verilen temel bağıntılara göre hesaplanabilmektedir.

Eksenel yay rijitliği: (K)



Şekil 3.8. Normal P kuvvetiyle nedeniyle doğrusal yay sabiti

$$f = \frac{P.L}{E.A} \quad (K)_{rijitlik} = \frac{E.A}{L}$$

E: Elastisite modülü (2.10^{11} N/m²)

A: Vida enkesit alanı ($3,976.10^{-6}$ m²)

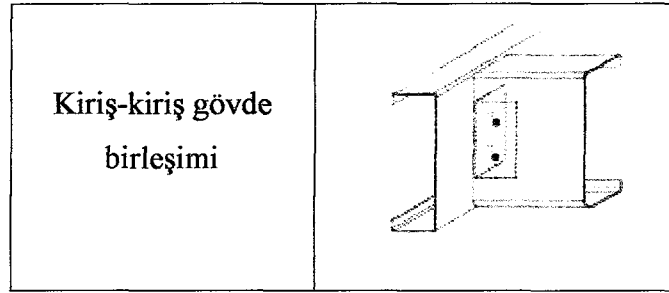
L: Vida boyu (0,016 m)

$$\Delta r_x = 4970000 \text{ N/m}$$

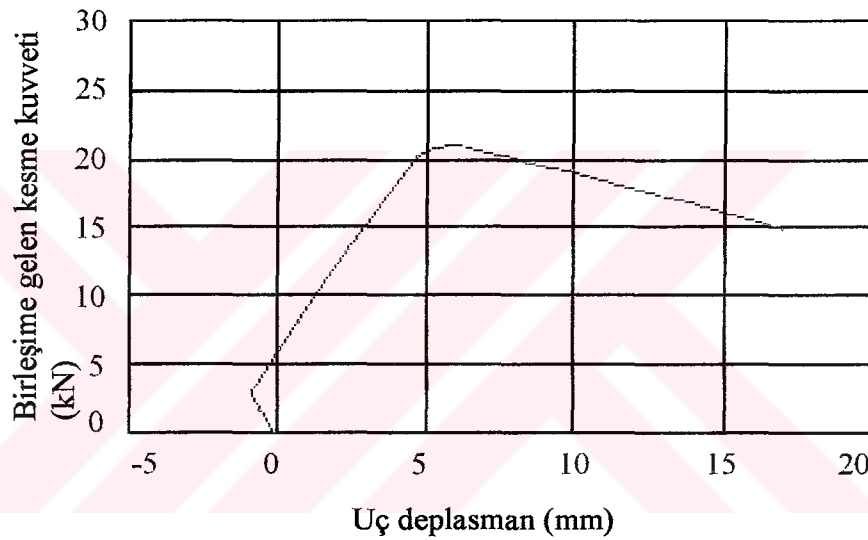
Kayma rijitliği:

Kayma yay sabiti Chung ve Lawson'un, [2000], soğukta şekil verilmiş çelik profil bağlantıları ile ilgili yaptıkları deneysel çalışmalara dayanılarak belirlenmiştir. Bu deneysel çalışmada kiriş-kiriş ve kolon-kiriş şeklinde toplam 24 adet birleşim incelenmiştir. Birleşimlerde bulon, perçin ve kendi deliğini otomatik olarak açan vida olmak üzere üç tip birleşim vasıtası kullanılmıştır. Şekil 3.9'da analiz edilen yapıda kullanılan birleşim tipinin ilgili referansta kullanılanla aynı olduğu görülmektedir. Gerek birleşim tipinin aynı olması gerekse de uygulanan yük ile birleşime gelen kuvvetlerin benzer olması Chung ve Lawson'un tavsiye ettiği kesme kuvveti rijitliğinin yapılan sonlu eleman analizlerinde kullanılabileceğini göstermektedir.

Kayma rijitlik değeri, birleşime gelen kesme kuvveti-uç deplasman eğrisinin eğiminden hesaplanmaktadır (bkz. Şekil 3.10).



Şekil 3.9. Deneyde kullanılan birleşim detayı



$$\tan \alpha = \frac{20 - 5}{4,5} = 3,33 \text{ kN/m} = 3,33 \cdot 10^6 \text{ N/m}$$

Şekil 3.10. Kirişin kirişle gövde birleşiminde kuvvet-dönme grafiği, [Chung and Lawson, 2000]

Chung and Lawson'un, [2000], çalışmaları hafif çelik bağlantılarda dönel rijitliğin ihmal edilecek oranda az olduğunu göstermektedir. Bu yüzden panel dikme ve kiriş bağlantısı için dönel ve burulma rijitliği gözönüne alınmamıştır. Panelleri oluşturan dikme-kiriş profilleri ve dikme-kaplama bağlantıları sadece eksenel ve kayma yay rijitlikleri kullanılarak modellenmiş, diğer yöndeki rijitliklerin olmadığı kabul edilerek sıfıra yakın alınmıştır. Modellemede kullanılan yay elemanların konumları ve yay sabitleri Tablo 3.5'de verilmektedir.

Kullanıldığı yer	Sabit 1 Eksenel kuvvet yay sabiti (N/m)	Sabit 2 Kesme kuvveti yay sabiti(x) (N/m)	Sabit 3 Kesme kuvveti yay sabiti(z) (N/m)	Sabit 4 Burulma momenti yay sabiti (Nm)	Sabit 5 Eğilme momenti yay sabiti (Nm)	Sabit 6 Eğilme momenti yay sabiti (Nm)
Panel (dikme-kiriş) bağlantısı	$4,97.10^6$	$3,33.10^6$	$3,33.10^6$	10	10	10
Kaplama- dikme bağlantısı	$4,97.10^6$	$3,33.10^6$	$3,33.10^6$	10	10	10

Tablo 3.5. Yay elemanların kullanım yerleri ve yay sabiti değerleri

3.3.3.3. Alçıpan Kaplama Malzemesi

Alçıpanın mekanik özellikleriyle ilgili, dünya literatürüne giren geniş çaplı bir çalışmanın olmadığı, üretici firmaların ise kataloglarında bu özellikler yerine söz konusu kaplama malzemesinin geometrik özelliklerine yer verdiği görülmektedir.

Telue and Mahendran, [2004b], ortotropik bir malzeme olan alçıpanın mekanik özelliklerini belirlemek ve bu malzemenin soğukta şekil verilmiş çelik duvar panellerinde kullanımının sonlu elemanlar metodu ile modellenmesi için bir dizi basınç ve kayma deneyi yapmışlardır. Kayma deneylerini, alçıpanın kayma modülünü (G_p) ve deformasyonunu (γ_p) belirlemek için, basınç testlerini ise basınç gerilmesi (C_p) ve elastisite modülünü (E_p). belirlemek için yapmışlardır.

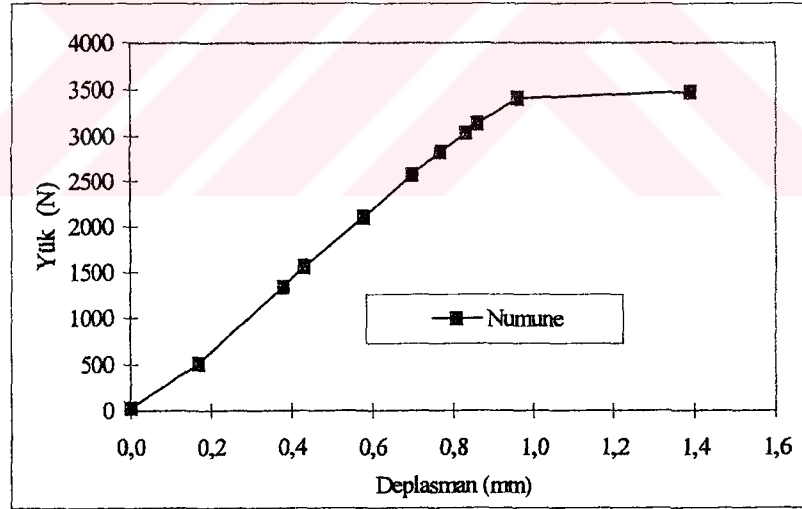
Basınç testleri için üç adet taşıma doğrultusuna (machine direction) paralel, üç adet de taşıma doğrultusuna dik olmak üzere altı adet 100x50 mm ebatlarında alçıpan numunesi kullanılmıştır. Deney neticesinden elde edilen sonuçlar Tablo 3.6'da verilmektedir.

LUSAS sonlu eleman analizinde kullanılan malzeme özellikleri Tablo 3.6 ve Şekil 3.11'den faydalanılarak hesaplanmıştır.

Numune	Alçıpan numunenin oryantasyonu	Basınç gerilmesi (C_p) (MPa)	Elastisite modülü (E_p) (MPa)	Ortalama C_p (MPa)	Ortalama E_p (MPa)
1	TD'a paralel	-	-	3.2	200
2	TD'a paralel	3.37	200		
3	TD'a paralel	3.00	-		
4	TD'a dik	2.37	119	2.3	143
5	TD'a dik	2.55	137		
6	TD'a dik	2.10	175		

Tablo 3.6. Alçıpanın basınç deneyleri neticesinde elde edilen mekanik özellikleri, [Telue, Mahendran, 2004b].

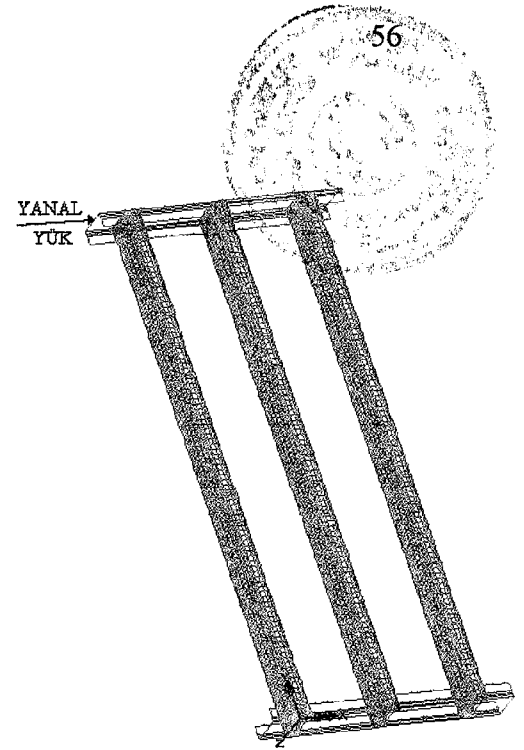
TD: Taşıma doğrultusu (Machine direction)



Şekil 3.11. Basınç testi, yük-deplasman grafiği, [Telue, Mahendran, 2004b].

3.3.4. Yükleme ve Sınır Şartları

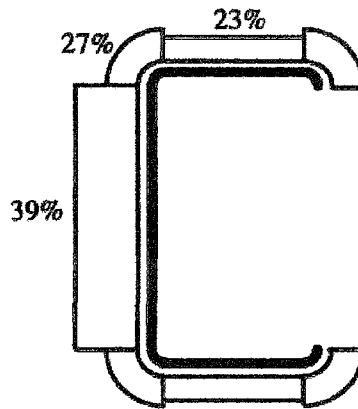
Panelin mesnetlendirilmesinde, yapılması öngörülen deneysel çalışmadaki duruma bağlı kalınmıştır. Panel alt kirişi, panelin oturacağı betonarme zemine bağlantı noktalarından ankastre kabul edilerek x, y ve z yönlerindeki hareket ve dönme engellenmiştir. Panel üst kirişinde ise panelin düzlem dışı deformasyonunu engellemek için tasarlanan düzeneğe göre sadece bir yöndeki (z) deplasman engellenmiş, diğer yönlerdeki deplasman ve dönme serbest bırakılmıştır.



Şekil 3.12 Çerçeve numunesi

Zati ağırlıkları etki ettirilmiş modele artık gerilmelerin uygulanmasında Schafer ve Peköz'ün çalışmaları, [1998], dikkate alınmıştır. Artık gerilmeler Şekil 3.12'de görüldüğü gibi akma gerilmesinin (350 Mpa), belirli oranları dahilinde her bir profile uygulanmıştır.

Son olarak da yanal yük, üst kirişe 100 N olarak uygulanmış, doğrusal olmayan analiz kontrolü ise bu değer, panel 10 cm deplasman yapana kadar her bir adımda 100 N arttırılacak şekilde sağlanmıştır.



Şekil 3.13. Artık gerilme değerleri, % f_y , [Schafer, Peköz, 1997].

3.4. Parametrik Çalışma

3.4.1. Yatay Yükleme Analizlerinde Araştırılacak Parametreler

Çalışmanın hedefi çift taraflı alçıpan levha kaplamanın yanal rijitliğe etkisini belirlerken, bugüne kadar literatürde rastlanmayan; 1) Dikme aralığının 2) Kaplama-dikme vida aralığının 3) Dikme profili gövde yüksekliğinin yanal rijitliğe olan katkılarını tüm kombinasyonlar için belirlemektir. Tablo 4.1’de görüldüğü üzere üç ayrı vida aralığı (140, 300 ve 600 mm), iki ayrı dikme aralığı (400 ve 600 mm) ve iki ayrı dikme profil derinliği (150 ve 200 mm) araştırılmıştır. Bu analizlerde kullanılan parametreler Tablo 4.1’de verilmektedir.

Kaplama durumu	İKİ TARAFI DA KAPLAMALI												KAPLAMASIZ
Kaplama-dikme vida aralığı (mm)	140			300			400						
Dikme aralığı (mm)	400			600			400			600			600
Dikme profili	20015	15015	20015	15015	20015	15015	20015	15015	20015	15015	20015	15015	15015
Numune kodu	*SPL 204014	SPL 154014	SPL 206014	SPL 156014	SPL 204030	SPL 154030	SPL 206030	SPL 156030	SPL 204040	SPL 154040	SPL 206040	SPL 156040	SPUL 1560
Numune no	1D	2D	3D	4D	5D	6D	7D	8D	9D	10D	11D	12D	13D
													14D
													15D
													16D

Tablo 4.1. Parametrik çalışma (Yatay yük)

*SPL204014: SPL: Kaplamalı numune- Alçıpan (Lined specimen) SPUL: Kaplamasız numune (Unlined Specimen)

20: Dikme gövde yüksekliği (mm)

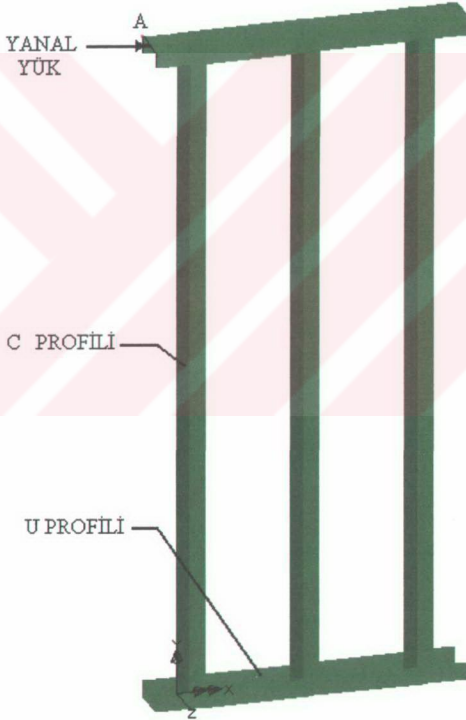
40: Dikme aralığı (mm)

14: Dikme- kaplama vida aralığı (mm)



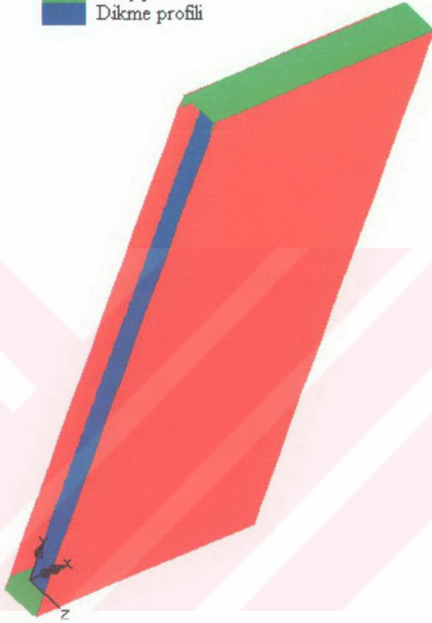
4. Analiz Bulguları

Analizin modelini oluşturan düzlem çerçeve Şekil 4.1'de kaplamalı halî ise Şekil 4.2'de verilmiştir. Çerçeve yatay elemanlarını oluşturan kirişler 203x73x1.5 mm ve 153x63x1.5 mm ölçülerinde U profili, düşey elemanları oluşturan dikmeler ise 200x70x1.5 mm (CM20015) ve 150x60x1.5 mm (CM15015) ölçülerinde C profili olarak seçilmiştir. Yanal yükün uygulandığı ve çerçeve yer değiştirmesinin okunduğu A noktası Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Analizde kullanılan düzlem çerçevenin üç boyutlu görünüşü

■ Alçıpan kaplama elemanı
■ Kiriş profili
■ Dikme profili



Şekil 4.2. Analizde kullanılan düzlem çerçevenin kaplamalı üç boyutlu görünüşü

Yapılan sonlu eleman non-linear analizlerinden elde edilen sonuçlara bağlı parametrelerin etkilerini karşılaştıran grafikler, Şekil 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6'da verilmiştir.

Şekil 4.3, profil boyutlarının yanal dayanıma olan etkisini göstermektedir. Dikme aralık değeri (400 mm) sabit tutulan, dikmeleri CM15015 ve CM20015 olmak üzere iki farklı profille oluşturulan kaplamasız çerçevelere yapılan yanal yüklemenin sonuçlarından da görülmektedir ki, CM20015 profilleriyle oluşturulan çerçeve, CM15015 profilleriyle oluşturulan çerçeveden %25 daha fazla yanal dayanıma sahiptir. Daha büyük bir profille oluşturulmuş bir çerçevenin daha fazla yanal

dayanıma sahip olması beklenen bir durumdur ancak literatüre girmiş çalışmalarda, farklı profil konfigürasyonlarının etkisinin incelenmediği görülmektedir. Bunun yanı sıra, analiz neticeleri Tian et. al., [2004a], 1.2 mm et kalınlıklı, 93 mm gövde yükseklikli profiller ile yaptığı çalışmasıyla kıyaslandığında CM20015 profillerinden yaklaşık olarak %50 oranında daha az yük taşıdığı tespit edilmiştir (bkz. Şekil 4.7).

Şekil 4.4, profil ölçüleri (CM20015) ve dikme aralıkları (600 mm) sabit tutulan kaplamalı ve kaplamasız iki çerçeveyi değerlendirmiştir. Neticede görülen kaplamalı bir çerçevenin kaplamasız bir çerçeveden %90 daha fazla yanal dayanıma sahip olduğudur.

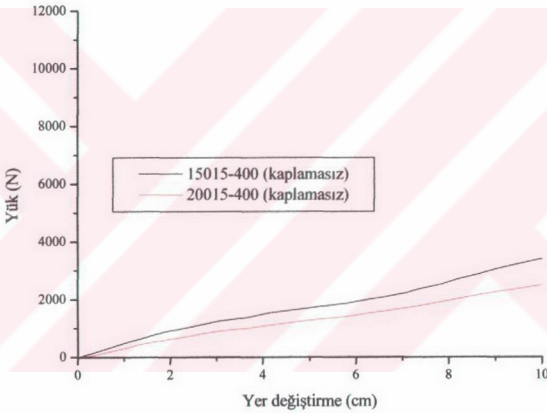
Tian et. al. [2004b], bir tarafı OSB ya da CPB (cement particle board) kaplamalı numunelerinin 3 cm'lik bir yer değiştirmede taşıyabilecekleri maksimum yüke ulaştıklarını, bu yükün ise 10000 N olduğunu belirtmektedirler. Kullandıkları profiller 93 mm gövde yüksekliğinde 1.2 mm et kalınlığındadır. Bu deneyde kaplamasız çerçeveye uygulanan yük, yer değiştirmenin değeri 10 cm'ye ulaşınca kesilmiştir. Bunun nedeni ise kriter aldıkları BS EN 594 standardının çerçevelerde bu değeri sınır değer olarak belirlemesi ve bu deplasmanı yaptıran yükün değerini çerçevenin taşıyabileceği maksimum yük olarak tanımlamasıdır. Kaplamasız çerçevede 10 cm'ye tekabül eden yükün değeri ise 960 N'dur. Bu anlamda kaplamalı bir çerçeve kaplamasız bir çerçeveden 10 kat daha fazla yanal yük taşıyabilmektedir.

Dikme aralığını değerlendiren Şekil 4.5'te ise kaplamasız iki çerçeve mukayese edilmiştir. Dikmeleri CM20015 profilleri ile oluşturulan kaplamasız bu iki çerçevede kullanılan dikme aralık değerleri 400 ve 600 mm'dir. Dikmelerin yerleştirilme aralıklarının artırılmasının yanal dayanıma olumsuz yönde etkisinin olduğu açıkça görülmektedir. 600 mm'lik dikme aralığı 400 mm'lik dikme aralığına göre %40 dayanım kaybına neden olmaktadır.

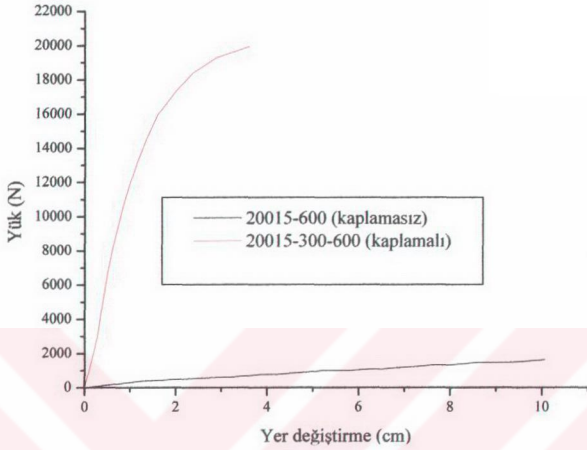
Dikme aralık değerleri (600 mm) ve profil ölçüleri (CM20015) aynı alınan farklı vida aralıklarına sahip üç çerçeve numunesinden elde edilen sonuçlar ise Şekil 4.6'da görülmektedir. Burada vida aralıklarının yanal dayanıma etkisi değerlendirildiğinde görülmektedir ki; çerçeve dikme elemanları ve kaplamayı birbirine bağlayan vida aralıklarının azalması çerçevenin yanal yüke olan dayanımında az da olsa artışa sebep olmaktadır. Bu artış, aralıklar 400 mm'den 140 mm'ye düşürüldüğünde %8 olarak hesaplanmıştır.

Gad et. al. [1999], yaptıkları çalışmada, dikme-kaplama elemanı arasındaki vidaları 400, 200 ve 100 mm'lik aralıklarla yerleştirmiş ve 100 mm'lik vida aralıklı çerçeve ile 600 mm vida aralıklı çerçeve arasında %9 dayanım farkı olduğunu gözlemişlerdir.

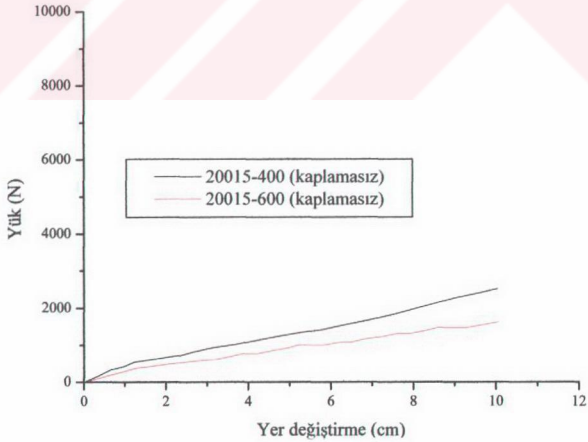
Profil boyutları ve dikme aralıklarının çerçeve yanal dayanımına etkisi, literatüre girmiş çalışmalarda sıkça rastlanmayan iki parametredir. Bu parametrelerin Bölüm 5.2'de anlatılan çalışmalarda kullanılması planlanmaktadır.



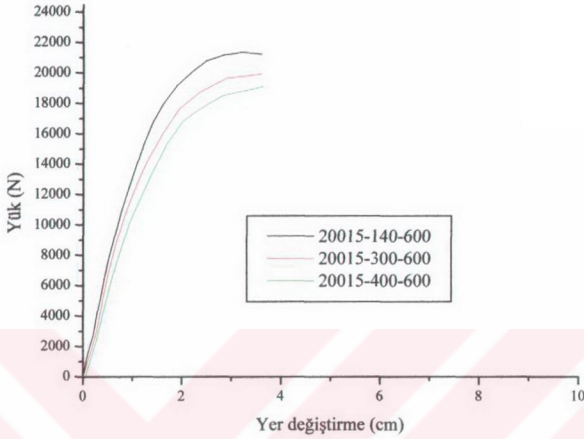
Şekil 4.3. Profil boyutlarının yanal dayanıma etkisi



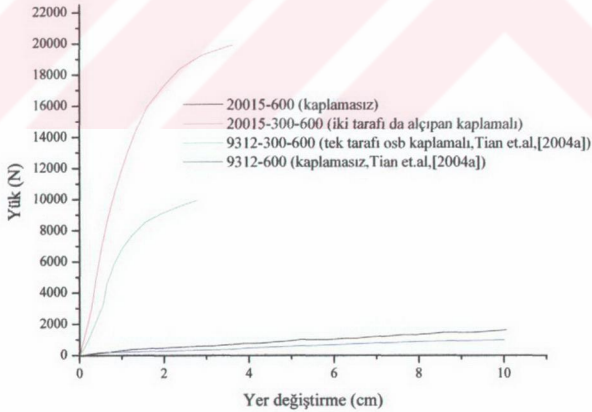
Şekil 4.4. Kaplamanın yanal dayanıma etkisi



Şekil 4.5. Dikme aralığının yanal dayanıma etkisi



şekil 4.6. Vida aralığının yanal dayanıma etkisi



şekil 4.7. Kaplama ve profil boyutlarının Tian et. al., [2004a], ile karşılaştırılması

5. Sonuçlar ve tavsiyeler

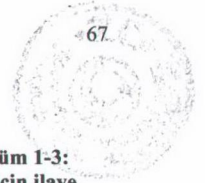
5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada ince cidarlı profillerle oluşturulmuş yapı çerçevelerinde kaplamaya bağlı çeşitli parametrelerin yanal dayanıma olan etkisi araştırılmıştır. Yapılan analizler doğrultusunda çıkan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Kaplama, çerçevenin yanal dayanımına katkı sağlamaktadır. Profil boyutları (CM20015) ve dikme aralıkları (600 mm) sabit tutulan iki tarafı da alçıpanla kaplanmış bir çerçevenin, kaplamasız bir çerçeveden %90 daha fazla yük taşıdığı tespit edilmiştir.
- Çerçeve dikmelerini oluşturan profillerin boyutları yanal yük taşımada önemlidir. Çerçevenin kaplama durumu ve dikme aralıkları sabit tutulmak kaydıyla CM20015 profilleriyle oluşturulmuş bir çerçevenin, CM15015 profilleriyle oluşturulmuş bir çerçeveden %25 oranında daha fazla yük taşıdığı gözlenmiştir.
- Çerçeveyi oluşturan dikmelerin aralıkları mukayese edildiğinde ise kaplama durumu ve profil boyutları aynı olan iki çerçevede taşınabilen yanal yükün, 400 mm aralıklı çerçevede 600 mm aralıklı çerçeveden %40 daha fazla olduğu görülmüştür.
- Kaplama elemanını çerçeveye bağlayan vidaların yerleştirilme aralıklarının da yanal dayanımı etkilediği görülmektedir. Aynı profil ölçüleri ve dikme aralıklarına sahip iki çerçeve değerlendirildiğinde; 140 mm aralıklarla yerleştirilen vidaların, 400 mm aralıklarla yerleştirilen vidalara göre çerçevede %8'lik dayanım artışı sağladığı gözlenmiştir.

5.2. Tavsiyeler

Tez çalışması kapsamında yapılması planlanmış ancak mevcut imkanlar dahilinde gerçekleştirilememiş, bir dizi deneysel çalışmanın yapılması mutlak suretle gerekli görülmektedir. Yapılması öngörülen deneysel çalışmalar Ek 2'de ayrıntılı olarak açıklanmıştır.



Ek.1 ENV 1993-1-3:1996 (Eurocode 3: Çelik yapıların tasarımı- Bölüm 1-3: Genel kurallar-Soğuk şekil verilmiş ince cidarlı eleman ve levhalar için ilave kurallar) standardının kritik burkulma yükü hesabı ile ilgili maddeleri

4. Yerel burkulma

4.1. Genel tanımlar

(1)P Soğukta şekil verilmiş elemanların ve levhaların rijitlik ve mukavemetini belirlemede yerel burkulmanın etkisi dikkate alınmalıdır.

(2)P Bu etki, yerel burkulmaya eğilimli elemanların etkin genişliklerine bağlı olarak hesaplanan etkin kesit geometrik özelliklerinin kullanılması ile değerlendirilebilmektedir.

(3)P Etkin kesitin ağırlık merkezinden geçen ekseninin brüt kesitin ağırlık merkezinden geçen eksene göre kayması hesaplarda göz önüne alınmalıdır.

(4) Yerel burkulma dayanımı belirlenirken, akma mukavemeti ' f_y ', ' f_{yb} ' olarak alınmalıdır.

(5) Kesitin taşıma gücü dayanımı belirlenirken basınç elemanının etkin genişliği taşıma gücü basınç gerilmesine ' $\sigma_{com,Ed,ser}$ ' dayandırılmalıdır.

(6) Servis yükü dayanımı temel alınarak yapılan tasarımda, basınç elemanının etkin genişliği servis yükü basınç gerilmesine ' $\sigma_{com,Ed}$ ' dayandırılmalıdır.

4.2. Rijitleştiricisi olmayan düzlemsel elemanlar

(1)P Basınç elemanlarının etkin genişliği iki ucundan mesnetlenmiş bir yapılanmaya sahipse Tablo 4.1, sadece bir ucundan mesnetlenmiş bir yapılanmaya sahipse Tablo 4.2'den elde edilmelidir.

(2)P Düzlemsel elemanların kabul edilen genişliği Bölüm 3.3.4'te belirtilen kurallara uygun olarak hesaplanmalıdır. Eğimli olan düzlemsel elemanlarda, dönme merkezlerinden ölçülen eğime paralel boy 'kabul edilen genişlik' olarak kullanılmalıdır.

NOT: ENV 1993-1-1' de kullanılan $\bar{b}$ sembolü, düzlem elemanın kabul edilen genişliğini sembolize etmektedir.

(3)P Tablo 4.1 ve 4.2'de etkin genişliği ' b_{eff} ' belirlemek için kullanılan ρ azaltma faktörü, ilgili elemanın nihai basınç dayanım gerilmesi olan ' $\sigma_{com,Ed}$ ' (etkin kesit yaklaşımına göre hesaplanmış ve ikinci mertebe etkileri değerlendirilmiş) temel alınarak belirlenmektedir.

(4) Eğer ' $\sigma_{com,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M1}$ ' ise, azaltma faktörü ρ aşağıda belirtildiği gibi hesaplanmalıdır.

$$- \bar{\lambda}_p \leq 0,673 : \quad \rho = 1,0 \quad \dots(4.1a)$$

$$- \bar{\lambda}_p > 0,673 : \quad \rho = \frac{(1,0 - \frac{0,22}{\bar{\lambda}_p})}{\bar{\lambda}_p} \quad \dots(4.1b)$$

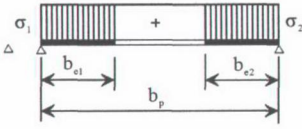
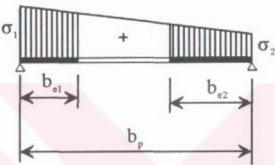
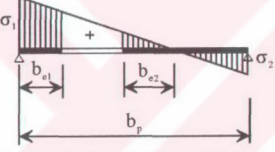
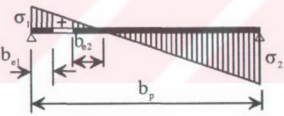
Levha narinliği $\bar{\lambda}_p$ Denklem (4.2) yardımıyla belirlenmelidir.

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\sqrt{f_{yb}}}{\sqrt{\sigma_{cr}}} \equiv \frac{b_p}{t} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)f_{yb}}{\pi^2 E k_\sigma}} \cong 1,052 \frac{b_p}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E k_\sigma}} \cong \frac{\frac{b_p}{t}}{28,4 \epsilon \sqrt{k_\sigma}} \quad \dots(4.2)$$

Burada,

k_σ Tablo 4.1 veya 4.2'de verilen burkulma faktörü;

ϵ f_{yb} , N/mm² biriminde olmak üzere $\sqrt{235/f_{yb}}$ oranıdır.

Gerilme dağılımı [basınç pozitif]				Etkin genişlik b_{eff}		
				$\psi = +1:$ $b_{eff} = \rho b_p$ $b_{e1} = 0,5b_{eff}$ $b_{e2} = 0,5b_{eff}$		
				$+1 > \psi \geq 0:$ $b_{eff} = \rho b_p$ $b_{e1} = \frac{2b_{eff}}{5 - \psi}$ $b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$		
				$0 > \psi \geq -1:$ $b_{eff} = \rho b_c$ $b_{e1} = 0,4b_{eff}$ $b_{e2} = 0,6b_{eff}$		
				$\psi < -1:$ $b_{eff} = \rho b_c$ $b_{e1} = 0,4b_{eff}$ $b_{e2} = 0,6b_{eff}$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	+1	$+1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Burkulma faktörü k_o	4,0	$\frac{8,2}{1,05 + \psi}$	7,81	$7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$	23,9	$5,98(1 - \psi)^2$
Alternatif olarak $+1 \geq \psi \geq -1$ ise $k\sigma = \frac{16}{\left[(1 + \psi)^2 + 0,112(1 - \psi)^2 \right]^{0,5}} + (1 + \psi)$						

Tablo 4.1: Çift tarafından mesnetlenmiş basınç elemanları

(5) ' $\sigma_{com,Ed} < f_{yb}/\gamma_{M1}$ ' ise azaltma faktörü ρ aşağıda belirtildiği gibi olmalıdır:

- **Alternatif 1 :** Levha narinliği ' $\bar{\lambda}_p$ ' yerine azaltılmış levha narinliğini ' $\bar{\lambda}_{p,red}$ ' kullanmak kaydıyla; Denklem (4.1a) ve (4.1b) kullanılmalıdır.

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\frac{\sigma_{com,Ed}}{f_{yb}/\gamma_{M1}}} \quad \dots(4.3)$$

- **Alternatif 2 :** Denklem (4.1a) ve (4.1b) yerine Denklem (4.4a) ve (4.4b) kullanılmalıdır.

$$\bar{\lambda}_{p,red} \leq 0,673 : \quad \rho = 1,0 \quad \dots(4.4a)$$

$$\bar{\lambda}_{p,red} > 0,673 : \quad \rho = \frac{1 - \frac{0,22}{\bar{\lambda}_{p,red}}}{\bar{\lambda}_{p,red}} + 0,18 \frac{\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,red}}{\bar{\lambda}_p - 0,6} \quad \text{ve } \rho \leq 1,0 \text{ olmalıdır} \quad \dots(4.4b)$$

(6) Servis yükü dayanımına göre olan tasarımda etkin genişliğin hesaplanmasında kullanılacak ρ aşağıdaki gibi belirlenmelidir:

- **Alternatif 1:** Taşıma gücü yöntemine göre olan tasarımda levha narinliği ' $\bar{\lambda}_p$ ', yerine servis yükleri altında levha narinliğini ' $\bar{\lambda}_{p,ser}$ ' kullanmak kaydıyla Denklem (4.1a) ve (4.1b) kullanılmalıdır.

$$\bar{\lambda}_{p,ser} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\frac{\sigma_{com,Ed,ser}}{f_{yb}}} \quad \dots(4.5)$$

Bu arada;

$\sigma_{com,Ed,ser}$; servis yükü dayanımına göre olan tasarımda ele alınan yükler altında etkin genişliğe göre hesaplanmış elemanın en büyük basınç gerilmesidir.

- **Alternatif 2:** Denklem (4.5)' de verilen servis yükü dayanımına göre olan levha narinliğini, $\bar{\lambda}_{p,ser}$, azaltılmış levha narinliği, $\bar{\lambda}_{p,red}$, yerine kullanmak kaydıyla Denklem (4.4a) ve (4.4b) ile hesaplanmalıdır.

(7) Değişken gerilme dağılımı etkisindeki başlık elemanının etkin genişliği belirlenirken Tablo 4.1 ve 4.2'de kullanılan gerilme oranı ψ , brüt kesit özelliklerine bağlı olarak hesaplanabilmektedir.

(8) Gövde elemanının etkin genişliği belirlenirken Tablo 4.1'de kullanılan ψ gerilme oranı, gövdenin brüt alanı, basınç gerilmesi altındaki başlığın etkin alanı, kullanılarak hesaplanmalıdır.

(9) Alternatif olarak (7) ve (8) nolu adımlar birbirinin ardı sıra uygulanarak ve her adımda bir önceki adımda hesaplanan etkin kesit değerini brüt kesit değeri yerine kullanarak etkin kesit özellikleri geliştirilebilir.

(10) Trapez profilili levha gövdesinin değişken gerilme dağılımı altında etkin genişliği Bölüm 4.3.4'de tarif edilen basit yöntem ile hesaplanmalıdır.

4.3. Kenar veya ara rijitleştirici kullanılan düzlemsel elemanlar

4.3.1. Genel tanımlar

(1)P Kenar veya ara rijitleştiricili basınç elemanlarının tasarımı rijitleştiricinin kısmi çökme yapabilen mütemadi mesnet olduğu kabulüne göre yapılacaktır. Mesnedin yay rijitliği sınır şartlarına ve bağlı olduğu düzlemsel elemanın eğilme rijitliğine göre belirlenecektir.

(2) Rijitleştiricinin yay rijitliği, Şekil 4.1'de gösterildiği gibi birim uzunluğa birim yükün, u , uygulanmasıyla belirlenmelidir. Birim uzunluk için yay rijitliği, K , aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$K = u/\delta$$

δ ; u birim yükü nedeniyle rijitleştiricinin yaptığı deplasmandır.

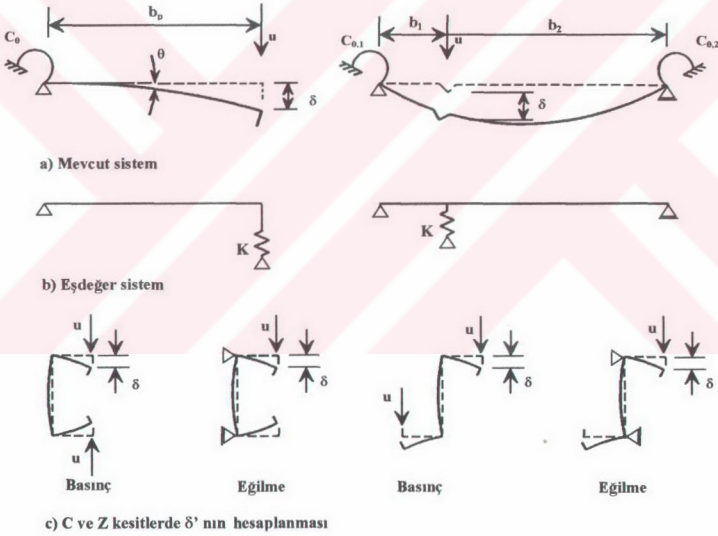
(3) Kesit geometrisinden dönel yay rijitliği değerleri olan C_θ , $C_{\theta,1}$ ve $C_{\theta,2}$ hesaplanırken, aynı elemanın üzerinde yer alan diğer rijitleştiricilerin veya kesitte basınca maruz diğer elemanların üzerinde yer alan rijitleştiricilerin etkileri göz önünde bulundurulmalıdır.

(4) Kenar rijitleştiriciler için 'δ' deplasmanı Denklem (4.7) yardımı ile hesaplanmalıdır.

$$\delta = \theta b_p + \frac{ub_p^3}{3} \times \frac{12(1-\nu^2)}{Et^3} \quad \dots(4.7)$$

Burada,

$$\theta = \frac{ub_p}{C_\theta}$$



Şekil 4.1: Yay rijitliğinin belirlenmesi

(5) Kenar rijitleştiricili Z ve U profillerin kenar rijitleştiricilerinin dönel rijitliği 'C_θ' Şekil 4.1(c)'de gösterildiği gibi birim yükleme, u, uygulanmak suretiyle hesaplanmalıdır.

(6) Ara rijitleştirici kullanılması durumunda, muhafazakar bir yaklaşım olarak dönel yay rijitliği ' $C_{\theta,1}$ ' ve ' $C_{\theta,2}$ ' sıfır alınabilir ve ' δ ' deplasmanı Denklem (4.8) yardımıyla hesaplanabilir.

$$\delta = \frac{ub_1^2 b_2^2}{3(b_1 + b_2)} \times \frac{12(1 - \nu^2)}{Et^3} \quad \dots(4.8)$$

(7) Rijitleştiricinin eğilme burkulması dayanımı için kullanılan azaltma faktörü ' χ ' Madde 6.2.1(2)P'de tarif edildiği şekilde ' a_o ' burkulma eğrisi (doğrusallık sapma faktörü $\alpha=0,13$) ve Denklem (4.9) yardımıyla hesaplanacak rölatif narinlik $\bar{\lambda}$ kullanılarak bulunmaktadır.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{cr,s}}} \quad \dots(4.9)$$

Burada,

$\sigma_{cr,s}$; Madde 4.3.2, 4.3.3 veya 4.3.4'de tarif edilen rijitleştirici kritik elastik gerilmesidir.

4.3.2. Kenar rijitleştirici kullanılan düzlem elemanlar

4.3.2.1. Şartlar

(1) Bir kenar rijitleştirici Şekil 4.2’de gösterildiği gibi bir veya iki kıvrımdan oluşabilir.

(2)P Kenar rijitleştirici, aşağıdaki şartları sağlamadığı müddetçe düzlem elemanın dayanımını belirlemede hesaba alınmamalıdır.

- Rijitleştirici ve düzlem eleman arasındaki açı 45° ’den küçük 135° ’den büyük olduğunda,
- Büküm uzunluğu, c , Şekil 4.2’de gösterilen ‘ $0,2b_p$ ’ mesafesinden az olduğunda,
- ‘ b_p/t ’ oranı, tek kıvrımlı rijitleştirici için 60 ’dan, çift kıvrımlı rijitleştirici için 90 ’dan büyük olduğunda.

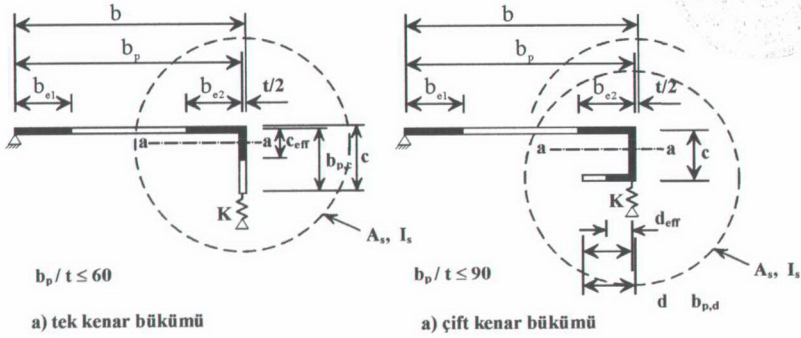
(3) 1 ve 2(P) kriterleri sağlandığında rijitleştiricinin etkinliği aşağıda verilen iki yolla belirlenmektedir:

- 4.3.2.2’de verilen genel yöntem,
- 4.3.2.3’de verilen basit yöntem.

4.3.2.2. Genel yöntem

(1) Bir kenar rijitleştiricinin kesit alanının belirlenmesinde Şekil 4.2’de gösterilen ‘ c ’ elemanının ya da ‘ c ’ ve ‘ d ’ elemanlarının etkin alanlarının yanı sıra bağlandıkları düzlem elemanın da etkin alanının toplamı alınmalıdır.

(2) Şekil 4.3’de görsel olarak ifade edilen yöntemin uygulanmasında aşağıdaki adımlar sırasıyla izlenmelidir:



Şekil 4.2: Kenar rijitleştiriciler

1. Adım: Rijitleştiriciyi tamamen ankastre kabul etmek ve ' $\sigma_{com,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M1}$ ' almak suretiyle hesaplanacak etkin genişlik kullanılarak rijitleştiricinin başlangıç etkin kesit alanını hesaplamak (bkz. Madde (3)-(5)).

2. Adım: Eğilmeli burkulma için kullanılacak azaltma faktörünün belirlenmesinde sürekli yay mesnedin etkisini dahil edecek şekilde rijitleştirici başlangıç etkin alanını kullanmak.

3. Adım: Eğilmeli burkulma için kullanılacak azaltma faktörü değerini optimize etmek için iterasyon yapmak (bkz. Madde (8) ve (9)).

(3) Şekil 4.2'de gösterilen, etkin genişliğin başlangıç değerleri olan ' b_{e1} ' ve ' b_{e2} ' Madde 4.2 yardımıyla, düzlem eleman ' b_p ' genişliğinin iki tarafında da rijitleştirici olması durumu için hesaplanmalıdır.

(4) Şekil 4.2'de gösterilen ' c_{eff} ' ve ' d_{eff} ' etkin genişliklerinin başlangıç değerleri aşağıdaki gibi bulunmalıdır:

a) Tek kenar kıvrımlı rijitleştirici için:

$$c_{eff} = \rho b_{p,c}$$

$$\dots (4.10a)$$

Burada;

ρ , Madde 4.2(4) yardımıyla hesaplanmalıdır, ancak hesaplarda gerekli olan burkulma faktörü, k_σ , aşağıdaki gibi alınmalıdır:

$$- \frac{b_{p,c}}{b_p} \leq 0,35 \quad \text{ise} \quad k_\sigma = 0,5 \quad \dots(4.10b)$$

$$- 0,35 < \frac{b_{p,c}}{b_p} \leq 0,6 \quad \text{ise} \quad k_\sigma = 0,5 + 0,83 \times \sqrt{\left(\frac{b_{p,c}}{b_p} - 0,35\right)^2} \quad \dots(4.10c)$$

b) Çift kenar kıvrımlı rijitleştirici için:

$$c_{eff} = \rho b_{p,c} \quad \dots(4.10d)$$

Burada;

ρ , Madde 4.2(4) yardımıyla hesaplanmalıdır. Ancak hesaplarda gerekli olan burkulma faktörü, k_σ , iki tarafta da rijitleştirici olması durumu için olan Tablo 4.1'den belirlenmelidir.

$$d_{eff} = \rho b_{p,d} \quad \dots(4.10e)$$

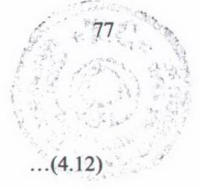
Burada;

ρ , Madde 4.2(4) yardımıyla hesaplanmalıdır. Ancak hesaplarda gerekli olan burkulma faktörü, k_σ , iki tarafta da rijitleştirici olması durumu için olan Tablo 4.2'den belirlenmelidir.

(5) Kenar rijitleştiricinin etkin kesit alanı, A_s , aşağıdaki gibi bulunmalıdır:

$$A_s = t(b_{e2} + c_{eff} + d_{eff}) \quad \dots(4.11)$$

(6) Kenar rijitleştiricilerde kullanılacak kritik burkulma gerilmesi, $\sigma_{cr,s}$, Denklem (4.12) yardımıyla hesaplanmalıdır.



$$\sigma_{cr,s} = \frac{2\sqrt{KEI_s}}{A_s}$$

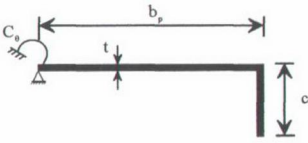
...(4.12)

Burada;

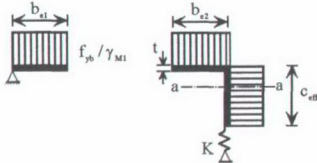
K, Madde 4.3.1(2)'de tarif edilen birim uzunluk için yay rijitliğidir.

I_s, Rijitleştirici etkin kesit alanının, A_s, ağırlık merkezinden geçen a-a tarafsız eksenini etrafında alınan atalet momentidir (bkz. Şekil 4.2).

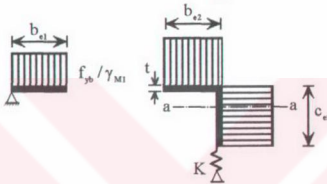
(7) Kenar rijitleştiricinin eğilmeli burkulma dayanımı için olan azaltma faktörü, χ , ' $\sigma_{cr,s}$ ' kullanılarak Madde 4.3.1(7)'de tarif edilen yöntem yardımıyla hesaplanmalıdır.



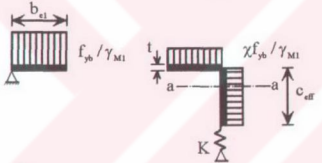
a) Brüt kesit ve sınır şartları



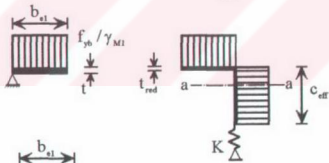
b) 1. Adım: $\sigma_{com,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M1}$ 'e dayanan $K = \infty$ için etkin kesit



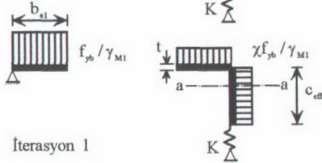
c) 2. Adım: 1. adımdan elde edilen rijitleştiricinin etkin alanı A_s için hesaplanan elastik kritik gerilme, $\sigma_{cr,s}$



d) ' $\sigma_{cr,s}$ ' e göre hesaplanan azaltma faktörü χ kullanılarak azaltılmış etkin kesit alanı, $A_{s,\chi}$ için azaltılmış mukavemet, $\chi f_{yb} / \gamma_{M1}$, hesabı

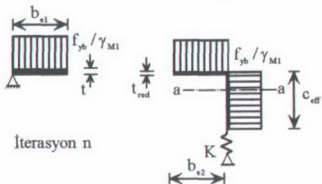


e) ' $\sigma_{cr,s}$ ' e göre hesaplanan azaltma faktörü χ kullanılarak belirlenen rijitleştiricinin etkin genişliğine karşılık gelen azaltılmış kalınlık ' t_{red} '



İterasyon 1

f) 3. Adım: Bir önceki adımdan elde edilen rijitleştiricinin azaltılmış etkin alanı, $A_{s,red}$, kullanarak; $\chi_n \approx \chi_{n-1}$ (fakat $\chi_n \leq \chi_{n-1}$) olana kadar 2. adımı tekrarla



İterasyon n

g) ' χ_n ' azaltma faktörüne karşılık gelen ' b_{e2} ', ' c_{eff} ' etkin genişliğe ve ' t_{red} ' azaltılmış kalınlığa sahip bir etkin kesit alanı belirle.

Şekil 4.3 Kenar rijitleştiricili bir başlığın basınç dayanımı



(8) Eğer $\chi < 1$ ise, bu değer iterasyonla daha da optimize edilebilir. İterasyona Madde 4.2(5)'de tarif edilen ρ 'nun düzeltilmiş değerini, denklemlerde ' $\sigma_{com,Ed} = \chi f_{yb} / \gamma_{M1}$ ' kabul ederek hesaplanmasıyla başlanmalıdır. Prosedürde gerekli olan ' $\bar{\lambda}_{p,red}$ ' değeri Denklem (4.13)' ten belirlenmelidir.

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\chi} \quad \dots(4.13)$$

(9) İterasyon son adımında hesaplanan ' χ ' değeri, bir önceki adımda hesaplanan değerine yaklaşık eşit fakat daha büyük olmadan sona erdirilmelidir.

(10) Eğilmeli burkulma etkisini değerlendiren rijitleştiricinin azaltılmış etkin alanı, $A_{s,red}$, Denklem(4.14)' den hesaplanmalıdır.

$$A_{s,red} \leq \chi A_s \quad \text{olmak üzere} \quad A_{s,red} = \chi A_s \left[\frac{f_{yb} / \gamma_{M1}}{\sigma_{com,Ed}} \right] \quad \dots(4.14)$$

Burada, ' $\sigma_{com,Ed}$ ' rijitleştiricinin orta çizgisinde hesaplanmış gerilmedir.

(11) İteratif prosedürde etkin kesit özellikleri belirlenirken, azaltılmış etkin alan, $A_{s,red}$, etkisi, ' A_s ' in kapsadığı tüm elemanlar için, kalınlığı azaltmak suretiyle, $t_{red} = t A_{s,red} / A_s$, değerlendirilmelidir.

(12) Servis yükü dayanımı yönteminde, etkin kesit özellikleri öngörülen tasarım kalınlığına, t , dayandırılmalıdır.

4.3.2.3. Basit yöntem

(1) Madde 4.3.2.2'de tarif edilen genel yöntem alternatif olan basit yöntem, Şekil 4.2'de gösterilen kenar rijitleştiricilerin azaltılmış etkin alanını, $A_{s,red}$, belirlemede kullanılabilir.

(2) Kenar rijitleştiricinin etkin kesit alanı, A_s , Denklem (4.15) yardımıyla hesaplanmalıdır.

$$A_s = t(b_{e2} + c_{eff} + d_{eff}) \quad \dots(4.15)$$

Burada,

b_{e2} , c_{eff} ve d_{eff} etkin genişlikleri Madde 4.3.2.2(3) ve (4)'de tarif edilen şekilde belirlenmelidir. Ancak ' ρ ', ' $\chi f_{yb} / \gamma_{M1} = \sigma_{com,Ed}$ ' varsayılarak Madde 4.2(5)'den belirlenmelidir. ' ρ ' değerinin belirlenmesinde gerekli olan ' $\bar{\lambda}_{p,red}$ ' Denklem (4.16)' dan hesaplanmalıdır.

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\chi} \quad \dots(4.16)$$

(3) ' I_s ' değeri aşağıda verilen şartı sağladığı takdirde azaltma faktörü ' $\chi=0,5$ ' olarak alınabilir.

$$I_s \geq 0,31 \left(1,5 + \frac{h}{b_p} \right) \left(\frac{f_{yb}}{E} \right)^2 \left(\frac{b_p}{t} \right)^3 A_s^2 \quad \dots(4.17)$$

Aksi takdirde, ' I_s ' değeri aşağıda verilen şartı sağladığı halde ' $\chi=1.0$ ' olarak alınabilir.

$$I_s \geq 4,86 \left(1,5 + \frac{h}{b_p} \right) \left(\frac{f_{yb}}{E} \right)^2 \left(\frac{b_p}{t} \right)^3 A_s^2 \quad \dots(4.18)$$

Burada,

b_p , Şekil 4.2'de gösterilen rijitleştiricili düzlemsel elemanın genişliği;

h , düzlem elemanın bağlandığı gövde elemanının yüksekliği;

I_s , Rijitleştirici etkin kesit alanının, A_s , ağırlık merkezinden geçen a-a tarafsız eksenine etrafında alınan atalet momentidir (bkz. Şekil 4.2).

(4) Eğilme burkulma etkisini değerlendiren rijitleştiricinin azaltılmış etkin alanı, $A_{s,red}$, Denklem (4.19)'dan hesaplanmalıdır.

$$A_{s,red} \leq \chi A_s \text{ olmak üzere } A_{s,red} = \chi A_s \left[\frac{f_{yb} / \gamma_{M1}}{\sigma_{com,Ed}} \right] \quad \dots(4.19)$$

Burada, ' $\sigma_{com,Ed}$ ' rijitleştiricinin orta çizgisinde hesaplanmış gerilmedir.

(5) Yöntemde etkin kesit özellikleri belirlenirken, azaltılmış etkin alan, $A_{s,red}$; etkisi ' A_s 'nin kapsadığı tüm elemanlar için kalınlığı azaltmak suretiyle, $t_{red} = tA_{s,red} / A_s$, değerlendirilmelidir.

(6) Servis yükü dayanımı yönteminde, etkin kesit özellikleri belirlenirken gerekli olan ' I_s ' hesap değerleri öngörülen tasarım kalınlığına, t , dayanmalıdır.

6.2. Burkulma Dayanımı

6.2.1. Tasarım Burkulma Dayanımı

(2)P Burkulma dayanımı için belirlenen uygun azaltma faktörü, χ , Denklem (6.2a) yardımıyla bulunmalıdır.

$$\chi \leq 1,0 \text{ olmak şartıyla} \quad \chi = \frac{1}{\phi + [\phi^2 - \bar{\lambda}^2]^{0,5}} \quad \dots(6.2a)$$

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \quad \dots(6.2b)$$

Burada,

α , burkulma eğrisine bağlı olarak elemanın doğrusallıktan ayrılma payı;

$\bar{\lambda}$, ilgili burkulma modu için rölatif narinliktir.

(3)P Elemanın ilgili eksen etrafında eğilmeli burkulma, burulmalı burkulma veya eğilmeli burulmalı burkulma etkisi altında hesaplanacak en düşük ' χ ' değeri kullanılmalıdır.

(4)P Uygun burkulma eğrisine bağlı olan doğrusallıktan ayrılma faktörü, α , Tablo 6.1'den hesaplanmalıdır.

Tablo 6.1: Hata faktörü α

Burkulma eğrisi	a_0	a	b	c
α	0,13	0,21	0,34	0,49

Ek 2. Öngörülen Deneysel Çalışma

E.2.1. Deney Numuneleri, Test Düzeneği ve Ölçüm Noktaları

Test programı dahilinde ele alınacak test numuneleri düşey ve yanal rijitlik testleri için aynı dikme profil ve aralıkları kullanılarak düzenlenmiştir. Karşılaştırılabilir olması için, tüm deney numunelerinin üç dikmeli ve 2400 mm yükseklikte olmaları planlanmaktadır, [Telue and Mahendran, 2001, 2004, Tian et. al., 2004, NAHB, 1997, Fülöp and Dubina, 2004]. Literatürden alçıpan levha kalınlığının 10-12.7 mm arasında değiştiği anlaşılmaktadır, [Telue and Mahendran, 2001, 2004, Tian et. al., 2004, NAHB, 1997, Fülöp and Dubina, 2004]. Türkiye’de üretilen alçıpan levha kalınlıkları ile uygulama yaygınlığı göz önünde bulundurularak alçıpan levhanın 10 mm olarak seçilmesi kararlaştırılmıştır. Montaj zorluğu nedeni ile kaplamaların uygulamada üst ve alt giriş başlıklarına bağlanmadıkları, sadece dikmelere otomatik diş açan vidalar ile bağlandıkları belirtilmektedir. Vidaların 2.79-4.8 mm çapında, 180-600 mm arasında değiştiği görülmektedir. Vida tipi olarak Türkiye’de Tepe Knauf alçıpan levhalarının bağlantısında önerilen 2.25 mm çapında otomatik diş açan vidalar kullanılacaktır. Panel dikmelerinin kirişlere bağlantılarında kullanılacak vidalar ise, Akşan ve Eston firmalarının, [42, 43], kullanımını önerdiği 4.8 mm çaplı dört adet (her yüzde ikişer adet) bağlantı vidası olacaktır. Seçilen boyutlar ve vida sayısı önceki çalışmalara uygundur; 3.32 mm çaplı iki vida, [Telue and Mahendran, 2001, 2004], 5 mm çaplı dört vida, [Tian et. al., 2004], 4.8 mm çaplı dört vida [Fülöp and Dubina, 2004], 3.32 mm çaplı iki vida, [NAHB, 1997]. Dikme kirişlerinde kullanılan profil boyutları, genellikle 100 mm derinliğe ve 1 mm et kalınlığına sahiptir. Türkiye’de yapısal uygulamalarda en küçük ince cidarlı profilin 100 mm ve 1.5 mm kalınlığında olduğu bilinmektedir, [42]. Telue and Mahendran, [2001, 2004], Fülöp and Dubina, [2004], referanslarında kullanılan 200x1.15 mm ve 150x1.5 mm kenar rijitleştiricili C profiller, Türkiye’de kullanım sıklıkları da göz önünde bulundurularak, projede tercih edilmektedir. Deney numunesinin teknik resim çizimi Şekil E.2.1’de verilmektedir.

Deneysel çalışmada reaksiyon çerçevesinin tasarımı, deformasyonların en olumsuz yükleme altında 0.1 mm’nin altında sınırlandırılması esasına

dayanmaktadır. Test düzeneğinin kapalı bir çerçeve olarak tasarımı laboratuvar döşemesine yük aktarımını ve deformasyonları minimize etmekte, ayrıca yanal yüklemenin de aynı test düzeneği içinde uygulanabilmesine imkan tanımaktadır. Hidrolik pistonu barındıran mekanizmanın hareketli tasarımı ve çerçevenin belli sınırlar içinde büyüyebilir olması, test düzeneğini hafif çelik panel ve tekil eleman testlerinin değişken boyutlar dahilinde uygulanabilmesine imkan tanımaktadır. Düzeneğin esneme sınırları literatürde kullanılan tüm test boyutlarını içerecek biçimde belirlenmiştir. Test düzeneğinin teknik resim çizimleri Şekil E.2.2(a, b ve c)'de gösterilmektedir.

Uluslararası literatürde düşey ve yatay rijitlik testleri için kullanılan deney düzeneği farklı olmaktadır. Düşey yükleme testlerinde deney numunesi dikey konumda [Tian et. al., 2004, Fülöp and Dubina, 2004], yatay rijitlik testleri ise yatay konumda [NAHB, 1997] test edilmektedir. Literatürde düşey yükleme testlerinde numuneye her üç dikmeye aynı anda, ya da sadece orta dikmeye yük uygulayarak test uygulanmaktadır. Önerilen test düzeneğinde 10 tonluk 1 adet hidrolik pistonla orta dikmeye yük uygulanması tercih edilmektedir. Yanal yükleme testlerinde ise, numune üst panel kirişine bağlanan bir ahşap kiriş vasıtası ile sağ üst köşeden 10 tonluk tek bir hidrolik pistonla yüklenecektir. Hidrolik piston kapasitelerinin literatürden bilinen dayanım sınırlarının üzerinde kuvvet uygulayabilecek asgari düzeylerde olmaları temin edilmiştir. Projede numunelerin yanal yükler altında yerçekimi etkilerini değerlendirmek üzere dikey olarak test edilmeleri uygun görülmektedir. Her iki test tipi için numunelerin alt başlığı Türkiye'deki uygulama pratiğine uygun olarak betonarme bir kirişe bağlanacaktır. Projede Akşan ve Eston, [42, 43], firmalarının önerdikleri betonarme plağa ankraj bulonları (6,3x75 mm) ve köşebentler kullanılacaktır. Betonarme kiriş iki ucundan 20 mm çaplı bulon ve köşebent vasıtasıyla kapalı test çerçevesinin alt kirişine bağlanacaktır. Numune deformasyonları düşey rijitlik testlerinde üç ayrı noktada; orta dikmenin ortasında yanal yönde, sağ dikmenin üst ve altında düşey yönde olmak üzere, 3 ayrı LVTD ile ölçülmesi planlanmaktadır. Yanal testlerde ise ölçümler; üst ve alt başlığın sol ucundan yanal yönde, sol ve sağ dikmenin alt başlığa bağlandığı ucundan da düşey yönde olmak üzere 4 ayrı LVTD ile yapılacaktır. Ölçüm noktaları yine literatürde önerilen konumları temsil etmektedir.

Test programı alçıpan levha kaplamalı duvar panellerinin düşey yük aktarma davranışını, ayrıca farklı kaplamalar ile oluşturulan duvar panellerinin yatay yük taşıma kapasitelerini monotonik yükler altında incelemeyi amaçlamaktadır. Test programı neticesinde elde edilecek bulgular LUSAS, [41], sonlu elemanlar yazılımında oluşturulacak modelin kalibrasyonunda kullanılacak, böylece doğrulanmış model ile yapısal davranışı anlamaya yönelik güvenilir parametrik çalışmalar yürütülebilecektir. Araştırılan hususlarda deneysel bulgular uluslararası literatür bulguları ve ENV 1993-1-3:1996'ya tasarım kuralları ile karşılaştırılacaktır. Daha sonra doğrulanmış sonlu elemanlar modeli kullanılarak endüstri mühendisliğinde ürün kalitesini belirlemeye yönelik sistematik ve kabul gören bir yöntem olan 'Faktöriyel Tasarım Yöntemi', [21], konuya uygulanabilmesi için gerekli olan tüm deneysel olasılık bulguları (experimental data) saptanacaktır. 'Faktöriyel Tasarım Yöntemi' kullanılarak incelenen etkili parametrelerin tekli ve çoklu kombinasyonlarının düşey ve yatay yük kapasiteleri üzerindeki etkileri matematiksel ifadelerle belirlenecektir. Böylece gerçekçi tasarım önerilerinde bulunulabilecektir.

E.2.2. Yatay Yükleme Deneylerinde Araştırılacak Parametreler

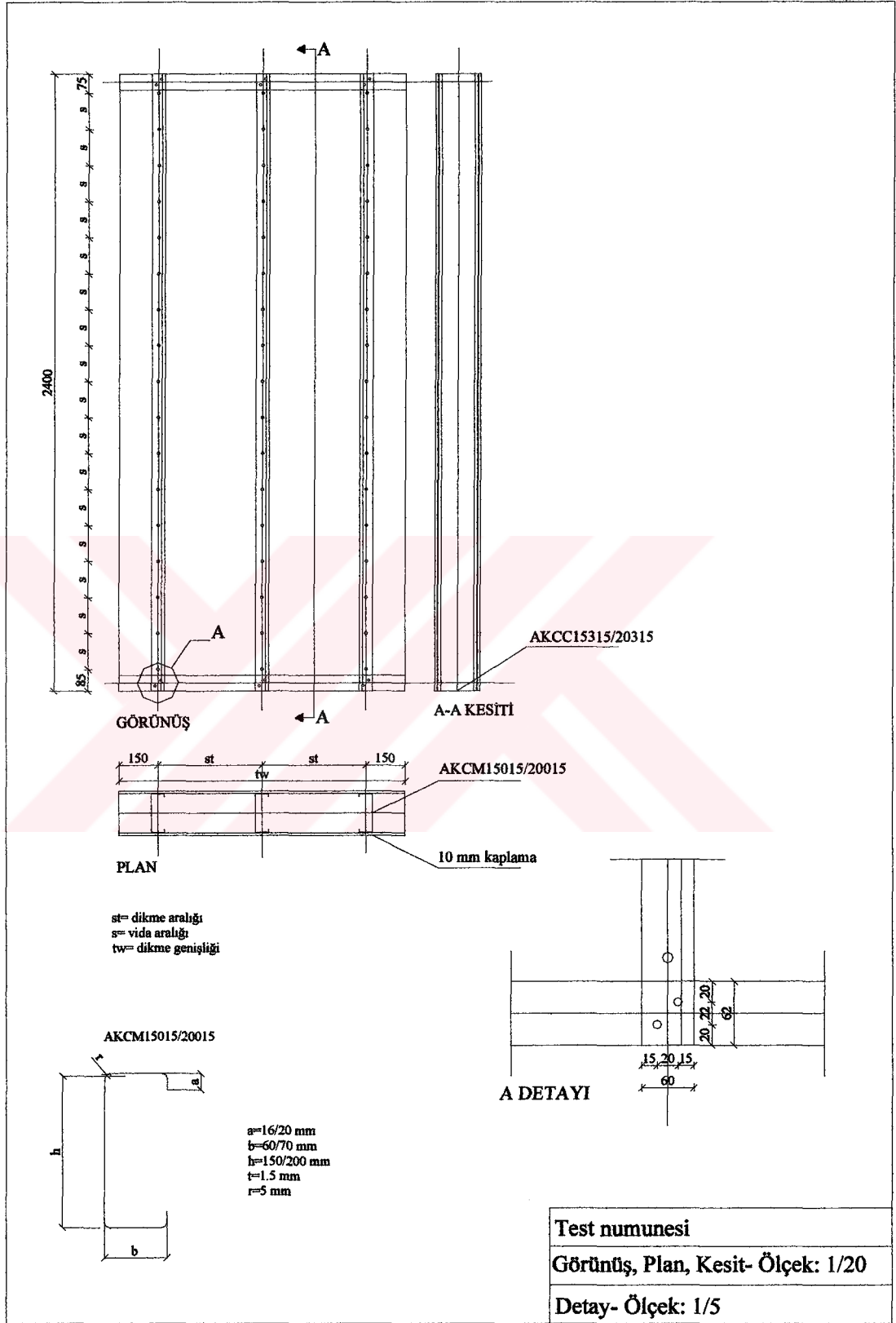
Yatay rijitliği inceleyen deneysel çalışmalara bakıldığında yine sistematik olarak tüm değişken kombinasyonlarının etkisinin araştırılmadığı belirlenmektedir. NAHB Research Center, [1997], bir yüzeyi OSB, diğer yüzeyi alçıpan levha ile kaplı panellerde boşluk alanının yanal rijitlik üzerindeki etkisini incelemiştir. Tian et. al., [2004a, 2004b], tek tarafı OSB ya da alçıpan kaplı panellerin yanal rijitliğe katkısı ile, tek ya da çift taraflı çapraz kuşaklı panellerin yanal rijitliğe katkılarını karşılaştırmaktadırlar. Ancak çift taraflı kuşak ile çift taraflı OSB ya da alçıpan kaplamanın karşılaştırılması yapılamamaktadır. Fülöp and Dubina, [2004], genellikle tek taraflı farklı kaplamaların, 1) Oluklu levha, 2) OSB ve 3) İki taraflı çapraz kuşağın yanal rijitliğe etkisini incelemektedir. Bu çalışmada, incelenmek istenen etkinin sistematik olarak planlanmadığı bir dizi test bulgusunun sunulduğu yetersiz bir araştırma olarak karşımıza çıkmaktadır.

Projede, literatürden elde edilen bu bilgilerin doğrultusunda, sistematik bir monotonik yanal test programı önerilmektedir. Çalışmada ana amaç çift taraflı OSB

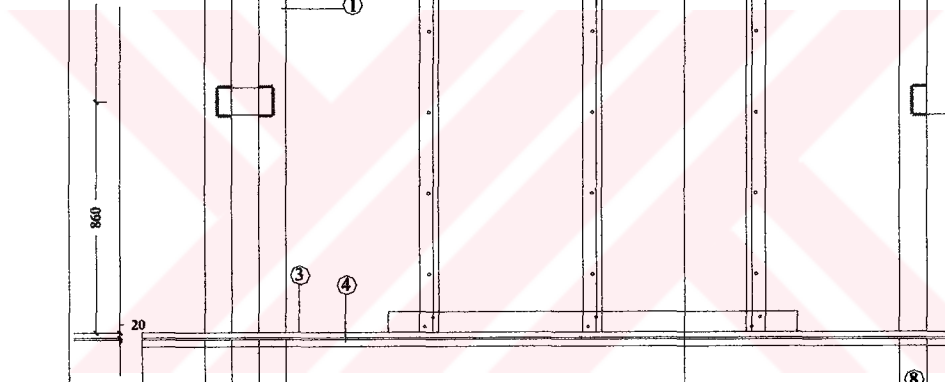
ve alçıpan levha kaplamanın yanal rijitliğe etkisini belirlerken, bugüne kadar literatürde rastlanmayan; 1) Dikme aralığının (numunenin en/boy oranını (aspect ratio) etkiler), 2) Kaplama-dikme vida aralığının ve 3) Dikme profil derinliğinin yanal rijitliğe olan katkıları tüm kombinasyonlar için belirlenecektir. Tablo E.2.2’de görüldüğü üzere üç ayrı vida aralığı (140, 300 ve 600 mm), iki ayrı dikme aralığı (400 ve 600 mm) ve iki ayrı dikme profil derinliği (150 ve 200 mm) her iki kaplama türü için araştırılacaktır. Literatürde ısrarla incelenen çapraz kuşaklı paneller ise sınırlı olarak ele alınmıştır. Bu numunelere ait bulgular yol gösterici mahiyette değerlendirileceklerdir. Bunun nedeni literatürde çapraz kuşaklı numunelerin gevrek kırılma ile bağlantı noktalarından göçme göstermeleri ve genellikle OSB kaplamalı panellere göre daha az enerji yutma kapasitelerinin bulunmasıdır, [Tian et. al., 2004b, Fülöp and Dubina, 2004]. Ayrıca Eston, [43], ile yapılan görüşmelerde kuşaklı panellerin üzerine uygulanan kaplamanın panel yüzeyine oturmaması nedeni ile çirkin detaylanmanın olduğu kaygısı da çapraz kuşaklı rijitleştirmenin araştırılma tercihini kısmen sınırlamıştır.

E.2.3. Düşey Yükleme Deneylerinde Araştırılacak Parametreler

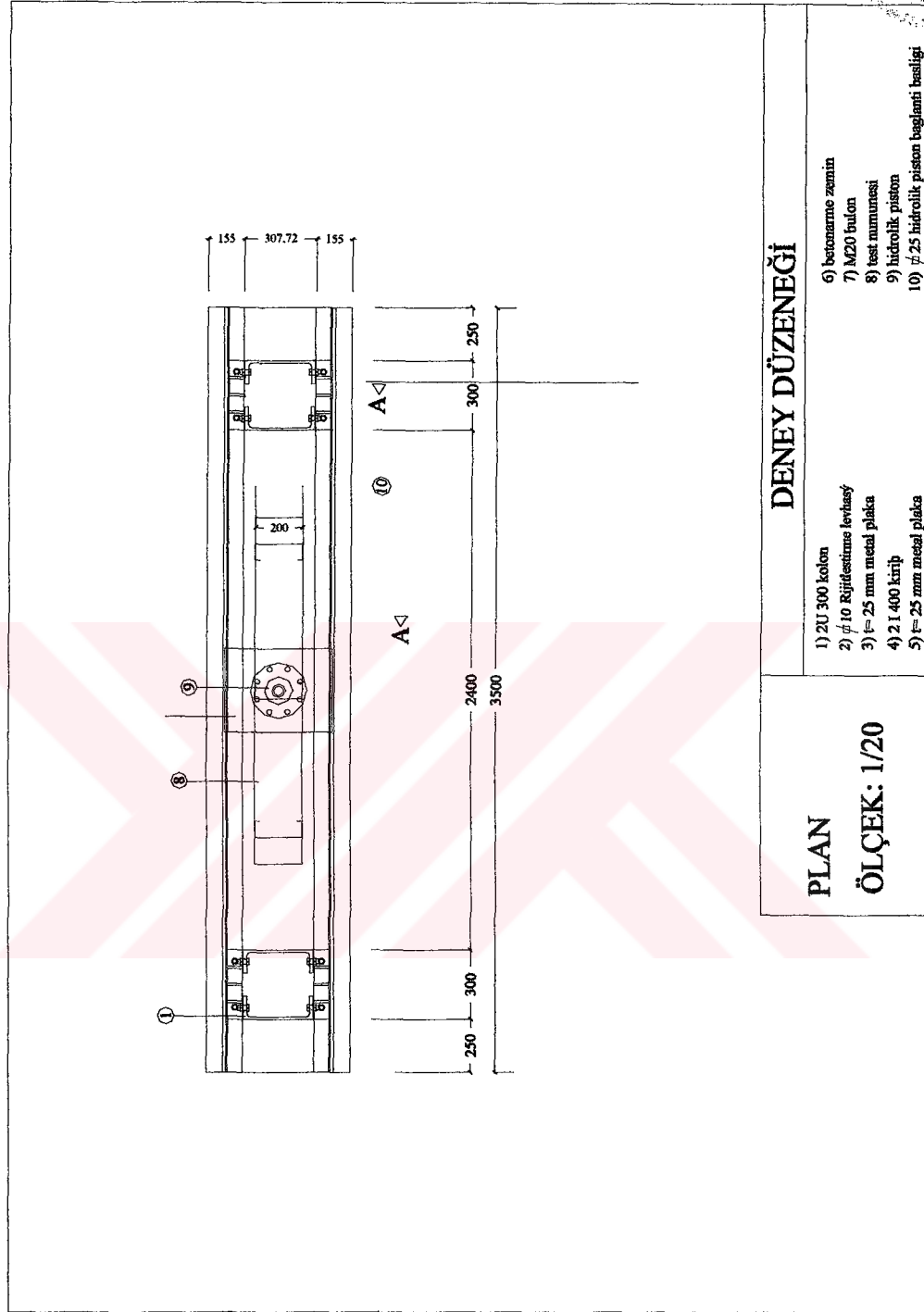
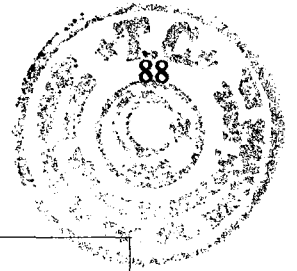
Düşey rijitlik deneyleri incelendiğinde testlerde incelenmesi düşünülen değişkenlerin planlanmasının dikkatlice irdelenmediği anlaşılmaktadır. Mesela, Telue and Mahendran, [2001,2004a-c], dikme gövde derinliğinin ve dikme aralığının etkisini araştırmaktadır. Tian et. al., [2004a-b], ise dikme kesit kalınlığının ve kaplamayı dikmelere bağlayan vida aralıklarının düşey rijitliğe olan etkisini incelemektedir. Ancak her iki çalışmada da tüm değişkenlerin farklı kombinasyonlarını içerecek sayıda deney numunesine test programında rastlanmamaktadır. Öngörülen çalışmada ise üç farklı değişkenin; 1) Dikme gövde derinliği, 2) Dikme aralığı ve 3) kaplama vida aralığı, tüm kombinasyonlarını içerecek biçimde numune testleri tasarlanmaktadır (Tablo E.2.1).

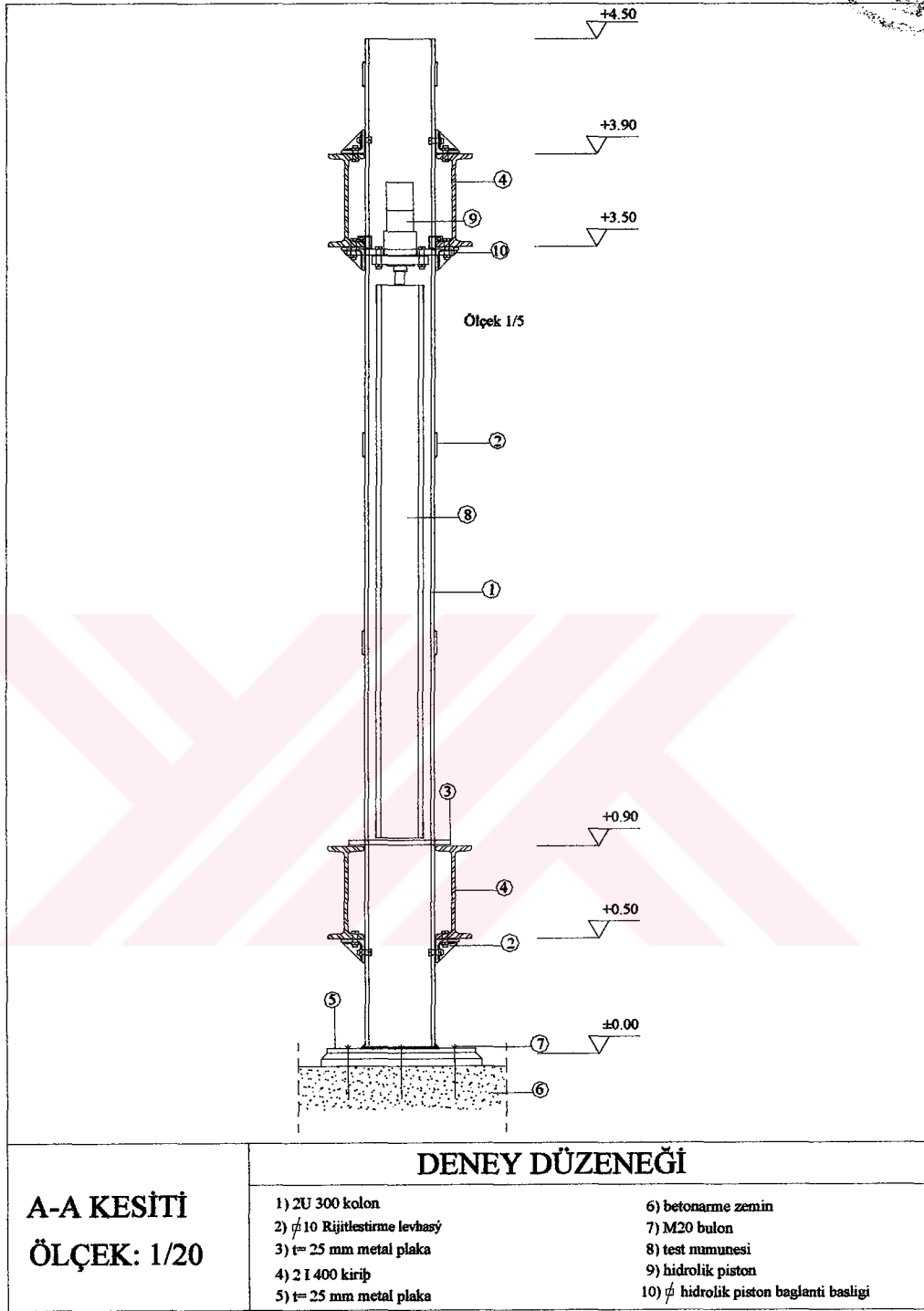
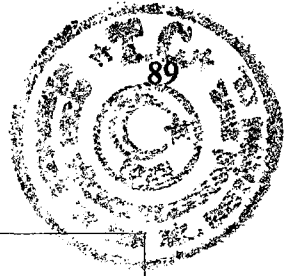


Şekil E.2.1. Deney numunesi



Şekil E.2.2.a. Test düzeneğinin genel görünüşü.





Şekil E.2.2.c. Test düzeneğinin kesiti.

İki tarafı OSB kaplamalı (dış duvar paneli)												
Kaplama		140mm				300mm				600mm		
Vida aralığı		400mm		600mm		400mm		600mm		400mm		600mm
Dikme aralığı												
Kesit geometrisi		AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 15015
Numune kodu		SL OSB 204014	SL OSB 154014	SL OSB 206014	SL OSB 156014	SL OSB 204030	SL OSB 154030	SL OSB 206030	SL OSB 156030	SL OSB 204060	SL OSB 154060	SPL 206060 SPL 156060
İki tarafı alçıpan kaplamalı (iç duvar paneli)												
Kaplama		140mm				300mm				600mm		
Vida aralığı		400mm		600mm		400mm		600mm		400mm		600mm
Dikme aralığı												
Kesit geometrisi		AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 15015
Numune kodu		SLGPB 204014	SLGPB 154014	SLGPB 206014	SLGPB 156014	SLGPB 204030	SLGPB 154030	SLGPB 206030	SLGPB 156030	SLGPB 204060	SLGPB 154060	SLGPB 206060 SLGPB 156060
Kaplama												
Kaplama		140mm				300mm				600mm		
Vida aralığı		400mm		600mm		400mm		600mm		400mm		600mm
Dikme aralığı												
Kesit geometrisi		AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 15015
Numune kodu		SLGPB 204014	SLGPB 154014	SLGPB 206014	SLGPB 156014	SLGPB 204030	SLGPB 154030	SLGPB 206030	SLGPB 156030	SLGPB 204060	SLGPB 154060	SLGPB 206060 SLGPB 156060

Tablo E.2.1. Düşey yük test programı.

İki tarafı OSB kaplamalı (dış duvar paneli)												
Kaplama	140mm				300mm				600mm			
	400mm		600mm		400mm		600mm		400mm		600mm	
Vida aralığı												
Dikme aralığı												
Kesit geometrisi	AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 154014	SL.OSB 154014	AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 156014	SL.OSB 206014	AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 156014	SL.OSB 156014
Numune kodu	SL.OSB 204014	SL.OSB 154014	SL.OSB 154014	SL.OSB 206014	SL.OSB 20015	SL.OSB 15015	SL.OSB 156030	SL.OSB 206030	SL.S+OS B 206030	SL.S+OS B 156030	SL.OSB 156030	SL.S+OS B 156030
İki tarafı alçıpan kaplamalı (iç duvar paneli)												
Kaplama	140mm				300mm				600mm			
	400mm		600mm		400mm		600mm		400mm		600mm	
Vida aralığı												
Dikme aralığı												
Kesit geometrisi	AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 154014	SL.GPB 154014	AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 156014	SL.GPB 206014	AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 156014	SL.GPB 156014
Numune kodu	SL.GPB 204014	SL.GPB 154014	SL.GPB 154014	SL.GPB 206014	SL.GPB 20015	SL.GPB 15015	SL.GPB 156030	SL.GPB 206030	SL.S+GP B 206030	SL.S+GP B 156030	SL.GPB 156030	SL.S+GP B 156030
Kaplamasız												
Dikme aralığı	400mm		600mm		400mm		600mm		400mm		600mm	
Kesit geometrisi	AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 154014	AKCM 20015	AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 156014	AKCM 20015	AKCM 20015	AKCM 15015	AKCM 156014	AKCM 20015
Numune kodu	SUL 2040	SUL 1540	SUL 2060	SUL 1560	SUL 2040	SUL 1540	SUL 2060	SUL 1560	SUL 2040	SUL 1540	SUL 2060	SUL 1560

Tablo E.2.2. Yatay yük test programı.

S: numune, UL: kaplamasız, L: kaplamalı, GPB: alçıpan, OSB: OSB, 15/20: kesit derinliği (cm), 40/60: dikme aralığı (cm), 14/30/60: vida aralığı (cm)

KAYNAKLAR

- [1] AISI, Specification for the design of cold-formed steel structural members, 1996 edition, American Iron and Steel Institute, 1996.
- [2] AS/NZS 4600/1996, Australian/New Zeland Standard, Cold-formed steel structures, 2003.
- [3] Bateman BW., Light-gauge steel verses conventional wood framing in residential construction, Journal of Construction Education, 1997;2(2):99-108.
- [4] Burstrand H., Light-gauge steel framing leads the way to an increased productivity for residential housing, Journal of Constructional Steel Research, 1998;46(1-3):183-186.
- [5] CEN. Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1.3: General rules. Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting. Commision of the European Communities, Brussels, 1993.
- [6] Chung K.F, Lau L., Experimental investigation on bolted moment connections among cold formed steel members, Engineering Structures, 1999;21:898-911.
- [7] Chung, K.F., Lawson, R.M., Structural performance of shear resisting connections between cold-formed steel sections using web cleats of cold-formed steel strip, Engineering Structures, 2000;22:1350-1366.
- [8] Chung K.F, Ip KH., Finite element investigation on the structural behaviour of cold-formed steel bolted connections, Engineering Structures, 2001;23:1115-1125.
- [9] Davies J.M., Recent research advances in cold-formed steel structures, Journal of Constructional Steel Research, 2000;55:267-288.
- [10] El-Sheikh A.I, El-Kassas E.M.A., Mackie R.I., Performance of stiffened cold-formed channel members in axial compression, Engineering Structures, 2001;23:1221-1231.

- [11] Feng, M., Wang, Y.C., Davies, J.M., A numerical imperfection sensitivity study of cold-formed thin-walled tubular steel columns at elevated temperatures, *Thin-Walled Structures* 42, UK, 2004, p. 533-555
- [12] Fülöp L.A., Dubina D., Performance of wall-stud cold-formed shear panels under monotonic and cyclic loading Part I: Experimental research, *Journal of Constructional Steel Research*, 2004;42:321-338.
- [13] Gad E.F., Chandler A.M., Duffield C.E., Stark G. Lateral behaviour of plasterboard-clad residential steel frames, *Journal of Structural Engineering*, 1999;125(1):32-39.
- [14] Garstecki, A., Kakol, W., Rzeszut, K., Classification of local-sectional geometric imperfections of steel thin-walled cold-formed sigma members, *Foundations of civil and environmental engineering*, 2002;1:87-96.
- [15] Hancock G.J., Cold-formed steel structures, *Journal of Constructional Steel Research*, 2003;59:473-487.
- [16] Iwamoto I., Kimura Y., Ogawa T., Tests of cold-formed lipped C-section members subject to compression, *Fourteen Engineering Mechanics Conference*, Dept. of civil eng., The University of Texas, Austin, Texas 21-24 May 2000.
- [17] Kaitila O., Imperfection sensitivity analysis of lipped channel columns at high temperatures, *Journal of Constructional Steel Research*, 2002a;58(3):333-51
- [18] Kwon Y.B., Hancock G.J., Tests of cold-formed channels with local and distortional buckling, *Journal of Structural Engineering*, 1992;117(7):1786-1803.
- [19] LaBoube R.A., Yu W.W., Recent research and developments in cold-formed steel framing, *Thin-Walled Structures*, 1998;32:19-39.
- [20] Lee, Y., Miller, T., Axial strength determination for gypsum-sheated, cold formed steel wall stud composite panels, *Journal of Structural Engineering*. 2001;127(6):608-15
- [21] Montgomery D.C., Design and analysis of experiments, Third Edition, John Wiley & Sons, Toronto, 1991.

- [22] NAHB (National Association of Home Builders) Research Center Inc. Monotonic tests of cold-formed steel shear walls with openings, Upper Marlboro, MD, American Iron and Steel Institute, 1997.
- [23] Peköz, T., Building design using cold formed sections, Publication of the Swedish Institute of Steel Construction, No. 154; 1995.
- [24] Rogers C.A., Hancock G.J., Screwed connection tests of thin G550 and G300 sheet steels, *Journal of Structural Engineering*, 1999;125(2):128-136.
- [25] Rogers, C.A., Hancock, G.J., Failure modes of bolted-sheet-steel connections loaded in shear, *Journal of Structural Engineering*. 2000;126(3):288-296.
- [26] Sarawit A.T., Cold-formed steel frame and beam-column design, Progress report no.5, School of civil and environmental engineering, Cornell University, April, 2002.
- [27] Sarawit, A.T , Kim. Y., Bakker, M.C. M., Peköz, T., The finite element method for thin-walled members-applications, *Thin-Walled Structures* 41, USA, 2003, p. 191–206.
- [28] Schafer B.W., Peköz T., Computational modelling of cold-formed steel: characterizing geometric imperfections and residual stresses, *Journal of Constructional Steel Research*, 1998;47:193-210.
- [29] Schafer, W., Peköz, T., Laterally braced cold-formed steel flexural members with edge stiffened flanges, *Journal of Structural Engineering*. 1999;125(2):118-127.
- [30] Telue Y, Mahendran M., Behaviour of cold-formed steel wall frames lined with plasterboard, *Journal of Constructional Steel Research*, 2001;57:435-452.
- [31] Telue Y., Mahendran M., Behaviour and design of cold-formed steel wall frames lined with plasterboard on both sides, *Engineering Structures*, 2004a;26:567-579.
- [32] Telue, Y.K., Mahendran, M., Mechanical properties of gypsum plasterboard and their use in the analysis of cold-formed steel stud walls, *The International Journal of Materials and Structural Reliability*, Rangsit University, Thailand, 2004b, Vol. 2/2, pp.123-133.



- [33] Telue Y, Mahendran M., Numerical modelling and design of unlined cold-formed steel wall frames, *Engineering Structures*, 2004c;60:1241-1256.
- [34] Tian Y.S., Wang J., Lu T.J., Racking strength and stiffness of cold-formed steel wall, *Journal of Constructional Steel Research*, 2004a;60:1069-1093.
- [35] Tian Y.S., Wang J., Lu T.J., Barlow C.Y., An experimental study on the axial behaviour of cold-formed steel wall studs and panels, *Thin-Walled Structures*, 2004b;42:557-573.
- [36] TS 11372. Soğukta şekillendirilmiş hafif çelik yapı elemanlarının tasarım kuralları. Birinci baskı, UDK 624.014.2:539.374. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 1994.
- [37] Uzgider, E., Arda, T. S., Soğukta Şekil Verilmiş İnce Cidarlı Çelik Elemanlar, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, 1989.
- [38] Yui, F., Peköz, T., Design of cold-formed steel plain channels, Cornell University, School of civil and Environmental Engineering, US., 2001.
- [39] Yu, W.W., Cold formed steel design, 1991, A Wiley-Interscience Publication
- [40] Wang C.H., Wen Y.K., Evaluation of pre-Northridge low-rise steel buildings I: Modelling, *Journal of Structural Engineering*, 2000;126(10):1160-1168.
- [41] www.lusas.com. Lusas finite element system, Lusas modeller user manual, Version 13.5. Fea ltd. Surrey, UK
- [42] www.aksanworks.com
- [43] www.estonvilla.com.tr



ÖZGEÇMİŞ

Yazar, 1978 yılında Sakarya’da doğdu. 1996 yılında Konya Atatürk Lisesi’nden mezun olduktan sonra 1997 yılında Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimine başladı. 2001 yılında bu bölümden mezun olarak 2002 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Deprem ve Yapı Bilimleri Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. Halen bu bölümde araştırma görevlisi olarak akademik hayatına devam etmektedir.

