T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOMPOZİT DÖŞEMELERDE KAYMA BAĞLAYICISI OLARAK EKSİSMİK ÇELİĞİNİN KULLANILABİLİRLİĞİ

Mehmet Alpaslan KÖROĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Konya 2007

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOMPOZİT DÖŞEMELERDE KAYMA BAĞLAYICISI OLARAK EKSİSMİK ÇELİĞİNİN KULLANILABİLİRLİĞİ

Mehmet Alpaslan KÖROĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 25/07/2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI
(Başkan)

Yrd. Doç. Dr. Ali KÖKEN **Yrd. Doç. Dr. Adnan KARADUMAN**

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KOMPOZİT DÖŞEMELERDE KAYMA BAĞLAYICISI OLARAK EKSİSMİK ÇELİĞİNİN KULLANILABİLİRLİĞİ

Mehmet Alpaslan KÖROĞLU
Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ali KÖKEN
2007, 128 sayfa
Jüri:
Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI
Yrd. Doç. Dr. Ali KÖKEN
Yrd. Doç. Dr. Adnan KARADUMAN

Ülkemiz, büyük şehirlerinin neredeyse tamamı deprem kuşağı içinde yer alan bir coğrafyada yer almaktadır. Bu yüzden, depreme karşı yüksek taşıma kapasitesi, rijitliği ve sünekliğiyle diğer yapı elemanlarına göre daha güvenli olan kompozit yapı elemanlarının kullanımı sürekli artmaktadır. Ülkemizde kompozit elemanlar genellikle çelik veya betonarme yapıların kiriş ya da döşemelerinde kullanılmaktadır. Kompozit döşeme ve kirişlerde çelik ve betonun birlikte hareketini sağlayan en önemli eleman kayma bağlayıcılarıdır.

Kayma bağlayıcıları beton ile çelik arasında oluşabilecek kaymayı önlemek ve beton plağın şekil değiştirmeden dolayı çelik elemanlardan ayrılmasını önlemek için kullanılır. Kompozit kiriş ve döşemelerde şimdiye kadar farklı ebat ve şekillerde birçok malzeme kayma bağlayıcısı olarak denenmiştir. Günümüzde en çok kullanılan kayma bağlayıcısı türü hızlı imalatından dolayı başlıklı saplamalardır.

Bu çalışmada, ülkemizde üretilmeyen başlıklı saplamalara alternatif olarak aynı boyda kesilmiş eksismik donatı çeliğinin kullanılabilirliği deneysel ve analitik olarak incelenmiştir. Bu amaçla, kompozit döşemelerde eksismik çeliğinin ve başlıklı saplamaların kullanıldığı sekiz adet itme-çıkarma (push-out) deneyi yapılmıştır. Deneysel bölümde farklı beton döşeme yüksekliğinde, farklı sayı ve dizilişteki kayma bağlayıcılı toplam 16 adet numune üzerinde 8 adet itme-çıkarma (push-out) deneyi yapılmıştır. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile eksismik çelikli numunelerle başlıklı saplamalı numuneler karşılaştırılmıştır.

Yapılan analitik çalışmada da, deney numuneleri farklı standartlara göre değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır. Aynı numuneler gerçek boyutlarında ve aynı mekanik özellikleri girilerek SAP 2000 programında katı model olarak çözülmüştür.

Son bölümde ise, elde edilen deneysel ve analitik sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirilmiş ve öneride bulunulmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Kompozit döşeme, Kompozit kiriş, itme-çıkarma (push-out) deneyi, kayma bağlayıcısı, eksismik donatı çeliği, başlıklı saplama, katı modelleme

ABSTRACT

Ph Master Thesis

USAGE of PROSEISMIC STELL as
SHEAR CONNECTOR in
COMPOSITE SLABS

Mehmet Alpaslan KÖROĞLU
Selcuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Ali KÖKEN

2007, pages
Jury:
Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI
Yrd. Doç. Dr. Ali KÖKEN
Yrd. Doç. Dr. Adnan KARADUMAN

Nearly all metropolies of our country are in the region of earthquake zone. Therefore, usage of composite structures which are more safer than the other structural systems to earhquakes because of high bearing capacity, rigidity and ductility, increases permanently. In our country composite members generally used as composite beam or composite slab in the steel or reinforced concrete structures. The most essential element in composite beams and composite slabs is shear connectors.

Shear connectors are used to avoid potential slippings between steel and concrete and slippings due to deformations on concrete plate. Many materials having different shapes and dimensions are tested as shear connectors. Headed stud shear connectors are commonly used to ensure composite action due to its fast manufacture.

In this study, availability of proseismic steel manufactured in the same lenght as headed studs is investigated. For this purpose, 8 push-out tests accomplished to the composite slabs in which proseismic steels and headed studs are used. In the experimental section, 8 push-out tests performed on 16 specimens with different slab height, different number and arrangement of shear connectors. By the analysis of data obtained from the tests, proseismic and head studded specimens are compared.

In the analytical study, test specimens are investigated by different standarts. Same specimens are analysed in SAP 2000 program as solid models with their real dimensions and same mechanical properties.

In conclusion section, obtained experimental, analytical results are compared and analysed and suggestions are presented.

KEY WORDS: Composite slab, composite beam, push-out test, shear connector, proseismic steel, headed stud, solid modelling

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada her türlü desteğini benden esirgemeyen danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Ali KÖKEN'e teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Bu çalışmanın deneylerinin yapıldığı Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuarını kullanmamızı sağlayan Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI'ya ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Alfa Çelik'den Sayın Fikret TULUM'a, Çelkon Çelik Konstrüksiyon şirketine, Ekinciler Demir Çelik'e, Arş. Gör. Fatih YONAR'a, Arş. Gör. Dr. M. Tolga ÇÖĞÜRCÜ'ye, Arş. Gör. Dr. M. Hakan ARSLAN'a, Mimar Mustafa NOHUTÇU'ya, ES Yapı'dan Mimar Ercan ALTUN ve İnşaat Mühendisi Süleyman ÇABUK'a ve Yüksel ÇİFTÇİ'ye, sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Desteğini her zaman hissettiğim eşime de hayatımın her safhasında olduğu gibi çalışmalarım sırasında da gösterdiği sabırdan dolayı minnettarım.

ÇALIŞMAYI DESTEKLEYEN KURULUŞLAR

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasına, S.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü 2007/06201071 nolu araştırma projesi kapsamında 4000 YTL maddi destek sağlamıştır. Sağlamış olduğu destekten ötürü S.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET……	I
ABSTRACT……	III
TEŞEKKÜR……	V
ÇALIŞMAYI DESTEKLEYEN KURULUŞLAR……	VI
İÇİNDEKİLER……	VII
KULLANILAN SEMBOLLER……	XII
ÇİZELGELER LİSTESİ……	XIII
ŞEKİLLER LİSTESİ……	XIV
1. GİRİŞ……	1
1.1. Kompozit Yapılar……	1
1.2. Kompozit Çalışma……	2
1.2.1. Kompozit çalışmanın avantajları……	2
1.3. Kayma Hareketi……	3
1.3.1. Birlikte hareketin olmadığı durum……	4
1.3.2. Kısmen birlikte hareket durumu……	4
1.3.3. Tamamen birlikte hareket durumu……	4
1.4. Mekanik Kayma Bağlayıcıları……	5
1.5. Kesme Kuvvetini Aktarma Hareketi……	8
1.6. Çalışmanın Amacı……	10
1.7. Çalışmanın Önemi……	11
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI……	12
3. MATERYAL ve METOD……	21
3.1. Deney Numuneleri……	21
3.1.1. Deney numunelerinin boyutları……	21
3.2. Deney Numunelerinin Detayları……	23
3.3. Deney Numunelerinin Malzeme Özellikleri……	26
3.3.1. Beton……	26
3.3.2. Eksismik çeliği……	27
3.3.3. Başlıklı saplama……	31

3.3.4. Katlanmış çelik saç……. 32
3.3.5. IPE 240 profili……..……..…… 33
4. DENEY DÜZENEĞİ VE ÖLÇÜM TEKNİĞİ…… 35
4.1. Giriş……..…….. 35
4.2. Deney Düzeneği……..….. 35
4.2.1. Ölçme tekniği…… 36
4.2.2. Yük ölçümleri ……..… 37
4.2.3. Yer değiştirmelerin ölçülmesi…….. 37
4.2.4. Yük ve yer değiştirme değerlerinin bilgisayar ortamına aktarılması……. 38
4.3. İtme Çıkarma (Push-out) Deneyi…… 39
4.3.1. İtme çıkarma (Push-out) Deneyinde oluşan kırılma türleri…….. 40
4.4. Numunelerin Deneye Hazırlanışı……..…… 41
5. DENEY SONUÇLARI…… 44
5.1. Birinci Grup Deney (1 Adet kayma bağlayıcılı numuneler)…… 44
5.1.1. 10 cm. döşeme yükseklikli numuneler…… 44
5.1.1.1. (1E10 numunesi…..…… 44
5.1.1.1.1. 1E10 deney numunelerinin kırılma biçimi…… 45
5.1.1.2. (1K10) numunesi…… 47
5.1.1.2.1. Deney numunelerinin kırılma biçimi…… 48
5.1.2. 12 cm. döşeme yükseklikli numuneler…… 49
5.1.2.1. (1E12) numunesi…..……. 49
5.1.2.1.1. Deney numunelerinin kırılma biçimi…… 50
5.1.2.2. (1K12) numunesi.……. 51
5.1.2.2.1. Deney numunelerinin kırılma biçimi…… 52
5.2. İkinci Grup Deney (2 Adet kayma bağlayıcılı numuneler)…….. 53
5.2.1. 10cm. döşeme yükseklikli numuneler…… 53
5.2.1.1. (2E10) numunesi……... 53
5.2.1.1. Deney numunelerinin kırılma biçimi…… 54
5.2.1.2. (2K10) numunesi..……. 55
5.2.1.2.1. Deney numunelerinin kırılma biçimi…… 56
5.2.2. 12cm. döşeme yükseklikli numuneler…… 57

5.2.2.1. (2E12) numunesi…… 57
5.2.2.1.1. Deney numunelerinin kırılma biçimi……..…… 59
5.2.2.2. (2K12) numunesi……. 60
5.2.2.2.1. Deney numunelerinin kırılma biçimi…..…….. 61
6. DENEYLERİN KARŞILAŞTIRILMASI……. 63
6.1. Birinci Grubun 10 cm. Beton Yükseklikli Numunelerinin Karşılaştırılması (1E10-1K10)……..…… 63
6.2. Birinci Grubun 12 cm. Beton Yükseklikli Numunelerinin Karşılaştırılması (1E12-1K12)…….. 65
6.3. İkinci Grubun 10 cm. Beton Yükseklikli Numunelerinin Karşılaştırılması (2E10-2K10)…… 68
6.4. İkinci Grubun 12 cm. Beton Yükseklikli Numunelerinin Karşılaştırılması (2E12-2K12)……. 70
6.5. Deneylerden Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması……. 73

7. ANALİTİK ÇALIŞMALAR ve DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI…… 76
7.1. Bazı Standartlara Göre Çözüm Yöntemleri……. 77
7.1.1. LRFD'ye göre çözüm…… 77
7.1.1.1. Normal ağırlıklı betonlar için düz döşemelerde saplamanın mukavemeti…… 77
7.1.1.2. Normal ağırlıklı betonlar için katlanmış çelik saçlı döşemelerde saplamanın mukavemeti…… 78
7.1.2. Kanada standardı CSA'ya göre çözüm…….. 79
7.1.3. Eurocode-4'e göre çözüm…… 81
7.1.3.1. Başlıklı saplamalar için…… 81
7.1.3.1.1. Düz döşemelerde……..…… 81
7.1.3.1.2. Katlanmış çelik saçlı döşemelerde saçlar kirişe paralel yerleştirilmiş ise…… 82
7.1.3.1.3. Katlanmış çelik saçlı döşmelerde saçlar kirişe dikey yerleştirilmiş ise……... 82 83
7.1.3.2. Rijit kayma bağlayıcılarında…… 83

7.1.3.3. Kanca kayma bağlayıcılarında…… 83
7.1.3.4. Boyuna kesme direnci…… 84
7.1.3.5. Başlıklı saplamalarda kayma sertliği ve yük-kayma eğrileri…… 84
7.2. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Çözüm…… 86
7.2.1 Katı modelleme (solid modelling)…… 87
7.2.2. Mesh oluşturma işlemi…… 88
7.3. SAP 2000 Yapı Analizi Statik Programı ile Sonlu Elemanlar Yöntemi…… 89
7.3.1. Serbestlik Derecesi…… 89
7.3.2. Düğüm, Eleman, Eleman Eksenleri, Global Eksenler…… 90
7.3.3. Çubuk Elemanlar (Frame) için İç Kuvvetler ve Pozitif Yönleri…… 91
7.3.4. Kabuk elemanlar (Area) için iç kuvvetler…… 92
7.3.5. Deney numunelerinin solid olarak modellenmesi…… 94
7.3.5.1. Solid özelliklerinin girilmesi…… 94
7.3.5.2. Başlıklı saplamaların ve eksismik çeliklerinin özelliklerinin girilmesi…… 94
7.3.5.3. Area oluşturulması…… 95
7.3.5.4. Solid oluşturulması…… 95
7.3.5.5. Solid elemanların bölünmesi…… 97
7.3.5.6. Mesnet şartlarının belirlenmesi…… 97
7.3.5.7. Kayma bağlayıcılarının girilmesi…… 98
7.3.6. Deney numunelerinin SAP 2000 programı ile analizi…… 99
7.3.6.1. 1E10 numunesi…… 100
7.3.6.2. 1K10 numunesi…… 101
7.3.6.3. 1E12 numunesi…… 103
7.3.6.4. 1K12 numunesi…… 104
7.3.6.5. 2E10 numunesi…… 106
7.3.6.6. 2K10 numunesi…… 107
7.3.6.7. 2E12 numunesi…… 109
7.3.6.8. 2K12 numunesi…… 110

7.3.4. Deneysel ve sonlu elemanlar çözüm sonuçlarının karşılaştırılması…… 112
8. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME…… 114
8.1. Giriş…….. 114
8.2. Deneysel Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar……. 116
8.2.1. Kayma bağlayıcısı çeşitleri yönünden değerlendirme…… 116
8.2.2. Kayma bağlayıcısı sayısı yönünden değerlendirme …… 117
8.2.3. Beton yüksekliği yönünden değerlendirme …… 118
8.3. Analitik Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar…….……. 119
8.3.1. SAP 2000 programı ile elde edilen sonuçlar……. 119
8.3.2. Bazı Standartlardan edilen sonuçlar…….……. 120
8.4. Yorum ve Öneriler……..…….. 121
9. KAYNAKLAR…… 123
10. EK…… 127
10.1. Maliyet Hesabı…… 127

KULLANILAN SEMBOLLER

A_{sc} = Başlıklı saplamanın alt alanı

d_{sh} = Kayma bağlayıcısının çapı (mm)

E_c = Betonun elastik modülü

f'_c = Beton basınç mukavemeti

f_c = Betonun silindir mukavemeti

f_s = Çeliğin kopma mukavemeti

f_u = Başlıklı saplamanın minimum çekme mukavemeti

f_y = Çeliğin akma mukavemeti

F = Enkesit Alanı

F_e = Eksantrisiteden dolayı moment oluşturan kuvvet

F_{yb} = Katlanmış çelik sacın akma mukavemeti

G = Birim Boy Ağırlığı

h_R = Sacın oluk yüksekliği

H_s = Saplama yüksekliği

İ = Atalet Yarıçapı

J = Atalet Momenti

N_R = Bir sıradaki saplama sayısı

P_b = Bağlayıcının ortasına etkiyen kuvvet

P_z = Çekme kuvvetinin yatay bileşenleri

Q_{AISC} = AISC'ye göre katlanmış saçlı döşemelerde başlıklı saplamanın mukavemeti

Q_{CP} = Başlıklı saplamanın beton çıkma mukavemeti

Q_n = Başlıklı saplamanın nominal mukavemeti

W = Mukavemet Momenti

w = Betonun birim ağırlığı

w_R = Sacın ortalama oluk genişliği

α = Kiriş ile kanca arasındaki açı

β = Kancanın yerle yaptığı dikey açı

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 3.1 Deney numunelerinin şekilleri……..…… 25
Çizelge 3.2 Deneylerde kullanılan beton karışım oranı (1 m^3 beton için)……..…. 26
Çizelge 3.3 Eksismik çeliği ve donatı çeliklerinin mekanik ve kimyasal özellikleri.. 29
Çizelge 3.4 Çekme deneyi sonuçları……..… 30
Çizelge 3.5 Başlıklı saplamaların mekanik ve kimyasal özellikleri…… 31
Çizelge 3.6 IPE 240 profili özellikleri…… 34
Çizelge 4.1 1m^3 betonda kullanılan malzemeler…… 42
Çizelge 6.1 Birinci grubun 10 cm. beton yükseklikli numunelerine ait değerler ….. 63
Çizelge 6.2 Birinci grubun 12 cm. beton yükseklikli numunelerine ait değerler…..... 66
Çizelge 6.3 İkinci grubun 10 cm. beton yükseklikli numunelerine ait değerler…..... 68
Çizelge 6.4 İkinci grubun 12 cm. beton yükseklikli numunelerine ait değerler……. 71
Çizelge 6.5 Numuneler için kırılma türü ve kırılma yükleri gösterilmiştir…… 74
Çizelge 7.1 LRFD'ye göre bir bağlayıcının taşıyabileceği en büyük yük…… 79
Çizelge 7.2 CSA'ya göre bir bağlayıcının taşıyabileceği en büyük yük……..... 81
Çizelge 7.3 Eurocode-4'e göre bir bağlayıcının taşıyabileceği en büyük yük…….. 85
Çizelge 7.5 Deneysel ve Analitik sonuçların karşılaştırılması…… 112
Çizelge 8.1 Deneysel ve analitik sonuçların karşılaştırılması…….…… 115
Çizelge 10.1 Maliyet hesabı…… 128

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Yüzey sürtünmesi ile kompozit çalışma…… 2
Şekil 1.2 Kompozit elemanlarda birlikte, kısmen birlikte ve bağımsız hareket durumları…… 4
Şekil 1.3 Kayma Bağlayıcı Örnekleri…… 6
Şekil 1.4 Rijit ve eğilebilir kayma bağlayıcıları mukavemet-yer değiştirme grafiği.. 7
Şekil 1.5 Çakma tabancalı ve kaynaklı birleştirme yöntemleri…… 7
Şekil 1.6 Kayma bağlayıcısının kesme kuvvetini aktarma hareketi…… 9
Şekil 1.7 Saplama kaynak yöntemi…… 10
Şekil 3.1 Eurocode-4'de gösterilen itme-çıkarma deneyi şekli…… 22
Şekil 3.2 Deneyler için hazırlanan numunenin perspektif görüntüsü…… 23
Şekil 3.3 Deneyler için betonun elle yerinde hazırlanış safhaları…… 26
Şekil 3.4 Deney sırasında silindir numune alınması ve kırılması…… 27
Şekil 3.5. Eksismik çeliği ve donatı çeliği geometrisi…… 28
Şekil 3.6 Çekme deneyi sonucu…… 30
Şekil 3.7 Deneylerde kullanılan başlıklı saplama ebatları……..…… 31
Şekil 3.8 Deneylerde kullanılan Eksismik çeliği ve başlıklı saplama ….…… 32
Şekil 3.9 Deneylerde kullanılan katlanmış çelik saçların geometrisi ve ebatları…… 32
Şekil 3.10 Deneylerde kullanılan IPE 240 profili…… 33
Şekil 4.1 Deneylerde kullanılan yükleme çerçevesi…… 36
Şekil 4.2 Deneylerde kullanılan LVDT…… 36
Şekil 4.3 Deneylerde kullanılan veri aktarım sistemi ve bilgisayar programı…… 37
Şekil 4.4 LVDT yerleşim planı…… 38
Şekil 4.5 Farklı şekillerdeki döşemelerin yük-kayma grafiği…… 39
Şekil 4.6 Değişik İtme-çıkarma deney düzenekleri…… 40
Şekil 4.7 Eurocode-4'te verilen muhtemel kırılma türleri…… 41
Şekil 4.8 Numuneler kaynağa hazırlanırken…… 41
Şekil 4.9 Numunelerde kaynak ve kalıp hazırlama işlemleri yapılırken…… 42
Şekil 4.10 Numunelere beton dökülmesi…… 43
Şekil 4.11 Numuneler deneye hazırlanması…… 43

Şekil 5.1 1E10 numunesi başlık yükü- deplasman grafiği……. 45
Şekil 5.2 1E10 numunesinin en büyük yük ve göçme durumlarında oluşan kırılma şekilleri……... 46
Şekil 5.3 Betonda oluşan çekme kayma kırılması…… 46
Şekil 5.4 1K10 numunesi başlık yükü- deplasman grafiği…….. 47
Şekil 5.5 1K10 numunesinin en büyük yük ve göçme durumlarında oluşan kırılma şekilleri…… 48
Şekil 5.6 Saplama etrafındaki betonun ezilmesi ve çekme kayma kırılması…… 49
Şekil 5.7 1E12 numunesi başlık yükü- deplasman grafiği…… 50
Şekil 5.8 1E12 numunesinin en büyük yük ve göçme durumlarında oluşan kırılma şekilleri…… 50
Şekil 5.9 1K12 numunesi başlık yükü- deplasman grafiği……. 51
Şekil 5.10 1K12 numunesinin en büyük yük ve göçme durumlarında oluşan kırılma şekilleri…… 52
Şekil 5.11 1K12 de oluşan çekme kayma kırılması…… 52
Şekil 5.12 2E10 numunesi başlık yükü- deplasman grafiği…… 53
Şekil 5.13 2E10 numunesinin en büyük yük ve göçme durumlarında oluşan kırılma şekilleri…… 54
Şekil 5.14 Kayma bağlayıcısı betonu ezerek sacı yırtıyor…… 55
Şekil 5.15 2K10 numunesi başlık yükü- deplasman grafiği…… 56
Şekil 5.16 2K10 numunesinin en büyük yük ve göçme durumlarında oluşan kırılma şekilleri…… 56
Şekil 5.17 Kayma bağlayıcılarında oluşan çekme kayma kırılması…… 57
Şekil 5.18 2E12 numunesi başlık yükü- deplasman grafiği…… 58
Şekil 5.19 2E12 numunesinin en büyük yük ve göçme durumlarında oluşan kırılma şekilleri…… 59
Şekil 5.20 2E12 deneyinde oluşan kırılma…… 60
Şekil 5.21 2K12 numunesi başlık yükü- deplasman grafiği…… 60
Şekil 5.22 Sol döşeme üst saplamasının deforme olmuş hali…… 61
Şekil 5.23 Sol üst döşemede oluşmuş saplama ayağındaki bölgede oluşan beton kırılması (Eurocode-4'te tarif edilen ikinci grup kırılma)…… 62
Şekil 6.1 1E10 ve 1K10 numunelerinin en büyük yüke kadar yük deplasman grafiği…….. 64

Şekil 6.2 1E10 ve 1K10 numunelerinin en büyük yük ve göçme durumunda oluşan kırılma şekilleri…… 65
Şekil 6.3 1E12 ve 1K12 numunelerinin en büyük yüke kadar yük deplasman grafiği 66
Şekil 6.4 1E12 ve 1K12 numunelerinin en büyük yük ve göçme durumunda oluşan kırılma şekilleri…… 67
Şekil 6.5 Bir adet kayma bağlayıcılı numunelerin kırılma yüküne kadar yük-deplasman grafiği…… 68
Şekil 6.6 2E10 ve 2K10 numunelerinin kırılma yüküne kadar yük deplasman Grafiği…… 69
Şekil 6.7 2E10 ve 2K10 numunelerinin en büyük yük ve göçme durumunda oluşan kırılma şekilleri…… 70
Şekil 6.8 2E12 ve 2K12 numunelerinin kırılma yüküne kadar yük-deplasman Grafiği…… 71
Şekil 6.9 2E12 numunesinin en büyük yük ve göçme durumunda oluşan kırılma şekilleri…… 72
Şekil 6.10 İkinci gruptaki numunelerin kırılma anına kadar başlık yükü deplasman grafiği…… 73
Şekil 6.11 Deney numunelerinin göçme durum kırılma şekilleri…… 75
Şekil 7.1, Kayma bağlayıcısının davranışı…… 76
Şekil 7.2 Yönetmeliklerde bulunan değerlerin karşılaştırılması…… 86
Şekil 7.3 Elemanı mesh etme örneği…… 88
Şekil 7.4 Düğüm noktası serbestlikleri ve mesnet şartları…… 89
Şekil 7.5 Sistem eksenleri ve eleman eksenleri…… 90
Şekil 7.6 Eleman eksenlerine örnekler…… 91
Şekil 7.7 Eksenel kuvvet ve burulma momenti…… 91
Şekil 7.8 (1-3) Düzleminde etkiyen iç kuvvetler…… 92
Şekil 7.9 (1-2) Düzleminde etkiyen iç kuvvetler…… 92
Şekil 7.10 Birim uzunluk için eğilme momentleri…… 93
Şekil 7.11 Membran Kuvvetleri…… 93
Şekil 7.12 Solid eleman yüzeyleri…… 94
Şekil 7.13 SAP 2000 programında area oluşturulması…… 95

Şekil 7.14 SAP 2000 programında solid eleman oluşturulması…… 96
Şekil 7.15 SAP 2000 programında solid eleman oluşturulmuş hali……..... 96
Şekil 7.16 SAP 2000 programında solid elemanların bölünmesi…… 97
Şekil 7.17 SAP 2000 programında mesnet şartlarının tanımlanması…… 98
Şekil 7.18 SAP 2000 programında kayma bağlayıcılarının girilmesi…… 98
Şekil 7.19 1E10 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (3d görünümü)…… 100
Şekil 7.20 1E10 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (x-z görünümü)…… 101
Şekil 7.21 1K10 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (3d görünümü)…… 102
Şekil 7.22 1K10 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (x-z görünümü)…… 102
Şekil 7.23 1E12 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (3d görünümü)…… 103
Şekil 7.24 1E12 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (x-z görünümü)…… 104
Şekil 7.25 1K12 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (3d görünümü)…… 105
Şekil 7.26 1K12 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (x-z görünümü)…… 105
Şekil 7.27 2E10 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (3d görünümü)…… 106
Şekil 7.28 2E10 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (x-z görünümü)…… 107
Şekil 7.29 2K10 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (3d görünümü)…… 108
Şekil 7.30 2K10 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (x-z görünümü)…… 108
Şekil 7.31 2E12 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (3d görünümü)…… 109

Şekil 7.32 2E12 numunesinde “3-3” yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (x-z görünümü)…… 110
Şekil 7.33 2K12 numunesinde “3-3” yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (3d görünümü)…… 111
Şekil 7.34 2K12 numunesinde “3-3” yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (x-z görünümü)…… 111
Şekil 7.35 Deneysel ve Teorik kırılma yükü karşılaştırma…… 113

1. GİRİŞ

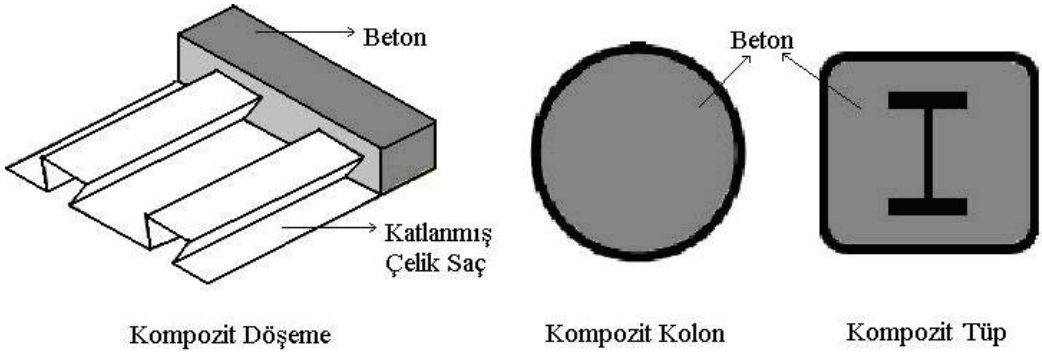
1.1. Kompozit Yapılar

Kompozit yapılar iki veya daha fazla değişik malzemenin birleştirilerek karma hareket etmesidir. Malzemelerin birlikte hareketi sayesinde kullanılan her malzemenin üstün özelliklerinden etkili bir şekilde faydalanılır. Kompozit yapılarda kullanılan en yaygın elemanlar beton ve çeliktir. Ancak, ahşap-karbon fiber, çelik-karbon fiber, beton-karbon fiber de birlikte kullanılmaktadır (Bro M., Westberg M. 2004). Bu çalışmada beton-çelik karma yapılar kompozit yapılar olarak kabul edilmiştir.

Beton ve çelik neredeyse bütün yapılarda yoğun biçimde kullanılan iki malzemedir. Her ikisinin de üstün özelliklerinin yanında zayıf yönleri de mevcuttur. Betonun basınç dayanımı yüksek olmasına rağmen çekme dayanımı düşüktür. Çeliğin de çekme ve basınç dayanımları neredeyse eşittir. Fakat çelik parçalar narin üretildiğinden basınç altında burkulmalara maruz kalmaktadır.

Kompozit çelik-beton yapılarda, çelik ve beton elemanlar aynı malzeme gibi birleştirilerek karma hareket etmeleri sağlanır. Kompozit elemanlar çelik ve betonarmenin üstün özelliklerinin bir eleman üzerinde toplanması şeklinde oluşur (Elremaily 2000). Kompozit yapılarda beton ve çelik gibi iki ayrı yapı malzemesinin üstün özelliklerinden, betonun yüksek basınç dayanımı ile çeliğin yüksek çekme dayanımından yeteri ölçüde yararlanılır ve basınç ve çekmeye dayanımı yüksek bir malzeme elde edilir.

Binalarda ve köprülerde kullanılan çok farklı kompozit yapı elemanları vardır. Binalarda kolonlarda, kirişlerde ve döşemelerde kompozit elemanlardan faydalanılır (Şekil 1.1). Beton ve çeliğin birlikte çalışması ya yüzeydeki sürtünme kuvvetleri ile ya da kayma bağlayıcıları ile sağlanır.



Şekil 1.1 Yüzey sürtünmesi ile kompozit çalışma

1.2. Kompozit Çalışma

Kompozit çalışma iki yükleme yapılan bir döşeme sistemi ve sabitlenmiş çelik kirişler gibi yapısal elemanların bir bütün halinde birleştirilerek tek bir parça gibi hareket etmesidir.

1.2.1. Kompozit çalışmanın avantajları

Kompozit yapıların birçok avantajı vardır. Bunlar:

- İnşaat süresi kısadır. Özellikle çelik saçların toplu olarak istiflenmesi, elle kolayca yerleştirilmesi vinç süresini kısaltır. Bir günde dört kişilik bir ekip 400 m^2 çelik döşeme malzemesi döşeyebilir (Tengirşenk 1999).
- Hafifliği sayesinde deprem yüklerinin de buna bağlı olarak azalmasıyla, taşıyıcı sistem boyutlarında ve temellerde kesit azalmalarını sağlar.
- Çelik yapılarla kıyaslanınca yangına karşı dayanımı fazladır. Kompozit dolma kolonlarda, çelik için ekstra yangın koruma yöntemlerine gerek kalmadan kolonun yangına karşı dayanımını arttırır (Kodur 2005).
- Kompozit yapı elemanlarının şantiyeye taşınması kolaydır. Özellikle katlanmış çelik profiller hafif ve taşıması kolaydır. Genellikle şantiyelere sıkıca paketlenmiş bir şekilde gönderilir. Yaklaşık 1500 m^2 döşeme malzemesi bir kamyonla taşınabilir (Tengirşenk 1999).
- Katlanmış çelik saçların kullanılması beton ekibi ve çalışanlar için güvenli çalışma alanları oluşturur.

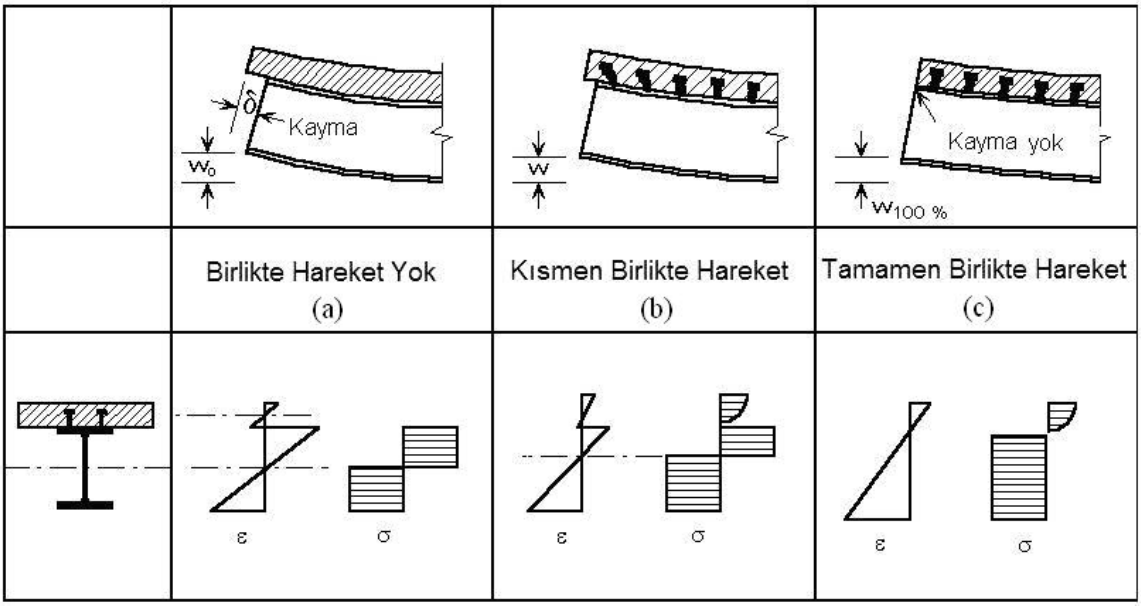
- Kaplanmış alan geçici depo alanları oluşturur fakat aşırı yüklemeye karşı önlem alınmalıdır.
- Kullanılacak destek ihtiyacını azaltır.
- Eğer uygun bir şekilde sabitlenmişse çelik levhalar yapım sırasında kirişler için yanal destek oluştururlar.
- Katlanmış çelik profiller kullanılacak betonu normal inşaatlara nazaran azalttığı için daha hafif bir döşeme elde edilir.
- Galvanizle kaplandıkları için korozyona karşı korumalıdırlar.
- Kompozit kolonların kullanımı binada kullanılabilir alanları arttırır.
- Geleneksel kolonların yerine özellikle dış kolonlarda kompozit dolma kolonlar kullanıldığında kolon yüzeylerinin soyularak dökülmesi engellenmiş olur.
- Kompozit döşemelerde çelik plaklar taze beton için kalıp vazifesi gördüğünde kalıp (çelik veya ahşap) montajı ve sökülmesinden kurtulmuş olunur.

1.3. Kayma Hareketi

Kompozit bir elemanda kayma boyuna kesme kuvvetleriyle engellenmelidir. Bu kuvvetler; sürtünme kuvvetleri, beton ile çelik arasındaki aderanstan kaynaklanan kuvvetler ve saçların geometrik şekillerinin üzerindeki girinti çıkıntılarının ve üzerindeki kayma bağlayıcılarının sağladığı mekanik kayma kuvvetleridir.

Çelik elemanların ve beton kesitin aynı malzeme gibi hareket etmeleri için betonla çeliğin etkileşimini sağlayan iç kuvvetler olmalıdır. Herhangi bir sürtünmenin olmadığı ve kaymayı engelleyici mekanik kayma bağlayıcılarının olmadığı elemanların birlikte hareket etmediği kabul edilir.

Kaymanın tamamen engellendiği durumlar, tamamen birlikte hareket diye adlandırılır. Ancak, uygulamada tamamen birlikte hareketi sağlamak çok zordur. Bu yüzden birçok kompozit elemanda kaymanın hiç olmadığı durumun geçersiz olduğu düşünülerek kısmen birlikte hareket ettiği varsayılır.



Şekil 1.2 Kompozit elemanlarda birlikte, kısmen birlikte ve bağımsız hareket durumları

1.3.1. Birlikte hareketin olmadığı durum

Beton ve çelik arasında herhangi bir kayma elemanının olmadığı durumlarda birlikte hareket yok demektir. Bu durumda elemanlar ayrı iki kiriş gibi davranırlar ve tarafsız eksen her iki elemanın da ağırlık merkezinden geçer. Birlikte hareketin olmadığı bir kirişin uzama ve gerilme durumları Şekil 1.2 a'da görüldüğü gibidir.

1.3.2. Kısmen birlikte hareket durumu

Kısmen birlikte harekette çelik ve beton eleman birbirine tamamen kenetlenmez. Bu davranışın uzama ve gerilme davranışları şekil 1.2 b'de görüldüğü gibidir. Uzama birlikte hareket olmayan kirişlerde olduğu gibi ani bir değişim gösterir ancak bu değişim birlikte hareket olmayan elemanlar kadar çok değildir.

1.3.3. Tamamen birlikte hareket durumu

Tamamen birlikte harekette adından da anlaşılacağı gibi beton ve çelik tek bir malzemeymiş gibi hareket ettiği durumdur.. Bu hiçbir kayma yok demektir. Bu

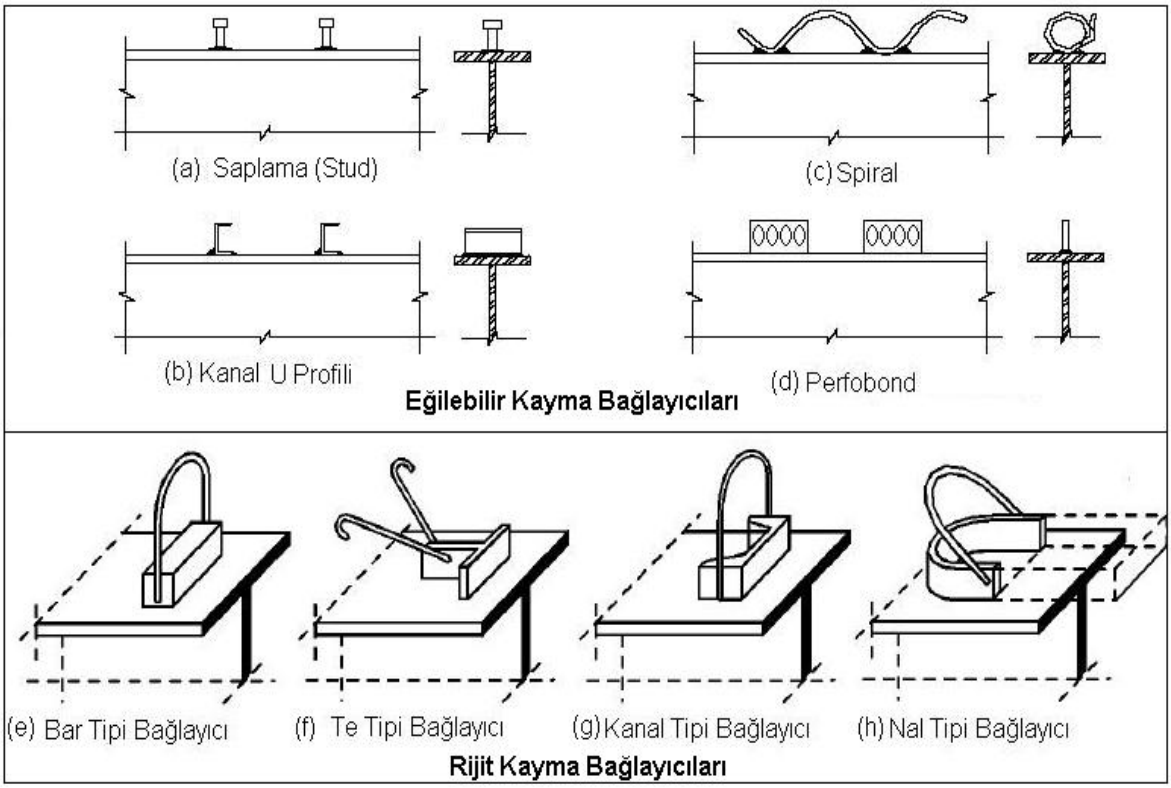
davranış genel olarak kompozit köprü kirişlerinde görülmemekle beraber çok katlı binalarda, endüstri yapılarında ve otoparklarda kiriş, kolon ve döşemelerde görülür. Tamamen birlikte hareketin uzama gerilme davranışı ise şekil 1.2 c'de görüldüğü gibidir.

1.4. Mekanik Kayma Bağlayıcıları

Kompozit elemanlarda beton ve çelik arasında birlikte hareketi sağlamak için; tam birleşmeli bağlayıcılar, mekanik kayma bağlayıcıları ve katlamalı kayma elemanları olmak üzere üç farklı bağ sistemi kullanılmaktadır. Tam birleşmeli bağlayıcılarda adından da anlaşıldığı gibi herhangi bir iç kayma bulunmaz. Tam birleşmenin olması için bağ gerilmeleri sürtünme veya yüzeyde oluşan kimyasal bağlarla taşınmaktadır. Kompozit kolonlar büyük sürtünme alanlarıyla hem servis hem de taşıma yükleri altında tam birleşmeli bağlayıcılara örnektir.

Katlamalı kayma bağlayıcıları da sürtünme ve yüzeyinde oluşan agrega bağı ile kaymayı taşırlar. Mekanik kayma bağlayıcıları ise bunların aksine ne sürtünmeyle, ne agrega bağı ile ne de kimyasal bağlarla kayma kuvvetlerini taşır. Bunlar kayma kuvvetlerini, çelik elemanı beton elemana bağlayan saplama başlıklarında oluşan mekanik deformasyonlarla taşırlar.

Şekilde 1.3'de görüldüğü gibi değişik şekil, ebat ve bağlama şekline sahip çok farklı şekillerde kayma bağlayıcıları vardır. Kayma bağlayıcılarının çeşitliliğinden ve karmaşık mekanizmasından dolayı kayma bağlayıcılarının hesapları genellikle deneysel olarak yapılır. Ancak bütün bağlayıcılar betonun içinde kaldığı için benzer davranışlar sergilerler. Örneğin hepsinin sınırlı bir sünekliği ve betona uyguladıkları yüksek yayılı yükleri mevcuttur (Bro M., Westberg M. 2004).

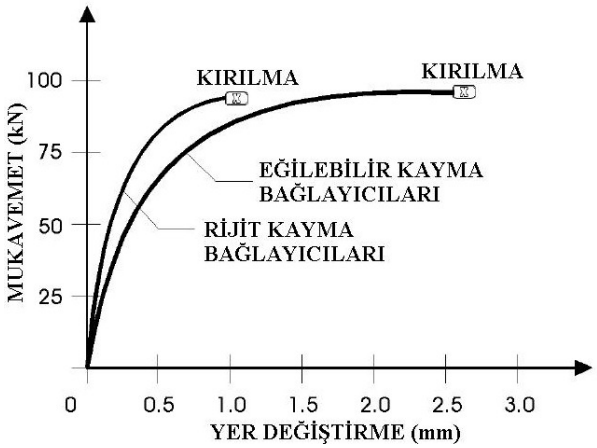


Şekil 1.3 Kayma Bağlayıcı Örnekleri

Kayma bağlayıcıları kesme kuvvetinin dağılımına ve dayanımı ile deformasyonu arasındaki fonksiyonel bağımlılığa dayanarak rijit ve eğilebilir kayma bağlayıcıları diye iki gruba ayrılırlar (Rankovic 2002).

Rijit Kayma Bağlayıcıları, ön tarafında kaymadan dolayı meydana gelen kesme kuvvetine dayanan ve maksimum yük altında çok az deplasman yapan elemanlardır. Kayma elemanının etrafındaki betonun çevresinde beton kırılmasına ya da kaynak kırılmasına sebep olacak güçlü bir yayılı yük meydana getirirler.

Eğilebilir Kayma Bağlayıcıları, kayma kuvvetine çelik kiriş ile kayma bağlayıcısının kaynaklandığı yerde maksimum yükü alıp da plastik deformasyona ulaşınca eğilme, çekme veya kaynakta ve kaynak üzerinde kesme ile dayanırlar. Beton döşeme ile çelik kiriş arasında çok fazla deplasmana sebebiyet verdiklerinde bütün kayma dayanımını son derece sünek olan eğilebilir kayma bağlayıcıları taşırlar. Şekil 1.4'de rijit ve eğilebilir kayma bağlayıcıları mukavemet-yer değiştirme grafiği görülmektedir.



Şekil 1.4 Rijit ve eğilebilir kayma bağlayıcıları dayanımın-yer değiştirme grafiği

Kayma bağlayıcılarının kirişlere bağlanmasında özellikle zor hava koşullarında ve kaynak için elektrik sıkıntısı çekildiği özel durumlarda çakma tabancası ile çakılan özel geliştirilmiş kayma bağlayıcıları da kullanılır (Şekil 1.5 a). Yine farklı şekillerde ve geometrilerde çakmalı saplamalar mevcuttur. Özellikle kaynak yapılamayan rutubetli, yağmurlu veya karlı havalarda çakmalı saplamalar kaynaklama ile birleştirilen kayma bağlayıcılarından daha avantajlı olmaktadır.



Şekil 1.5 Çakma tabancalı ve kaynaklı birleştirme yöntemleri

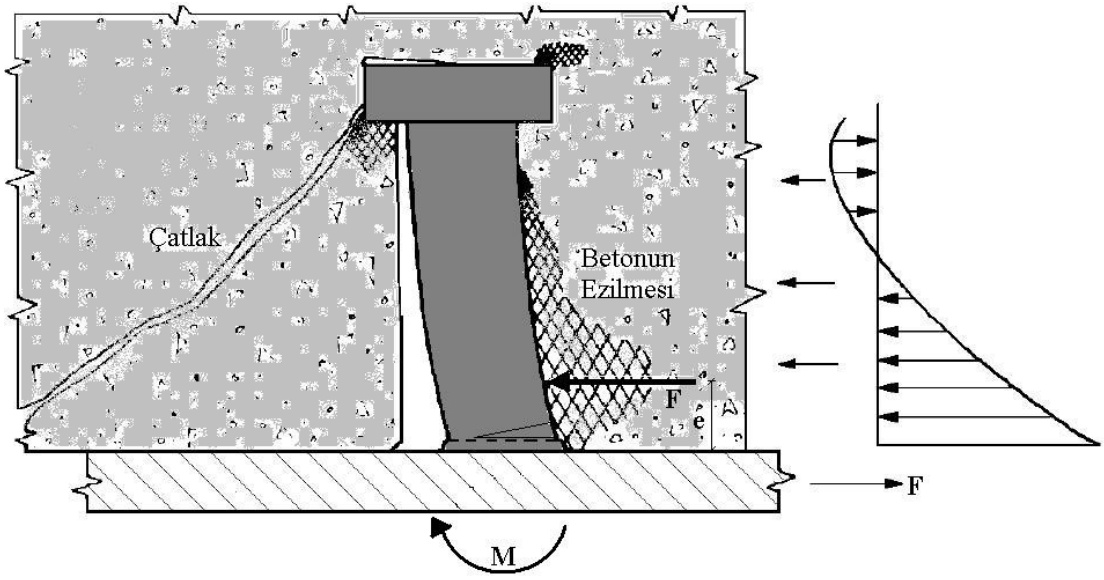
Kayma bağlayıcılarının dayanımını hesaplamak oldukça karmaşık olduğundan her farkı kayma bağlayıcısı için deneyler yapılır ve bu deneyler vasıtası ile çözümler yapılır. Kayma bağlayıcılarının dayanımını etkileyen faktörler;

a. Kayma bağlayıcısının şekli ve ebatları
b. Kayma bağlayıcısının malzeme kalitesi
c. Beton dayanımı
d. Kayma bağlayıcısının maruz kaldığı yükün çeşidi (statik, dinamik)
e. Kayma bağlayıcısının çelik profile bağlanma çeşidi (çakma, kaynaklama)
f. Beton döşemenin boyutları, donatı yüzdesi ve donatı diziliş şekli
g. Kayma bağlayıcıları arasındaki mesafe ve diziliş şeklidir.

1.5. Kesme Kuvvetini Aktarma Hareketi

Eksenel yükler kompozit bir elemana etkidiğinde, beton ve çelik yüzeyindeki kayma gerilmeleri artacaktır. Boyuna kesme kuvvetleri Şekil1.6'da görüldüğü gibi kesme kuvvetini aktarma hareketiyle aktarılır. Gerilmeler şekilde görüldüğü gibi toplam yer değiştirme hareketine paralel olarak artmaktadır. Betonun ezilmesine sebep olan sağa doğru bir hareket yapmaya çalışırken, çelik saplamanın sağ tarafındaki betonda bir ezilme meydana gelir. Kesme kuvvetinin sağlıklı bir şekilde aktarılabilmesi için ezilme bölgesindeki betonun, betonun silindir basınç dayanımının (f_c) yaklaşık yedi katı basınç kuvvetine dayanabilmesi gerekir. Bu da ancak bu bölgede etrafı betonla sarılmış çelik bir elemanla yani bir kayma bağlayıcısı ile olabilir.

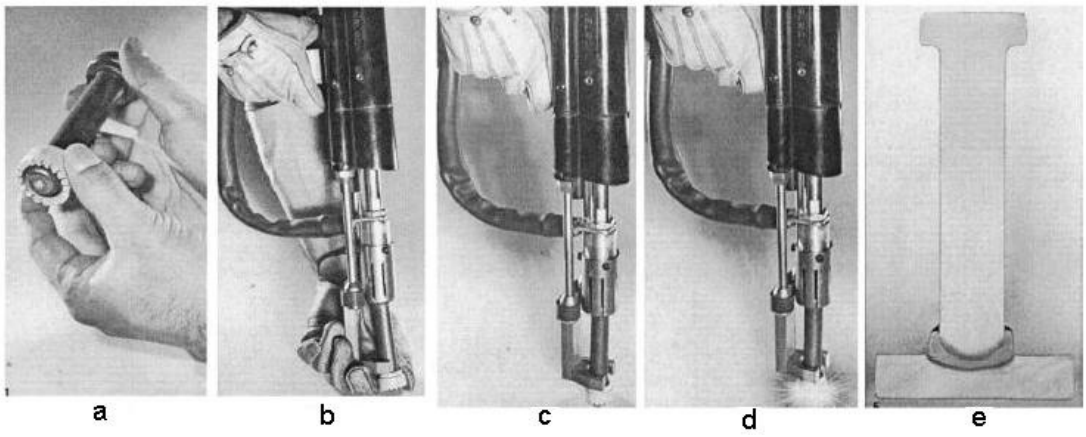
Şekilde ezilme bölgesine gelen toplam F kuvveti betonla çeliğin birleşme yüzeyinden e mesafesi kadar eksantrisite oluşturur. Bu kuvvet çelik elemandaki kesme kuvvetiyle yatay dengededir ve toplam dengeyi sağlamak için F_e momenti saplamaların tabanına etkir. Dolayısıyla kayma bağlayıcıları kesme kuvvetlerine ve eğilme kuvvetlerine karşı koymalıdır. Bu kuvvetlerde kayma bağlayıcısının şekilde de gösterilen kırılma bölgesinde büyük kuvvetler oluşturur. Böylece ya beton kırılma bölgesinde kopacak ya da çelik kırılma bölgesinden kopacaktır.



Şekil 1.6 Kayma bağlayıcısının kesme kuvvetini aktarma hareketi

Bu kırılma mekanizması kesme kuvvetini aktarma hareketini tanımlamamıza yardımcı olur. Bazen büyük hacimli beton kırıldığında kayma bağlayıcısı kırılmayacaktır, ancak *e* mesafesi artacağı için eğilme oluşacaktır.

Kayma bağlayıcısı olarak birçok malzeme kullanılmasına rağmen, kompozit döşemelerde genel olarak pratikliği nedeniyle saplamalar kullanılmaktadır. Saplamaların kaynaklanması dikkat gerektiren bir iş olduğundan Amerikan Kaynaklama Birliği (AWS) 1998 yılında saplamaların kaynaklanması ile ilgili bir yönetmelik çıkarmıştır. Saplamaların kaynaklanması bu yönetmelikte öngörüldüğü gibi Şekil 1.7'de anlatılmaktadır. Öncelikle saplamaların ucuna seramik başlık takılır (Şekil 1.7 a). Kaynak tabancasına saplama düzgünce yerleştirildikten sonra (Şekil 1.7 b), tabanca seramik başlığın üzerinde tabana dikey bir şekilde sıkıca yerleştirilir (Şekil 1.7 c). Sıkıca bastırılan tabanca tetiğe bastıktan sonra yavaşça kaldırılır (Şekil 1.7 d), bu işlem yaklaşık bir saniye kadar sürmelidir. Hemen ardından erimiş saplamanın üzerine son bir kez bastırılır ve tabanca yukarı kaldırılarak çıkartılır. Böylece kaynaklama işlemi tamamlanmıştır (Şekil 1.7 e). Kaynağın üzerinde kalan seramik yüzüğün parçaları betonun içinde kalmaması için temizlenmelidir (Subcommittee 2002).



Şekil 1.7 Saplama kaynak yöntemi

1.6. Çalışmanın Amacı

Gelişen teknolojiyle birlikte artan ihtiyaçlarımızı karşılamak için tasarlanan yapılarda yüksek taşıma gücünün yanında, ekonomi ve işlevsellik de önemlidir. Bu yüzden daha estetik ve işlevsel tasarımlara, daha güvenli ve ekonomik çözümler üretebilmek için alışılagelmiş geleneksel yapı sistemlerinin yanında farklı alternatifleri de kullanmak gerekmektedir. Kompozit yapı elemanları da yüksek taşıma kapasitesi, rijitliği ve sünekliğiyle özellikle çok katlı yapılarda kullanılabilecek bir alternatiftir.

Kompozit yapı elemanlarını daha yüksek taşıma kapasitesi sahip, daha rijit, daha sünek ve daha ekonomik hale getirebilmek için farklı çalışmalar yapılmaktadır. Mühendisler özellikle beton ve çeliğin kompozit hareketini arttırıcı ve ekonomik çözümler üreten çözümler geliştiren çalışmalar üzerinde durmaktadır.

Bu çalışmada; kompozit döşemelerde ve kompozit kirişlerde betonla çeliğin birlikte çalışmasını sağlayan kayma bağlayıcısı olarak daha dirençli ve daha ekonomik olacağı düşünülen nervürlü eksismik beton çeliğinin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla yapılacak olan çalışmada ele alınacak parametreler;

- Farklı kayma bağlayıcıları (başlıklı saplama ve eksismik çeliği)
- Kayma bağlayıcılarının sayısı
- Beton döşemelerin yüksekliğidir.

Kayma bağlayıcısı olarak kullanılması düşünülen Eksisimik Deprem Çeliği; depreme dayanıklı, süneklik değeri yüksek, yorulma dayanımı fazla, geometrisinden

dolayı betonla aderansı yüksek ve kaynaklanabilirlik değeri yüksek, kolayca şantiyede elde edilebilen ve istenilen boyutlarda pratik bir şekilde hazırlanabilen bir malzemedir. Bütün bu özelliklerinden dolayı kompozit kirişlerde ve döşemelerde kaymaya karşı dirençli olabilecek bu malzeme üzerinde gerekli çalışmalar yapılacaktır.

1.7. Çalışmanın Önemi

Kayma bağlayıcıları kompozit kirişlerde ve kompozit döşemelerde karma çalışmayı sağlayan en önemli elemandır. Kayma bağlayıcısı olarak birçok malzeme kullanılmaktadır, ancak pratikliği ve hızlı kaynaklanabilirliğinden dolayı saplamalar tercih edilmektedir.

Ülkemizde üretimi çok kolay olmasına rağmen şu anda üretilmeyen bu saplamalar yurt dışından ithal edilmektedir ve önemli maliyet külfetleri oluşturmaktadır.

Kompozit yapı elemanlarının kullanımının sürekli arttığını göz önüne alırsak, daha ekonomik kompozit çözümler üretebilmek için betonla çeliğin ortak çalışmasını arttıracak daha ekonomik çözümlerin üretilmesi için çalışmalar yapılması gereklidir. Bu çalışmalar sonucunda daha iyi kompozit çalışmayı sağlayan daha ekonomik ve daha pratik kayma bağlayıcılarının geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Kayma bağlayıcılarının hesaplarının yapılması oldukça zor olduğu için yeni kullanılan bir kayma bağlayıcısının hesabı deneyleri yapıldıktan sonra elde edilen parametreler doğrultusunda yapılmaktadır.

Bu çalışmada; ülkemizde üretilmekte olan eksismik Donatı Çeliğinin kayma bağlayıcısı olarak kullanılabilirliği araştırılmış ve şu an en çok kullanılan kayma bağlayıcısı olan saplamalarla karşılaştırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Karaman V., (1996) Bu çalışmada, bina tasarımı için gerekli çelik-beton kompozit bir kirişin hesaplanmasına yarayan ve döşeme yüksekliğini, kiriş aralıklarını, açıklık sayısını, hareketli yükü, çelik, beton ve donatı dayanımlarını girerek, çelik kesitin özelliklerini, ağırlık merkezlerini, etkin başlık genişliğini, bulon ve donatı cins ve aralıklarını hesaplayan bir bilgisayar programı yapılmıştır. Bunun için Visual Basic programlama dili kullanılmıştır. Programlama dilinde referans olarak Amerikan standartları kullanılmıştır. Buna ilaveten kompozit tasarımın avantajları belirtilerek enkesit tiplerine karşı değişik problemler ve bunların tasarım esasları gösterilmiştir.

Sarıtaş F., (1996) Kompozit yapıların dünyada yaygın olarak kullanıldığının ancak ülkemizde kullanımının seyrek olduğunu belirterek bunun sebebinin de; ülkemizde kompozit yapılar için bir şartnamenin oluşturulmadığını ifade etmiştir. Bir başka neden olarak da tasarım metotlarının karışık ve kompozit malzemeler hakkındaki referansların sınırlı olmasını göstermiştir.
Bu çalışmada kompozit yapılar için tasarım metodu çıkarılmaya çalışılmış ve bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bilgisayar programı analiz yapılan kirişe uygulanmış ve sonuçlar referanslarla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak; elde edilen sonuçlarla çözümü yapılan referansların aynı olduğu görülmüştür.

Vinnakota S., Foley C., Vinnakota M., (1998), 1986 yılında Amerikan Çelik Yapı Enstitüsü tarafından Çelik Yapılar için Yük ve Dayanım Dizayn Faktörleri (LRFD) yöntemi yayınlanınca, katlanmış çelik saçlı döşemeden oluşan kirişlerle ilgili yapım kurallarını Vinnakota ve arkadaşları çalışmalarında derlemişlerdir. Ayrıntılı bir şekilde katlanmış çelik saçların şekillerini ve özelliklerini, saplamaların ve kullanılan diğer bütün malzemelerin özelliklerini ve formülasyonlarını çalışmada belirtmişlerdir. Tamamen birlikte hareket veya kısmen birlikte hareket durumları için ayrı ayrı çözüm yöntemleri açıklanmıştır. Tasarım basamaklarını basitleştirmek için her durumun bulunduğu tablolar oluşturmuşlardır. Çözüm yöntemlerini daha iyi açıklayabilmek için de iki adet örnek soru çözülmüştür.

Alander C. C., (1998), Kompozit yapıların kullanılmaya başlamasından beri bir çok kayma bağlayıcısı türü kullanılmıştır. Kaynaklama ile yapılan kayma bağlayıcıları özellikle ince saçlarda istenilen dayanımı vermemektedir. Kaynaklama için uygun hava koşulları ve elektrik kaynağının sürekli bulunması da kaynaklanarak üretilen kayma bağlayıcıları için problem teşkil etmektedir. Bu problemler mühendisleri kaynak kullanılmayan kayma bağlayıcılarını araştırmaya yönlendirmiştir. Kaynak kullanılmayan kayma bağlayıcıları kayma bağlayıcıların basınçla çakılması veya vidalanması ile üretilmektedir. Bu çalışmada kayma bağlayıcısı olarak Standoff vidaları denenmiştir. Deney aletleri Virgiana Tech yapı ve malzeme araştırma laboratuarında hazırlanmış ve yine deneyler aynı yerde yapılmıştır. Standoff vidaları vidalama tabancaları ile katlanmış çelik saçların üstlerine vidalanırlar. Bu vidaların kayma bağlayıcısı olarak kullanılabilirliğini araştırmak için 11 gruptan oluşan 106 adet küçük ölçekli İtme-çıkarma (Push out) deneyi yapılmıştır. Sonuç olarak Standoff vidaları alternatif bir kayma bağlayıcısı olduğu tespit edilmiştir.

Makelainen P., Sun Y., (1999), Yanal kayma kırılmaları kompozit döşemelerde görülen en yaygın kırılma türüdür. Bu çalışmada 153 mm derinliğindeki katlanmış çelik sacın betonla kayma aderansı deneysel olarak incelenmiştir. Farklı şekillerde, boyutlarda, girinti çıkıntı boyutları ve yerleri farklı ve farklı et kalınlıklarında 27 adet kompozit döşeme üzerinde 2 grup itme-çıkarma deneyi yapılmıştır. Bu deneylerde katlanmış çelik saçların üzerindeki girinti çıkıntı derinliklerinden kompozit döşemelerin kayma davranışları etkilendiği görülmüştür. Aynı özelliklerdeki numunelerde girinti çıkıntı derinliği fazla olanların kaymaya karşı daha dirençli olduğu ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre tavsiye edilen girinti çıkıntı derinliği 2,5 mm dir.

Tengirşenk Ö., (1999), Genişletilmiş metalin döşemlerde kalıp donatı olarak kullanılabilirliği için deneysel ve analitik olarak çalışılan bu araştırmada bu amaçla beş adet numune denenmiştir. Deney sonucunda genişletilmiş metalin kalıp donatı olarak uygun olduğu belirlenmiştir. Malzemenin aderans ve çatlama yönünden benzerlerinden daha üstün özellikleri olduğu gözlenmiştir.

Çalışmada ayrıca üç boyutlu sonlu eleman modelleri oluşturularak doğrusal olmayan analiz de yapılmıştır. Analitik sonuçların deneysel verilerle uygunluk içerisinde olduğu gözlenmiştir.

Hanoar A. (2000), Soğukta işlenmiş çelik saç kesitlerinin döşeme sistemlerinde kullanılması dizayn aşamasında yüksek esneklik ve kolaylığın yanında bir çok avantaj sağlamaktadır. Bu avantajlar toplam döşeme yüksekliğinde azalmalara, düzensiz geometrilere kolay adaptasyona ve kesit tasarımlarının kolay yapılmasına neden olurlar. Esas problem soğukta işlenmiş çelik saçların betonla kompozit çalışma sürecinde kayma dayanımlarını arttırmak için kullanılan kayma bağlayıcılarının kullanılan çelik saçların çok ince olmasından dolayı uygun kayma bağlayıcısının kaynaklanamamasından ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden bu çalışmada vidalanabilir kayma bağlayıcıları, kaynaklanabilir kayma bağlayıcıları ve betonarme plakların ankrajlanması gibi farklı teknolojiler kullanılarak sonuçları karşılaştırılmıştır. Numuneler üzerinde tam ölçek döşeme deneyleri ile itme-çıkarma deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada soğukta işlenmiş çelik saç kesitlerinin döşeme sistemlerinde kiriş olarak kullanıldığı durumlarda en uygun saplama bağlayıcısının prefabrik betonlara vidalanmış bulonlar olduğu tespit edilmiştir.

Kim B., Wright H. ve Cairns R., (2001), çalışmalarında katlanmış çelik saçlar üzerinde hazırlanmış kompozit kirişlerdeki kayma bağlayıcısı davranışlarını incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarında 3 adet numune hazırlamışlar ve deney sonuçlarını irdelemişlerdir. İtme-çıkarma (Push-out) deneylerini hem iki boyutlu hem de üç boyutlu modellemişlerdir. Deneylerin amacı kompozit kirişlerde kayma bağlayıcıları için yük-deplasman ilişkilerinin, en yüksek kesme yükü kapasitesinin ve kırılma türlerinin tespitidir. Kayma bağlayıcısı olarak 13 mm çapında 65 mm uzunluğunda başlıklı saplamalar kullanmışlardır. Döşemelerde beton boyutları 450 mm genişliğinde, 425 mm eninde ve 75mm yüksekliğinde yapılmıştır. Betonda üst donatı olarak 6 mm çapında 4 adet donatı kullanılmıştır. Düzenekte oluşan deplasmanları tespit etmek için altı adet deplasman ölçer kullanmışlardır. Yapılan deneysel ve analitik çalışma sonucunda ana kırılma türünün kayma bağlayıcısı çevresindeki betonda kırılma olduğunu tespit etmişlerdir. Yaptıkları modellemeler

sonucunda da; katlanmış çelik sacın çekmeyi karşıladığı için dayanımının arttırdığı tespit edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan çözümlerle deney sonuçları uyuştuğu belirlenmiştir.

Roddenberry M. D. R., (2002), Kompozit elemanlarda kayma bağlayıcıları kullanılmaya başladıktan sonra bunların kaymaya karşı dirençleri ve davranışları araştırılmaya başlamıştır. Bunun için farklı itme ve çekme deney aletleri oluşturulmuştur. Günümüzde kayma bağlayıcılarının davranışını incelemede en çok kullanılan yöntem İtme-çıkarma deneyidir. Yapılan bu çalışmada 24 tane betonarme döşeme İtme-çıkarma deneyi, 93 tane kompozit döşeme İtme-çıkarma deneyi ve 3 tane kompozit kiriş deneyleri yapılmıştır. Deneylerde elde edilen sonuçlar Amerikan yönetmeliği, Kanada yönetmeliği ve Eurocode–4' e göre çözümleri yapılarak kıyaslanmıştır. Bütün yöntemlerin karmaşık olduğu ve pratik olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu yüzden kayma bağlayıcıları hesapları için yeni pratik yöntemler gerektiği vurgulanmıştır. Yeni kullanılan kayma bağlayıcı tipleri için mutlaka yeterli sayıda deneylerin yapılması gerektiği ifade edilmiştir.

Yağan F., (2002), Bu çalışmanın amacı çok katlı yüksek yapılarda betonarme, çelik ve kompozit sistemlerin ekonomik açıdan karşılaştırılmasıdır. Karşılaştırma için X yönünde dörder metre, Y yönünde altışar metre aks aralığına sahip toplam 28*18 metre boyutlarında ve 31 m. Toplam yüksekliğe sahip büro olarak tasarlanmış bir yapının çözümü ele alınmıştır. Yapının birinci derece deprem bölgesinde olduğu kabul edilmiş ve ABYYHY 98'de depreme karşı dayanıklı tasarım kuralları gereği gerekli katsayılar proje raporlarında sunulmuştur. Yapının betonarme, çelik sistem ve kompozit sistem çözümleri yapılmıştır. Yapılan betonarme çözümde yatay yüklere karşı rijitliği yüksek olan betonarme perdeler ve çekirdek yapılmış ve sistem deprem yüklerine maruz bırakılarak tasarlanmıştır. Yapının çelik sistem olarak çözümünde, yapının yatay rijitliğini sağlamak amacıyla bina cephesinde ve bina içinde rijitliği yüksek olan çelik çerçeveli diyagonel bağlantı kullanılmıştır. Yapının kompozit sistem olarak çözümünde ise, yatay yüklere karşı rijitliği yüksek olan betonarme perdeler kullanılmış ve düşey yükler ise çelik çerçeveler vasıtası ile taşınmıştır.

Yapının betonarme tasarımında, statik ve dinamik analizinde Türk mühendislerince yaygın bir biçimde kullanılan STA4-CAD yapıların bilgisayar destekli betonarme tasarım programı kullanılmıştır. Çelik ve kompozit sistemlerin çözümünde ise SAP2000 statik ve dinamik analiz programı kullanılmıştır. Son olarak da; betonarme, çelik ve kompozit sistem olarak tasarlanmış olan yapının maliyet analizi yapılmıştır. Maliyet analizleri sonucunda, betonarme sistemin birim metre kare maliyeti 54,78$ iken çelik sistemin 125,55$ ve kompozit sistemin de 70.28$ olduğu tespit edilmiştir.

Easterling S., Gibbings D. ve Murray T. (2003), Amerikan Çelik Yapı Enstitüsü (American Institute of Steel Construction) tarafından desteklenen çalışmalarında W16×31 profilin üzerinde başlıklı saplamalarla kaynatılmış katlanmış çelik saçlardan oluşan 4 adet numune üretmişlerdir. Üretilen numunelerin bir kısmında saplamalar güçlü eksene, bir kısmında saplamalar zayıf eksene, bir kısmında da karışık yerleştirilmiştir. Yaptıkları itme çıkarma ve tam ölçek kompozit kiriş deneyleri sonucunda; kayma bağlayıcılarını güçlü eksene yerleştirince kırılma gevrek olmuş ve saplamaları zayıf eksene yerleştirince daha sünek kırılmaların olduğunu tespit etmişlerdir.

Avcı O., Easterling W. (2003), Katlanmış çelik saçlı döşemelerden altı grup olarak üçer adet üretilmiş 18 numuneye zayıf eksendeki saplamaların davranışlarını incelemek için itme çıkarma testi yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen veriler Rambo Roddenberry'nin tahmini modeli kullanılarak çözülmüştür. Elde edilen analitik sonuçlarla deneysel sonuçların birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

Abdullah R., (2004), Kompozit döşemelerin dayanımları ve davranışları beton ve çelik arasındaki kayma bağlantılarıyla ilgilidir. Betonla çeliğin arasındaki aderans özellikleri birçok etmene bağlıdır ve sadece analitik çözümlerle belirlenemezler. Bunun için bugün kullandığımız çözüm yöntemleri tam ölçek deneylerinden faydalanarak ortaya çıkmaktadır. Nümerik modellemelerde aderans özelikleri push off deneylerinden elde edilir. Bu çalışma deneysel, analitik ve nümerik araştırmalardan oluşmaktadır. Deneysel çalışmanın amacı kompozit döşemeler için yeni küçük ölçek deneyler geliştirmektir. Yeni küçük ölçek deneylerin özelliği

düzeneği oluşturması kolay, basit ve ucuz olmasıdır. Bu çalışmada 30 tane tam ölçek döşeme deneyi, 30 tane küçük ölçek döşeme deneyi yapılmıştır. Elde elden sonuçlar hem analitik hem de nümerik çözümleriyle beraber karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak yeni küçük ölçek deneyi başarılı bir şekilde geliştirilmiştir. Bu deneylerde elde edilen sonuçlarla m-k ve PSC metotlarıyla çözümler yapılabileceği görülmüştür.

Erdelyi S., Dunai L., (2004), Bu çalışmada ince kesitli katlanmış C kesitlerin kalıp gibi kullanılmasıyla ve üzerlerine beton dökülmesiyle hafif ölçekli döşeme sistemleri oluşturulmuştur. Bu döşemelerin kullanılabilirliğini araştırmak için on iki tanesi deneme olmak üzere toplam kırk iki tane itme-çıkarma deneyi yapılmıştır. Bütün deneylerde 200 mm genişliğinde ince C kesitler ve 50 mm yüksekliğinde beton kullanılmıştır. Kayma bağlayıcısı olarak SFS SD6-6.3, HS-6.3 ve özel üretim SFS S*C5-5.5 türlerinde üç adet delmeli vida kullanmıştır. Vidalar bütün numunelerde ayrı yerleşimde ve mesafede kullanılmıştır. Altı numunede donatı kullanılırken, otuz altı tanesinde donatı kullanılmamıştır. Deneyler sonucunda her eleman için farklı kırılma çeşitleri elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda; döşeme davranışlarının C kesitlerin türünden etkilendiği, yeni kırılma çeşitlerinin gözlendiği ve üretilen döşemelerin dayanımı ve sünekliliğinin saplamanın özelliklerine bağlı olduğu tespit edilmiştir.

Shim C., Lee P. Ve Yoon T. (2004), Yaptıkları çalışmada kompozit köprülerde kullanılan büyük başlıklı saplamaların statik davranışlarını incelemişlerdir. Yaptıkları deneylerde kullandıkları saplamaların çapları 25, 27 ve 30 mm dir. Kaynak kalitesinin önemine dikkat çeken Shim ve arkadaşları bu yüzden itme-çıkarma deneylerinden önce kaynak yaptıktan sonra saplamalarına eğilme testleri yapmışlardır. 650 mm yüksekliğinde 600 mm boyunda ve 200 mm beton yüksekliğinde 18 tane numuneye itme-çıkarma deneyi yapmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda özellikle büyük saplamaların kaynak yapımında dikkatli davranılması gerektiği sonucuna varmışlardır. Daha kesin sonuçlara ulaşmak için de daha fazla deneylerin yapılması gerektiğine ve tam ölçek kompozit kiriş deneylerinin yapılması gerektiğini önermişlerdir.

Bro M., Westberg M., (2004), İsveç'de kompozit köprülerde dünya genelinde de olduğu gibi kayma bağlayıcısı olarak yoğun bir şekilde kullanılan başlıklı saplamaların davranışlarını incelemek için yapılan çalışmada, kayma bağlayıcılarının davranışlarını incelemek için normal beton döşemeler kullanılarak itme-çıkarma deneyi yapmışlardır. Çalışmanın esas amacı artan yükler altında 22 mm çapındaki başlıklı saplamaları incelemektir. Bunun için 10 adet itme-çıkarma deneyi yapılmıştır. Bütün numuneler Eurocode-4'te belirtilen ebatlarda hazırlanmış ve başlıklı saplamalar 125 mm boyunda ve 22 mm çapında kullanılmıştır. Deney sonuçları hem Eurocode-4'e göre hem de İsveç standardı BRO 2002'ye göre yorumlanmış ve karşılaştırılmıştır.

Valente I., Cruz P., (2004), Bu çalışmada hafif betonlu kompozit döşemelerde kayma bağlayıcısı olarak perfobond çeliğinin kullanıldığındaki davranışı incelenmiştir. Bunun için dört grupta on iki adet itme-çıkarma deneyi yapılmıştır. Deneyler sonucunda perfobondların kayma bağlayıcısı olarak hafif betonlu kompozit döşemelerde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Ellobody E., Young B., (2005), Kompozit kirişlerde en çok kullanılan kayma bağlayıcısı türü başlıklı saplamalardır. Kompozit kirişlerde katlanmış çelik saçlarla beraber kullanılan başlıklı saplamaların davranışları saplamaların dayanımına ve ölçülerine, katlanmış çelik sacın geometrisine, yönüne ve betonun dayanımına bağlıdır. İtme-çıkarma deneyi kayma bağlayıcısının kapasitesini ve kayma bağlayıcılarının yük-kayma ilişkilerini belirlemek için kullanılır. Bu çalışmada 13 tane İtme-çıkarma deneyi katlanmış saçlarla kompozit döşemelerin 19 mm çaplı kayma bağlayıcıları vasıtasıyla kaynaklanması suretiyle yapılmıştır. 18 tane İtme-çıkarma deneyi de katlanmış saçlarla kompozit döşemelerin 16 mm çaplı kayma bağlayıcıları vasıtasıyla kaynaklanması suretiyle yapılmıştır. Meydana gelen kaymalar da hassas aletler vasıtasıyla ölçülmüştür. Bu kaymalar Amerikan ve Eurocode–4 çözüm yönetmeliklerine göre kıyaslanmıştır. Sonuç olarak bu çözüm yöntemleriyle deney sonuçları kıyaslandığında Amerikan çözüm yönteminin deney sonuçlarının %25 ile%27 üzerinde olduğu ortaya çıkarken, Eurocode–4 çözüm yönteminde deney sonuçlarının en fazla %11 üzerinde olduğu ortaya çıkmıştır.

Kim Y. H., Jeong Y. J., (2006), Binalarda ve köprülerde farklı katlanmış saç profil modelleri kompozit döşeme çeşitleri olarak kullanılmaktadır. İstenilen kompozit çalışmayı elde etmek için boyuna kesme kuvvetleri katlanmış saç ile beton arasına taşınmalıdır. Bunun için çeşitli kayma bağlayıcıları kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanı başlıklı saplamalardır. Ancak başlıklı saplamaların servis yükleri altında bazı çatlama problemleri olduğu tespit edildiğinden bu çalışmada kayma bağlayıcısı olarak "Perfobond" ların kullanılabilirliği araştırılmıştır. Katlanmış galvanizli çelik saçlarda "Perfobond" ların kayma bağlayıcısı olarak kullanıldığı donatılı hafif betonlardan oluşmuş 17 adet kompozit döşeme numuneleri hazırlanmış ve bu numuneler üzerinde tam ölçek döşeme deneyleri ile itme-çıkarma deneyleri yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda "Perfobond" ların kompozit döşemelerde kayma bağlayıcısı olarak etkili bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Larbi A., Ferrier E., Jurkiewiez P., Hamelin P., (2007), Bu çalışmada kompozit köprü kirişlerinde çelik ve beton arasındaki davranışlar yüksek dayanımlı beton kullanılarak incelenmiştir. Çalışma için altı adet itme-çıkarma deneyi yapmışlar üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemiyle analitik çözümler yapmışlardır. Yapılan incelemelerde Fransa'da köprü inşaatlarında kompozit eleman kullanımının beton ve prefabrik köprülerden %20 daha ekonomik olduğu belirtilmiştir. Kompozit elemanlarla yapılan köprülerin m^2 fiyatlarının da ortalama1250 euro'ya mal olduğu saplanmıştır.

Bu çalışmada kayma bağlayıcısı olarak epoxy ve polyurethane kullanılmıştır. Epoxy'nin elastisite modülü 12300 MPa iken polyurethane'nin elastisite modülü 80 MPa'dır. İtme-çıkarma deneylerinde kullanılan numune ebatları için Eurocode-4 referans alınmıştır. Numuneler hazırlanırken üç farklı bağlama kalınlığı ve iki yüzey davranışı incelenmiştir. Yüzeylerin bağlandığı alanların boyutları 100*100mm olarak seçilmiştir. Bütün numuneler statik yük altında kırılırken deplasman ölçerlerle oluşan deplasmanları tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda; 3 mm lik polyurethane'nin uygun olmadığı tespit edilmiştir. Diğer bütün deneyler için de kırılma betonun yüzeyindeki 10 mm'lik yapışma bölgesinde ve çeliğin yüzeyindeki ince kalamin

tabakasında oluşmuştur. Yük-uzama grafiğinden elde edilen sonuçlara göre de; epoxy'nin kırılgan bir davranış sergilediği, polyurethanin ise daha daha az kırılgan ve dayanımı az olduğu görülmüştür. Deneyler sonucunda en fazla kayma gerilmesi 5.9 MPa olarak bulunmuştur.

Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analitik sonuçlar ve deneylerin birbiriyle karşılaştırılmasından elde edilen sonuçlara göre de; normal mekanik bağlayıcılarla, epoxy ve polyurethane yaklaşık aynı sonucu vermesine rağmen, epoxy ve polyurethane'in 15 kata kadar daha kırılgan olduğu tespit edilmiştir.

3. MATERYAL ve METOD

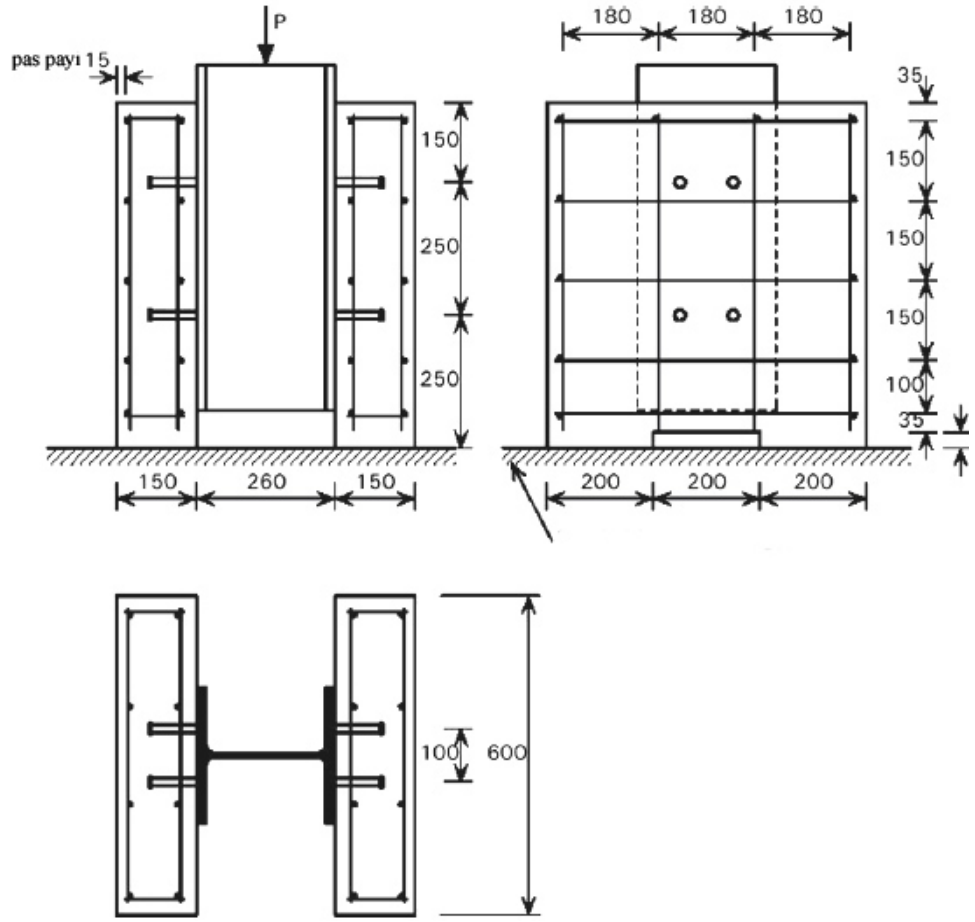
Bu bölümde kompozit kiriş ve kompozit döşemelerde eksismik çeliğinin kayma bağlayıcısı olarak kullanılabilirliğinin deneysel olarak araştırılması ve başlıklı saplamalarla karşılaştırılması yapılacaktır. Ayrıca deneylerde kullanılan malzemelerin özellikleri de anlatılacaktır.

3.1. Deney Numuneleri

Bu çalışmada 16 adet numune statik eksenel yük altında denenmiştir. Deney elemanları geometrik olarak birbirine özdeştir. 16 adet numuneden 8 tanesinde kayma bağlayıcısı olarak eksismik çeliği, sekiz tanesinde de başlıklı saplama kullanılmıştır. Bu sekizer adet deney numunelerinde de hem eksismik çelikli hem de başlıklı saplamalı numunelerde dört tanesinde beton yüksekliği 12 cm dört tanesinde beton yüksekliği 10 cm olarak hazırlanmıştır. Bu dört tane de kendi aralarında iki kayma bağlayıcılı ve bir kayma bağlayıcılı olarak gruplandırılmıştır. Hazırlanan her grupta aynı özellikteki numuneler hem eksismik çeliği hem de başlıklı saplamalarla denenerek karşılaştırması yapılmıştır.

3.1.1. Deney numunelerinin boyutları

Deney numunelerinin boyutları Avrupa Standardı Eurocode-4'te belirtilen standart itme-çıkarma deneyi boyutlarına uygun olarak hazırlanmıştır. Eurocode-4'te verilen ölçülere göre kayma bağlayıcısının katlanmış çelik saçlarla kaynatıldığı çelik profillerin HE 260 olması tavsiye edilmiştir. Döşeme boyutlarının da 600×600×150 mm olarak yapılması önerilmiştir (Şekil 3.1).

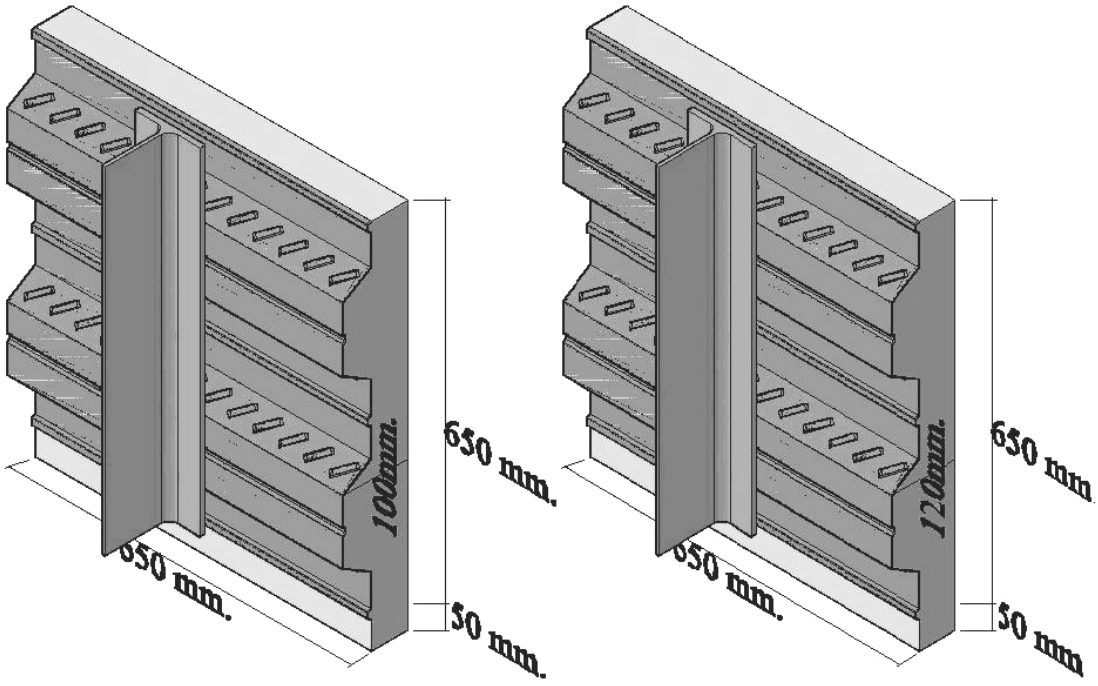


Şekil 3.1 Eurocode-4'de gösterilen itme-çıkarma deneyi şekli (Ölçüler mm'dir)

Eurocode-4'de verilen boyutların yanında, birçok çalışmada da farklı boyutlarda itme-çıkarma deneyi için numuneler hazırlanmıştır. Örneğin; Bro (2004)'ün yaptığı itme-çıkarma deneylerinde HE 260 profilini kullanmışlar ve döşeme ebatlarını da 760×600×120 mm olarak seçmişlerdir. Valente ve Cruz (2004) ise yaptığı deneylerde yine HE 260 profilini kullanmışlar ve döşeme boyutlarını da 650×650×150 mm olarak seçmişlerdir. Ellobody ve Young (2005) yaptıkları çalışmada profil olarak 102 mm başlık genişliğinde bir profil kullanmışlar ve 450×425×120 boyutlarında döşemeler üretmişlerdir.

Yapılan bu çalışmada da ülkemizde kolay ulaşılabilirliği ve uygulamaya yönelik olması için IPE 240 kullanılmıştır. Profilin üzerine katlamış çelik saçlarla kaynaklanan kayma bağlayıcılarının boyu hem eksismik çeliği için hem de başlıklı saplamalar için 90 mm olarak seçilmiştir. Döşeme boyutları da daha önceden yapılan

çalışmalar referans alınarak Şekil 3.2'de ebatları verilen 8 adet 650×650×120 mm ve 8 adet 650×650×100 mm olarak hazırlanmıştır.



Şekil 3.2 Deneyler için hazırlanan numunenin perspektif görüntüsü

Deney sırasında oluşan düşey kuvvetin etkisiyle sacın ve kayma bağlayıcısının düşey hareketini yapabilmesi için şekilde görüldüğü gibi sacın bittiği yerden itibaren 50 mm fazladan beton dökülmüştür. Aynı şekilde de çelik profil yükleme sırasında kolaylık olsun diye sacın üst tarafından 70 mm yukarıda olacak şekilde kaynatılmıştır (Şekil 3.2).

3.2. Deney Numunelerinin Detayları

Başlıklı saplama ve eksismik çeliğinin kayma bağlayıcısı olarak kullanılabilirliğinin karşılaştırmanın yapılabilmesi amacıyla sekiz adedi eksismik çelikli kayma bağlayıcılı, sekiz adedi başlıklı saplama kayma bağlayıcılı toplam on altı adet numune hazırlanmıştır. Her farklı kayma bağlayıcısı ile üretilen numuneler birbiriyle tamamen özdeş iki numuneden oluşan dört grup olarak hazırlanmıştır. Grupların belirlenmesinde aşağıdaki parametreler dikkate alınmıştır;

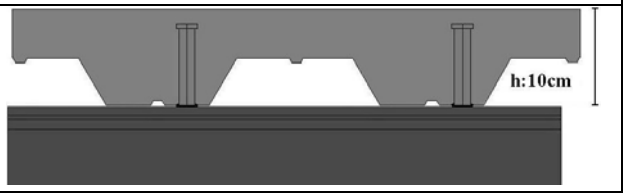
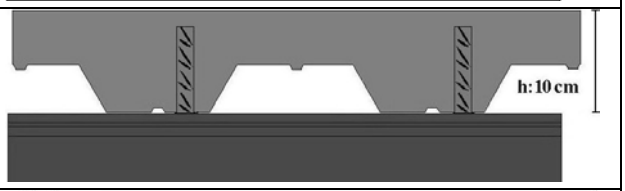
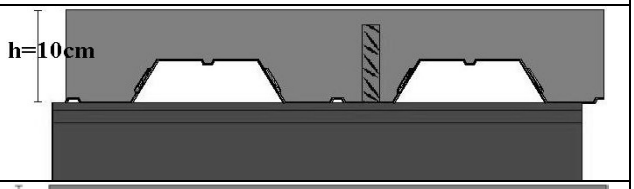
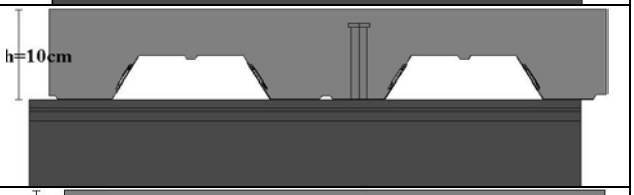
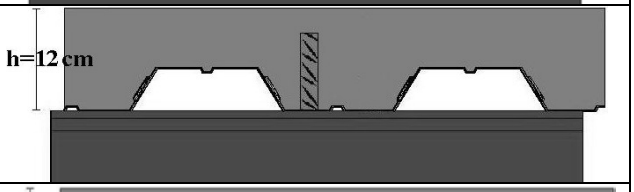
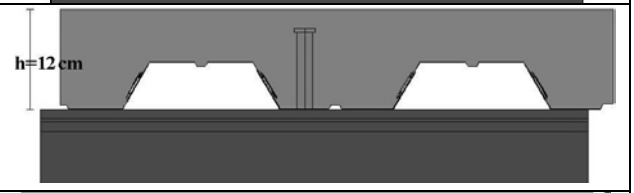
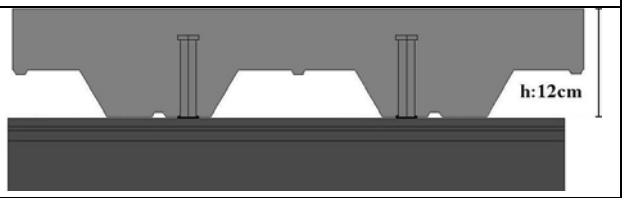
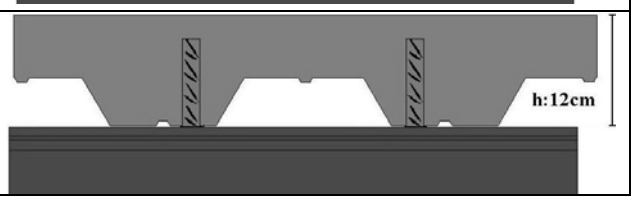
1. Beton döşeme yüksekliği: h=10 ve h=12 cm kalınlığında döşemeler.
2. Kayma bağlayıcı adedi: 1 adet ve 2 adet kayma bağlayıcısı kullanımı.
3. Kayma bağlayıcı çeşidi: başlıklı saplama ve eksismik çeliğidir.

Yukarıda anılan parametreler doğrultusunda aşağıdaki 4 grup deney numune seti hazırlanmıştır.

1. Grup numuneler bir adet kayma bağlayıcılı 10 cm döşeme yükseklikli başlıklı saplama ve eksismik çelik kullanılarak hazırlanan numuneler.
2. Grup numuneler bir adet kayma bağlayıcılı 12 cm döşeme yükseklikli başlıklı saplama ve eksismik çelik kullanılarak hazırlanan numuneler.
3. Grup numuneler iki adet kayma bağlayıcılı 10 cm döşeme yükseklikli başlıklı saplama ve eksismik çelik kullanılarak hazırlanan numuneler.
4. Grup numuneler iki adet kayma bağlayıcılı 12 cm döşeme yükseklikli başlıklı saplama ve eksismik çelik kullanılarak hazırlanan numuneler.

Deney numunelerinde en önemli değişiklik kayma bağlayıcısı türünün farklı olmasıdır. Sekiz adet numunede kayma bağlayıcısı olarak seri üretiminin kolay olmasından dolayı yaygın olarak kullanılan başlıklı saplamalar kullanılırken, diğer sekiz adet numunede de ülkemizde donatı çeliği olarak üretilen Ø20 eksismik çeliği ekonomisi ve geometrisinden ötürü kullanılmıştır.

Çizelge 3.1 Deney numunelerinin şekilleri

DENEY NUMUNESİ	NUMUNE ÖZELLİĞİ		DENEY NUMUNESİNİN RESMİ
	Saplama sayısı	Beton yüksekliği	
2K10 2 adet	2	h= 10 cm	
2E10 2 adet	2	h= 10 cm	
1E10 2 adet	1	h= 10 cm	
1K10 2 adet	1	h= 10 cm	
1E12 2 adet	1	h= 12 cm	
1K12 2 adet	1	h= 12 cm	
2K12 2 adet	2	h= 12 cm	
2E12 2 adet	2	h= 12 cm	

3.3. Deney Numunelerinin Malzeme Özellikleri

3.3.1. Beton

Bu çalışmada kullanılan beton, Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuarında üretilmiş ve elle dökülmüştür. Aynı özellikteki üretilen 2 adet numune betonun elle hazırlanmasının zorluğundan dolayı aynı anda hazırlanarak dökülmüştür. Aynı gruptaki numuneler aynı oranlarda malzeme kullanarak hazırlanmışlardır.



Şekil 3.3 Deneyler için betonun elle yerinde hazırlanış safhaları

Beton numuneleri hazırlanırken ilk gün 2K12 ve 2E12 farklı zamanlarda aynı şekilde ve aynı gün içinde dökülmüştür. Ancak betonun elle laboratuarda hazırlanmasından dolayı (Şekil 3.3) önce 2K12 için beton hazırlanmış ve dökülmüş, daha sonra da 2E12 için beton üretilerek dökülmüştür. Her bir beton dökümü için kullanılan malzeme Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Deneylerde kullanılan beton karışım oranı (1 m^3 beton için)

	Ağırlık(kg)	1 m^3 Betondaki Hacimsel Miktarı (%)
Çimento	400	13
0-4 mm arası Agrega (kum)	700	32
4-16 mm arası Agrega	1100	46
Su	200	9
Toplam	2400	100



Şekil 3.4 Deney sırasında silindir numune alınması ve eksenel basınç deneyi

Silindir numuneler betonla doldurulmadan önce dikkatlice yağlanmış ve daha sonra 1/3'ü doldurulup sıkıştırılmak kaydıyla her beton hazırlandığında numuneler alınmıştır (Şekil 3.4).

Alınan her numune bir gün sonra dikkatlice kalıptan çıkarılarak kür havuzuna koyulmuştur. Kür havuzunda itme-çıkarma deneyinin yapılacağı güne kadar silindir beton numuneleri muhafaza edilmiştir. Silindir beton numuneleri itme-çıkarma deneyi yapıldıktan sonra kırılarak değerleri kaydedilmiştir. Gerçekleştirilen eksenel basınç deneyi sonucunda üretilen ortalama betonun basınç dayanımı 27 N/mm^2 olarak elde edilmiştir.

3.3.2. Eksismik çeliği

Eksismik çeliği sıcak haddeleme esnasında ısıl işlemle üretilen, betonla aderansını arttırıcı nervürler oluşturulmuş bir beton çelik çubuğudur. Ülkemizde üretilen BÇIII-a ve BÇIV-a standartlarındaki beton çelik çubuklarından; süneklik, kaynaklanabilirlik, aderans, korozyon dayanımı ve dayanım yönünden üstün olan eksismik çeliği, son yıllarda üretilen ve kullanımı artan bir betonarme inşaat çeliğidir.

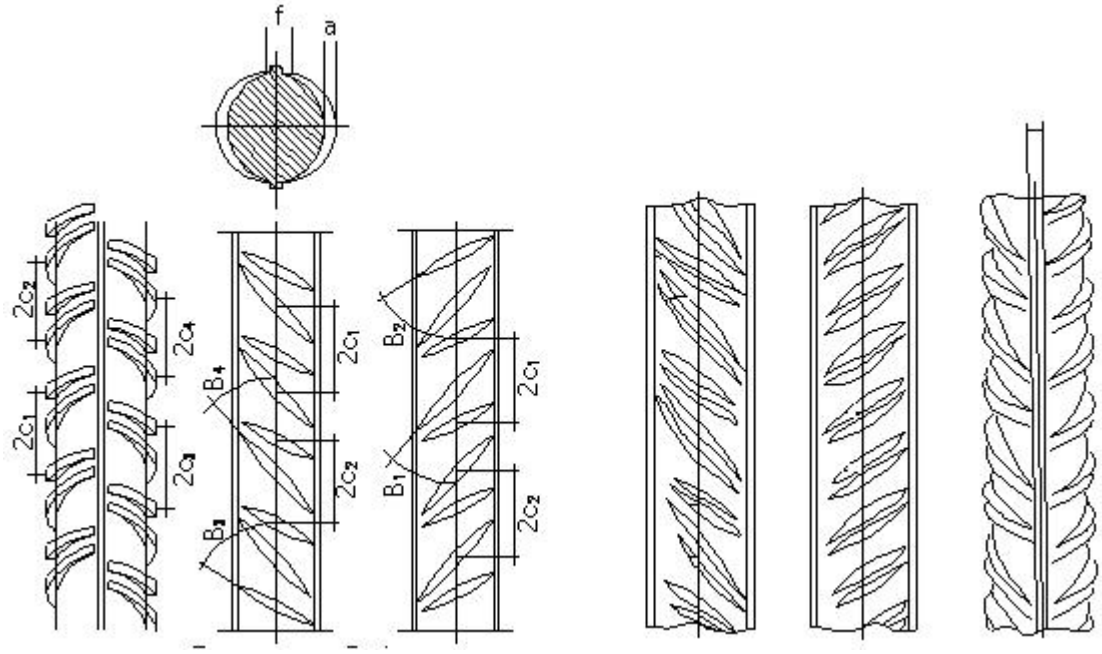
Akma dayanımı minimum 500 N/mm^2 olan eksismik çeliği, akma dayanımının çekme dayanımına oranının yüksek olmasıyla yani f_s/f_y oranının yüksekliğiyle ve maksimum yükteki uniform uzamasının yüksek olması nedeniyle oldukça sünek davranmaktadır.

Betonarme çeliklerinde işlenebilirliği arttırabilmek yani şekil verilebilirliği arttırmak için çelik ısıl işleme tabi tutulur. Isıl işlem sonucunda karbon miktarı

istenilen çelik cinsine göre ayarlanabilir (Deren 2005). Eksismik çeliğinin ısıl işleme tabi tutulması esnasında karbon miktarı azaltılarak kolay şekil alması sağlanmıştır.

Eksismik çeliği yine ısıl işlem sırasında maruz kaldığı işlemler sonucunda kaynaklanabilirliği ve korozyona karşı dayanımıyla diğer beton inşaat çeliklerinden daha üstün bir malzemedir. Kaynaklanabilme özelliği sayesinde Eksismik çeliği kaynaklı birleştirmelerin uygulandığı alanlarda kullanılan bir malzemedir.

Nervürlü donatı yüzeyinde imalat sırasında yapılan çıkıntılar, beton ve donatının birbirine daha iyi kenetlenmesini sağlar (Ersoy 2001). Nervür açılarındaki ve nervür yüksekliklerindeki farklılığa bağlı olarak Eksismik çeliği yüksek kavrama özelliği ile diğer donatı çeliklerinden üstündür.



Eksismik Çeliği Donatı Çeliği

Şekil 3.5. Eksismik çeliği ve donatı çeliği geometrisi

Çizelge 3.3'te eksismik çeliğinin üretici firmadan, donatı çeliklerinin de TS 708'den alınan mekanik ve kimyasal özellikleri sunulmuştur.

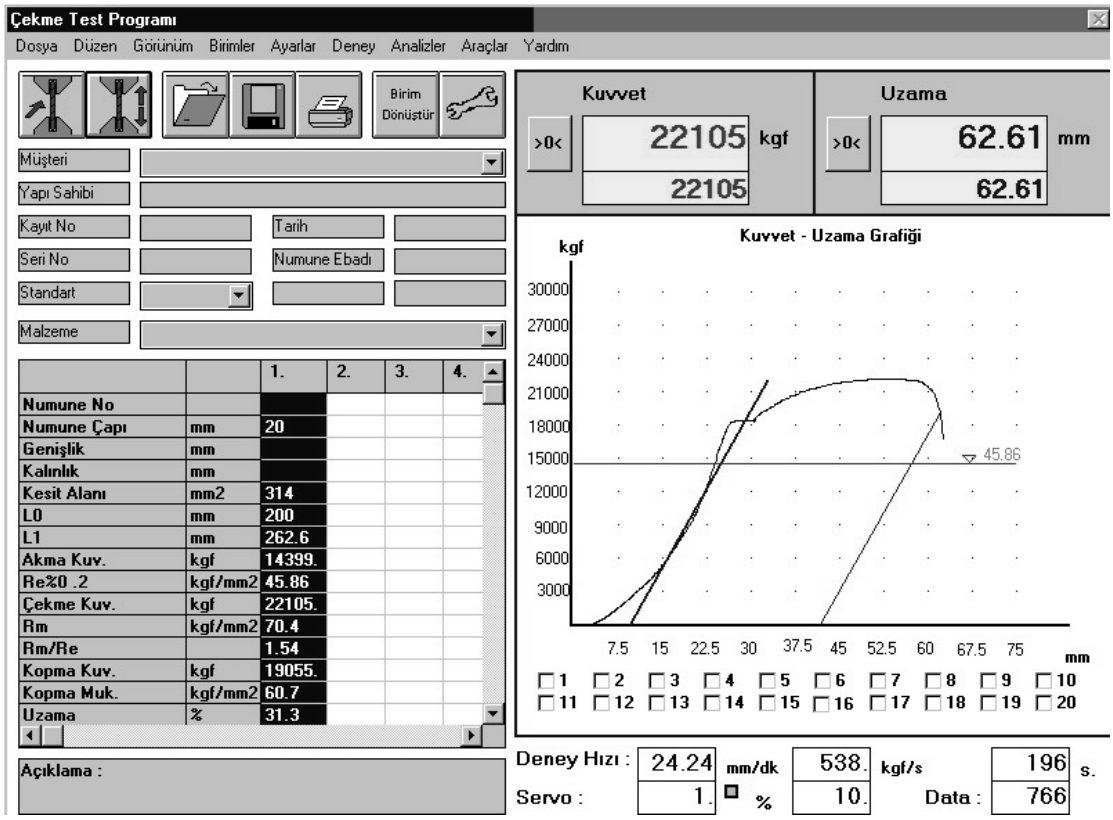
Çizelge 3.3 Eksismik çeliği ve donatı çeliklerinin mekanik ve kimyasal özellikleri

Özellikler	**Eksismik Çeliği**	**BÇ III-a Çeliği**	**BÇ IV-a Çeliği**
Akma Dayanımı (N/mm^2)	Min 500 Max 550	Min 420	Max 500
Çekme Dayanımı (N/mm^2)	Akma ×1,25	Akma ×1,10	Akma ×1,08
% Uzama $l_0 = 10d$	12	10	12
Bükme Testi 180^o	8,…,32 → 3d	5d	4d
Karbon (%)	0,22 max	0,40 max	0,22 max
Kükürt (%)	0,050 max	0,050 max	0,050 max
Fosfor (%)	0,050 max	0,050 max	0,050 max
Azot (%)	0,012 max	-	0,012 max
Karbon Eşdeğeri (%)	0,50 max	-	0,50 max

Deney numunelerinin üretiminde kullanılan 12 adet Ø20 mm çapındaki eksismik çelik çubuklarının mekanik özelliklerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla S.Ü. İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuarında Eksenel çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyi 800 kN kapasiteli çelik çekme cihazı ile yapılmıştır. Deneylerde kullanılan Ø20 eksismik çeliğinin nominal ağırlığı 2,322 kg/m ile 2,569 kg/m arasında değişmektedir. Şekil 3.7'de örnek bir adet çekme deneyi sonucu, Çizelge 3.4'te de ortalama çekme deney sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.4 Çekme deneyi sonuçları

Çekme Deney Sonuçları							
Kesit Alanı (mm^2)	Akma Kuvveti (kgf)	Çekme Kuvveti (kgf)	Kopma Kuvveti (kgf)	Akma Dayanımı (kgf/mm^2)	Çekme Dayanımı (kgf/mm^2)	Kopma Dayanımı (kgf/mm^2)	Uzama Yüzdesi %
314	14455	22115	19160	46,04	70,43	61,02	0,32
314	14265	21995	19085	45,43	70,05	60,78	0,31
314	15120	22450	19435	48,15	71,50	61,89	0,33



Şekil 3.6 Çekme deneyi sonucu

Çekme testine tabi tutulan 200 mm boyundaki eksismik çeliği 22105 kg'lık kuvvet altında 62,61 mm uzamıştır. Akma kuvveti 14399 kgf olan eksismik çeliğinin %31,3 uzadığı tespit edilmiştir (Çizelge 3.4).

3.3.3. Başlıklı saplama

İtme-çıkarma deneyleri için üretilen 8 adet numunede kayma bağlayıcısı olarak Türkiye'de kullanımı yaygın olan kaynak tabancasıyla çeliğe kaynaklanan Nelson Marka başlıklı saplamalar kullanılmıştır. Başlıklı saplamaların mekanik ve kimyasal özellikleri Nelson Firmasının resmi internet sitesinden alınmış ve Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5 Başlıklı saplamaların mekanik ve kimyasal özellikleri

Mekanik Özellikleri	
Akma Dayanımı (R_e)	352 N/mm^2 min.
Çekme Dayanımı (R_m)	450 - 600 N/mm^2 min.
Uzama (A_2)	20 % min.
Kimyasal Özellikleri	
Karbon (C)	0.08 – 0.23
Mangenez (Mn)	0.30 – 0.60
Silikon (Si)	0.15 – 0.30
Fosfor (P)	0.040 max.
Sülfür (S)	0.050 max

Farklı boyutlarda başlıklı saplamalar piyasada mevcut olmasına rağmen bu çalışmada; 19 mm çap kalınlığında, 90 mm boyunda, 32 mm başlık çapında ve 10 mm başlık boyunda saplamalar kullanılmıştır. Bu saplamalar EN 10 025 standartlarına uygundur. Kullanılan başlıklı saplamanın boyutları ve resmi Şekil 3.7'de, eksismik çeliğinin ve başlıklı saplamanın resmi de Şekil 3.8'de verilmiştir.



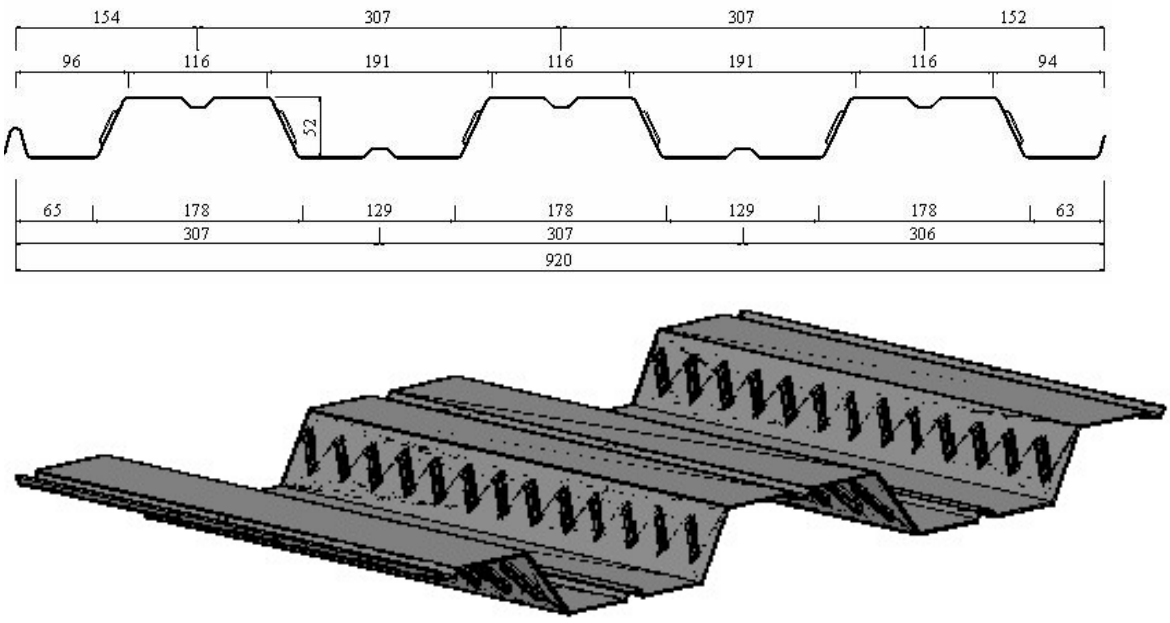
Şekil 3.7 Deneylerde kullanılan başlıklı saplama ebatları



Şekil 3.8 Deneylerde kullanılan Eksismik çeliği ve başlıklı saplama

3.3.4. Katlanmış çelik saç

Bu çalışmada kompozit döşemelerde ülkemizde en çok tercih edilen ADS920 Döşeme Paneli kullanılmıştır. Bu paneller yan yüzeyleri tek taraflı sürekli çıkıntılı galvanizli katlanmış çelik saçlardır. 92 cm eninde 900 cm boyunda fabrikada üretilen saçlar deneylerimizde kullanabilmek için 65×65 cm ebatlarında kestirilmiştir (Şekil 3.9)

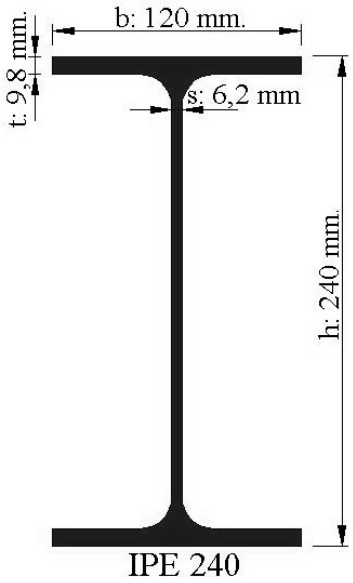


Şekil 3.9 Deneylerde kullanılan katlanmış çelik saçların geometrisi ve ebatları

Deneylerde kullanılan çelik saç malzemesi 1 mm kalınlığında sıcak çinkoyla kaplanmış, soğukta işlenmiş galvanizli katlanmış yapı çeliğidir. Akma dayanımı (F_{yb}) 220 ile 550 N/mm^2 arasında değişmektedir. Maksimum gerilme dayanımı 300 ile 560 N/mm^2 arasında değişirken, elastisite modülü 210 000 N/mm^2 dir. Yüzeylerinde 10 mm yüksekliğinde oluşturulmuş çıkıntılarla beton ile daha iyi aderans sağlamaktadır. Çelik saç ile beton arasındaki kompozit etkiyi arttıran soğukta biçimlendirilmiş katlanma şekliyle betonu tamamen sarar.

3.3.5. IPE 240 profili

Bu çalışmada kullanılan IPE 240 profilleri aynı anda kalıp kurup beton dökülebilmesi için ikiye bölünerek T profili haline getirilmiştir. Deneylerde kullanılan profilin yüksekliği 240 mm, başlık genişliği 120 mm, başlık et kalınlığı 9,8 mm, boyuna et kalınlığı da 6,2 mm dir (Şekil 3.10). Profilin en kesit alanı 39,1 cm^2 olup bir metresinin uzunluğu 30,7 kg dır. Profilin diğer özellikleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.10 Deneylerde kullanılan IPE 240 profili

Çizelge 3.6 IPE 240 profili özellikleri

Profil IPE	**Boyutlar mm**					***F*** cm^2	***G*** kg/m	***U*** m^2/m
	h ***mm***	***b*** ***mm***	***s*** ***mm***	***t*** ***mm***	***r*** ***mm***			
240	240	120	6,2	9,8	15	39,1	30,7	0,922

Eğilme Ekseni						***S$_x$*** cm^3	***s$_x$*** cm
x-x			***y-y***				
J$_x$ cm^4	***W$_x$*** cm^3	***i$_x$*** cm	***J$_y$*** cm^4	***W$_y$*** cm^3	***i$_y$*** cm		
3890	324	9,97	284	47,3	2,69	183	21,2

Çizelge 3.6'da gösterilen harfler;

F= Enkesit Alanı

G= Birim Boy Ağırlığı

J= Atalet Momenti

W= Dayanım Momenti

*i= Atalet Yarıçapı'*dır.

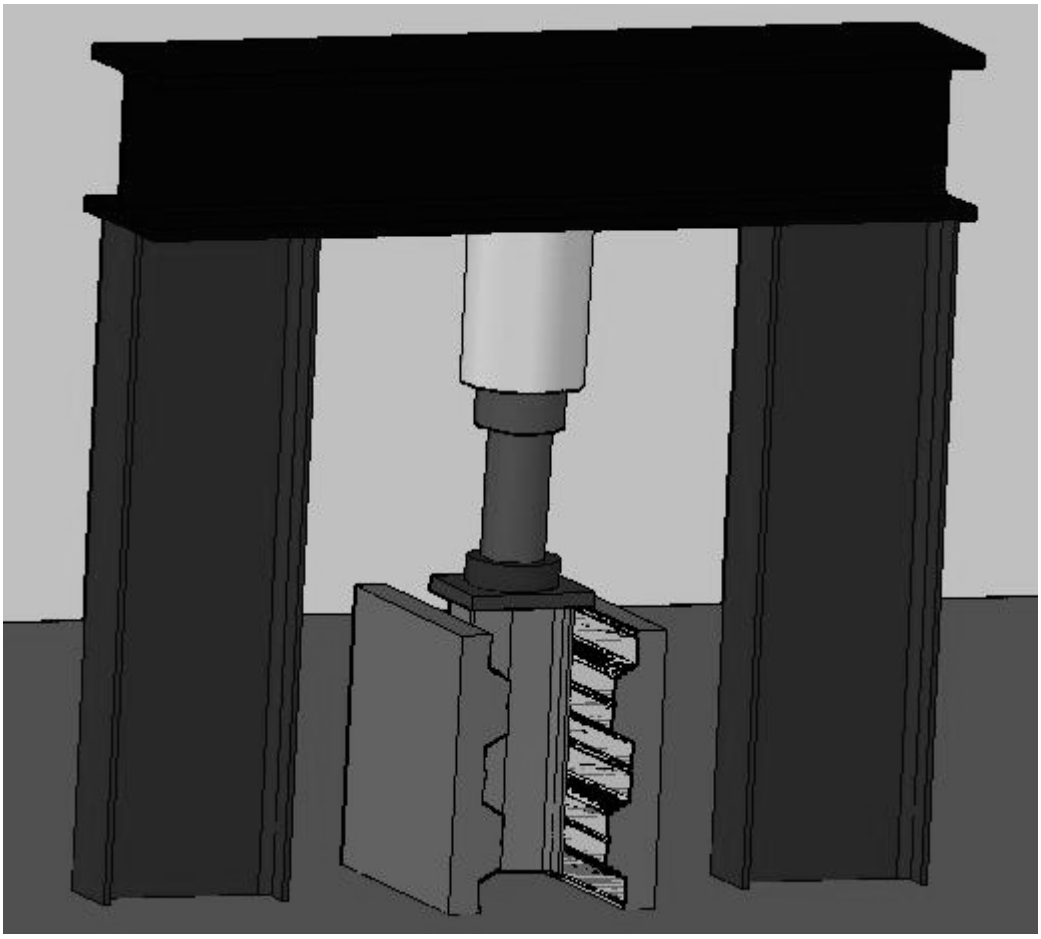
4. DENEY DÜZENEĞİ VE ÖLÇÜM TEKNİĞİ

4.1. Giriş

Kompozit döşemelerde eksismik çeliğinin kayma bağlayıcısı olarak kullanılabilirliği üzerine yapılan bu çalışmada, itme-çıkarma deneyleri Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında hazırlanan on altı adet numune statik düşey yük altında test edilmiştir. Deney sırasında bilgisayar destekli veri okuma sistemi kullanılarak, gerekli yük ve yer değiştirme okumaları anında kayıt altına alınmıştır.

4.2. Deney Düzeneği

İtme-çıkarma deneyinin yapıldığı çerçeve sistemi yere sabitlenmiş profillerle düşey yük uygulayabilen bir çelik yükleme sistemidir. Deney elemanlarına uygulanan düşey yük, rijit yükleme çerçevesinin düşey kolonlarına mesnetlendirilmiş durumdaki profillerden oluşturulan ve yükleme plakasının üzerinde sabitlenmiş olan hidrolik kriko yardımıyla uygulanmıştır. Hidrolik kriko sistemi, iki yönlü çalışabilmekte, numuneye hem çekme hem de basınç kuvveti uygulayabilmektedir. Basınç durumunda hidrolik kriko sistemi, bağlı olduğu numuneyi itmekte; yük hücresi yaklaşık 500 kN yükü okuyabilmektedir. Deneylerde kullanılan deney düzeneği Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Deneylerde kullanılan yükleme çerçevesi

4.2.1. Ölçme tekniği

Yapılan tüm itme-çıkarma deneylerinde düşey yük ölçümleri yük ölçerler (Loadcell) vasıtasıyla, yer değiştirmeler ise, LVDT (Linear Variable Displacement Transducer) deplasman ölçerler ile yapılmıştır. Bu aletlerden alınan değerler, anında bilgisayar ortamına CODA isimli veri toplama (data logger) sistemi vasıtasıyla aktarılmıştır. Bu aktarma esnasında 12 adedi LVDT okumaları, 1 adedi de yük ölçer için 13 adet kanal kullanılmıştır. Şekil 4.2'de deneylerde yer değştirme ölçümlerinde kullanılan LVDT sunulmuştur.



Şekil 4.2 Deneylerde kullanılan LVDT

4.2.2. Yük ölçümleri

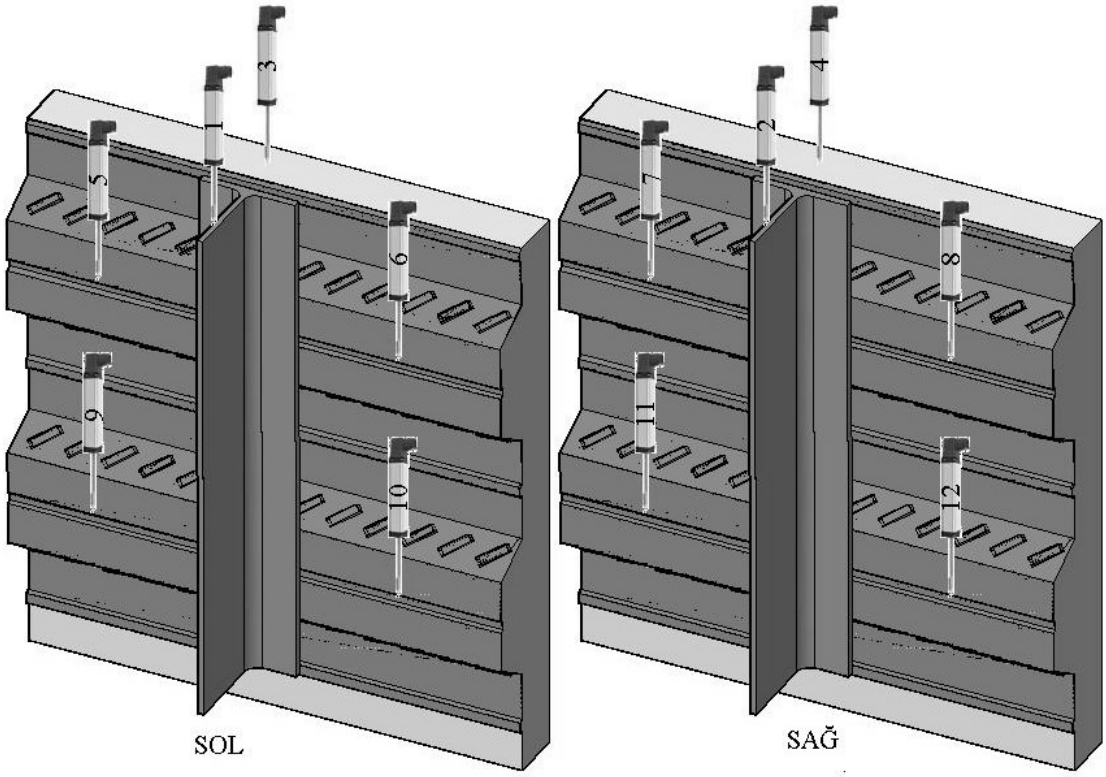
Deney düzeneğine elle yüklenen Enerpag marka hidrolik kriko yardımıyla uygulanan düşey yük değerleri, yük hücreleri yardımıyla okunmuştur. 500 kN yük kapasiteli düşey yük ölçme hücresi, üzerine gelen yük artışları orantısında çıkış ucundan gerilme vererek çalışmaktadır. Yük hücresinin çıkış ucu data logger kutusuna bağlı olup, yük hücresinden alınan gerilme değerleri data logger kutusuna, oradan da bu değerler bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Yük hücrelerinden aktarılan değerler TDG CODA Veri Toplama Yazılım Paketi vasıtasıyla bilgisayar ortamında da takip edilebilmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Deneylerde kullanılan veri aktarım sistemi ve bilgisayar programı

4.2.3. Yer değiştirmelerin ölçülmesi

İtme-çıkarma deneylerinde her kayma bağlayıcısın hizasında önde ve arkada olmak üzere iki adet, çelik profil üzerine yerleştirilmiş levhada iki adet ve her beton döşeme üzerinde birer adet olmak üzere toplam on iki adet LVDT ve bir adet yük ölçer veri toplama kutusuna bağlanmıştır. Kullanılan bu LVDT'ler sayesinde 0,01 mm hassasiyetinde yer değiştirme okumaları bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Deneylerde kullanılan LVDT'lerin yerleşim planı Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 LVDT yerleşim planı

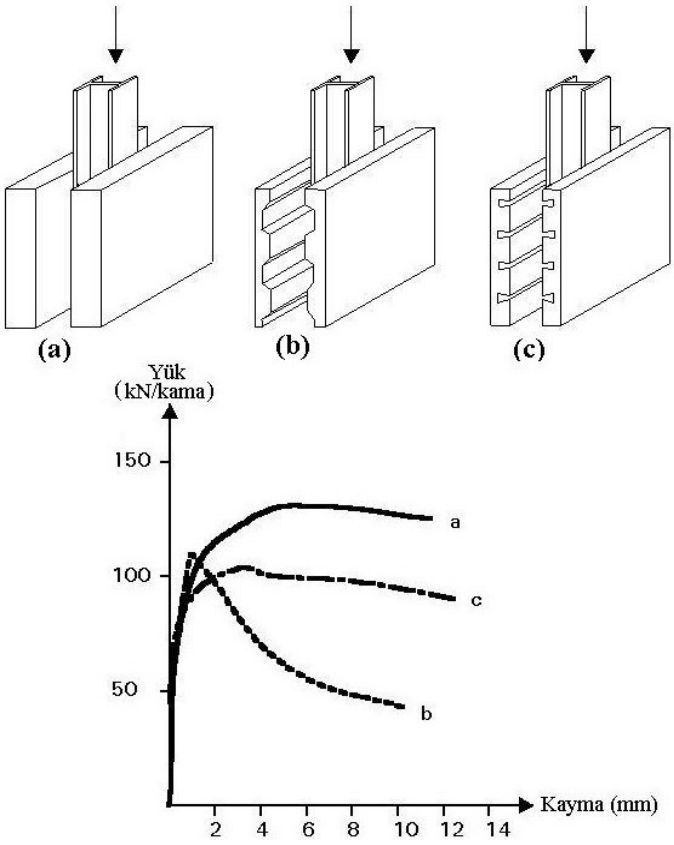
4.2.4. Yük ve yer değiştirme değerlerinin bilgisayar ortamına aktarılması

Deneyler sırasında yük hücresi ve LVDT'lerden alınan değerler ara bağlantı kutuları vasıtasıyla veri toplama kutusuna iletilmiştir. Alınan veriler üzerinde yük hücresi ve LVDT'lerin çıkış uçlarına bağlanan 13 adet kanaldan veri toplama kutusunda oluşan bir sistemle bilgisayara aktarılmıştır. TDG CODA Veri Toplama Yazılım Paketi vasıtasıyla deneyler sırasında 125 milisaniye aralıklarla kayıt alınmıştır. TDG CODA Veri Toplama Yazılım Paketi, doğru akım kartlarından alınan değerleri LVDT'ler için 0,01 mm ve yük hücresi için de 0,2 kN hassasiyetle değerlendirmekte ve değerler bilgisayar ekranında görülebilmektedir. Yazılım paketi sayesinde alınan tüm okumalar "Excel" programı tarafından düzenlenilmiştir.

4.3. İtme çıkarma (Push-out) deneyi

Eurocode 4 e göre, Push-out (İtme çıkarma) deneyinde incelenen değişkenler; beton döşemenin, kayma bağlayıcılarının ve donatının geometrik ve mekanik özellikleridir. İtme deneylerinden kırılma yükleri, kırılma türleri ve yük-deplasman performansları bulunur.

Luc Schueremans (2006) betonarme döşemeyle (Şekil 4.5 a), açık profil tipli döşemeyle (Şekil 4.5 b) ve kırlangıç kuyruğu tipli döşemeyle (Şekil 4.5 c) yapılan itme-çıkarma deneylerinde en kırılgan davranışı bizim de deneylerimizde kullandığımız açık profil tipli döşemeyle yapılan itme-çıkarma deneyi olduğunu ifade etmiştir.



Şekil 4.5 Farklı şekillerdeki döşemelerin yük-kayma grafiği

İtme çıkarma deneylerinin yatay ve düşey yapılan örnekleri mevcuttur. Topkaya (2002) yaptığı itme-çıkarma (push-out) deneylerinde numuneleri (Şekil 4.6 b) yatay bir zemin üzerine yatırarak, yatay yük altında test etmiştir. Yine Zaki (2003) yaptığı

deneylerde numuneyi (Şekil 4.6 c) yatay yükleyerek Topkaya'dan farklı döşemeye değil de, döşemeyi sabitleyip profile yük uygulamıştır. Yapılan bu çalışmada ise Eurocode-4'tarif edilen (Şekil 4.6 a) düşey yükleme yapılan itme-çıkarma (push-out) deneyleri gerçekleştirilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.6 Değişik İtme-çıkarma deney düzenekleri

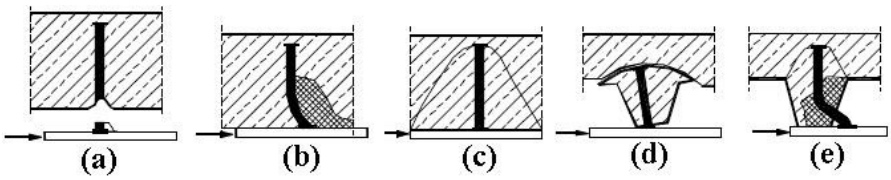
4.3.1. İtme çıkarma (Push-out) deneyinde oluşan kırılma türleri

İtme çıkarma deneylerinde oluşan kırılma türleri Eurocode-4'te beş farklı tür olarak tarif edilmiştir. Bunlar:

a) Kayma bağlayıcılarında oluşan kırılmalar; genellikle yüksek dayanımlı ve döşeme yüksekliği fazla olan betonlarda çok fazla yük altında oluşurlar. Çoğunlukla düz döşemelerde meydana gelir.
b) Beton ezilmesi; genellikle normal dayanımlı betonlarda oluşur. Hem düz döşemelerde hem de katlanmış saçlardan oluşan döşemelerde oluşan bir kırılma türüdür.
c) Betonun çıkması; genellikle düz döşemelerde oluşur.
d) Kayma kopması; sadece katlanmış saçlı döşemelerde oluşur.

e) Kesme kayma kırılması; katlanmış saçlı döşemelerde büyük yükler altında oluşur.

Yukarıda açıklanan kırılma türlerine ait kırılma şekilleri Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7 Eurocode-4'te verilen muhtemel kırılma türleri

4.4. Numunelerin deneye hazırlanışı

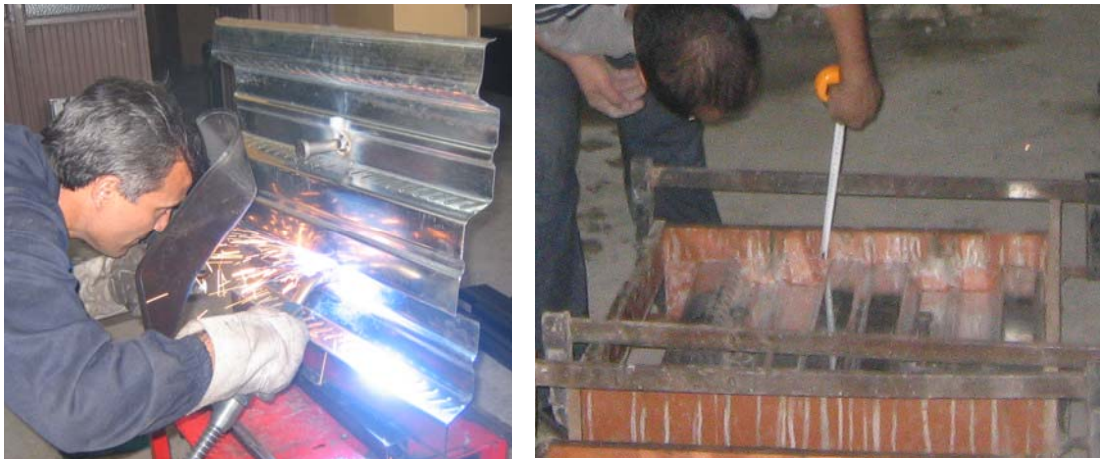
İtme-çıkarma deneyleri için Eurocode-4 standartlarının gösterdiği boyutlarda gerekli olan 650×650 mm boyutlarında 1 mm kalınlığında 16 adet saç (Şekil 4.8-a), 650 mm boyunda ortadan ikiye kesilmiş 8 adet IPE 240 profil çeliği, gerekli sayıda başlıklı saplama ve Eksismik çeliği temin edilmiştir. Başlıklı saplamalar eksismik çeliği ile karşılaştırılacağından, eksismik çeliğinin kaynağı ile başlıklı saplamaların kaynağının aynı olması uygun görüldü. Bu yüzden iki kayma bağlayıcısı da kaynaklanırken dikkatli bir şekilde gaz altı kaynağı kullanıldı (Şekil 4.9-a,b).



(a) (b)

Şekil 4.8 Numuneler kaynağa hazırlanırken

IPE 240 profiline katlanmış çelik saçlarla beraber kayma bağlayıcılarının kaynaklandığı numunelere göre kalıplar hazırlandı (Şekil 4.9-b). Kalıpların ebatları beton döşemenin yere oturabilmesi ve sacın üstte kalması için 650×700 mm olarak hazırlandı. Kalıplar için yüzeyi pürüzsüz suntalar kullanılmıştır.



(a) (b)

Şekil 4.9 Numunelerde kaynak ve kalıp hazırlama işlemleri yapılırken

Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı laboratuarında elle sekiz parça halinde hazırlanan betonun $1m^3$'ü için Çizelge 4.1'deki oranlar kullanılmıştır.

Çizelge 4.1 $1m^3$ betonda kullanılan malzemeler

	Ağırlık (kg)	**1 m^3 Betondaki Hacimsel Miktarı (%)**
Çimento	400	13
0-4 mm arası Agrega (kum)	700	32
4-16 mm arası Agrega	1100	46
Su	200	9
Toplam	2400	100

Kalıplar 10 ve 12 cm yüksekliğinde döşeme olacak şekilde ayarlandıktan ve işkenceler vasıtasıyla karşılıklı olarak sıkıştırıldıktan sonra laboratuarda hazırlanan beton kalıplara dökülmüştür (Şekil 4.10). Her hazırlanan betondan silindir numuneler alınmıştır. Her numune beton döküldükten 24 saat sonra kalıpları sökülerek günde iki defa sulanmak kaydıyla muhafaza edilmiştir.



Şekil 4.10 Numunelere beton dökülmesi

Beton dökümünden 28 gün sonra numuneler test edilmiştir. Birbirleriyle özdeş iki numune düşey uygulanan tekil yükün düzgün olarak iki profile de aktarılabilmesi için dikkatlice dengeye alınarak kaynatıldı (Şekil 4.11). İki adet yarım I profili ara ara küt kaynak yapılarak deney numunesi hazırlanmıştır.



(a) (b)

Şekil 4.11 Numuneler deneye hazırlanması

Deney düzeneğinde oluşacak yer değiştirmeleri ölçme maksadıyla başlığa 2 adet, her beton döşemenin üzerine birer adet ve her kanala ikişer adet LVDT bağlanmıştır. Bu LVDT leri sabitleyerek hareket etmelerini engellemek maksadıyla deney düzeneğinin her iki tarafına da LVDT lerin bağlanabileceği yere alçıyla sabitlenen rijit bir sistem yapılmıştır. Yük ölçer ve LVDT ler veri toplama kutusuna bağlanmıştır. Her numunede bu işlemler sırasıyla gerçekleştirilmiş ve numuneler itme-çıkarma (push-out) deneyine hazır hale getirilmiştir.

5. DENEY SONUÇLARI

Çalışmanın bu bölümde, deney numuneleri statik tekil yük altında test edilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar, deney numunelerinin davranışı ve meydana gelen kırılmalar detaylı bir biçimde sunulmaktadır. Her deney için deneyin yapılış yöntemi ve gözlenen davranış özellikleri anlatılmış, deney sırasında çekilen fotoğraflar verilmiştir.

Bu çalışmada yapılan sekiz adet deney bir adet kayma bağlayıcılı ve iki adet kayma bağlayıcılı diye dört grup olarak değerlendirilmiştir. Bir adet kayma bağlayıcılı numuneler adlandırılırken önüne "1" yazılmış, iki adet kayma bağlayıcılı numunelerin adlandırılmasında da önüne "2" yazılmıştır. Döşemelerinde beton yüksekliği 10 cm olan numuneler adlandırılırken numunenin adının sonuna 10, beton yüksekliği 12 cm olan numuneler adlandırılırken adının sonuna 12 yazılmıştır. Numunelerde kayma bağlayıcısı olarak eksismik çeliği kullanılmışsa bu iki rakamın ortasına "E" yazılırken, başlıklı saplamalar için de kama anlamına gelen "K" yazılmıştır.

5.1. Birinci Grup Deney (1 Adet kayma bağlayıcılı numuneler)

5.1.1. 10 cm döşeme yükseklikli numuneler

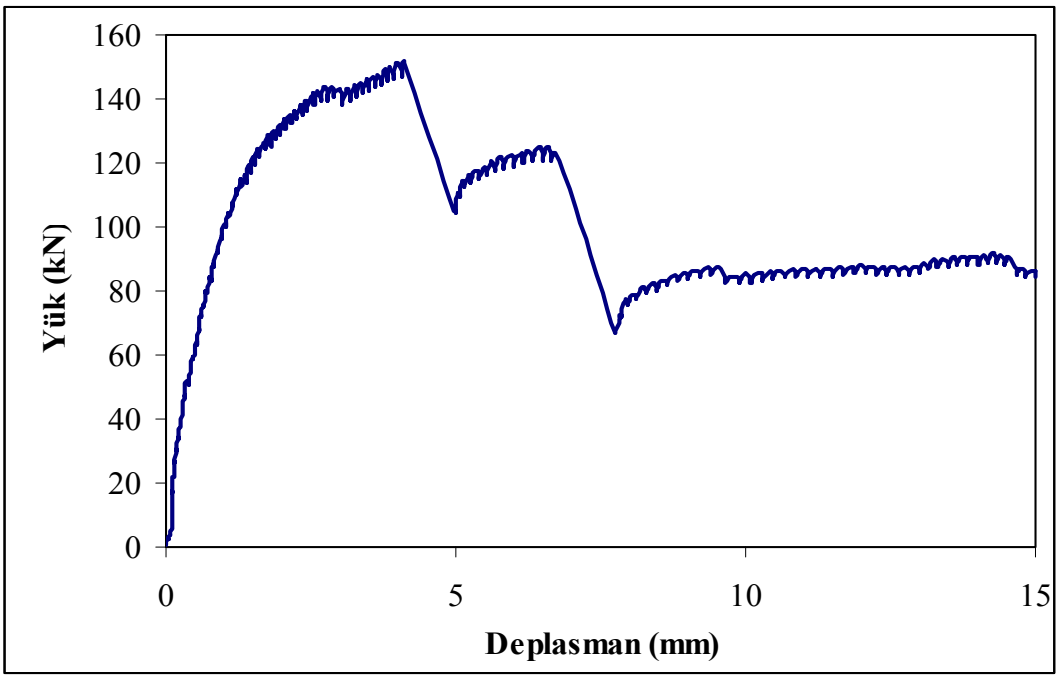
5.1.1.1. (1E10) numunesi

Bu deney numunesinin özellikleri 1 tane eksismik çeliğinin güçlü eksende katlanmış çelik saçla beraber çelik profile kaynaklanmasından sonra katlanmış çelik sacın altından itibaren 10 cm beton dökülerek üretilmesidir. Bu deneyin amacı katlanmış çelik saçlarla üretilen kompozit döşeme ve kirişlerde kayma bağlayıcısı olarak 65 cm boyunda bir kirişte 1 adet eksismik çeliğinin 10 cm yüksekliğindeki beton döşemedeki davranışının ve kırılma türünün incelenmesidir.

Deney numunesinin döşemesi, 650 mm'si saçlı olmakla birlikte 700 mm boyunda, 650 mm genişliğinde ve oluk alt seviyesinden 100 mm beton yüksekliğindedir. Her döşemenin tam ortasına 90 mm boyunda 20 mm çapında

eksismik çeliği kaynaklanmıştır. Kaynaklama esnasında 90 mm boyundaki bağlayıcı saçla birlikte kaynak yapıldığından boyu 80 mm'ye kadar düşmüştür. Bağlayıcı boylarındaki bu düşüş sayesinde 100 mm beton döşeme yüksekliğinde üretilen numunelerde eksismik çeliğinin pas payı 20 mm olmuştur.

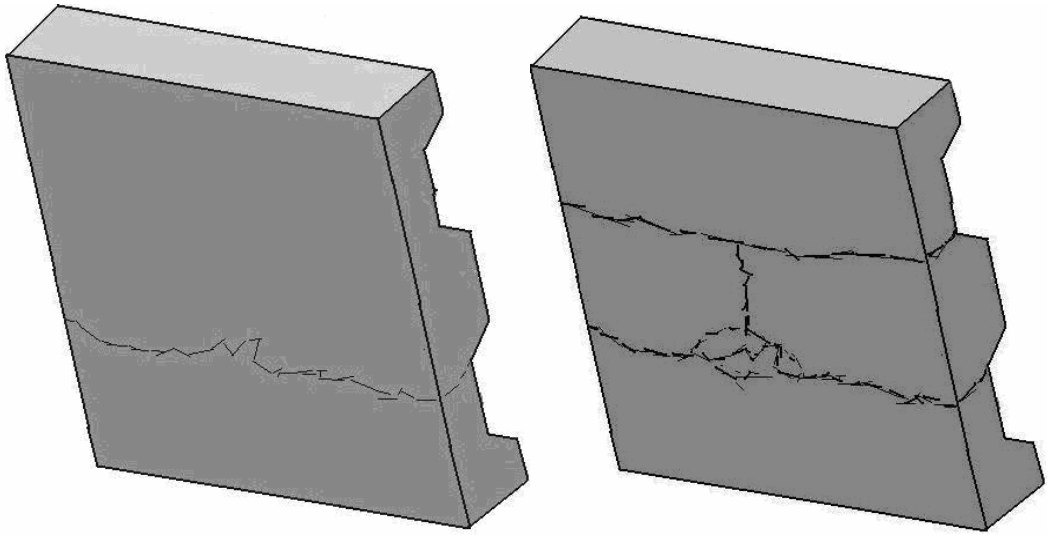
Deney düzeneği hazırlandıktan sonra sistem yükü yavaş yavaş arttırılarak deneye başlandı. 70 kN'lar civarında saçlar betondan üst tarafta ayrılmaya başladı. Yük 150,96 kN'u gösterdiğinde sağ tarafın önce alt zayıf eksenden sonra da üst zayıf eksenden betonu kırıldı. Yükleme devam edince zayıf düşen sağ döşeme de alt taraf 123,3 kN'da üst zayıf eksen de 105,5 kN'da kırıldı. Yüklemeye devam eden sistem 80 kN'lar civarında döşemelerde boyuna kırılmalara neden oldu.



Şekil 5.1 1E10 numunesi başlık yükü- deplasman grafiği

5.1.1.1.1. 1E10 deney numunelerinin kırılma biçimi

Deney sırasında betonda oluşan çatlakların yerleri ve tipleri, kırılmalar ve yerleri iki döşeme için de aynı şekilde olmuştur. Her iki döşemede de önce alt zayıf eksende kayma bağlayıcısının altında kırılma oluşmuştur. Sonra üst zayıf eksende kırılma oluşmuş ve ardından da bağlayıcı hizasında dikine kırılmalar olmuştur.



Şekil 5.2 1E10 numunesinin en büyük yük ve göçme durumlarında oluşan kırılma şekilleri

1E10 deneyinde kayma bağlayıcısı ile betonun saçla birleştiği yerden itibaren betonda kırılma ve kayma bağlayıcısında küçük eğilme deformasyonu meydana gelmiştir. Eksismik çeliğinin betonla iyi bir aderans sağladığı gözlenmiştir. Eurocode-4'te tarif edilen ikinci tür kırılma olmuştur (Şekil 5.3).

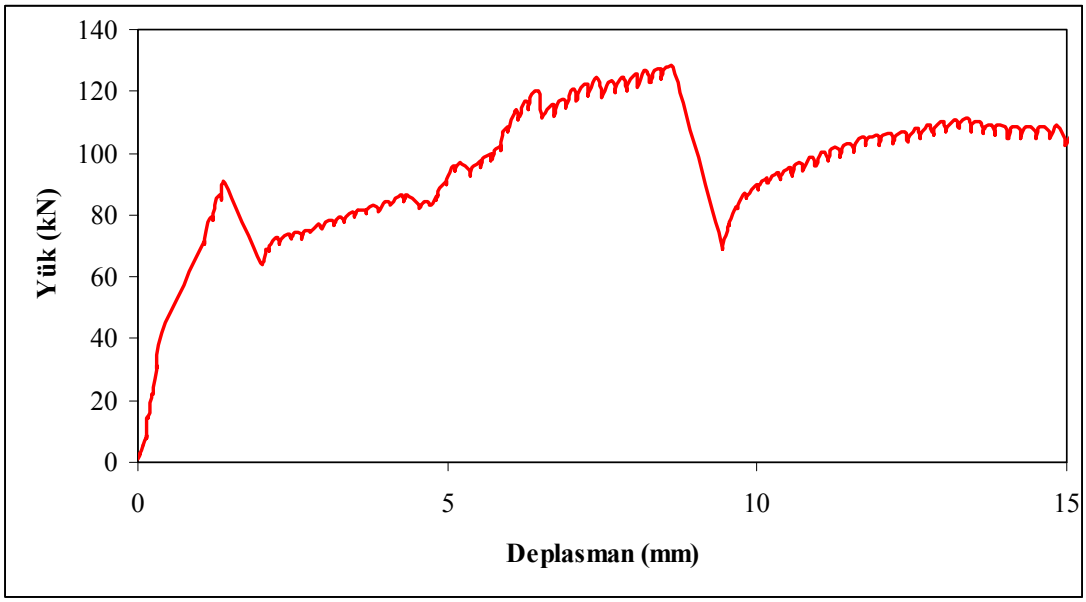


Şekil 5.3 Betonda oluşan çekme kayma kırılması

5.1.1.2. (1K10) numunesi

Bu deney numunenin özellikleri 1 tane saplamanın güçlü eksende katlanmış çelik saçla beraber çelik profile kaynaklanmasından sonra katlanmış çelik sacın altından itibaren 100 mm beton dökülerek üretilmesidir. Bu deneyin amacı kompozit döşeme ve kirişlerde kayma bağlayıcısı olarak 650 mm boyunda bir kirişte 1 adet saplamanın 100 mm yüksekliğindeki beton döşemedeki davranışının ve kırılma türünün incelenmesidir.

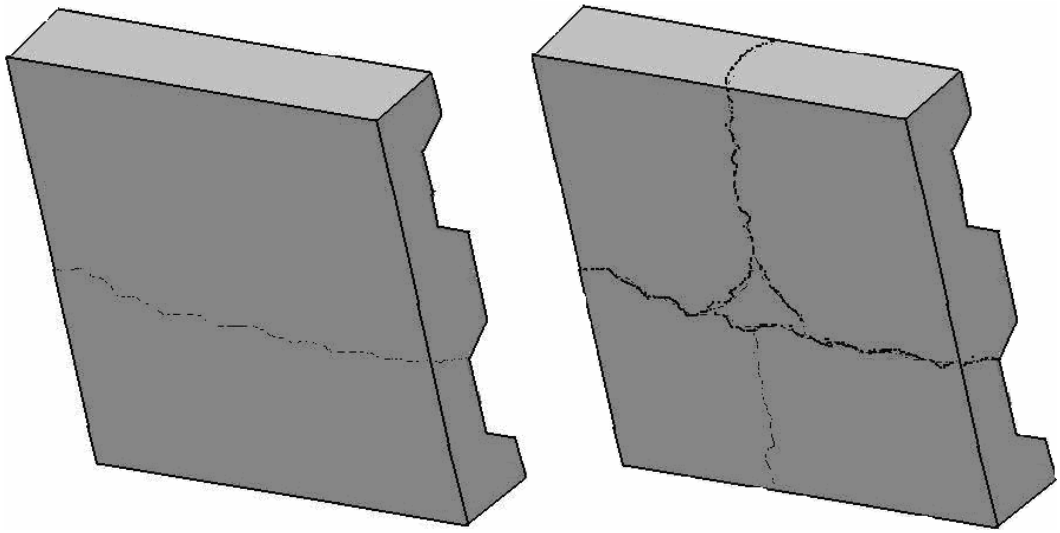
Bu deney düzeneğinde yüklemeye başladıktan hemen sonra 30 kN civarlarında saçlardan ayrılma sesleri gelmeye başladı ve 60 kN'da sağ döşemede saçların iyice ayrıldığı görüldü. Yükleme arttıkça saçlarda oluşan ayrılmalar da sürekli arttı. 125 kN'da (Şekil 5.4) sağ taraftaki döşeme aniden çatladı ve yük azalmaya başladı. Yüklemeye devam edilen sistemde 100 kN'lar civarında iki tarafta da önce saplamanın üstünde daha sonra altında olmak üzere düşey çatlaklar oluştu. Sistemde yük 105 kN'u gösterirken sağ saplamanın kaynağının kopmasıyla deney sona erdi.



Şekil 5.4 1K10 numunesi başlık yükü- deplasman grafiği

5.1.1.2.1. Deney numunelerinin kırılma biçimi

Deney sırasında betonda oluşan çatlakların yerleri ve tipleri, kırılmalar ve yerleri iki döşeme için de yaklaşık aynı şekilde olmuştur. Her iki döşemede de önce alt zayıf eksende kayma bağlayıcısının altında kırılma oluşmuştur. Sonra bağlayıcı hizasında dikine kırılmalar olmuştur. 1K10 numunesinin en büyük yük ve göçme durumlarında oluşan kırılma şekilleri Şekil 5.5'te gösterildiği gibidir. Bir kayma bağlayıcısına düşen en büyük yük 63 kN olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.5 1K10 numunesinin en büyük yük ve göçme durumlarında oluşan kırılma şekilleri

1K10 deneyinde kayma bağlayıcısı ile betonun saçla birleştiği yerden itibaren betonda kırılma ve kayma bağlayıcısında küçük eğilme deformasyonu meydana gelmiştir. Kamanın çevresindeki betonun önce çatlayıp artan yük ve deformasyonla ezildiği Şekil 5.6'da olduğu gibi gözlenmiştir. Eurocode-4'te tarif edilen beşinci tür kırılma olmuştur.



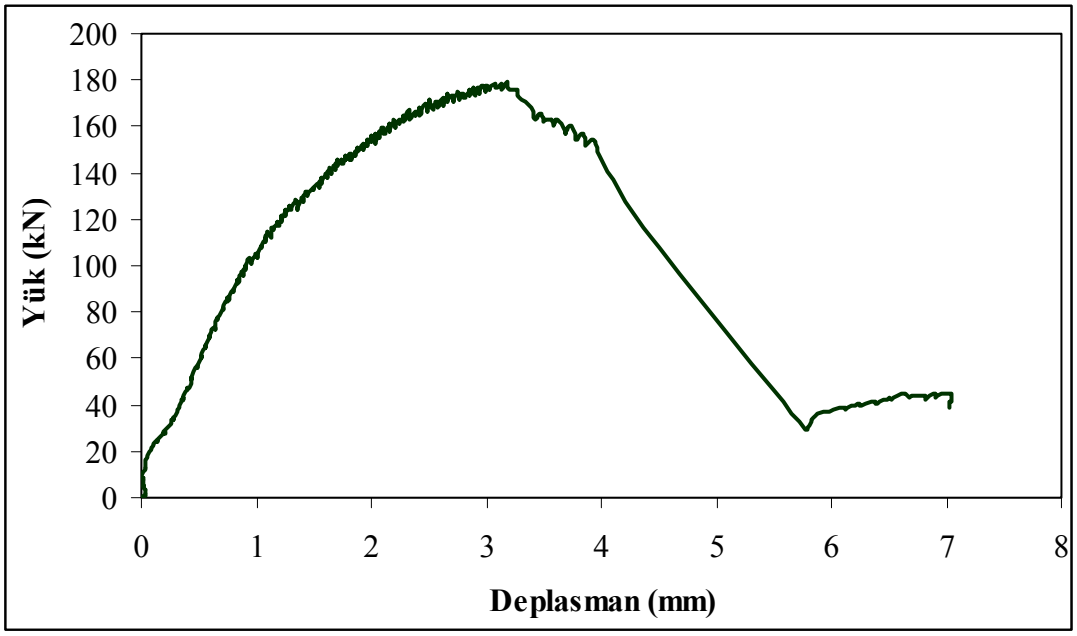
Şekil 5.6 Saplama etrafındaki betonun ezilmesi ve çekme kayma kırılması

5.1.2. 12 cm döşeme yükseklikli numuneler

5.1.2.1. (1E12) numunesi

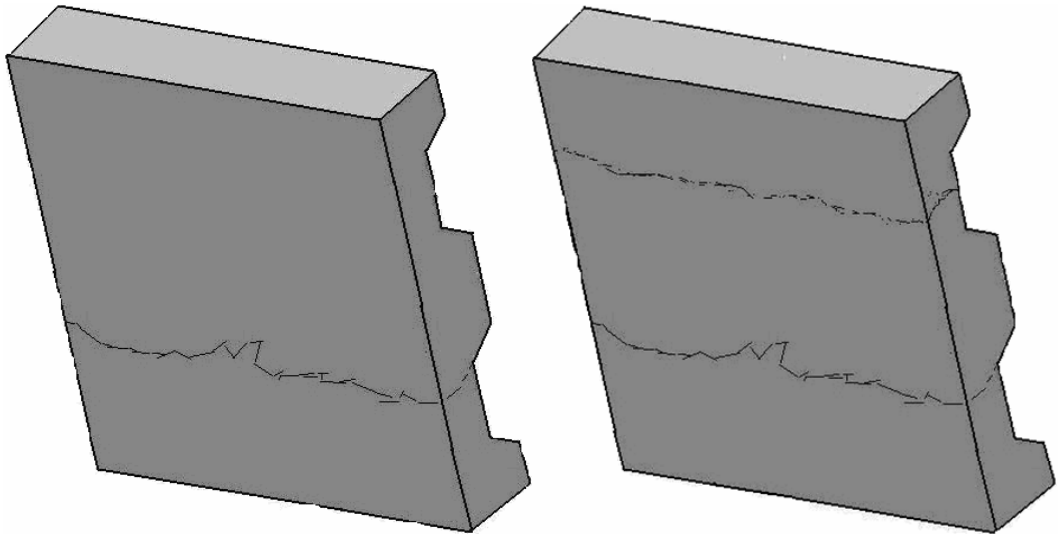
Bu numunenin özellikleri 1 tane eksismik çeliğinin güçlü eksende katlanmış çelik saçla beraber çelik profile kaynaklanmasından sonra katlanmış çelik sacın altından itibaren 120 mm beton dökülerek üretilmesidir. Bu deneyin amacı kompozit döşeme ve kirişlerde kayma bağlayıcısı olarak 650 mm boyunda bir kirişte 1 adet eksismik çeliğinin 120 mm yüksekliğindeki beton döşemedeki davranışının ve kırılma türünün incelenmesidir.

Deney düzeneğinde 130 kN'da saçların ayrılmaya başlamasına kadar hiçbir değişiklik olmadı. Yük 150-160 kN'lara geldiğinde sistemden yoğun sesler gelmeye başladı ve yük 179 kN'u gösterdiğinde sağ döşeme zayıf ekseninden çekme bölgesinden aniden çatladı. Şekil 5.7'de 1E12 deneyi kırılma anına kadar başlık yükü-deplasman grafiği görülmektedir. Hemen ardından 174 kN'da sol döşeme üst zayıf eksendeki çekme bölgesinden kırıldı. Üst bölge kırılınca tamamen bağlayıcının alt kısmına aktarılan yük sebebiyle 165 kN'da sağ döşemenin alt zayıf ekseni hemen akabinde de sol alt döşemenin zayıf ekseni 153 kN'da boydan boya kırıldı.



Şekil 5.7 1E12 numunesi başlık yükü- deplasman grafiği

5.1.2.1.1. Deney numunelerinin kırılma biçimi



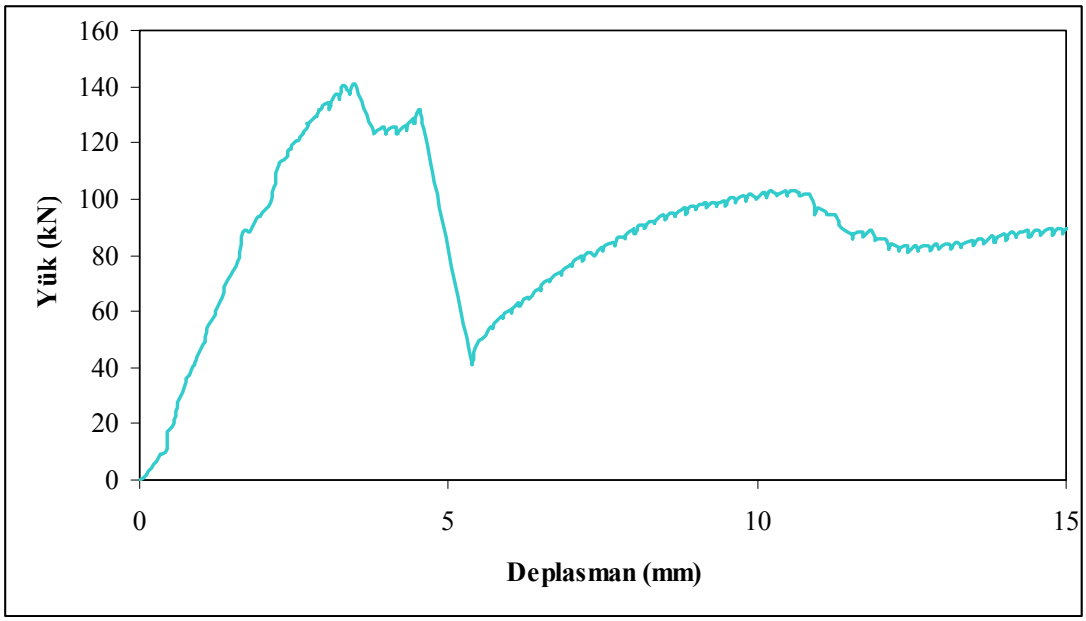
Şekil 5.8 1E12 numunesinin en büyük yük ve göçme durumlarında oluşan kırılma şekilleri

Artan yük altında iki numunenin de alt zayıf ekseni kırılmıştır. Devam eden yük altında da Şekil 5.8'de görüldüğü gibi beton kırılmıştır. Kayma bağlayıcılarında çok

az deplasman olmuştur. Eurocode-4'te tarif edilen ikinci tür kırılma olmuştur. 1 kayma bağlayıcısına düşen en fazla yük 79 kN'dur.

5.1.2.2. (1K12) numunesi

Bu numunenin özellikleri 1 tane başlıklı saplamanın güçlü eksende katlanmış çelik saçla beraber çelik profile kaynaklanmasından sonra katlanmış çelik sacın altından itibaren 120 mm beton dökülerek üretilmesidir. Bu deneyin amacı kompozit döşeme ve kirişlerde kayma bağlayıcısı olarak 650 mm boyunda bir kirişte 1 adet eksismik çeliğinin 120 mm yüksekliğindeki beton döşemedeki davranışının ve kırılma türünün incelenmesidir.

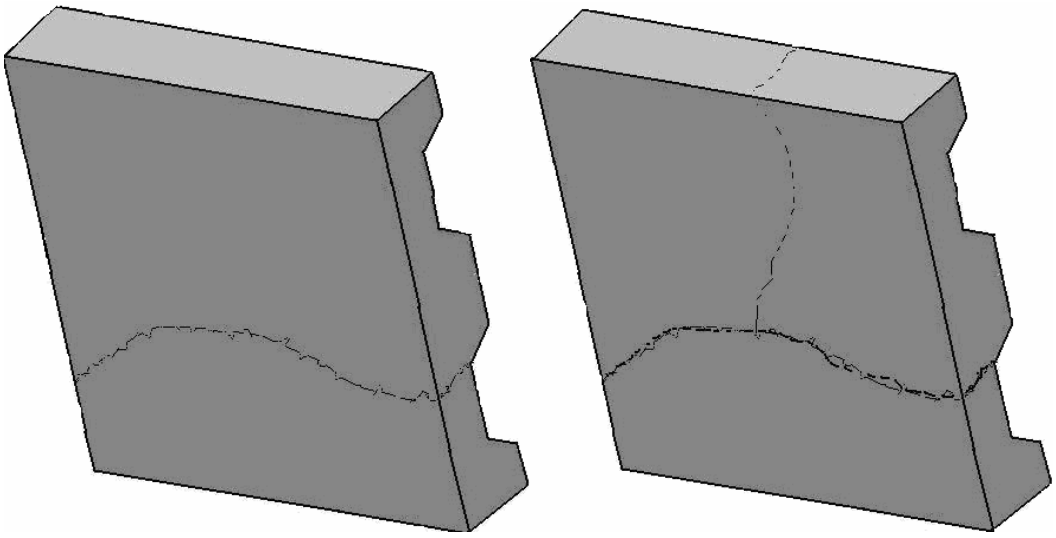


Şekil 5.9 1K12 numunesi başlık yükü- deplasman grafiği

Bu çalışmada deney düzeneği düzgün bir şekilde yüklenirken 70 kN civarlarında saçlarda ayrılma meydana gelmeye başladı. Sistemdeki yük 140 kN'u gösterdiğinde sağ tarafta bağlayıcının hemen altındaki zayıf eksenden beton aniden kırıldı. Şekil 5.9 1K12 deneyi kırılma anına kadar başlık yükü- deplasman grafiğini göstermektedir. Sisteme yüklemenin devam edilmesiyle, sağ tarafta bağlayıcının üzerinde betonda dikey bir kırılma oldu. Bütün yükün sağ tarafa aktarılması sebebiyle yük 73 kN'na çıktığında sağ bağlayıcının kaynağı bu yüke dayanamayarak

koptu ve ardından sol bağlayıcının kaynağının da 86 kN'da kopmasıyla deney sona erdi.

5.1.2.2.1. Deney numunelerinin kırılma biçimi



Şekil 5.10 1K12 numunesinin en büyük yük ve göçme durumlarında oluşan kırılma şekilleri

Sağ taraftaki numunelerde öce alt zayıf eksende döşemede enine kırılmalar olmuş ve Şekil 5.10'da da görüldüğü gibi saplama hizasında boyuna kırılmalar oluşmuştur. Saplama etrafında da Şekil 5.11'de görüldüğü gibi çekme kayma kırılması oluşmuştur.



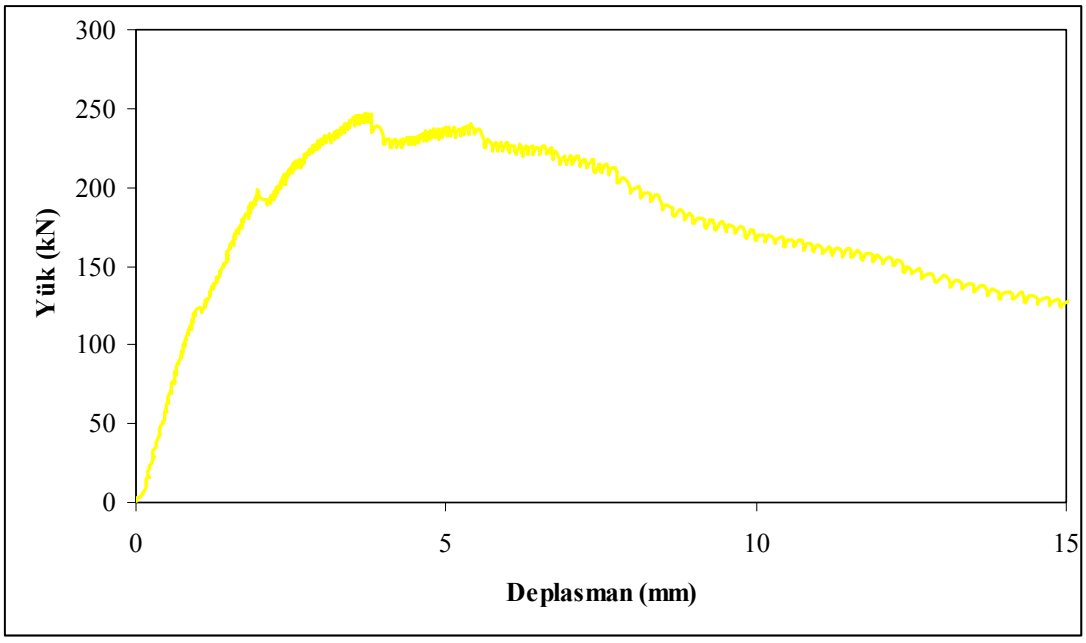
Şekil 5.11 1K12 de oluşan çekme kayma kırılması

5.2. İkinci Grup Deney (2 Adet kayma bağlayıcılı numuneler)

5.2.1. 10 cm döşeme yükseklikli numuneler

5.2.1.1. (2E10) numunesi

Numunenin özellikleri 2 tane eksismik çeliğinin güçlü eksende katlanmış çelik saçla beraber çelik profile kaynaklanmasından sonra katlanmış çelik sacın altından itibaren 100 mm beton dökülerek üretilmesidir. Bu deneyin amacı kompozit döşeme ve kirişlerde kayma bağlayıcısı olarak 650 mm boyunda bir kirişte 2 adet eksismik çeliğinin 100 mm yüksekliğindeki beton döşemedeki davranışının ve kırılma türünün incelenmesidir.



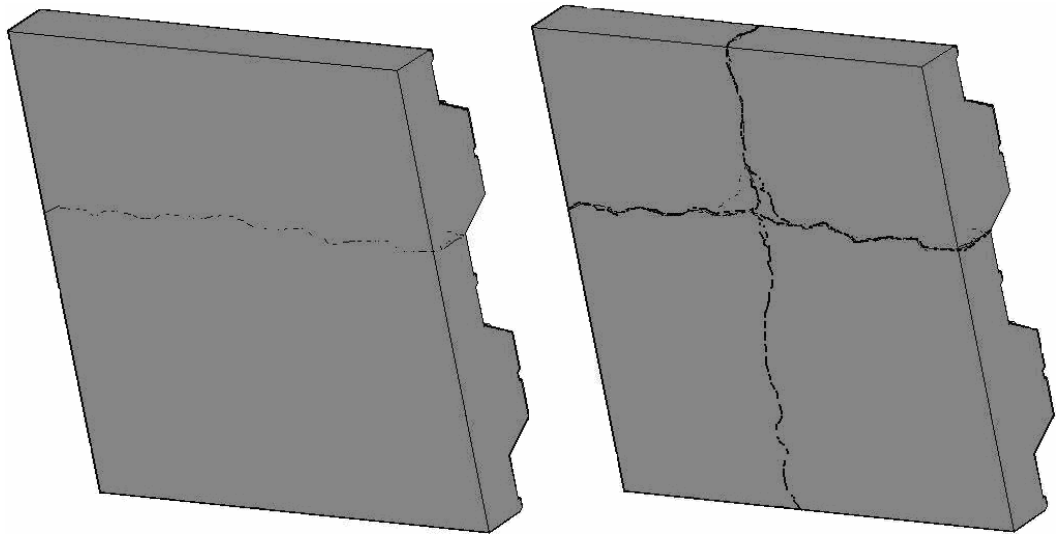
Şekil 5.12 2E10 numunesi başlık yükü- deplasman grafiği

Eksismik çeliğinin kayma bağlayıcısı olarak 100 mm döşemede kullanıldığı bu deneylerde yükleme 80 kN'lar civarına ulaştığında saçlarda betondan ayrılmalar başladı. 180 kN'da da sistemden yoğun sesler gelmeye başladı. 246 kN'da sağ tarafta

bağlayıcının altındaki beton ezildi ve ardından düşey çatlaklar oluşmaya başladı. Şekil 5.12 2E10 deneyi kırılma anına kadar başlık yükü- deplasman grafiği verilmiştir. Devam eden yükleme sebebiyle sağdaki düşey çatlağın hemen ardından solda da bağlayıcılar hizasında düşey çatlak oluştu. Deplasman artarak devam ederken sistemin yükü oluşan çatlakların artmasıyla giderek azalarak sistemin artık yük almamasıyla deney son buldu.

5.2.1.1.1. Deney numunelerinin kırılma biçimi

Deney sırasında kırılan ilk bölge, üst kayma bağlayıcısının hemen altındaki zayıf beton kesitin üst bölgesidir. Ardından kayma bağlayıcısının hizasında, boyuna bir kırılma gerekleşmiş ve en son olarak da üst kayma bağlayıcısının çevresinde de Şekil 5.13'de görüldüğü gibi büyük çatlaklar meydana gelmiştir.



Şekil 5.13 2E10 numunesinin en büyük yük ve göçme durumlarında oluşan kırılma şekilleri

Bu deneyde Eurocode-4'te tarif edilen beşinci grup çekme kayma gerilmeleri olmuştur. Her iki kayma bağlayıcısında da büyük deformasyonlar oluşmuştur. Şekilde 5.14'de görüldüğü gibi betonu ezip, sacı da yırtan kayma bağlayıcısı eğilmesine rağmen kopmayarak etrafındaki betonu ezerek sacı parçalamıştır.

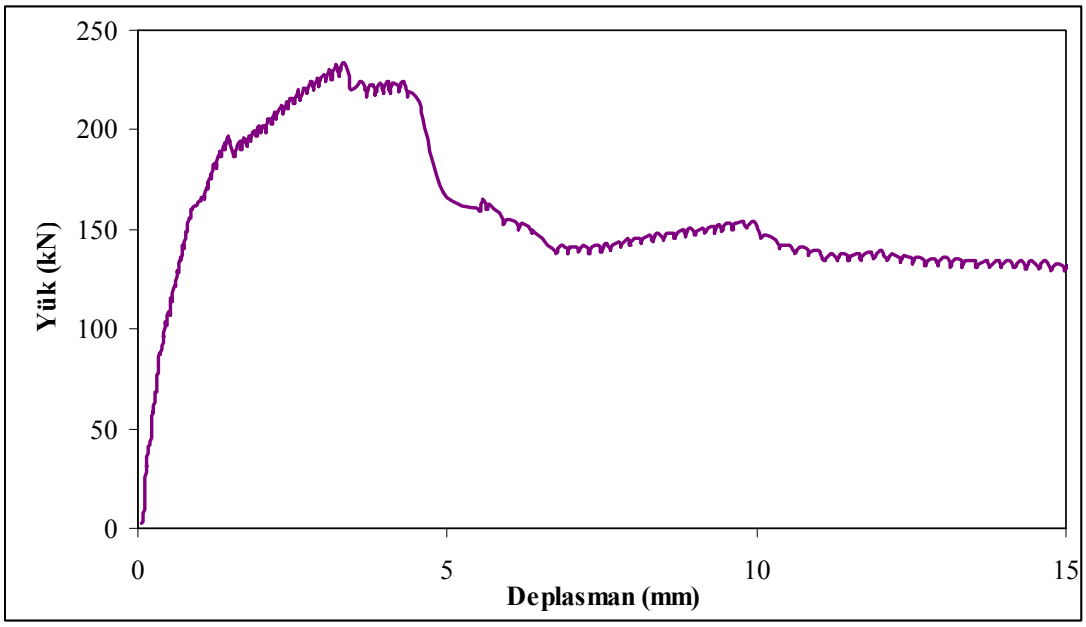


Şekil 5.14 Kayma bağlayıcısı betonu ezerek sacı yırtıyor

5.2.1.2. (2K10) numunesi

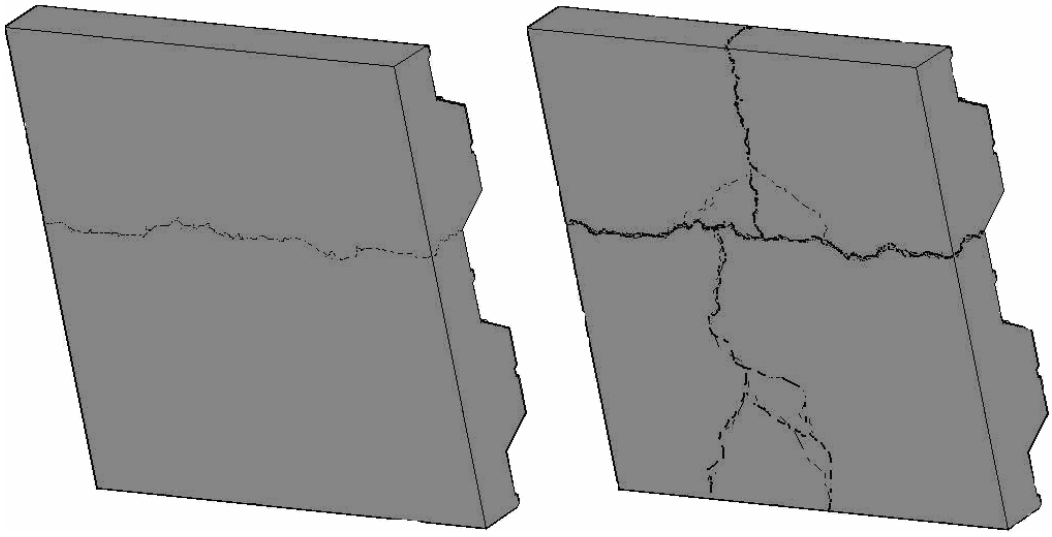
Bu deney numunenin özellikleri 2 tane saplamanın güçlü eksende katlanmış çelik saçla beraber çelik profile kaynaklanmasından sonra katlanmış çelik sacın altından itibaren 100 mm beton dökülerek üretilmesidir. Bu deneyin amacı kompozit döşeme ve kirişlerde kayma bağlayıcısı olarak 650 mm boyunda bir kirişte 2 adet kamanın 100 mm yüksekliğindeki beton döşemedeki davranışının ve kırılma türünün incelenmesidir.

Deney düzeneği yavaş yavaş yüklenmeye başladı. Yük ölçer 150 kN'u gösterdiğinde sistemden saçların ayrılma sesleri gelmeye başladı. 233 kN'da sağ döşeme zayıf eksenden enine çatlamaya başladı. Çatlamadan sonra azalan yüklemede sistemde yükü 209 kN'u gösterince sağ üst kama atmış ve yük azalmıştır. Yük 120-130 kN'da sabit kalırken deplasman artmaya devam etti ve bu arada kamaların hizasından düşey çatlaklar oluştu. Şekil 5.15 2K10 deneyi kırılma anına kadar başlık yükü- deplasman grafiği görülmektedir.



Şekil 5.15 2K10 numunesi başlık yükü- deplasman grafiği

5.2.1.2.1. Deney numunelerinin kırılma biçimi



Şekil 5.16 2K10 numunesinin en büyük yük ve göçme durumlarında oluşan kırılma şekilleri

Her iki döşeme de yaklaşık aynı şekilde ve aynı anda kırılmıştır. Kırılan ilk bölge, üst kayma bağlayıcısının hemen altındaki zayıf beton kesitin üstündeki bölgedir. Ardından kayma bağlayıcısının hizasında, yukarıya doğru boyuna bir

kırılma gerekleşmiş ve üst kayma bağlayıcısının çevresinde de büyük çatlaklar meydana gelmiştir. Son olarak da alt kayma bağlayıcısının da etrafında kırılmalar meydana gelerek çatlaklar en alta kadar inmiştir. Şekil 5.16'da 2K10 deneyinde en büyük yük ve göçme durumlarında oluşan kırılma şekilleri verilmiştir.



Şekil 5.17 Kayma bağlayıcılarında oluşan çekme kayma kırılması

Bu deneyde başlıklı saplamanın altındaki betonun ezilmesiyle bağlayıcının aşırı şekilde eğilmesine rağmen kopmaması sonucu Eurocode-4'te beşinci tip olarak tarif edilen Şekil 5.17'de verilen çekme kayma kırılması oluşmuştur.

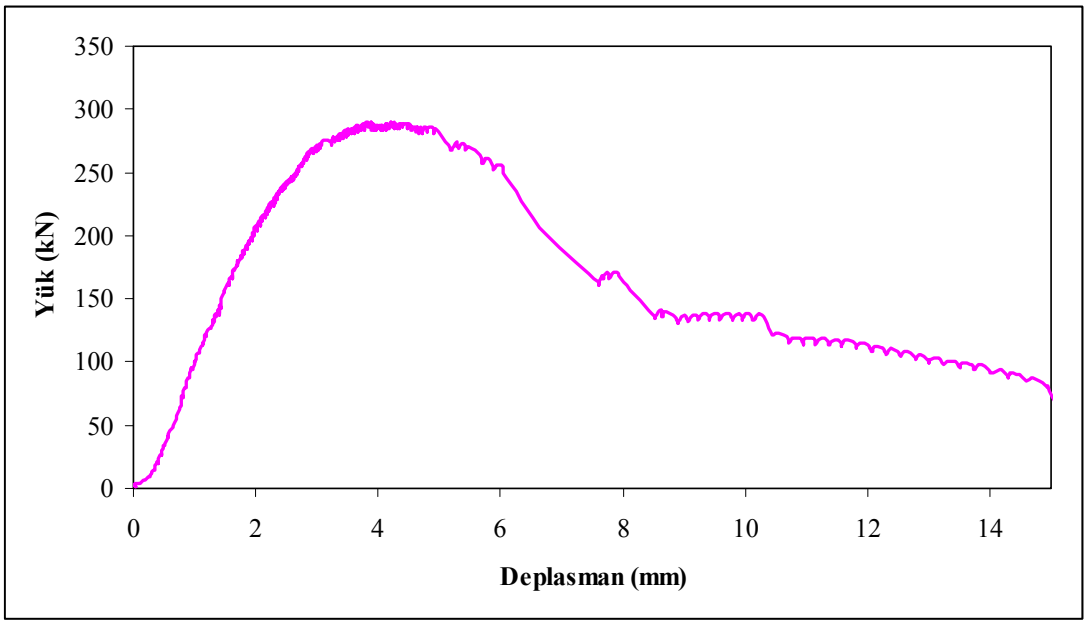
5.2.2. 12 cm döşeme yükseklikli numuneler

5.2.2.1. (2E12) numunesi

İkinci numunenin özellikleri 2 tane eksismik çeliğinin güçlü eksende katlanmış çelik saçla beraber çelik profile kaynaklanmasından sonra katlanmış çelik sacın altından itibaren 120 mm beton dökülerek üretilmesidir. Bu deneyin amacı kompozit döşeme ve kirişlerde kayma bağlayıcısı olarak 300 mm arayla 2 adet eksismik çeliğinin 120 mm yüksekliğindeki beton döşemedeki davranışının ve kırılma türünün incelenmesidir.

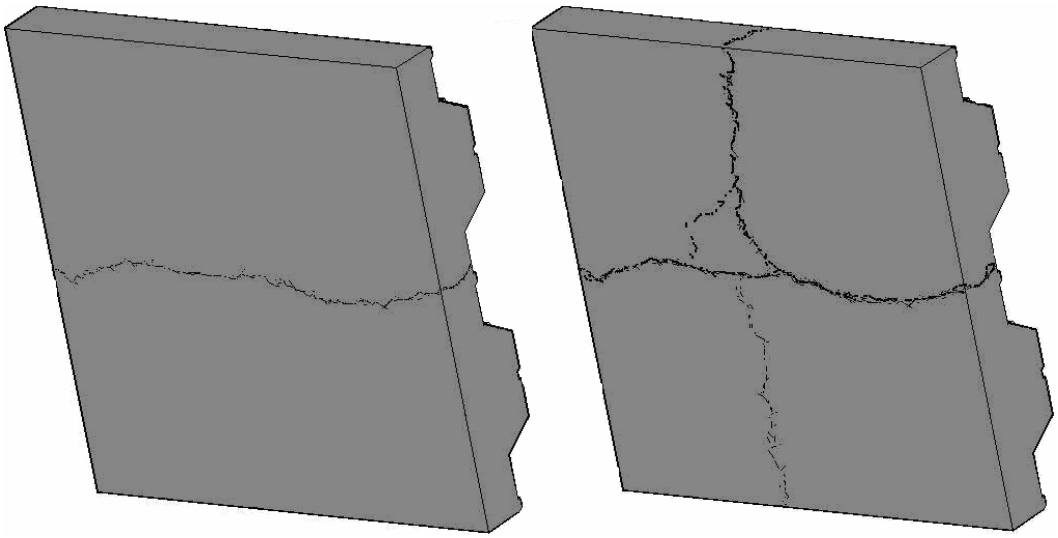
Deney düzeneği yüklemeye başladıktan itibaren 30 kN'dan sonra saçlardan ayrılma sesleri gelmeye başladı. Yaklaşık 70 Kn'da üst taraftaki saçlar gözle görülür biçimde ayrılmaya başladılar. 240 kN'a ulaşıldığında sol döşemede üst kayma bağlayıcısı ile kanal arasındaki beton ezildi. Yük 290 kN'a ulaştığında sağ döşemede

kanal üzerindeki betonda çekme bölgesinde çatlamalar başladı ve yük azalmaya başladı. Döşemenin kırılmasıyla zayıflayan sağ döşemenin üst bölgesinde yük aniden 201 kN'a düştü ve bu yükte sol üst kayma bağlayıcısının altındaki beton da ezilerek yük aniden 160 kN'lar civarına düştü. Sol döşemenin yük alamamasından bütün yükün sağ döşemeye aktarılmasıyla 163,3 kN'da sol beton da kanala paralel bir şekilde tamamen kırılmıştır. Betonun kırılmasıyla yük aniden 130 kN'lara azalmış ve yük azalmaya başlamıştır. Yük 81,4 kN'a düşerken betonu tamamen ezmiş ve deplasmanın 15 mm ye kadar da yükselmesiyle oluşan eğilme momentiyle beraber sol alt kayma bağlayıcısı kopmuştur. Bu kopmadan itibaren de sistem artık yük alamaz halde geldi. Şekil 5.18'de kırılma anına kadar başlık yükü-deplasman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.18 2E12 numunesi başlık yükü- deplasman grafiği

5.2.2.1.1. Deney numunelerinin kırılma biçimi



Şekil 5.19 2E12 numunesinin en büyük yük ve göçme durumlarında oluşan kırılma şekilleri

Her iki döşeme de yaklaşık aynı şekilde ve aynı anda kırılmıştır. Kırılan ilk bölge, üst kayma bağlayıcısının hemen altındaki zayıf beton kesitin üstündeki bölgedir. Ardından kayma bağlayıcısının hizasında, yukarıya doğru boyuna bir kırılma gerçekleşmiş ve üst kayma bağlayıcısının çevresinde de büyük çatlaklar meydana gelmiştir. Son olarak da alt kayma bağlayıcısının da etrafında kırılmalar meydana gelerek çatlaklar en alta kadar inmiştir (Şekil 5.19).

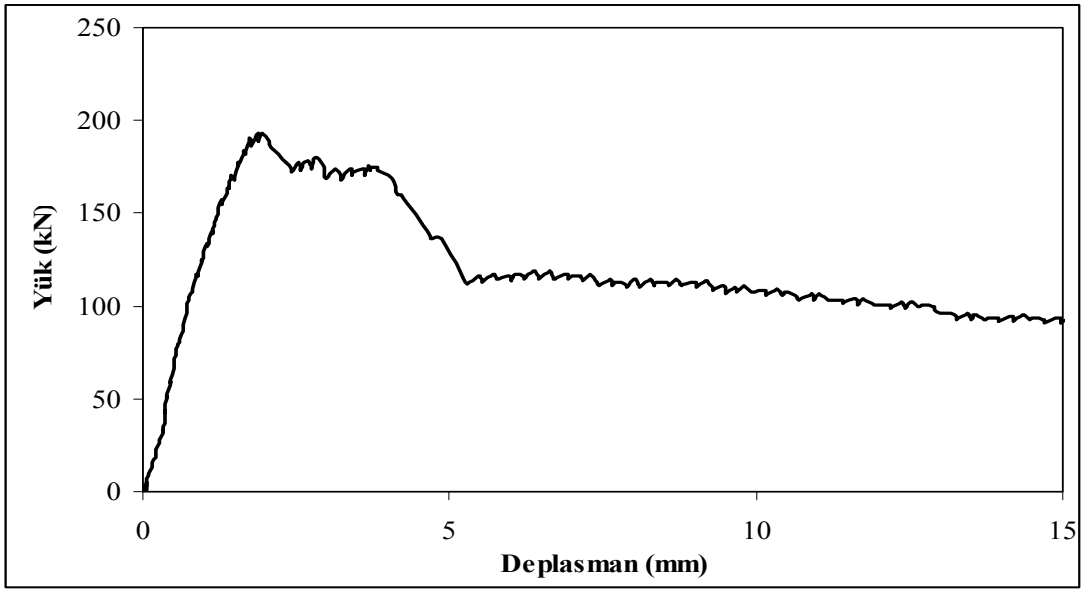
Bu deneyde Eurocode-4'te beşinci tip olarak tarif edilen çekme kayma kırılması oluşmuştur. Bu kırılmalar oluşuncaya kadar kayma bağlayıcıları eğilerek deforme olmuştur. Şekil 5.20'de 2E12 deneyinde oluşan kırılma şekli verilmiştir. Bağlayıcı etrafında oluşan kırılmalar incelendiğinde nervüllerin betonu sıkıca kavradığı görülmüştür.



Şekil 5.20 2E12 deneyinde oluşan kırılma

5.2.2.2. (2K12) numunesi

Bu numunenin özellikleri 2 tane başlıklı saplamanın güçlü eksende katlanmış çelik saçla beraber çelik profile kaynaklanmasından sonra katlanmış çelik sacın altından itibaren 12 cm beton dökülerek üretilmesidir. Bu deneyin amacı kompozit döşeme ve kirişlerde kayma bağlayıcısı olarak 30 cm arayla 2 adet başlıklı saplamaların 12 cm yüksekliğindeki beton döşemedeki davranışının ve kırılma türünün incelenmesidir.



Şekil 5.21 2K12 numunesi başlık yükü- deplasman grafiği

Deneyin başlamasıyla birlikte artan yükün etkisiyle gerilen saçlardan 30 kN'luk yükten sonra sesler gelmeye başladı. 70 kN'luk yük uygulandığında saçlar betondan üst taraftan itibaren yaklaşık 2–3 mm kadar açılmaya başladı. Sisteme uygulana yük tam 190 kN'u gösterdiğinde sol döşemenin alt saplamasında kaynak kırılması meydana geldi. Şekil 5.21'de 2K12 deneyi kırılma anına kadar başlık yükü-deplasman grafiği verilmiştir. Düşey yükü karşılayan dört saplamanın bir tanesi kırılınca yük düşmeye başladı. 160 kN'a düşen yükü üç saplama taşımaya çalışırken sağ döşemenin alt saplamasında da kırılma meydana geldi ve yük aniden 110 kN'lar civarına düştü. 110 kN'lardan yavaş yavaş 100 kN'lar civarına düşen yük sırasında geriye kalan 2 saplamadan biri daha kırıldı ve yük aniden 90 kN'lara düştü. Son saplama olan sağ döşemenin üst saplaması kırılarak deney son buldu.

5.2.2.2.1. Deney numunelerinin kırılma biçimi

Bu deneyde Şekil 5.23'de görüldüğü gibi Eurocode-4'te belirtilen ikinci grup kırılma türü olmuştur. Ancak bu deneyde kayma bağlayıcısı çok fazla eğilmesi ve saplama çevresinde beton kopması oluşurken, kaynak daha fazla dayanamayarak aniden kırıldı ve koptu. Saplamada oluşan deformasyon Şekil 5.22'de görülmektedir.



Şekil 5.22 Sol döşeme üst saplamasının deforme olmuş hali



Şekil 5.23 Sol üst döşemede oluşmuş saplama ayağındaki bölgede oluşan beton kırılması (Eurocode-4'te tarif edilen ikinci grup kırılma)

6. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde özdeş şekilde üretilen her numune birbiriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken ilk çatlamanın tespit edildiği yük, numunenin taşıyabildiği en büyük yük, kayma bağlayıcılarına düşen en fazla yük, oluşan yer değiştirmeler ve kırılma biçimleri ele alınmıştır.

6.1. Birinci Grubun 10 cm Beton Yükseklikli Numunelerinin Karşılaştırılması (1E10-1K10)

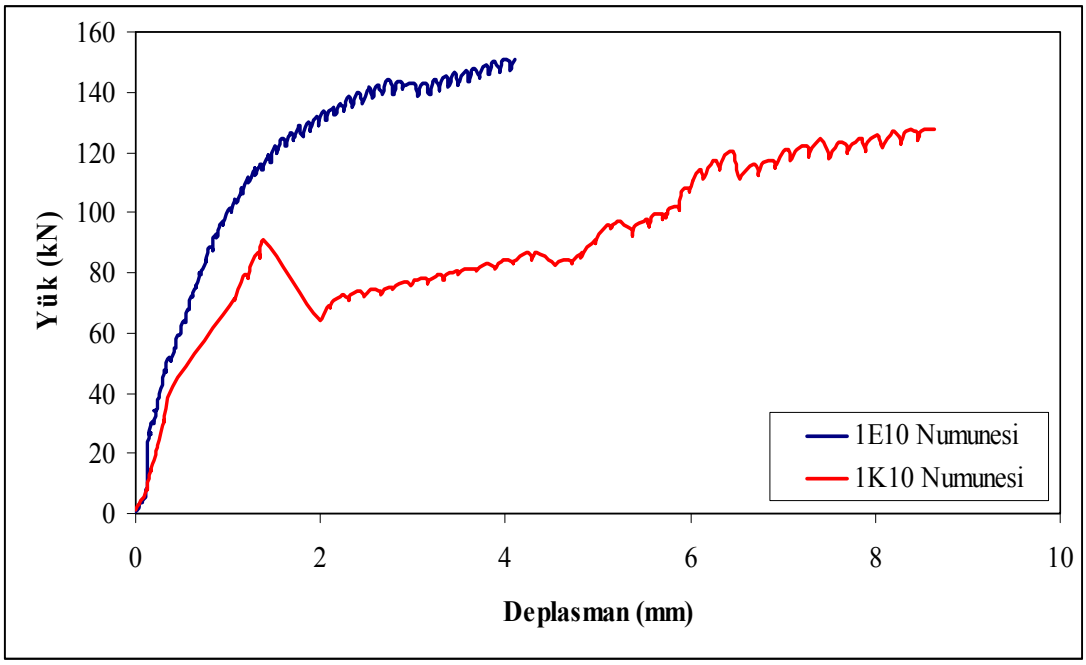
1E10 numunesinin aldığı en büyük yük 150 kN iken 1K10 numunesinin aldığı en büyük yük 126 kN dur. Bir kayma bağlayıcısına düşen yük 1E10 için 75 kN iken 1K10 için 63 kN'dur. Buna göre eksismik çeliği kullanılarak üretilen 1E10 numunesi 1K10 numunesine göre %7 daha fazla yük taşımaktadır. Bu hesaplamalarda aynı enkesit alanına sahip kayma bağlayıcılarının kullanıldığı göz önüne alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Çizelge 6.1'de 1E10 ve 1K10 numunelerine ait değerler karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.1 Birinci grubun 10 cm beton yükseklikli numunelerine ait değerler

Tür	Kırılma Türü	1 Bağlayıcıya Düşen En Büyük Yük (kN)	En Büyük Yükte Başlık Deplasmanı (mm)
1E10	2. tür	75	4,1
1K10	5. tür	63	8,5

Bütün numunelerde en yüksek net başlık deplasmanını bulmak için bir formülasyon geliştirilmiştir. Profilin üzerine tam oturacak şekilde yerleştirilen plakanın sağ ve sol tarafına yerleştirilen LVDT'lerden alınan okumaların ortalamasından sağ ve sol betonun üzerine yerleştirilen LVDT'lerin ortalaması çıkarılarak net başlık deplasmanı elde edilmiştir.

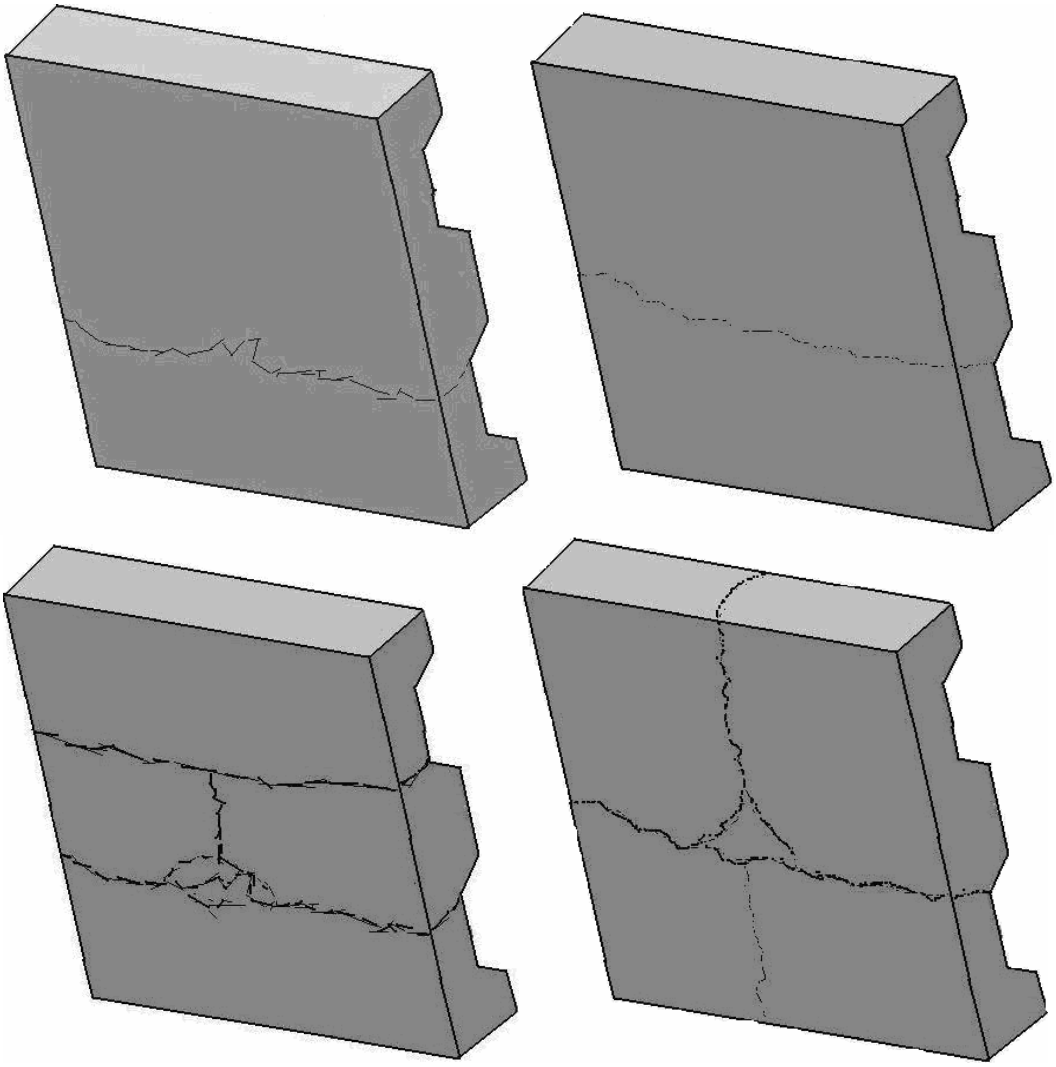
Şekil 6.1'den de görüldüğü gibi eksismik çelikli numune rijit bir davranış sergileyerek en yüksek yükte net 4,1 mm deplasman yaparak kırılmıştır. Saplamalı numunelerde ise daha sünek bir davranış sergileyerek başlıkta en yüksek yük altında 8,5 mm deplasman olmuştur. Her iki numune de kayma bağlayıcısı etrafında betonda çekme kayma kırılması yaparak kırılmıştır.



Şekil 6.1 1E10 ve 1K10 numunelerinin en büyük yüke kadar yük deplasman grafiği

Saplamaların üzerine yerleştirilen LVDT'lerden alınan okumalar deneydeki kırılma türlerine uyuşan paralel sonuçlar vermiştir. Eurocode-4'te tarif edilen ikinci tür kırılmanın olduğu 1E10 numunelerinde aynı Eurocode-4'te tarif edildiği gibi saplamalarda küçük şekil değiştirmeler olmuş ve saplama çevresindeki betonda ezilmeler meydana gelmiştir. 1K10 numunelerinde ise standartta tarif edilen beşinci grup kırılma oluşmuş olup bu kırılmada saplamalarda büyük şekil değiştirmeler oluşarak betonda ezilmeler ve çekme kayma kırılmaları oluşmuştur.

Başlıklı saplamanın kayma bağlayıcısı olarak kullanıldığı numunede betonun başlığa yakın olan yerinde bir kopma olurken, eksismik çeliğinin kayma bağlayıcısı olarak kullanıldığı numunede aynı yerde betonun tamamen ezildiği Şekil 6.2'de görüldüğü gibi tespit edilmiştir.



1E10 1K10

Şekil 6.2 1E10 ve 1K10 numunelerinin en büyük yük ve göçme durumunda oluşan kırılma şekilleri

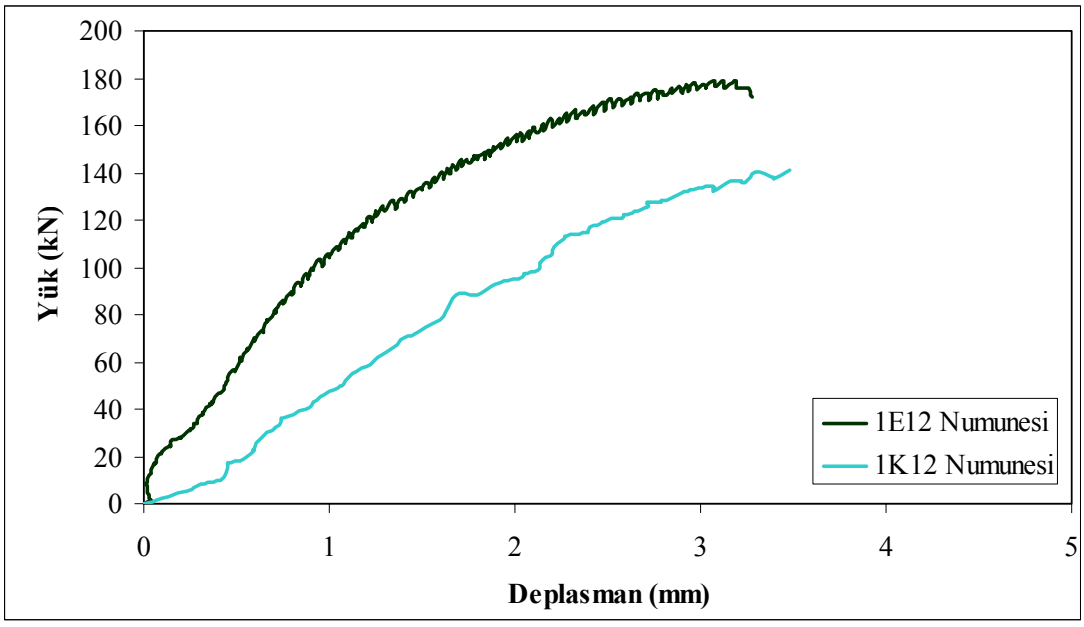
6.2. Birinci Grubun 12 cm Beton Yükseklikli Numunelerinin Karşılaştırılması (1E12-1K12)

1E12 numunesinin aldığı en büyük yük 178 kN iken 1K12 numunesinin aldığı en büyük yük 140 kN dur. Bir kayma bağlayıcısına düşen yük 1E12 için 79 kN iken 1K12 için 70 kN'dur. Buna göre eksismik çeliği kullanılarak üretilen 1E12 numunesi 1K12 numunesine göre %2 daha fazla yük taşımaktadır. Çizelge 6.2'de 1E12 ve 1K12 numunelerine ait değerler verilmiştir.

Çizelge 6.2 Birinci grubun 12 cm beton yükseklikli numunelerine ait değerler

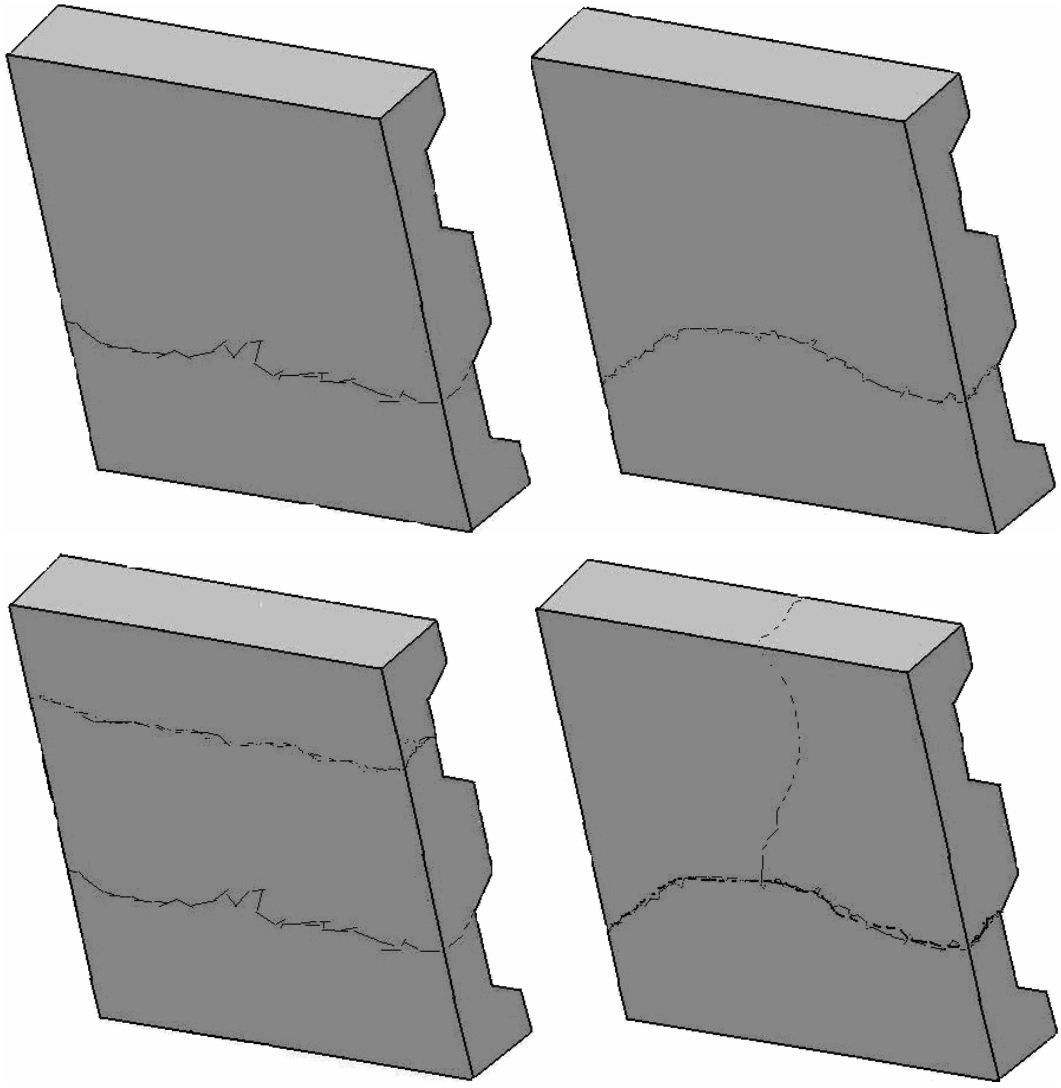
Tür	Kırılma Türü	1 Bağlayıcıya Düşen En Büyük Yük (kN)	En Büyük Yükte Başlık Deplasmanı (mm)
1E12	5. tür	79	3,2
1K12	5.tür	70	3,5

Aynı özelliklerde üretilen 1E12 ve 1K12 numunelerinin beton dayanımları da göz önüne alarak kıyaslandığında 1E12 numunesinin daha fazla yük altında kırılma sebebinin beton basınç dayanımının yüksek olduğu söylenebilir. Ancak Şekil 6.3'teki yük-deplasman grafiğine bakıldığında eksismik çelikli numunenin daha rijit bir davranış sergilediği tespit edilmiştir. Maksimum yükte oluşan yer değiştirmeleri kıyasladığımızda ise başlıklı saplamanın kullandığı numunede 3,5 mm'lik bir deplasman oluşurken, eksismik çeliğinin kullanıldığı numunede ise 3,2 mm'lik bir deplasman oluşmuştur.



Şekil 6.3 1E12 ve 1K12 numunelerinin en büyük yüke kadar yük deplasman grafiği

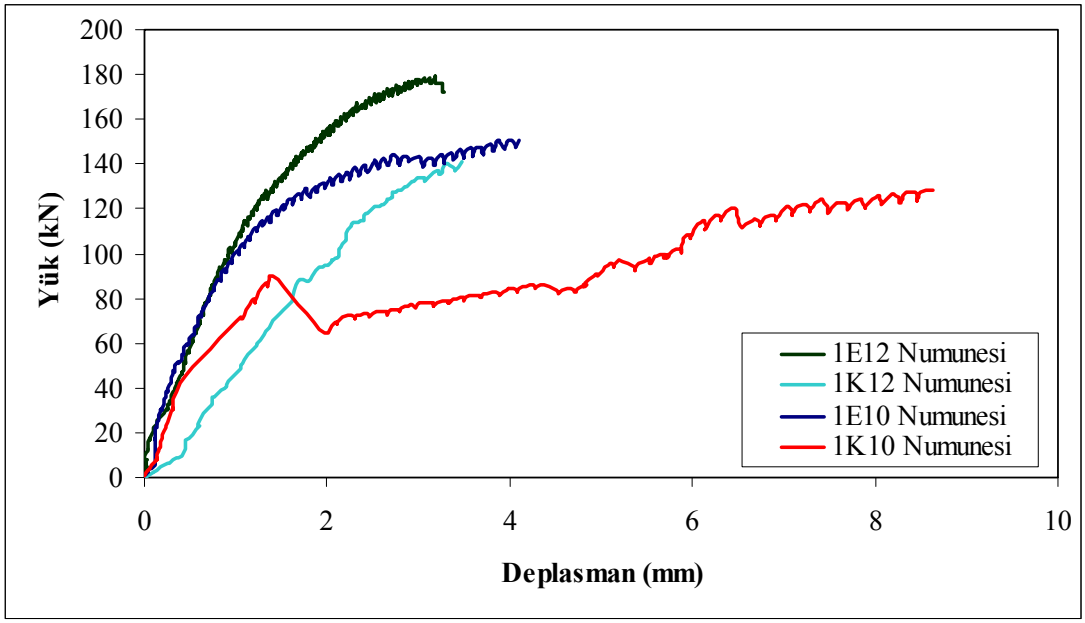
Döşemelerde oluşan kırılma türleri karşılaştırıldığında; hem 1E12 numunesinin hem de 1K12 numunesinin Şekil 6.4'de görüldüğü gibi alt zayıf eksenden kırıldığı tespit edilmiştir. Ancak devam eden yükleme altında eksismik çelikli numunelerde üst zayıf eksende de kırılma olurken, başlıklı saplamalı numune de zayıf eksene dik saplama hizasında bir çatlak oluşmuştur (Şekil 6.4).



1E12 1K12

Şekil 6.4 1E12 ve 1K12 numunelerinin en büyük yük ve göçme durumunda oluşan kırılma şekilleri

Şekil 6.5'de bir adet kayma bağlayıcılı numunelerin hepsi için yapılan karşılaştırmada beton dayanımlarının her numune için aynı olduğu düşünüldüğünde yaklaşık aynı davranışı sergilediği söylenebilir.



Şekil 6.5 Bir adet kayma bağlayıcılı numunelerin kırılma yüküne kadar yük-deplasman grafiği

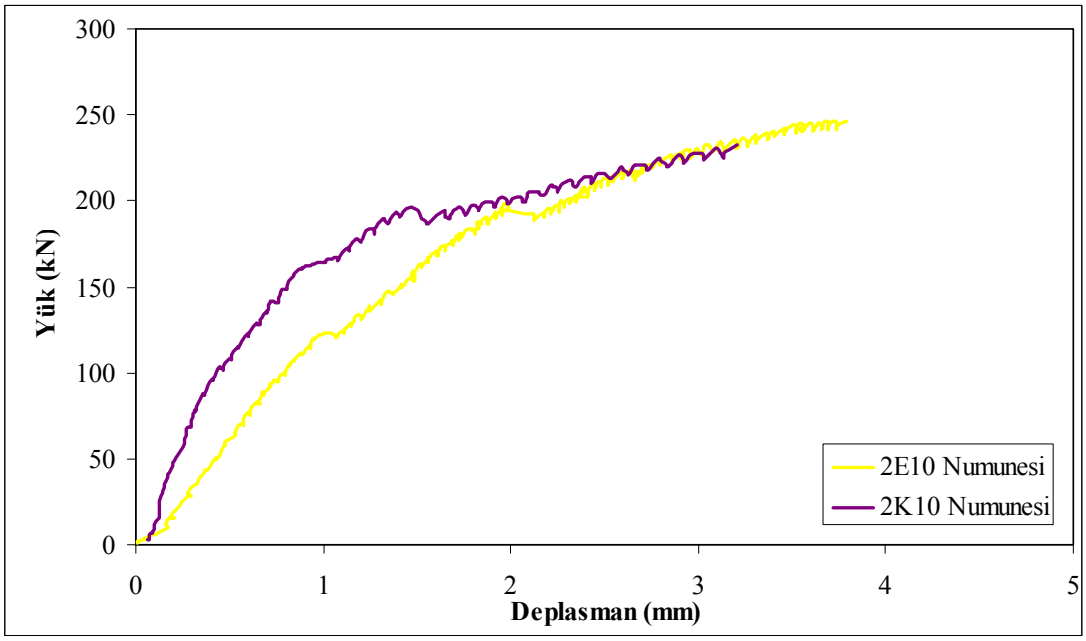
6.3. İkinci Grubun 10 cm Beton Yükseklikli Numunelerinin Karşılaştırılması (2E10-2K10)

2E10 numunesinin aldığı maksimum yük 248 kN iken 2K10 numunesinin aldığı en yüksek yük 232 kN dur. Bir kayma bağlayıcısına düşen yük 2E10 için 62 kN iken 2K10 için 58 kN'dur. Buna göre eksismik çeliği kullanılarak üretilen 2E10 numunesi 2K10 numunesine göre %4 daha az yük taşımaktadır. Çizelge 6.3'de her iki numune için değerler verilmiştir.

Çizelge 6.3 İkinci grubun 10 cm beton yükseklikli numunelerine ait değerler

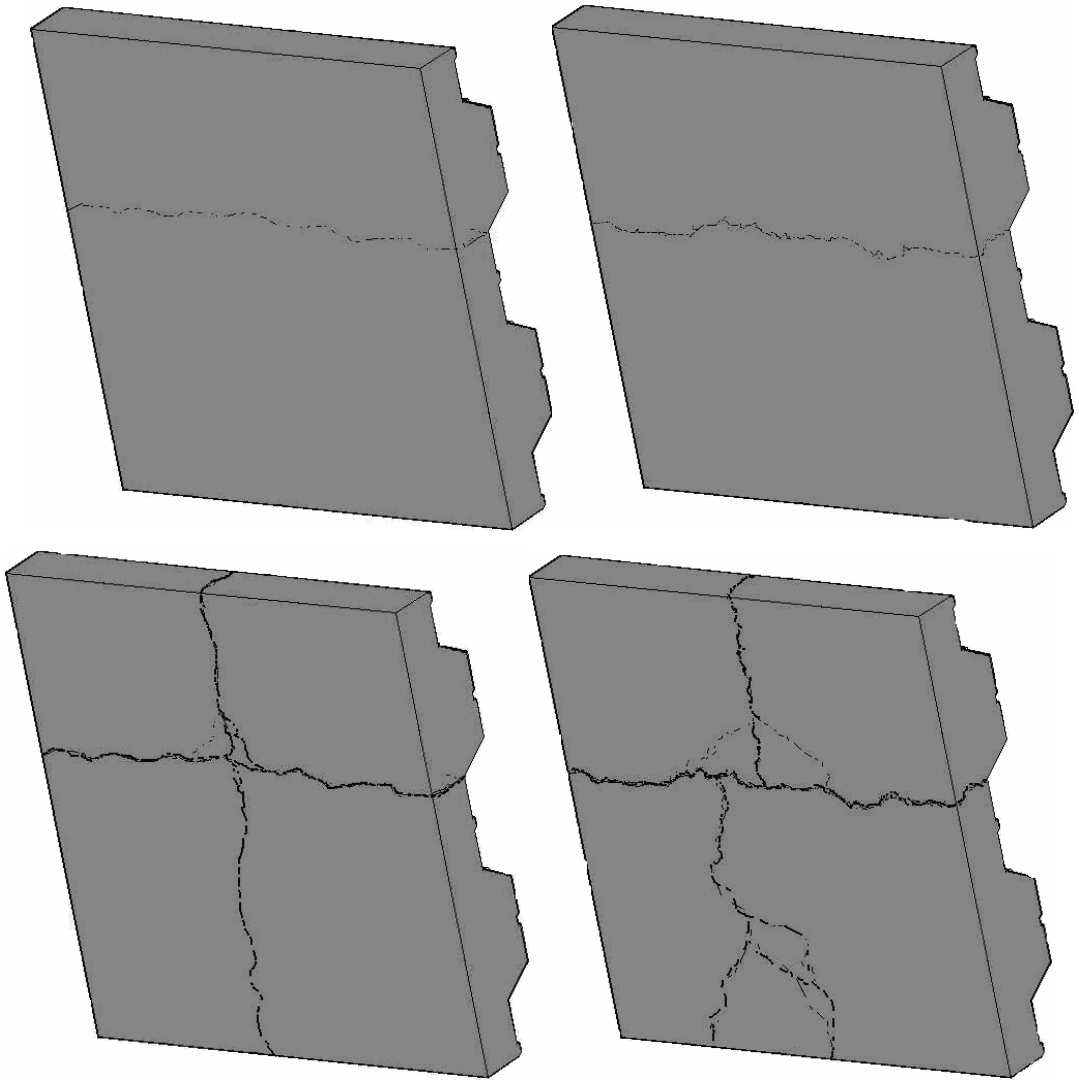
Tür	Kırılma Türü	1 Bağlayıcıya Düşen En Büyük Yük (kN)	En Büyük Yükte Başlık Deplasmanı (mm)
2E10	5.tür	62	3.8
2K10	5.tür	58	4,6

İki bağlayıcının kullanıldığı 10 cm yükseklikli döşemelerin Şekil 6.6'da yük-deplasman grafiğine bakıldığında eksismik çelikli numunelerin daha rijit davrandığı görülmüştür. Başlıklı saplamaların kayma bağlayıcısı olarak kullanıldığı numunelerde kırılmanın eksismik çeliğinin kayma bağlayıcısı olarak kullanıldığı numunelere kıyasla daha yavaş olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.6 2E10 ve 2K10 numunelerinin kırılma yüküne kadar yük-deplasman grafiği

2E10 numunesi 2K10 numunesinden daha fazla yük altında kırılmıştır. Bunun nedeni de beton dayanımları arasındaki farktan kaynaklanmaktadır. Şekil 6.6'daki yük-deplasman grafiği ile Şekil 6.7'deki döşemelerin kırılma şekillerine bakıldığında eksismik çelikli döşemenin de saplamalı döşemenin de yaklaşık aynı davranışı sergiledikleri görülmektedir. Döşeme betonu aynı zayıf eksenden kırılmış ve yaklaşık aynı yerden boyuna çatlama gerçekleşmiştir.



2E10 2K10

Şekil 6.7 2E10 ve 2K10 numunelerinin en büyük yük ve göçme durumunda oluşan kırılma şekilleri

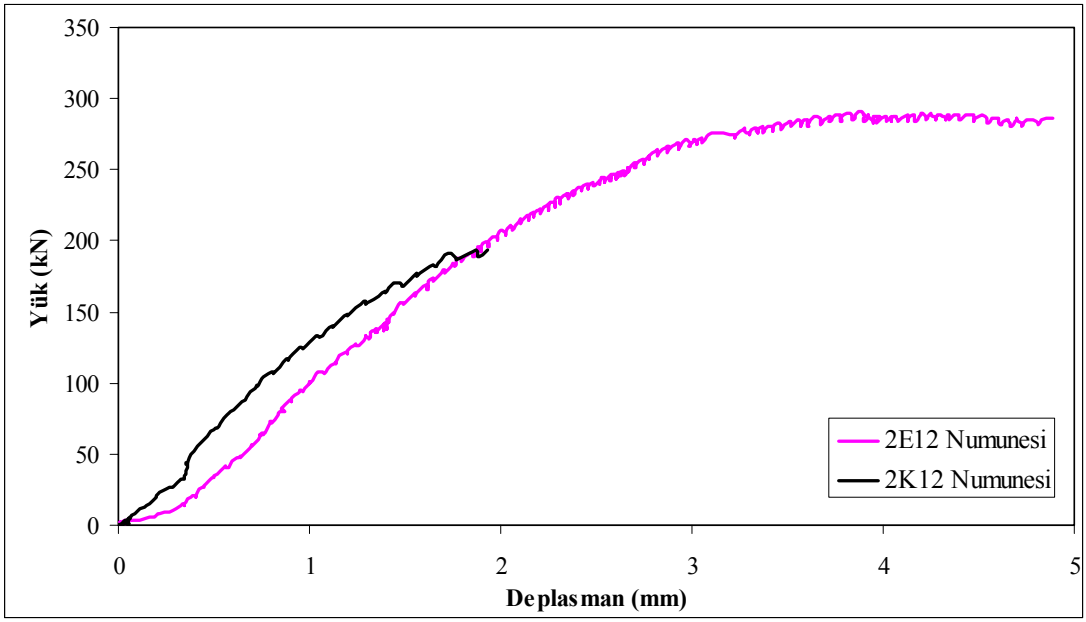
6.4. İkinci Grubun 12 cm Beton Yükseklikli Numunelerinin Karşılaştırılması (2E12-2K12)

2E12 numunesinin taşıdığı en büyük yük 292 kN iken 2K12 numunesinin aldığı en büyük yük 192 kN dur. Bir kayma bağlayıcısına düşen yük 2E12 için 73 kN iken 2K12 için 48 kN'dur. Buna göre eksismik çeliği kullanılarak üretilen 2E12 numunesi 2K12 numunesine göre %37 daha fazla yük taşımaktadır. Çizelge 6.4'te her iki numune için değerler verilmiştir.

Çizelge 6.4 İkinci grubun 12 cm beton yükseklikli numunelerine ait değerler

Tür	Kırılma Türü	1 Bağlayıcıya Düşen En Büyük Yük (kN)	En Büyük Yükte Başlık Deplasmanı (mm)
2E12	5.tür	73	4,1
2K12	Kaynak kırılması	48	4,5

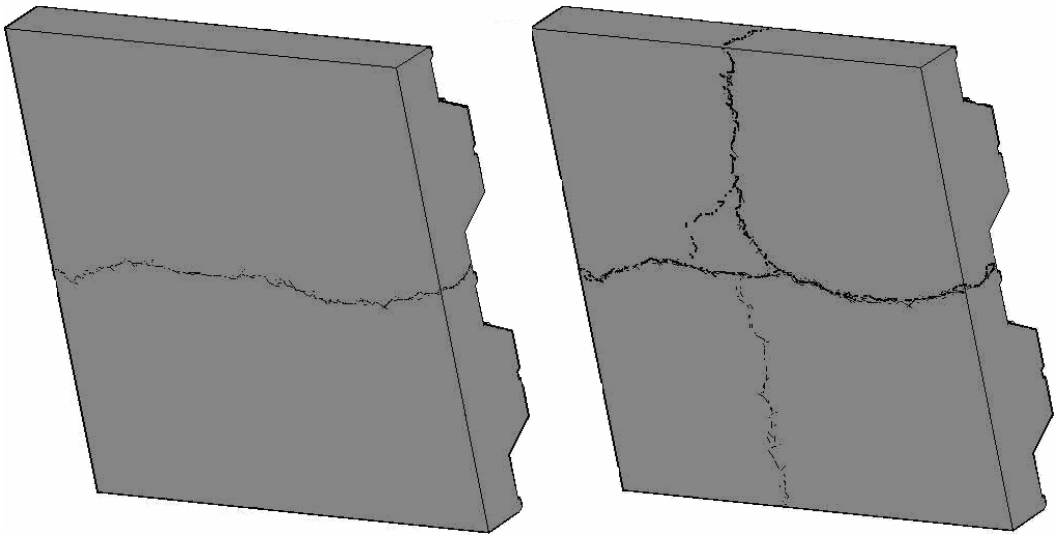
Bu grupta eksismik çelikli numuneler diğer deneylere benzer bir davranış sergilemişlerdir. Şekil 6.8'den da kırılma anına kadar Başlık yükü-deplasman grafiğine bakıldığında diğer deneylerle bir benzerlik gösterdiği görülmektedir. Başlıklı saplamaların kullanıldığı numunede ise deney sırasında kaynak kırılması olduğu için bu numune için çok sağlıklı yorumlar yapılamamıştır. İtme-çıkarma deneylerinde bazen karşılaşılan kaynak kırılmalarının en önemli sebebi yüksek kesme yüklerine kaynağın çok iyi yapılamadığından dolayı dayanamamasıdır.



Şekil 6.8 2E12 ve 2K12 numunelerinin kırılma yüküne kadar yük-deplasman grafiği

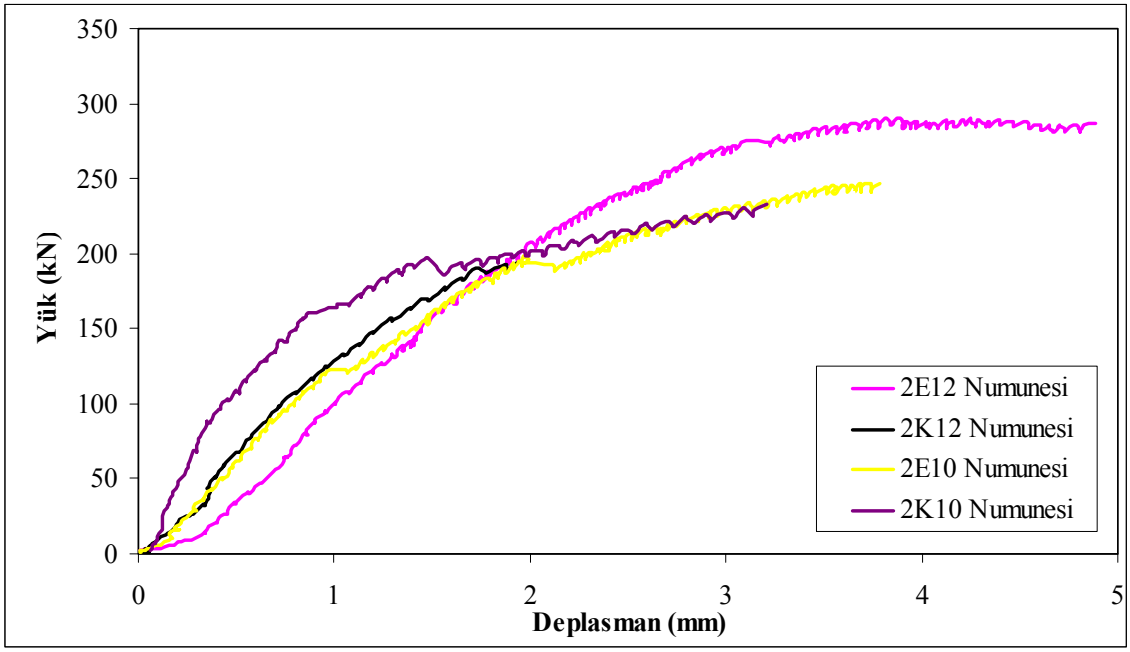
2E12 numunesi ile 2K12 numunesi arasında kaynak kırılmasından dolayı tam bir karşılaştırma yapılamamıştır. Ancak 2E12 numunesinin kırılma şekillerine ve yerine baktığımızda diğer numunelerle benzerlik gösterdiği, kayma bağlayıcı

sayısının 2 olmasından ve beton yüksekliğinin 12 cm olmasından dolayı da daha fazla kayma kuvvetine dayanabildiği görülmüştür.



Şekil 6.9 2E12 numunesinin en büyük yük ve göçme durumunda oluşan kırılma şekilleri

İki adet kayma bağlayıcısının kullanıldığı numuneler karşılaştırılırken, Şekil 6.10'daki kırılma anına kadar başlık yükü deplasman grafiğinden de faydalanıldığında gerek eksismik çelikli kayma bağlayıcılarının gerekse başlıklı saplamalı kayma bağlayıcılarının birbirine yakın davranışlar sergiledikleri gözlenmiştir.



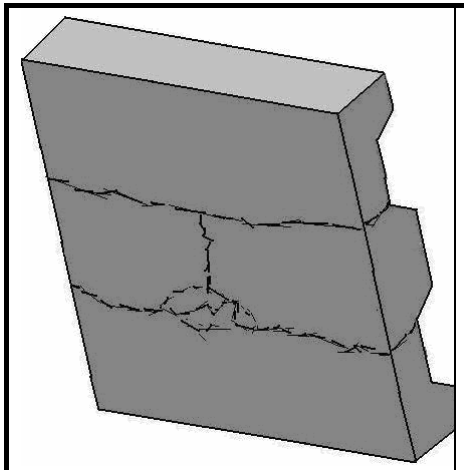
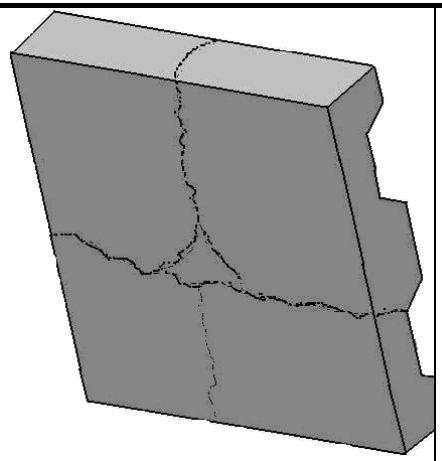
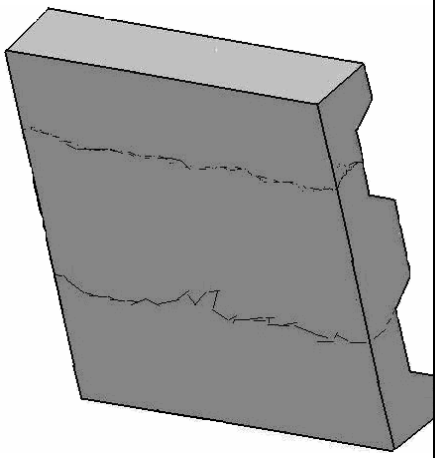
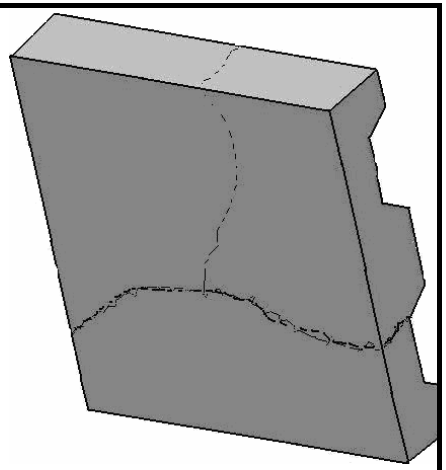
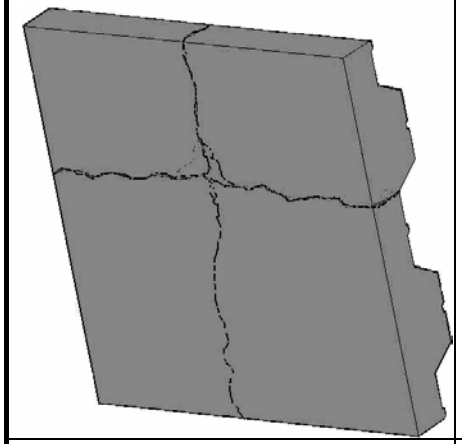
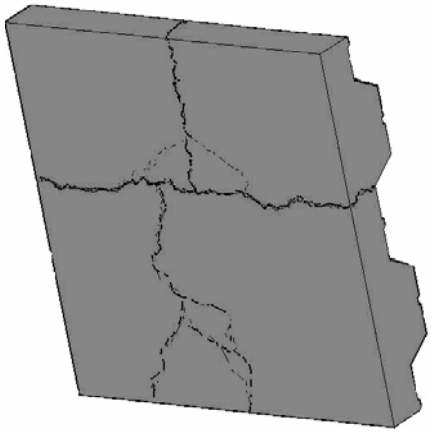
Şekil 6.10 İkinci gruptaki numunelerin kırılma anına kadar başlık yükü deplasman grafiği

6.5. Deneylerden Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Bütün deney numunelerine ait kırılma türü, bir kayma bağlayıcısına düşen en büyük yük, Başlığa Düşen En Büyük Yük, Kırılma Anında Oluşan Başlık Deplasmanı ve eksismik çeliği/başlıklı saplama taşıma gücü oranları Çizelge 6.5'de toplu olarak verilmiştir. Taşıma gücü oranları hesaplanırken kayma bağlayıcılarının alanı dikkate alınmıştır. Ayrıca Şekil 6.11'de bütün numunelerin göçme durumunda oluşan kırılma şekilleri verilmiştir.

Çizelge 6.5 Numuneler için kırılma türü ve kırılma yükleri gösterilmiştir.

Grup	Numune	Kırılma Türü	1 Kayma Bağlayıcısına Düşen En Büyük Yük (kN)	Başlığa Düşen En Büyük Yük (kN)	Kırılma Anında Oluşan Başlık Deplasmanı (mm)	Eksisimik Çeliği /Başlıklı Saplama Taşıma Gücü Oranı
1	1E10	2. tür	75	150	4,1	1,07
	1K10	5. tür	63	126	8,5	
	1E12	2. tür	79	178	3,2	1,02
	1K12	5.tür	70	140	3,5	
2	2E10	5.tür	62	248	3,8	0,96
	2K10	5.tür	58	232	4,6	
	2E12	5.tür	73	292	4,1	1,37
	2K12	Kaynak kırılması	48	192	4,5	

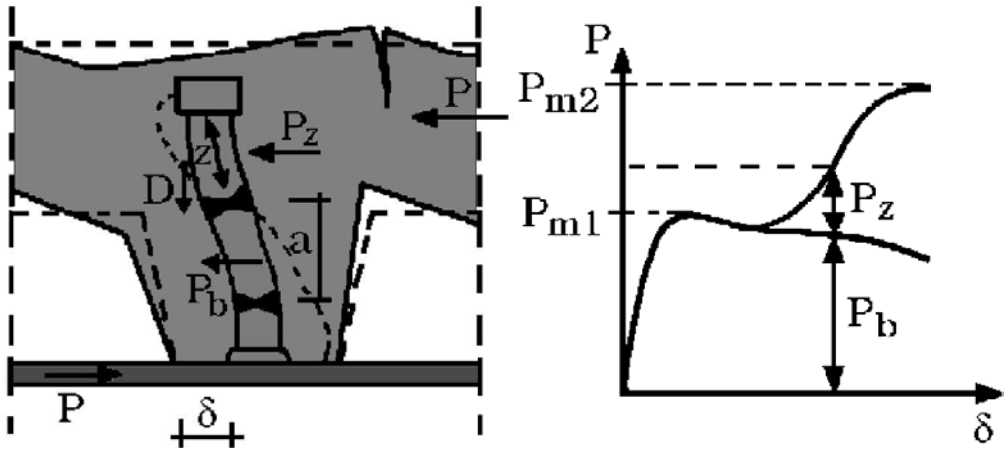
			
1E10	**1K10**	**1E12**	**1K12**
			Kaynak Kırılması olduğu için döşemede herhangi bir çatlak olmamıştır.
2E10	**2K10**	**2E12**	**2K12**

Şekil 6.11 Deney numunelerinin göçme durum kırılma şekilleri

7. ANALİTİK ÇALIŞMALAR, ANALİTİK ve DENEYSEL SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde, önce deney numunelerinin davranışları analitik olarak incelenmiş ardından deney sonuçları analitik hesaplamalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Öncelikle Amerikan standardı LRFD'ye göre, Kanada Standardı CSA'ya göre ve Avrupa Standardı Eurocode-4'e göre döşemelerde kayma bağlayıcılarının dayanımlarının hesap yöntemleri anlatılmıştır. Deney numunelerinin özelliklerine göre her numune için kayma bağlayıcılarının dayanımları hesaplanmıştır. Ayrıca, deney numuneleri SAP2000 bilgisayar programının onuncu sürümü kullanılarak modellenmiştir. Program kullanılarak oluşturulan modellerde TS-500'e göre hesaplanan eksenel çekme dayanım değerindeki kayma bağlayıcısına düşen yük tespit edilmiştir.

Katlanmış çelik saçlı kompozit döşemelerin kirişe oturan yerlerinde kayma kuvveti kayma bağlayıcısının direk tabanına etki etmeyerek bağlayıcının ortasına taşınır (P_b). Yükün artmasıyla birlikte kayma bağlayıcısının önündeki beton kırılmaya başlayarak kesme kuvvetini eğilme momentine aktarmaya başlar. Maksimum yük iki adet plastik alan oluşturur. Bu plastik alanlar bağlayıcının kapasitesine göre değişir. Çekme kuvvetinin yatay bileşenleri (P_z) olarak adlandırılır ve betonu ezmektedir.



Şekil 7.1 Kayma bağlayıcısının davranışı

Şekil 7.1'de gösterilen maksimum P_{m2} yükü betonun veya kayma bağlayıcısının kırıldığı noktadır. Eğer beton yüksekliği yeterli değilse, betonda P_{m1} noktasında üst plastik limit oluşmadan erken kırılmalar olabilir. Bu da maksimum dayanımda azalmalara sebep olur.

7.1. Bazı Standartlara Göre Çözüm Yöntemleri

Eurocode-4'te kompozit döşeme ve kirişlerde özgül ağırlığı 1750 kg/m^3'ten büyük olan betonlar için kayma bağlayıcıları için verilen formüller geçerlidir. Kayma bağlayıcıları için; kirişlerde saplamalar, katlanmış saçlar üzerindeki saplamalar, rijit kayma bağlayıcılar, kancalı bağlayıcılar, rijit bağlayıcıların üzerine kancalı kayma bağlayıcılar ve açılı rijit kayma bağlayıcılarda ayrı ayrı çözümler verilmiştir. LRFD' de (Load and Resistance Factor Design) ise bütün kayma bağlayıcıları için tek bir çözüm geçerlidir.

7.1.1. LRFD'ye göre çözüm

Amerikan standardı LRFD'de saplama dayanımı tahmini formülü beton dayanımına, saplama alanına ve dayanımına ve saplamanın çekme dayanımına bağlıdır.

7.1.1.1 Normal ağırlıklı betonlar için düz döşemelerde saplamanın dayanımı

Normal ağırlıklı betonlar için düz döşemelerde saplamanın dayanımı Q_n 7.1 ifadesinde verilmektedir.

$$Q_n = 0.5 \times A_{sc} \times \sqrt{E_c f_c^{'}} \leq A_{sc} f_u \qquad (7.1)$$

Bu ifadede;

A_{sc} = *başlıklı saplamanın alt alanı*

f'_c = *beton basınç dayanımı*

f_u = *başlıklı saplamanın minimum çekme dayanımı*

E_c = *betonun elastik modülü*

Q_n = *başlıklı saplamanın nominal dayanımı'* dır. Bu ifadedeki E_c değeri ise (7.2) ifadesinden hesaplanır.

$$E_c = 33w^{1.5}\sqrt{f'_c} \tag{7.2}$$

Burada *w* betonun birim ağırlığıdır.

7.1.1.2. Normal ağırlıklı betonlar için katlanmış çelik saçlı döşemelerde saplamanın dayanımı

Katlanmış çelik saçlı döşemelerdeki saplamaların dayanımını hesaplamak için düz döşemede kullandığımız formül bir düzeltme katsayısı ile çarpılır. Bu düzeltme katsayısı 1'den büyük olamaz. Buna göre normal ağırlıklı betonlar için katlanmış çelik saçlı döşemelerde saplamanın dayanımı Q_{AISC} 7.3 ifadesinden hesaplanır.

$$Q_{AISC} = DK \times 0.5 \times A_{sc} \times \sqrt{E_c f_c^{'}} \le 1.0 A_{sc} f_u \tag{7.3}$$

Bu ifadedeki düzeltme katsayısı *DK* 7.4 ifadesinden hesaplanır.

$$DK = \left(\frac{0.85}{\sqrt{N_R}}\right)\left(\frac{H_s}{h_R} - 1\right)\left(\frac{w_R}{h_R}\right) \le 1.0 \tag{7.4}$$

Burada;

Q_{AISC} = *AISC'ye göre katlanmış saçlı döşemelerde başlıklı saplamanın dayanımı*

DK= düzeltme katsayısı

A_{sc} = *başlıklı saplamanın alt alanı*

f'_c = *beton basınç dayanımı*

f_u = *başlıklı saplamanın minimum çekme dayanımı*

E_c = *betonun elastik modülü'*dür.

(7.3) ifadesindeki E_c değeri 7.5 ifadesine göre hesaplanır.

$$E_c = 33w^{1.5}\sqrt{f'_c} \tag{7.5}$$

Burada;

w = betonun birim ağırlığı

N_R= *bir sıradaki saplama sayısı*

H_s= *saplama yüksekliği*

h_R= *sacın oluk yüksekliği*

w_R= *sacın ortalama oluk genişliği'*dir.

Bu çalışmada yapılan deneyler için formül 7.1 kullanılmıştır. Formül 7.3'te verilen düzeltme katsayılı formül düzeltme katsayısının birden büyük bir değer çıkmasından dolayı kullanılamamıştır. LRFD'ye göre bu deneylerde bir adet kayma bağlayıcısının taşıyabileceği en büyük yük Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1 LRFD'ye göre bir bağlayıcının taşıyabileceği en büyük yük

LRFD		
Numune	**Saplama Yarı Çapı (mm)**	***Q_{AISC} (kN)***
1E10	10	149,87
1K10	9	112,76
1E12	10	152,70
1K12	9	115,53
2E10	10	145,39
2K10	9	110,51
2E12	10	150,19
2K12	9	121,10

7.1.2. Kanada standardı CSA'ya göre çözüm

Kanada standardı CSA'ya göre başlıklı saplamanın düz döşemedeki dayanımı Q_n 7.6 ifadesinden hesaplanır.

$$Q_n = 0.5 \times A_{sc} \times \sqrt{E_c f_c^{'}} \leq A_{sc} f_u \quad (7.6)$$

$$Q_{CP} = 4.2\rho \times A_p \times \sqrt{f_c^{'}} \quad \textit{oluk yüksekliği 76mm den büyük olanlar için} \quad (7.7)$$

$$Q_{CP} = 7.3\rho \times A_p \times \sqrt{f_c^{'}} \quad \textit{oluk yüksekliği 38mm den büyük olanlar için} \quad (7.8)$$

Burada;

Q_n = başlıklı saplamanın düz döşemedeki dayanımı

Q_{CP} = başlıklı saplamanın beton çıkma dayanımı

A_{sc} = başlıklı saplamanın alt alanı

f'_c = beton basınç dayanımı

f_u = başlıklı saplamanın minimum çekme dayanımı

E_c = betonun elastik modülü

w = betonun birim ağırlığı

ρ = normal beton için 1, hafif yoğunluklu beton için 0.85 alınır.

A_p = beton çıkma alanı

*h_R= sacın oluk yüksekliği'*dir.

Ayrıca beton çıkma alanı ifade 7.9 ve 7.10'a göre aşağıdaki durum için hesaplanır.

$h_p<w_1/2$ için A_p;

$$A_p(ss) = 2\sqrt{2}(H_s w_R) \tag{7.9}$$

$$A_p(ds) = 2\sqrt{2}(H_s w_R) + \sqrt{2} w_R s \tag{7.10}$$

Beton çıkma alanı ifade 7.11 ve 7.12'ye göre aşağıdaki durum için hesaplanır.

$h_p>w_1/2$ için A_p;

$$A_p(ss) = 2\sqrt{2}(2h_p^2 + h_r w_R) \tag{7.11}$$

$$A_p(ds) = 2\sqrt{2}(2h_p^2 + h_R w_R + h_p s) \tag{7.12}$$

Buradan h_p ifade 7.13'den hesaplanır.

$$h_p = H_s - h_R \tag{7.13}$$

Burada;

H_s = saplama yüksekliği

w_R = sacın ortalama oluk genişliği

*w_1 =toplam genişlik'*dir.

Bu formülasyonları kullanabilmek için H_s/d_s 4'ten küçük olmalı ve iki saplama çapından büyük olmalıdır. Kanada standardı CSA, Amerikan standardı ile aynı formülasyonu içermektedir. Fakat Amerikan standardından ayrı olarak katlanmış çelik saçlı döşemeler için betonun ayrılma kırılması için formül 7.7 ve 7.8'i

geliştirmişlerdir. Çizelge 7.2'de CSA'ya göre bir bağlayıcının taşıyabileceği en büyük yük verilmiştir.

Çizelge 7.2 CSA'ya göre bir bağlayıcının taşıyabileceği en büyük yük

CSA		
Numune	**Saplama Yarı Çapı (mm)**	**Q_{cp} (kN)**
1E10	10	87
1K10	9	86
1E12	10	83
1K12	9	86
2E10	10	86
2K10	9	84
2E12	10	81
2K12	9	80

7.1.3. Eurocode-4'e göre çözüm

7.1.3.1. Başlıklı saplamalar için

7.1.3.1.1. Düz döşemelerde

Eurocode-4'te düz döşemelerde başlıklı saplamaların taşıyabileceği en fazla yük P_{Rd} ifade 7.14 ve 7.15'in küçük olanı olarak seçilir.

$$P_{Rd} = 0.8 f_u \left(\pi d^2 / 4\right) / \gamma_v \tag{7.14}$$

veya

$$P_{Rd} = 0.29 \alpha d^2 \sqrt{\left(f_{ck} E_{cm}\right)} / \gamma_v \tag{7.15}$$

Burada;

d = saplamanın alt yarı çapı

f_u *= saplamanın max. Çekme dayanımı (<500 N/mm^2)*

f_{ck} *= betonun karakteristik basınç dayanımı*

E_{cm} *= betonun sekant modülü*'dür.

α değeri ifade 7.16 ve 7.17'ye göre bulunur.

$\alpha = 0.2\ ((h/d) + 1)$ $3 \leq h/d \leq 4$ için (7.16)

$\alpha = 1$ $h/d > 4$ için (7.17)

Burada;

h= saplamanın boyu'dur.

γ_v *= maksimum limit durumu için 1.25* alınır.

7.1.3.1.2. Katlanmış çelik saçlı döşemelerde saçlar kirişe paralel yerleştirildiği durumda

Katlanmış çelik saçlı döşemelerde saçlar kirişe paralel yerleştirildiğinde başlıklı saplamaların taşıyabileceği en fazla yük P_{Rd} ifade 7.18 ve 7.19'dan hesaplanır. Bunlardan küçük olanı seçilir.

$$P_{Rd} = k_\varphi 0.8 f_u \left(\pi d^2 / 4\right) / \gamma_v \quad (7.18)$$

veya

$$P_{Rd} = k_\varphi 0.29 \alpha d^2 \sqrt{\left(f_{ck} E_{cm}\right)} / \gamma_v \quad (7.19)$$

Buradan k_φ ifade 7.20 deki gibi hesaplanır.

$$k_\varphi = 0.6\left(b_0 / h_p\right)\left[\left(h / h_p\right) - 1\right] \leq 1 \quad (7.20)$$

Bu ifadede;

h_p *= sacın oluk yüksekliği*

h = saplamanın boyu

b_0 *= oluk genişliği'*dir.

7.1.3.1.3. Katlanmış çelik saçlı döşemelerde saçlar kirişe dikey yerleştirildiği durum

Saplama çaplarının 20 mm yi geçmediği durumlarda ve oluk yüksekliğinin 85 mm den küçük olduğu durumlarda başlıklı saplamaların taşıyabileceği en fazla yük P_{Rd} ifade 7.21 ve 7.22'den hesaplanır. Bunlardan küçük olanı seçilir.

$$P_{Rd} = k_t 0.8 f_u \left(\pi d^2 / 4\right) / \gamma_v \quad (7.21)$$

$$P_{Rd} = k_t 0.29 \alpha d^2 \sqrt{\left(f_{ck} E_{cm}\right)} / \gamma_v \quad (7.22)$$

Bu ifadedeki düzeltme katsayısı k_t 7.23 ifadesinden hesaplanır.

$$k_t = \left[\frac{0.7}{\sqrt{N_r}}\right]\left[\frac{b_0}{h_p}\right]\left[\left(\frac{h}{h_p}\right) - 1\right] \quad (7.23)$$

Burada;

N_r = bir oluktaki saplama sayısı

N_r =1 iken k_t 1'den büyük olamaz

$N_r \geq 2$ iken k_t 0.8'den büyük olamaz

7.1.3.2. Rijit kayma bağlayıcılarında

Rijit kayma bağlayıcılarında saplamaların taşıyabileceği en fazla yük ifade 7.24'e göre hesaplanır.

$$P_{Rd} = \eta A_{f1} f_{ck} / \gamma_c \quad (7.24)$$

Burada;

A_{f1} = *rijit bağlayıcının ön yüzey alanı*

$\eta = \sqrt{A_{f2} / A_{f1}}$ normal betonlar için 2.5'ten küçük olmalı (7.25)

$A_{f2} = A_{f1}$ alanının yatay ve düşey yönde 1:5 lik açıyla artırılmış kesitin alanı

γ_c = *betonun güvenlik katsayısı'*dır.

7.1.3.3. Kanca kayma bağlayıcılarında

Kanca kayma bağlayıcılarında saplamaların taşıyabileceği en fazla yük ifade 7.26'ya göre hesaplanır.

$$P_{Rd} = \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{\left(1 + \sin^2 \alpha\right)}} \cos \beta \quad (7.26)$$

Burada;

α = *kiriş ile kanca arasındaki açı*

β = *kancanın yerle yaptığı dikey açı'*dır.

7.1.3.4. Boyuna kesme direnci

Boyuna kesme direnci 7.27 ve 7.28 ifadelerinden hesaplanır. Bunlardan küçük olanı seçilir.

$$v_{Rd} = 2.5 A_{cv} \eta \tau_{Rd} + A_e f_{sk} / \gamma_s + v_{pd} \tag{7.27}$$

veya

$$v_{Rd} = 0.2 A_{cv} \eta f_{ck} / \gamma_c + v_{pd} / \sqrt{3} \tag{7.28}$$

Burada;

τ_{Rd} = *kayma dayanımı (*$0.25 f_{ctk}\, 0.05 / \gamma_{c'}$*)*

f_{ck} = *betonun karakteristik silindir basınç dayanımı*

f_{sk} = *donatının karakteristik akma dayanımı*

μ = *normal ağırlıklı betonlar için 1*

A_{cv} = *betonun kesit alanı*

A_e = *donatı alanı'*dır.

Bu formülde v_{pd} ifade 7.29'dan hesaplanır.

$$v_{pd} = \frac{A_p f_{yp}}{\gamma_{ap}} \text{ saç} \tag{7.29}$$

Burada;

A_p = *sacın birim uzunluktaki alanı*

f_{yp} = *sacın akma dayanımı*'dır

7.1.3.5. Başlıklı saplamalarda kayma sertliği ve yük-kayma eğrileri

Shim, Lee ve Yoon'un (2003) deneyleri sonucunda geliştirdiği formülasyonlarda; Maksimum yükün yarısındaki deplasmanın ifade 7.30'daki gibi hesaplanacağını belirtmişlerdir.

$$\delta_{0.5P_{\max}} = \left(80 \times 10^{-3} - 86 \times 10^{-5} f_c\right) d_{sh} \tag{7.30}$$

Buradan;

P_{max} = *kayma bağlayıcısının maksimum dayanımı (N)*

d_{sh} = *kayma bağlayıcısının çapı (mm)*

f_c = *betonun basınç dayanımı (MPa)*'dır.

Başlıklı saplamalarda ilk kayma sertliği K_{si} maksimum yükün yarısındaki ortalama sertlik ifade 7.31'den hesaplanır.

$$K_{si} = \frac{P_{\max}}{d_{sh}(0.16 - 0.0017 f_c)} \tag{7.31}$$

Burada;

d_{sh} = *kayma bağlayıcısının çapı (mm)*

f_c = *betonun basınç dayanımı (MPa)*'dır.

Denklemdeki 0.16 değeri 0.08 ve 0.24 olarak alınır ve üst ve alt sınır kayma sertlikleri bulunur. Maksimum kayma deplasmanı kapasitesi δ_{ult} ifade 7.32'den hesaplanır.

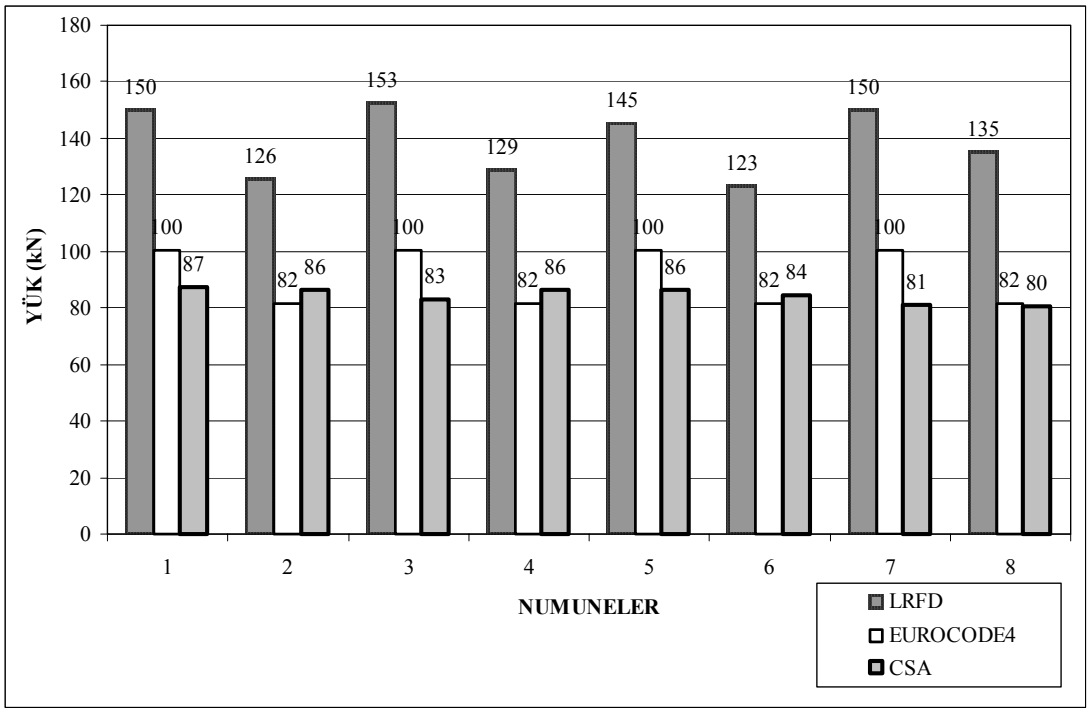
$$\delta_{ult} = (0.48 - 0.0042 f_c) d_{sh} \tag{7.32}$$

Deneyler için Eurocode-4'e göre bir bağlayıcının taşıyabileceği en yüksek yükü bulmak için eksismik çelikleri içinde başlıklı saplamalar için kullanılan formül 7.21 ve formül 7.22 kullanılmıştır. Eurocode-4'e göre bu formüllerden en küçüğü bir bağlayıcının taşıyabileceği en büyük yükü vermektedir. Bu yüzden bu hesaplamada formül 7.21 kullanılmıştır. Düzeltme katsayısını hesaplarken de formül 7.23 kullanılmıştır. Çizelge 7.3'de elde edilen sonuçlar yazılmıştır.

Çizelge 7.3 Eurocode-4'e göre bir bağlayıcının taşıyabileceği en büyük kuvvet

Numune	**Saplama Yarı Çapı (mm)**	**Düzeltme Katsayısı**	**f_u (MPa)**	**P_{rd} (kN)**
1E10	10	0,8	500	100
1K10	9,5	0,8	450	81
1E12	10	0,8	500	100
1K12	9,5	0,8	450	81
2E10	10	0,8	500	100
2K10	9,5	0,8	450	81
2E12	10	0,8	500	100
2K12	9,5	0,8	450	81

Amerikan standardı LRFD, Avrupa standardı Eurocode-4 ve Kanada Standardı CSA'ya göre bir bağlayıcının taşıyabileceği en fazla yük değerleri hesaplanmıştır. Yönetmeliklerden elde edilen yük değerleri deneysel sonuçlarından ve SAP 2000 ile yapılan çözümlerden daha büyük çıkmaktadır. Bunun sebebi deneylerde ve SAP 2000 ile yapılan çözümlerde kırılmaların betonda gerçekleşmesi ve bütün yükün kayma bağlayıcısına aktarılmadan kırılma olmasıdır. Şekil 7.2'de bu yönetmeliklerde bulunan değerlerin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 7.2 Yönetmeliklerde bulunan değerlerin karşılaştırılması

7.2. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Çözüm

"Sonlu Elemanlar Analizi (SEA)" mühendislerin karşılaştığı karmaşık ve zor fiziksel problemleri kabul edilebilir bir yaklaşıklıkla çözebilen sayısal bir çözüm yöntemidir. Bu yöntem fizik ve mühendislikte karşılaşılan birçok problemin çözümünde kullanılan en yaygın ve etkin sayısal yöntemlerden biridir. Sonlu elemanlar metodu matematikçilerden ziyade daha çok mühendisler tarafından geliştirilmiştir. Yöntem ilk olarak gerilme analizi problemlerine uygulanmıştır. Günümüzde ise dayanım, akışkan, titreşim ve dinamik hesaplarında da

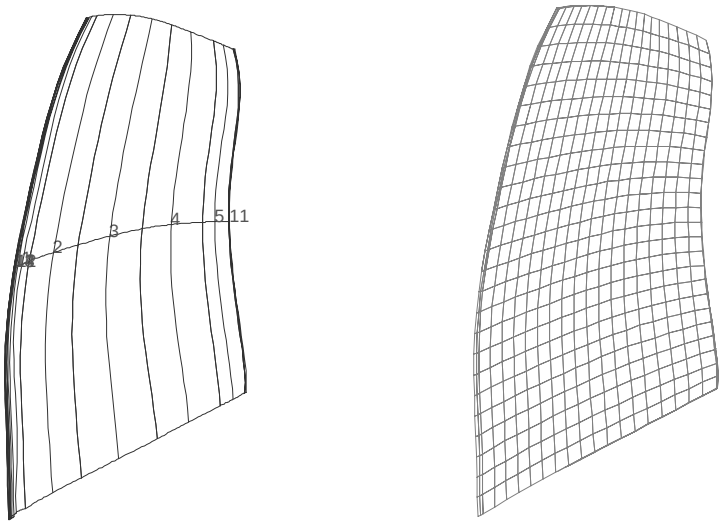
kullanılmaktadır. Bilimsel ve teknolojik problemlerin sayısal çözümlenmesinde en çok kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Sonlu elemanlar yönteminin statik analiz, akışkanlar mekaniği, ısı transferi, elektromanyetik analiz ve akustik gibi pek çok fiziksel olayın çözümünde uygulama alanı bulması ve bilgisayara uygulanması kolay bir algoritmaya dayanması problem çözümünde yaygın olarak kullanılmasına neden olmuştur.

7.2.1 Katı modelleme (solid modelling)

En üst düzey modelleme tekniğidir. Gerçek anlamda cismin iç ve dış geometrisinin tanımı yapılmış olur. Tel çerçeve veya yüzey modelleme yöntemlerinin zayıf kaldığı birçok nokta bu yöntemde giderilmiştir. Katı modelleme sonucu elde edilen görüntü tel çerçeve veya yüzey modelleme görüntülerin gizli çizgilerinin kaldırılması ile elde edilen görüntüye benzer. Katı modellemenin esas özelliği görüntünün ötesinde cismin iç ve dış geometrisinin bilgi kütüğü şeklinde bilgisayara geçmiş olmasıdır. Böylece ağırlık, moment gibi parametreler hesaplanabilir veya kesitler alınarak cismin iç geometrik" formu incelenebilir. Tüm bu işlemlerde kullanıcının müdahalesi ve çabası minimumdur. Cisimlerin yüzeylerindeki renkler, geçirgenlik ışık yoğunluğu ve gölgeleme yapılabilir. Cisimlerin katı modellemesi için CAD programları iki yöntem kullanır. Bu yöntemler, bazı geometrik pirimitivlerin boolean mantığına göre birleştirilmesi veya çıkarılması yüzey sınırlarını belirleyecektir. Yüzey sınırlarının tanımı ve bu sınırlar boyunca iki boyutlu yüzeyler taraması ile cismin tüm hacmi tanımlanır. Eksenel simetri olan bir parça dönme şeklinde bir tarama ile kolaylıkla tanımlanır. Karmaşık yüzeylerde tanımlanan eğriler boyunca yapılan tarama yüzeyi oluşturur. Tasarımlanacak cismin yapısına göre bu iki yöntemden birisi tercih edilir. Genelde cisimler silindir, dikdörtgen gibi parçalardan oluştuğu için pirimitiv kullanarak modelleme tercih edilir. CAD ortamında hızlı bir veri iletişim ve işlem gücü istemi yöntemin dezavantajı olarak gösterilmektedir (mekatronikkulubu).

7.2.2. Mesh oluşturma işlemi

Mesh oluşturma işlemi düğüm noktalarının ve elemanların koordinatlarını oluşturur. Aynı zamanda kullanıcı tarafından girilen minimum bilgiye karşılık optimum sürede otomatik olarak düğüm noktalarını ve elemanları sıralar, numaralanmasını sağlar. Mesh üretme konusunda kullanıcının ayrıca üzerinde mesh üretilecek alanda, hangi bölgelerin eleman yoğunluğunun fazla olacağına hangi bölgelerin eleman yoğunluğunun daha az olacağına karar vermesi gerekebilir. Genellikle, önemli olduğu veya kendi içinde büyük gradyen (değişim)'e sahip olduğu bilinen veya tahmin edilebilen bölgelerde birim alana daha fazla eleman yerleştirilir. Mesh oluşturmada modeller sonlu sayıda elemanlara bölünür. Bu elemanlar belli noktalardan birbirleriyle bağlanır, bu noktalara düğüm (node) denir. Mesela katı modellerde her bir elamandaki yer değiştirmeler doğrudan düğüm noktalarındaki yer değiştirmelerle ilişkilidir. Düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler ise elemanların gerilmeleriyle ilişkilidir. Mesh oluşturarak bu düğümlerdeki yer değiştirmeleri çözmeye çalışır. Böylece gerilme yaklaşık olarak uygulanan yüke eşit bulunur. Bu düğüm noktaları mutlaka belli noktalardan hareketsiz bir şekilde sabitlenmelidir. Sonlu Elemanlar Yöntemi düğüm noktaları için tanımlanmış şartları, cebrik lineer denklemlere çevirir, önce bu denklemler çözülür ve bütün elemanlardaki gerçek gerilmeleri bulmaya çalışır. Sonuç olarak model ne kadar çok sayıda elemana bölünürse o elemente uygulanan yüke göre daha gerçekçi sonuç verir (Şekil 7.3).



Şekil 7.3 Elemanı mesh etme örneği

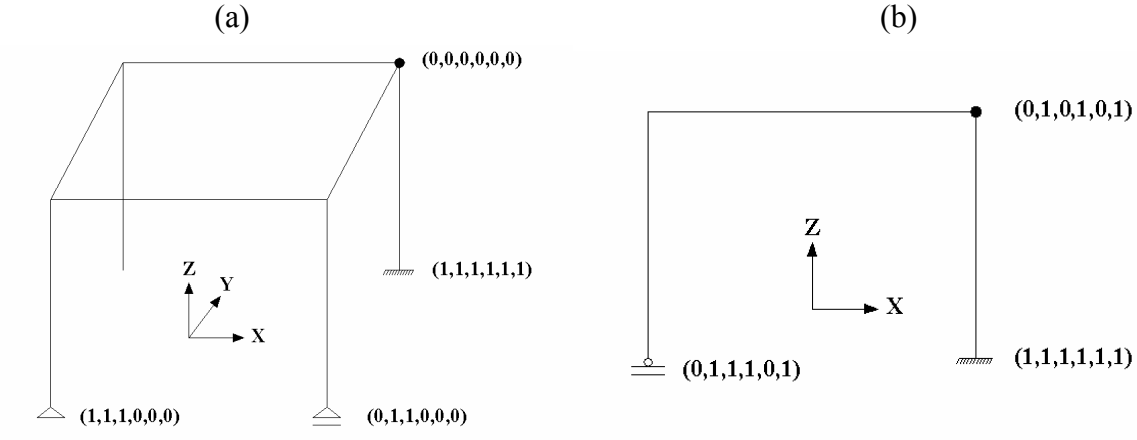
7.3. SAP 2000 Yapı Analizi Statik Programı ile Sonlu Elemanlar Yöntemi

SAP 2000 yapı mekaniği ve mühendislik alanında kullanılan sistemlerin modellenmesi, analizi ve boyutlandırılması amacı ile hazırlanmış olan, çok amaçlı bir paket programdır. SAP 2000 programında matris-deplasman yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde sonlu elemanlar tekniği ile çözüm yapılmaktadır (Elmalı 2006).

7.3.1. Serbestlik Derecesi

Sistem elemanlarının bağlı oldukları düğüm noktaları 3 boyutlu Euklid uzayında tanımlıdır. Dolayısı ile her düğüm noktası için altı serbestlik tanımlanır. Üçü öteleme (yer değiştirme; *U*) diğer üçü ise dönme (açısal yer değiştirme; *R*) serbestliğidir. Düzlem de ise bu sayı üçtür. Mesnet şartları ve düğüm noktası serbestlikleri tanımlanırken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, sistemin stabilitesini bozmayacak şekilde söz konusu serbestliklerin belirlenmesidir. Tutulan serbestlikler doğrultusunda yük, kütle, deplasman gibi büyüklükler tanımlanamaz. Şekil 7.4'de düğüm noktası serbestlikleri ve mesnet şartları gösterilmiştir.

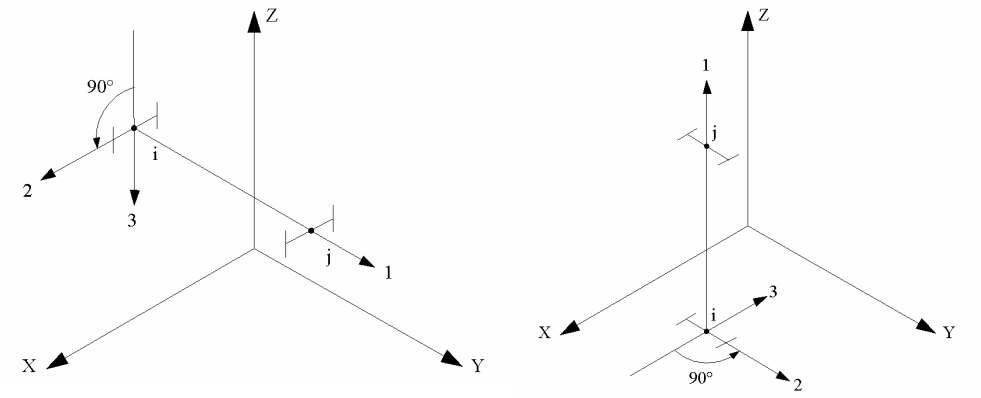
Serbestlik derecesi (SD); *Ux*, *Uy*, *Uz*, *Rx*, *Ry*, *Rz*



Şekil 7.4 Düğüm noktası serbestlikleri ve mesnet şartları (a) Uzayda (b) Düzlemde

7.3.2. Düğüm, eleman, eleman eksenleri, global eksenler

Sonlu eleman ağının belirleyeceği noktalar, süreksizlik noktaları birer düğüm noktası, bu noktaların sınırladığı sistem parçaları ise eleman olarak dikkate alınır. Her nokta üç boyutlu uzayda yer aldığından koordinatları global koordinat sistemine (sistem eksenleri) göre belirlenir (X, Y, Z). Şekil 7.5'de eleman ve sistem eksenleri görülmektedir.

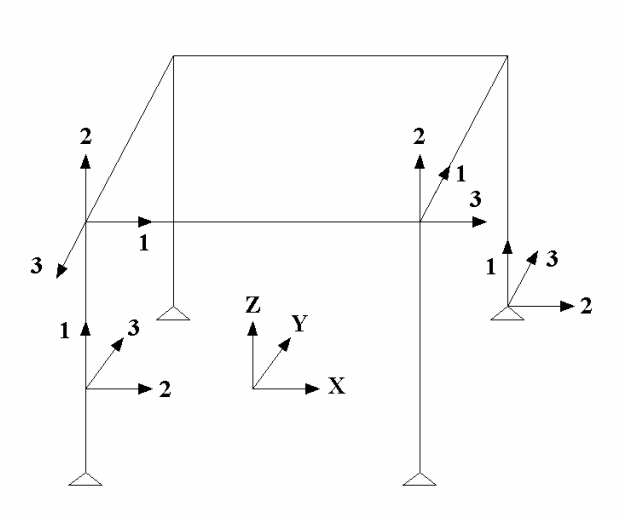


Şekil 7.5 Sistem eksenleri ve eleman eksenleri

Düğüm noktası koordinatları dışında, düğüm noktası yükleri, deplasmanları ve bazı eleman yükleri yine global koordinat sistemine göre belirlenebilir. Sistem eksenleri ile tanımlanan düğüm noktası kuvvetleri ve deplasmanları ise çıktı dosyalarında yer alır.

Elemanlar ile ilgili yön ve doğrultu, eksen takımları arası ilişkiler bilgileri sağ el kaidesine göre belirlenir (SAP 2000 programında bu işlem otomatik olarak yapılır). Eleman eksenlerine göre belirlenebilecek yön ve doğrultu parametreleri; eleman kesit özellikleri ve bazı yük şekilleridir. Söz konusu eksenlerde tanımlı iç kuvvetler ise çıktı dosyalarında görülür.

Elemanda sol uçta tanımlanan eksen takımında 1 ekseni eleman ekseni doğrultusunda, 3 ekseni ise genelde hakim eğilme ekseni olarak tanımlanır. Dolayısı ile; 1–2 düzlemi yükleme düzlemi, 1–3 düzlemi ise eğilme düzlemi olarak düşünülebilir (Şekil 7.6).



Şekil 7.6 Eleman eksenlerine örnekler

7.3.3. Çubuk elemanlar (Frame) için iç kuvvetler ve pozitif yönleri

Çubuk elemanlarda oluşan iç kuvvetler ve pozitif yönleri Şekil 7.7, 7.8 ve 7.9'da gösterilmiştir. Burada;

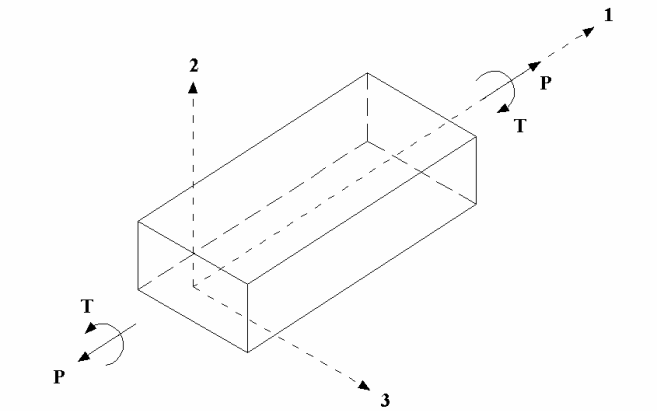
P: Eksenel kuvvet

T: Burulma momenti

V_2, V_3 : Kesme kuvvetleri

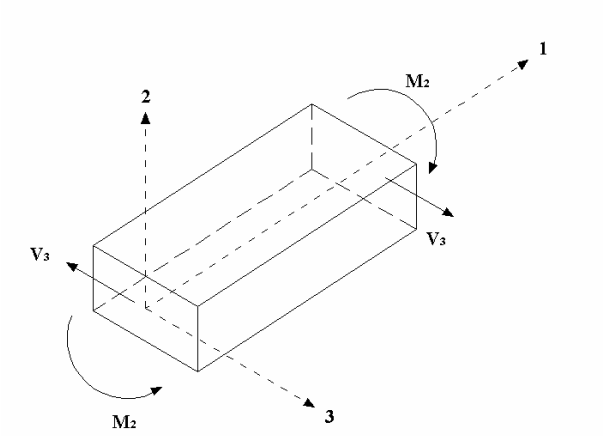
M_2, M_3: Eğilme momentlerini ifade etmektedir.

- Eksenel Kuvvet ve Burulma Momenti



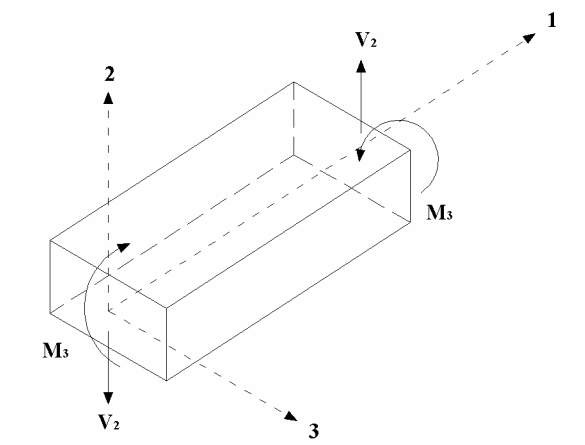
Şekil 7.7 Eksenel kuvvet ve burulma momenti

- (1-3) Düzleminde Etkiyen İç Kuvvetler



Şekil 7.8 (1-3) Düzleminde etkiyen iç kuvvetler

- (1-2) Düzleminde Etkiyen İç Kuvvetler



Şekil 7.9 (1-2) Düzleminde etkiyen iç kuvvetler

7.3.4. Kabuk elemanlar(Area) için iç kuvvetler

Kabuk elemanlarda genelde 3 ekseni, 1-2 düzleminde yer alan yüzeyin dış normali doğrultusundadır. Söz konusu eksenlerde tanımlı olan İç kuvvet ve gerilmeler için notasyon aşağıda verilmiştir. Ayrıca pozitif yönler Şekil 7.10, 7.11 ve 7.12'de gösterilmiştir. Burada;

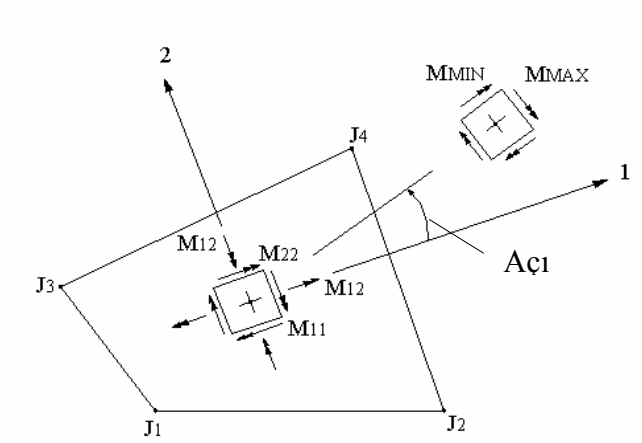
M_{11}, M_{22} : Eğilme momentleri

M_{12} : Burulma momenti

F_{11}, F_{22} : Normal gerilmeler

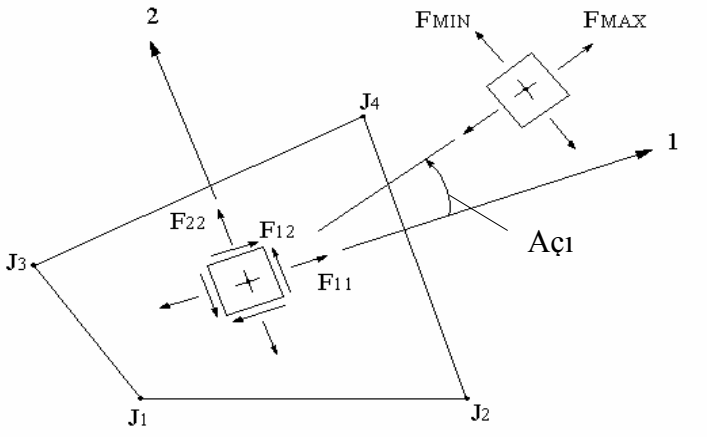
F_{12} : Kayma gerilmesi'ni ifade etmektedir.

- Birim uzunluk için eğilme momentleri



Şekil 7.10 Birim uzunluk için eğilme momentleri

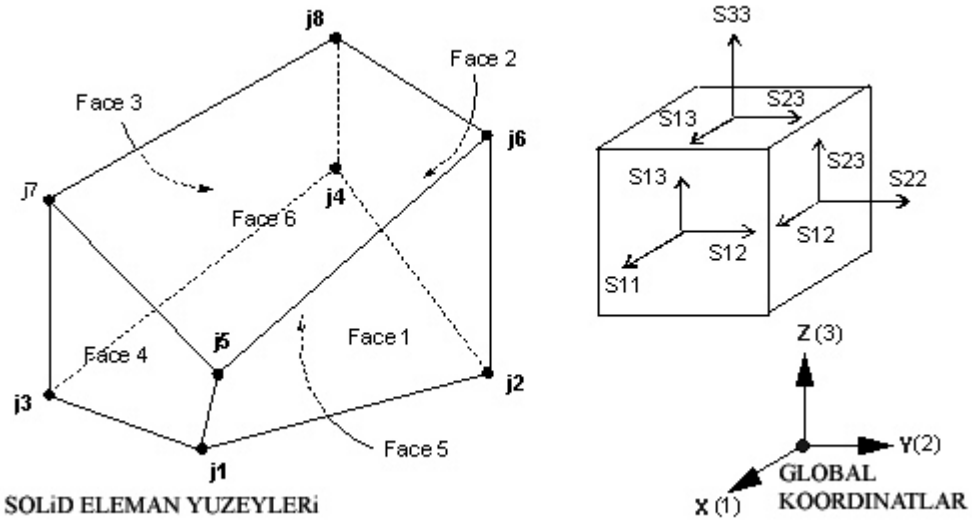
- Membran Kuvvetleri



Şekil 7.11 Membran Kuvvetleri

Burada F_{max}, F_{min}, kayma gerilmelerinin sıfır olduğu düzlemdeki asal gerilemeleri ifade etmektedir. Ayrıca bu düzlemin yerini belirleyen açı da hesaplanmaktadır.

- Solid eleman yüzeyleri



Şekil 7.12 Solid eleman yüzeyleri

7.3.2. Deney numunelerinin solid olarak modellenmesi

7.3.2.1. Solid özelliklerinin girilmesi

Solid özelliklerinin girilmesi için Assign menu > Solid > Properties komutundan Add New Property bölümünden yeni bir solid malzeme tanımlanır veya Modify/Show Property bölümünden mevcut solid elemanın özellikleri değiştirilir.

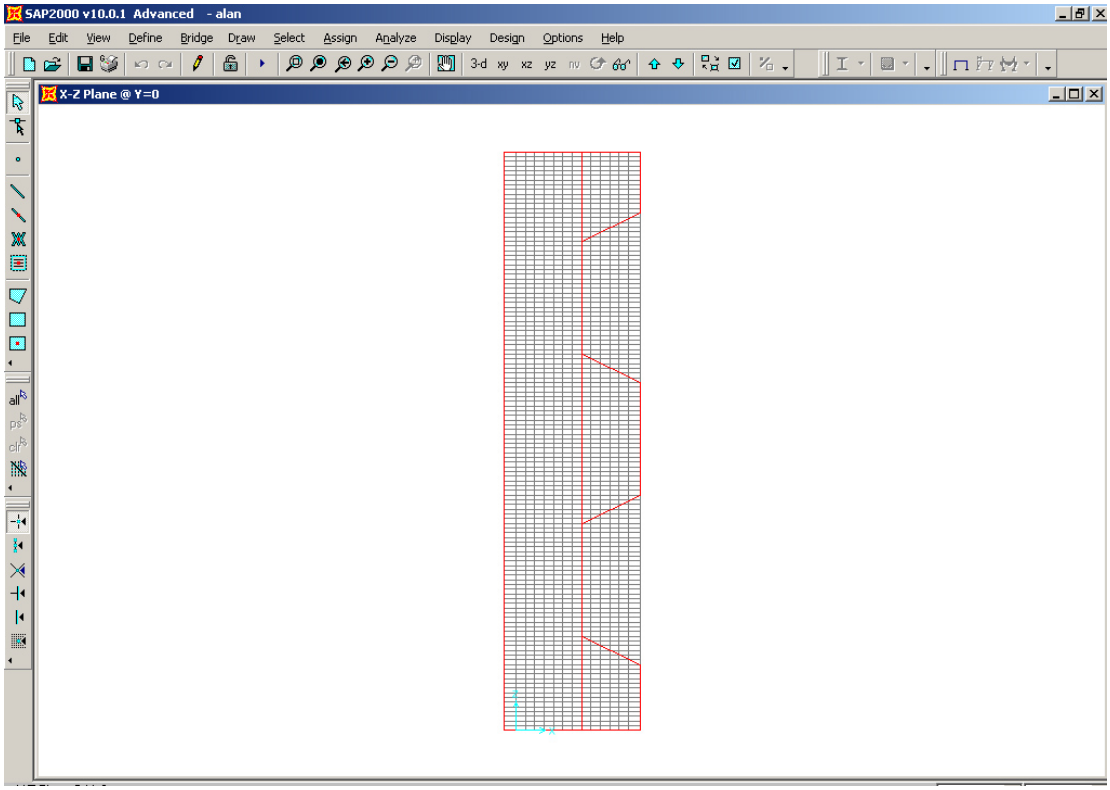
7.3.2.2. Başlıklı saplamaların ve eksismik çeliklerinin özelliklerinin girilmesi

Başlıklı saplamaların ve eksismik çeliklerinin özelliklerinin girilmesi için Define > Materials > Add New Materials bölümünden eksismik çeliği ve saplamaların özellikleri girilerek tanımlandı.

Define > Frame Sections > Add Circle bölümünden daha önceden tanımlanmış önce başlıklı saplama seçilerek 19 mm ve 32 mm çapında tanımlanır. Daha sonra eksismik çeliği seçilerek 20 mm çapında tanımlanır.

7.3.2.3. Area oluşturulması

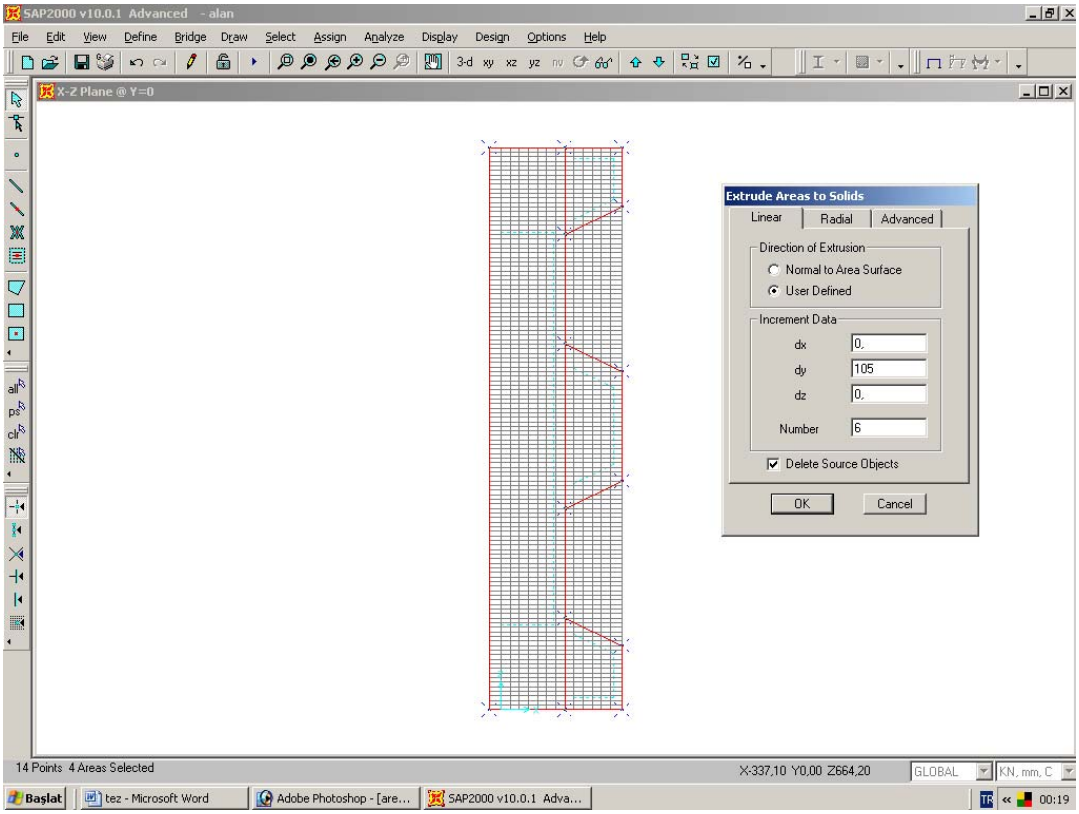
Area oluşturmak için Draw > Draw Poly Area menüsünden deney numunelerinin yandan görünüşü çizilir (Şekil 7.13).



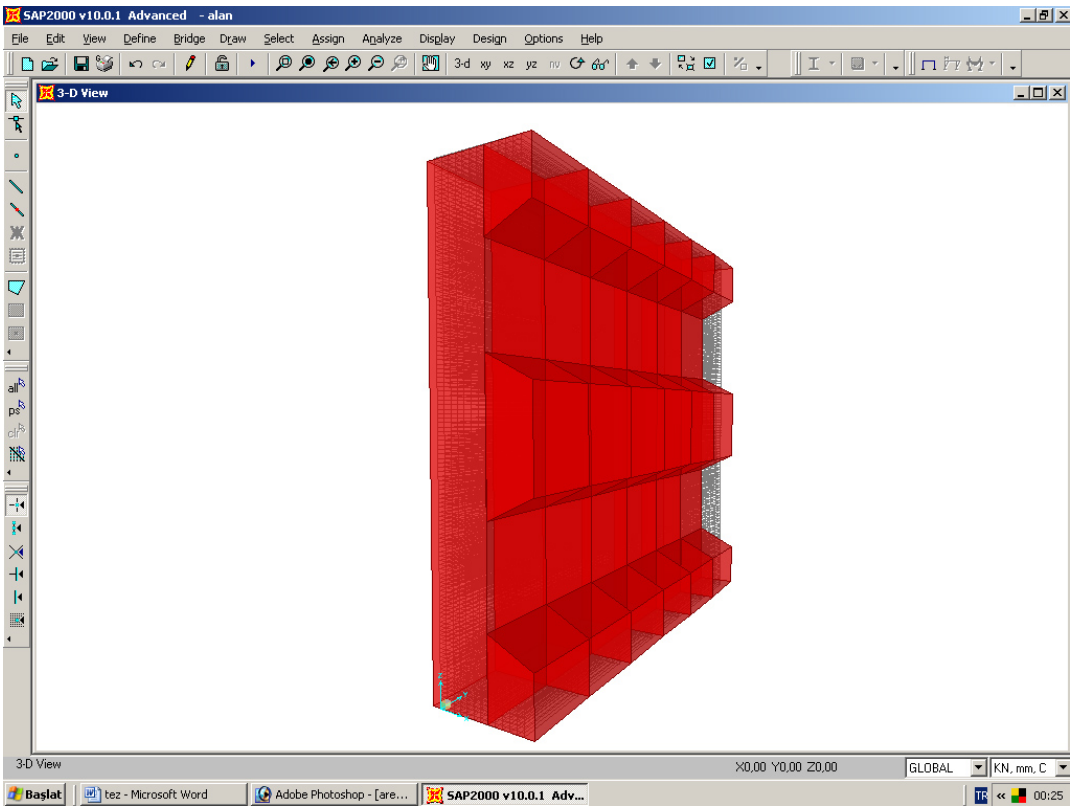
Şekil 7.13 SAP 2000 programında area oluşturulması

7.3.2.4. Solid oluşturulması

Oluşturulan alanı solid elemana çevirmek için alanlar seçilir ve Edit > Extrude Areas to Solids menüsünden Şekil 7.14'deki gibi y yönünde gerekli mesafe girilir ve kaç adet solid oluşturulacağı tanımlanır. Şekil 7.15'de solid eleman oluşturulmuş şekil verilmiştir.



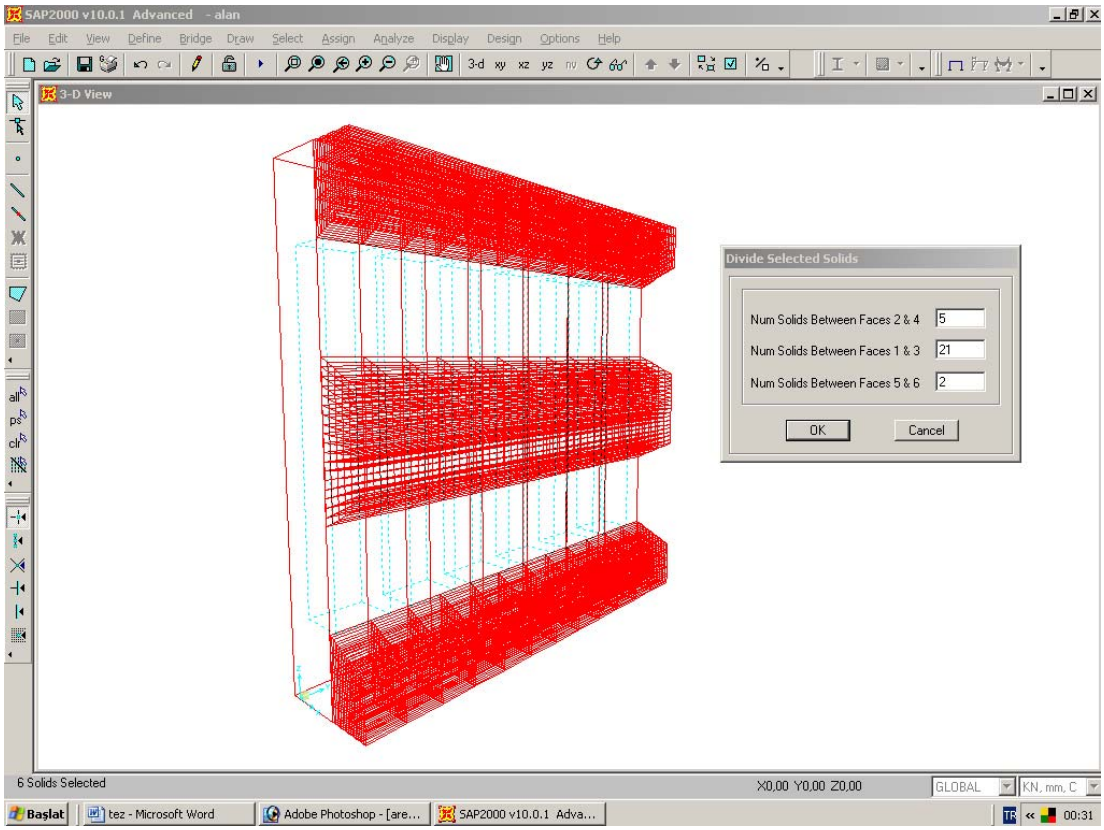
Şekil 7.14 SAP 2000 programında solid eleman oluşturulması



Şekil 7.15 SAP 2000 programında solid eleman oluşturulmuş hali

7.3.2.5. Solid elemanların bölünmesi

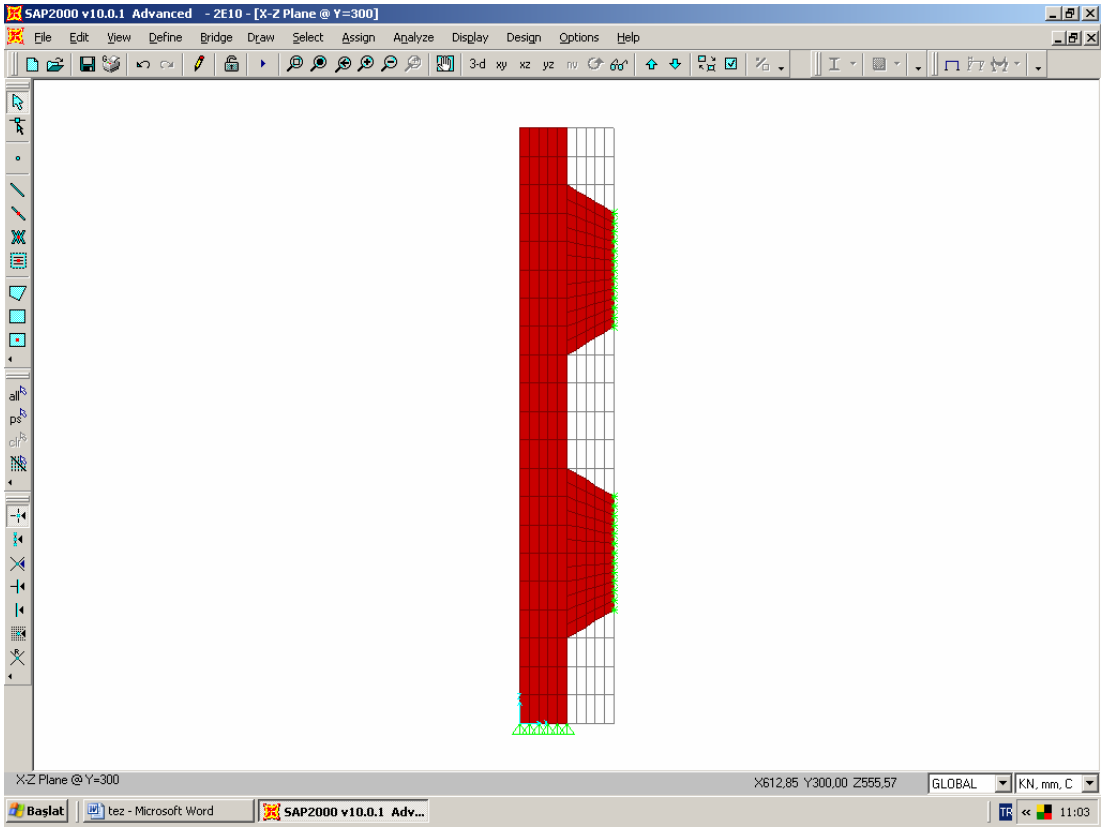
Solid elemanlar daha doğru sonuç elde etmek maksadıyla solid elamanlar birer birer seçilerek Edit > Divide Solids menüsünden kaç parçaya bölünmek isteniyorsa sayısı girilerek solid elemanlar bölünerek mesh edilir (Şekil 7.16).



Şekil 7.16 SAP 2000 programında solid elemanların bölünmesi

7.3.2.6. Mesnet şartlarının belirlenmesi

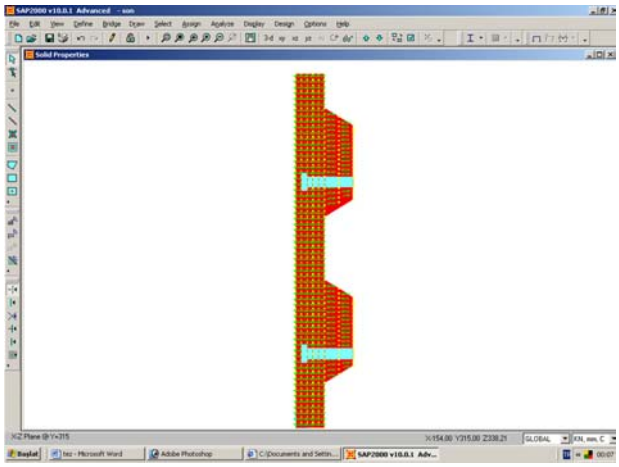
Deney numuneleri yere alçı ile sabitlendiği için yapılan modellemede zemine sabit mafsalla tutturulmuş olarak tanıtıldı. Numuneler profile kaynatıldığı yerlerden "z" yönündeki hareketi kısıtlanarak tanıtıldı (Şekil 7.17).



Şekil 7.17 SAP 2000 programında mesnet şartlarının tanımlanması

7.3.2.7. Kayma bağlayıcılarının girilmesi

Daha önceden özellikleri tanımlanan kayma bağlayıcıları Draw > Draw Frame/Cable/Tendon menüsünden saplama seçilerek yerleştirilir (Şekil 7.18).



Şekil 7.18 SAP 2000 programında kayma bağlayıcılarının girilmesi

7.3.3. Deney numunelerinin SAP 2000 programı ile analizi

SAP 2000 programı ile yapılan analizler için her numunenin solid modeli oluşturulmuştur. Yapılan modellerde beton ve çeliğin özellikleri her numune için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Her eleman 'mesh' işleminin yapıldığı düğümlerden birbirlerine bağlanmıştır. Başlıklı saplamanın modeli malzemenin aynı geometrik şeklinde modellenmiştir. Ancak eksismik çeliğinin geometrisi SAP 2000 programında birebir modellenemediği için aynı boyutlarda bir malzeme tanımlanarak mekanik özellikleri girilmiştir.

Deney numunelerinin üretiminde kullanılan betonların ortalama basınç dayanımı ile TS 500'e göre 7.33 ifadesinden elde edilen beton çekme dayanımları hesaplanmıştır.

$$f_{ct} = 0.35\sqrt{f_c} \tag{7.33}$$

Bu ifadede;

f_c = *Beton basınç dayanımı (N/mm^2)*

f_{ct} = *Beton çekme dayanımı (N/mm^2)*'dir.

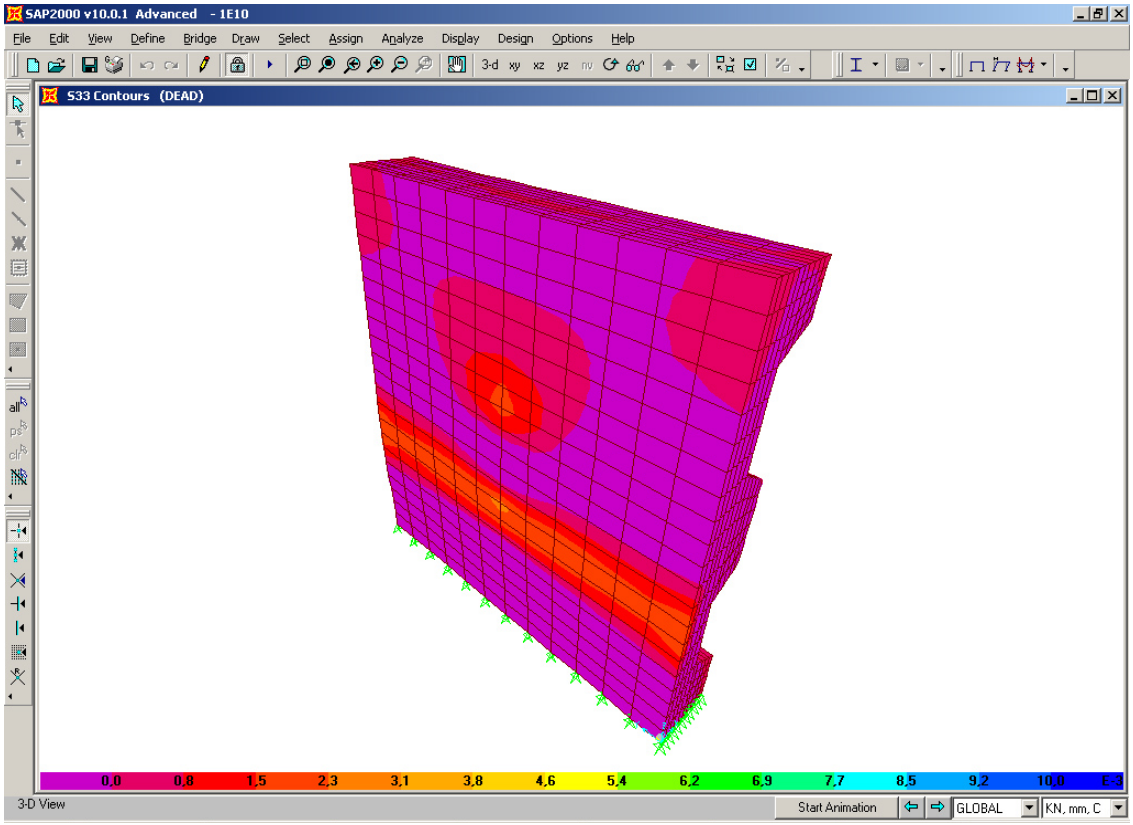
Elde edilen ortalama beton basınç dayanımı değeri kullanılarak 7.33 ifadesinden elde edilen ortalama beton çekme dayanımı 1,8 N/mm^2 dir.

Hesaplanan bu çekme dayanımına tekabül eden kayma bağlayıcılarındaki yük numunelere deneme yanılma yöntemiyle uygulanarak tespit edilmiştir. Bu amaçla modellenen numuneye eksenel yük tatbik edilmiş ve oluşan çekme gerilmeleri elde edilmiştir. Elde edilen çekme gerilmeleri betonun çekme dayanımına ulaşıncaya kadar bu işlem tekrarlanmıştır. Beton çekme gerilmesi çekme dayanımına eşit olduğu durumdaki eksenel yük analitik kırılma yükü olarak kabul edilmiştir.

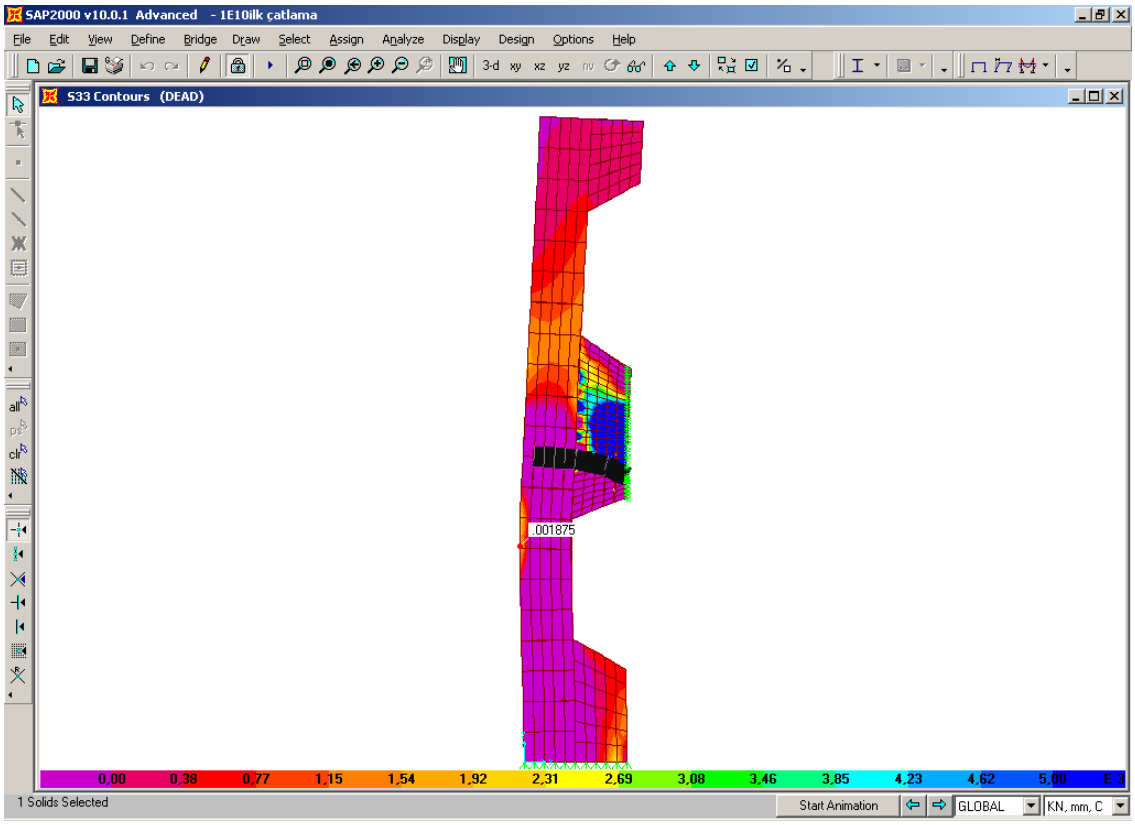
7.3.3.1. 1E10 numunesi

1E10 numunesi için modellenen sisteme eksenel yük tatbik edilmiş ve oluşan beton çekme gerilmeleri elde edilmiştir. Beton çekme gerilmesi çekme dayanımına eşit olduğu durumda tatbik edilen analitik eksenel yük değeri 66 kN'dur. Bu yük durumunda 3-3 yönünde oluşan çekme gerilmesine ait 3 boyutlu görüntü Şekil 7.19'da ve 3-3 yönünde oluşan çekme gerilmesine ait x-z yönündeki görüntü Şekil 7.20'de verilmiştir.

Yapılan çözümlerde görüldüğü gibi döşemenin ilk kırıldığı bölge deneylerde de olduğu gibi döşemenin alt zayıf eksenidir. Deneylerde olduğu gibi zayıf eksenden beton kırıldıktan sonra yük alamayacak duruma gelene kadar numune yüklenmeye devam ettiği takdirde çekme gerilmelerinin yoğun olduğu yerlerden döşeme kırılacaktır. Bu kırılma bölgeleri de deneylerle uyuşmaktadır. Çekme gerilmesinin olduğu yerlere bakıldığında deneylerde oluşan kırıklarla örtüştüğü görülmektedir.



Şekil 7.19 1E10 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (3d görünümü)

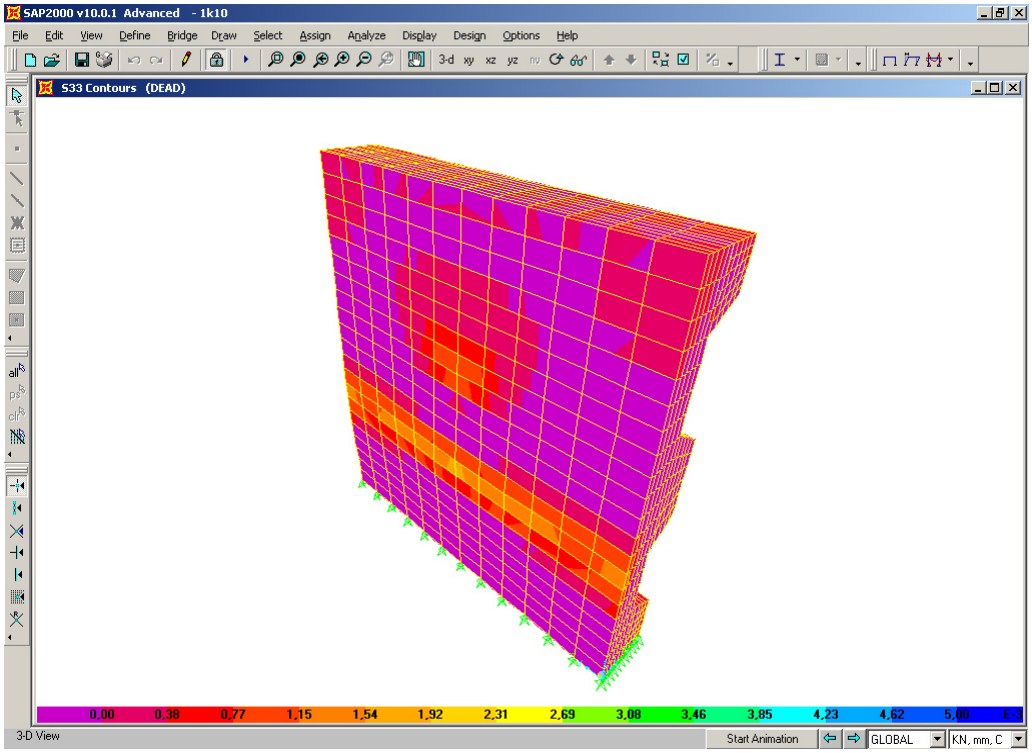


Şekil 7.20 1E10 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (x-z görünümü)

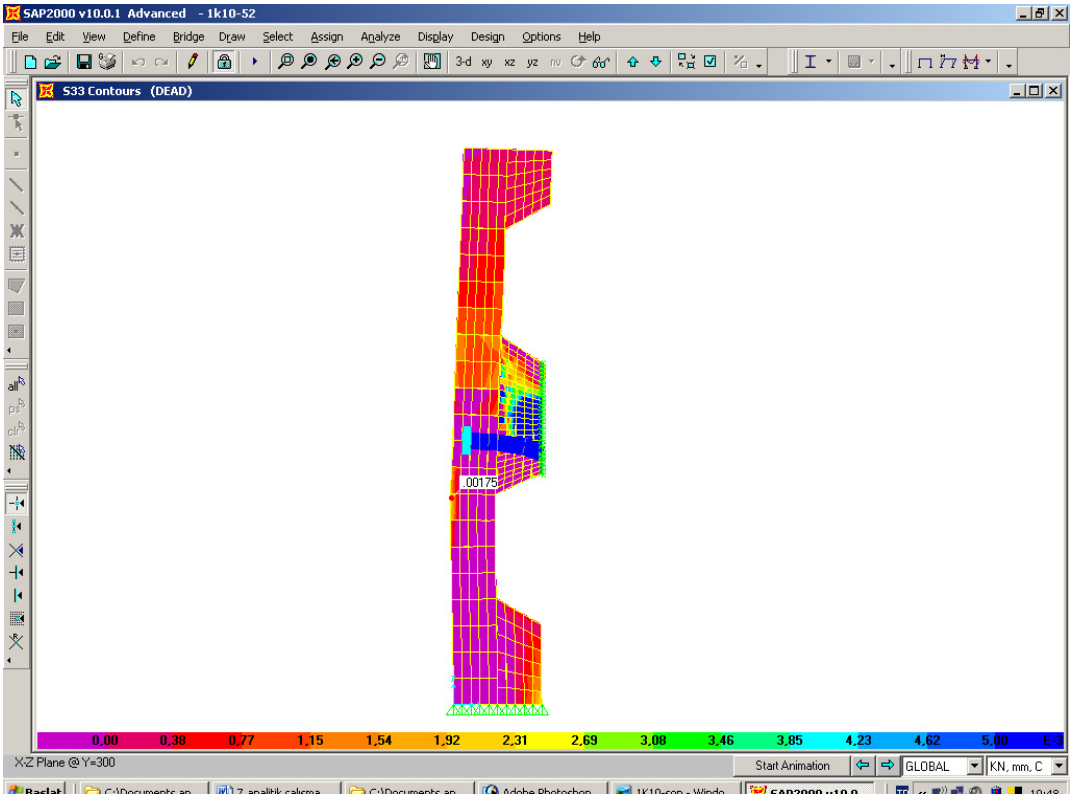
7.3.3.2. 1K10 numunesi

1K10 numunesi için modellenen sisteme eksenel yük tatbik edilmiş ve oluşan beton çekme gerilmeleri elde edilmiştir. Beton çekme gerilmesi çekme dayanımına eşit olduğu durumda tatbik edilen analitik eksenel yük değeri 60 kN'dur. Bu yük durumunda 3-3 yönünde oluşan çekme gerilmesine ait 3 boyutlu görüntü Şekil 7.21'de ve 3-3 yönünde oluşan çekme gerilmesine ait x-z yönündeki görüntü Şekil 7.22'de verilmiştir.

Yapılan modelleme sonucunda görüldüğü gibi döşemenin alt zayıf ekseninde meydana gelen çekme gerilmesinden dolayı burada boyuna kırılma olmuştur. Betonda oluşan kırılmanın yeri ve şekli teorik olarak da deneylerle örtüşmüştür.



Şekil 7.21 1K10 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (3d görünümü)

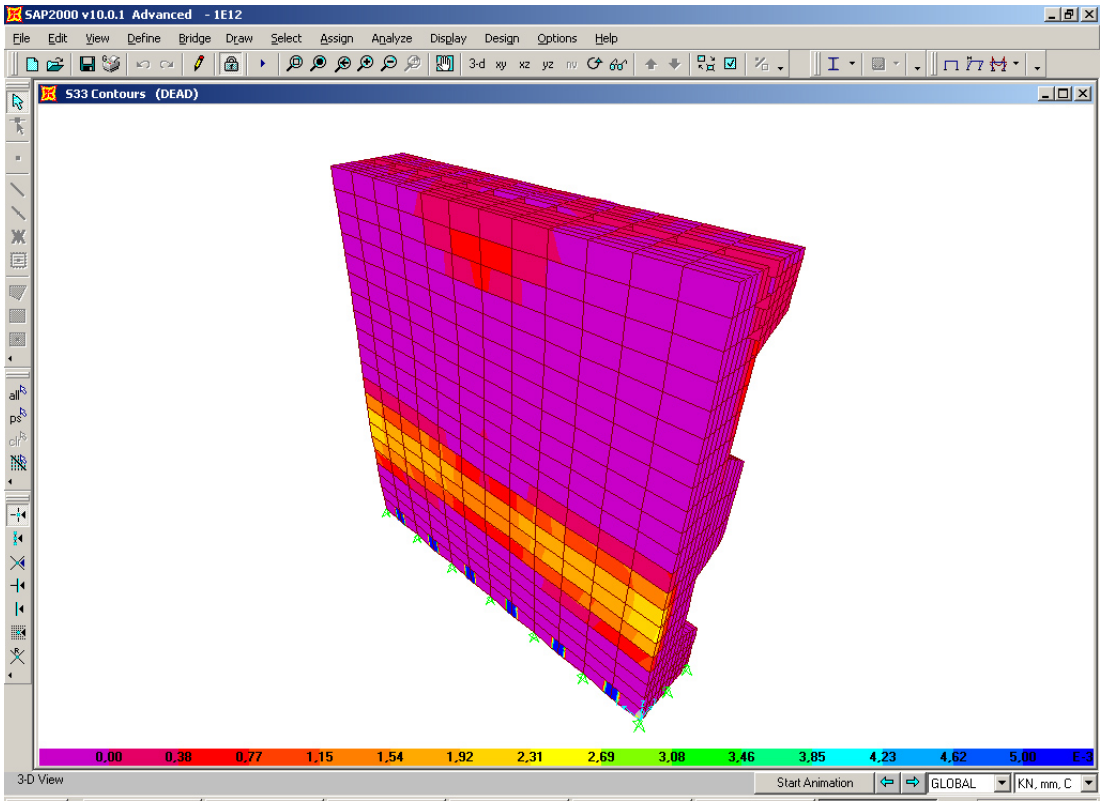


Şekil 7.22 1K10 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (x-z görünümü)

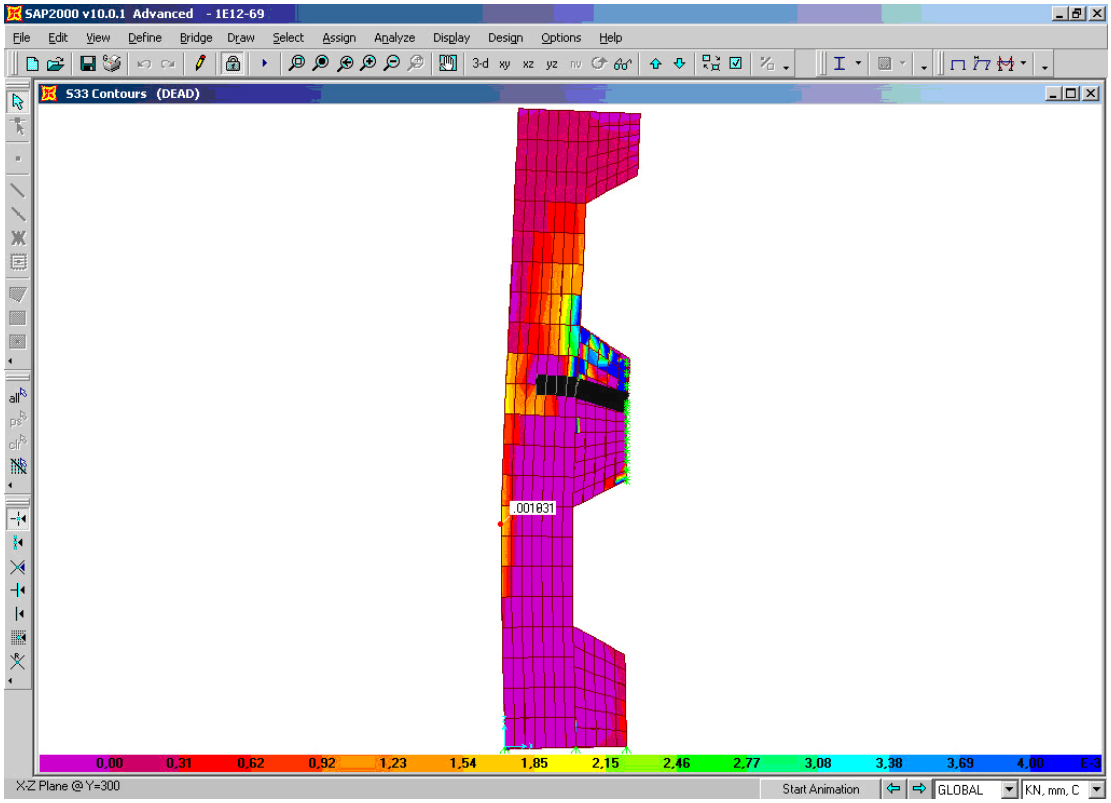
7.3.3.3. 1E12 numunesi

1E12 numunesi için modellenen sisteme eksenel yük tatbik edilmiş ve oluşan beton çekme gerilmeleri elde edilmiştir. Beton çekme gerilmesi çekme dayanımına eşit olduğu durumda tatbik edilen analitik eksenel yük değeri 72 kN'dur. Bu yük durumunda 3-3 yönünde oluşan çekme gerilmesine ait 3 boyutlu görüntü Şekil 7.23'de ve 3-3 yönünde oluşan çekme gerilmesine ait x-z yönündeki görüntü Şekil 7.24'de verilmiştir.

Deneyler ile yapılan modelleme çözümü arasında yük olarak fark olsa da döşemenin kırılma biçimi ye kırılan yeri bire bir örtüşmektedir. Gerilme yığılmalarının olduğu yerden deneyler sırasında kırılmalar gerçekleşmiştir.



Şekil 7.23 1E12 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (3d görünümü)

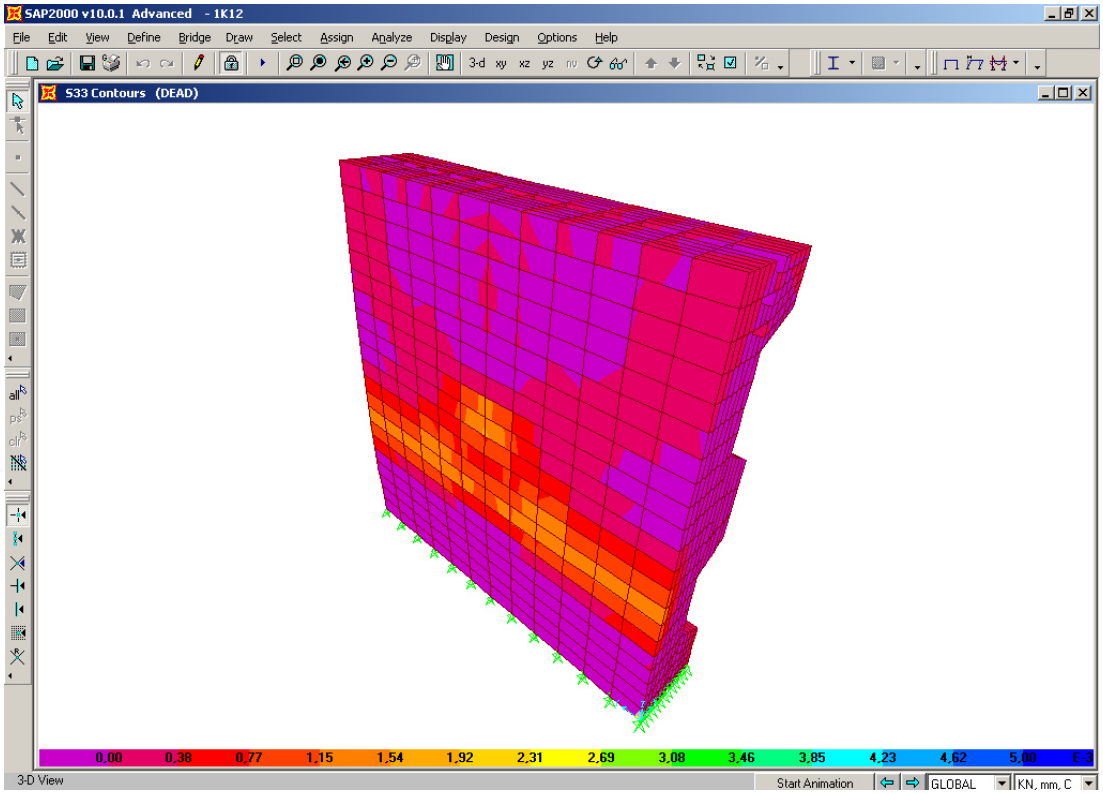


Şekil 7.24 1E12 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (x-z görünümü)

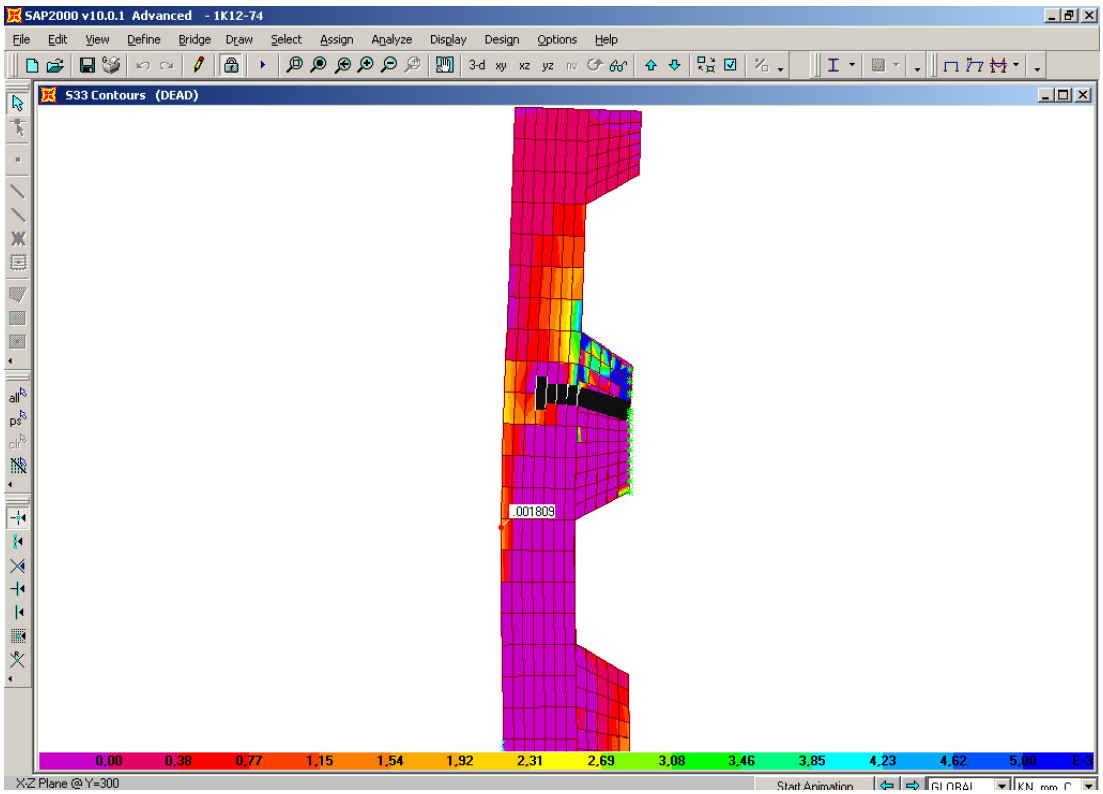
7.3.3.4. 1K12 numunesi

1K12 numunesi için modellenen sisteme eksenel yük tatbik edilmiş ve oluşan beton çekme gerilmeleri elde edilmiştir. Beton çekme gerilmesi çekme dayanımına eşit olduğu durumda tatbik edilen analitik eksenel yük değeri 69 kN'dur. Bu yük durumunda 3-3 yönünde oluşan çekme gerilmesine ait 3 boyutlu görüntü Şekil 7.25'de ve 3-3 yönünde oluşan çekme gerilmesine ait x-z yönündeki görüntü Şekil 7.26'da verilmiştir.

Görüldüğü gibi döşemenin kırılma biçimi ye kırılan yeri bire bir örtüşmektedir. Gerilme yığılmalarının olduğu yerden deneyler sırasında kırılmalar gerçekleşmiştir. SAP 2000 programı ile yapılan çözümlerle deneysel sonuçları karşılaştırdığımızda sonuçların birbirine yakın olduğu görülüştür. Kırılma yerleri ve kırılma türleri de deneysel sonuçlarla örtüşmektedir. Hem deneylerde hem de analitik sonuçlarda görüldüğü gibi çekme gerilmesinin yoğun olduğu alt zayıf eksende kırılmalar olmuştur.



Şekil 7.25 1K12 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (3d görünümü)



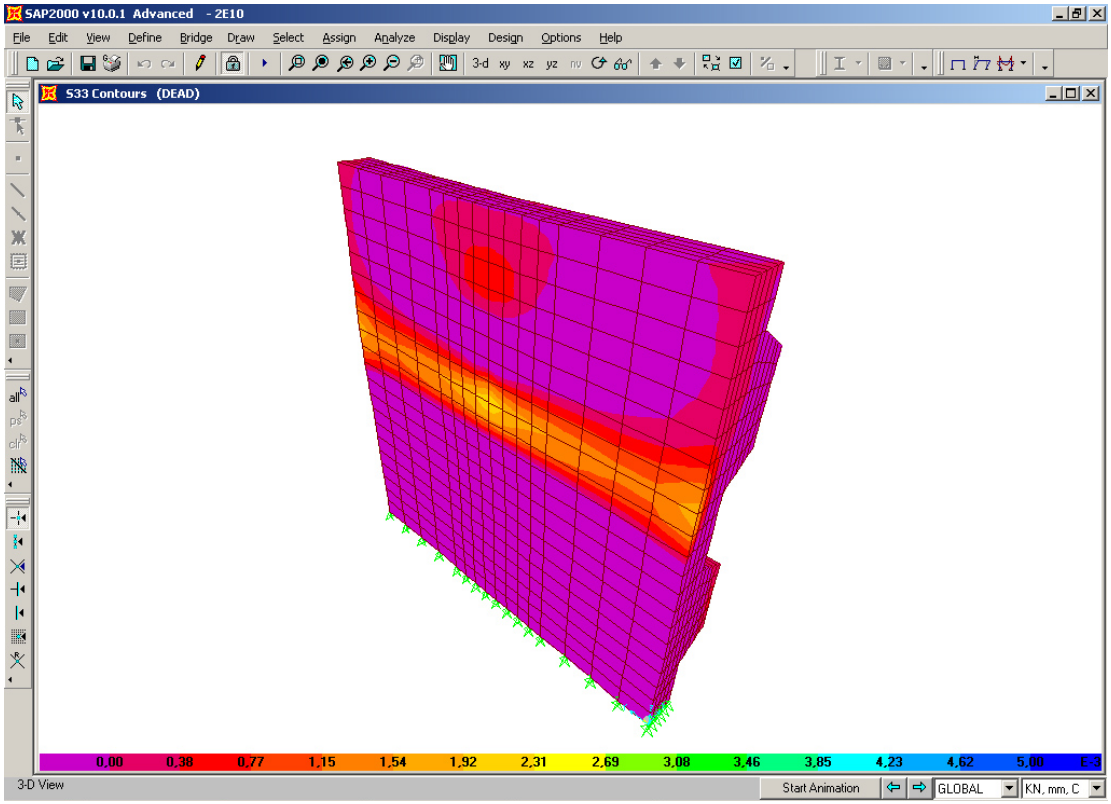
Şekil 7.26 1K12 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (x-z görünümü)

7.3.3.5. 2E10 numunesi

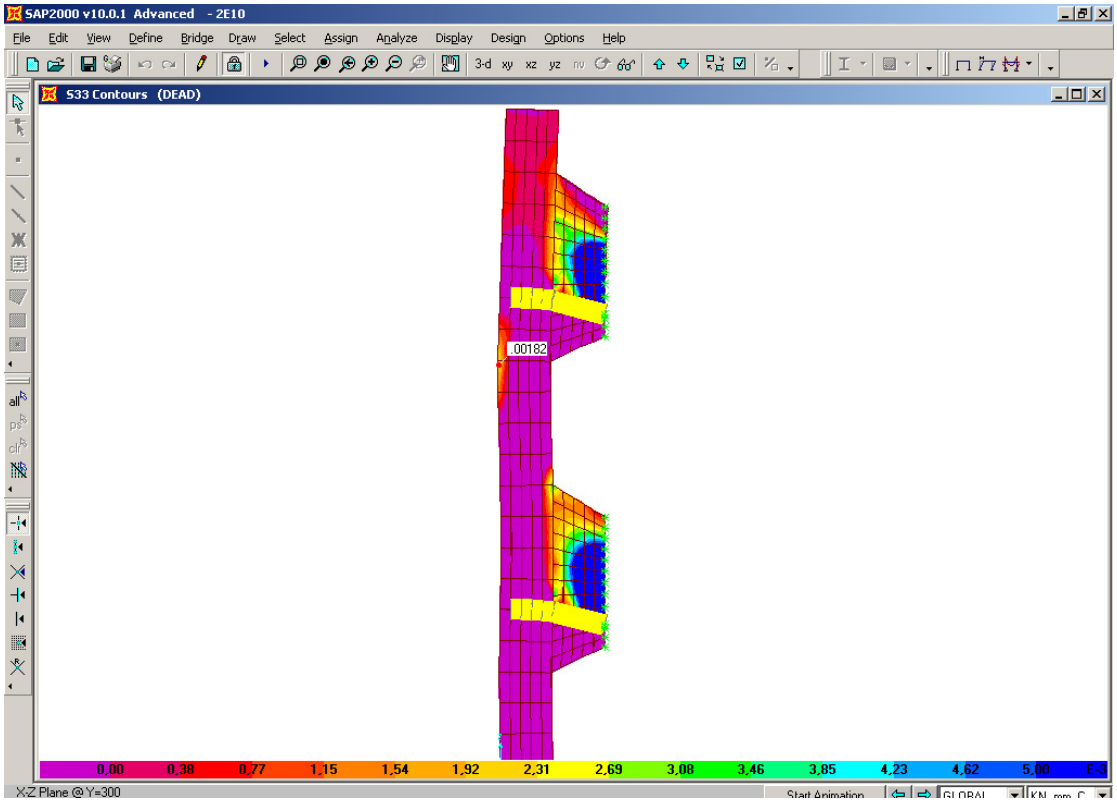
2E10 numunesi için modellenen sisteme eksenel yük tatbik edilmiş ve oluşan beton çekme gerilmeleri elde edilmiştir. Beton çekme gerilmesi çekme dayanımına eşit olduğu durumda tatbik edilen analitik eksenel yük değeri 60 kN'dur. Bu yük durumunda 3-3 yönünde oluşan çekme gerilmesine ait 3 boyutlu görüntü Şekil 7.27'de ve 3-3 yönünde oluşan çekme gerilmesine ait x-z yönündeki görüntü Şekil 7.28'de verilmiştir.

.

SAP 2000 programında yapılan çözümde bu numunede zayıf eksende betonun kayma bağlayıcısına 60 kN'luk bir yük düştüğünde çatlayacağı sonucuna varılmıştır. Görüldüğü gibi bu deneyde beton zayıf eksenin üstünden çatlamıştır. Yapılan modelleme ile deneysel sonuçların yaklaşık aynı olduğu ve kırılma yerlerinin ve türlerinin yaklaşık aynı olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7.27 2E10 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (3d görünümü)

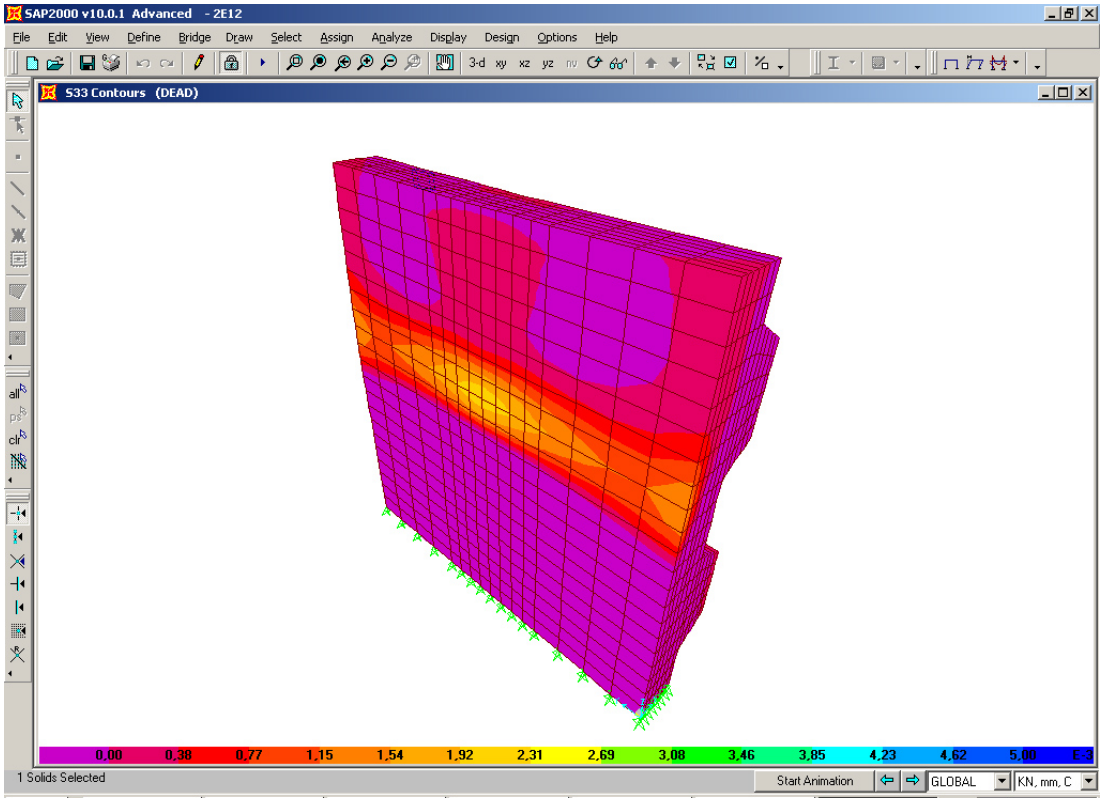


Şekil 7.28 2E10 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (x-z görünümü)

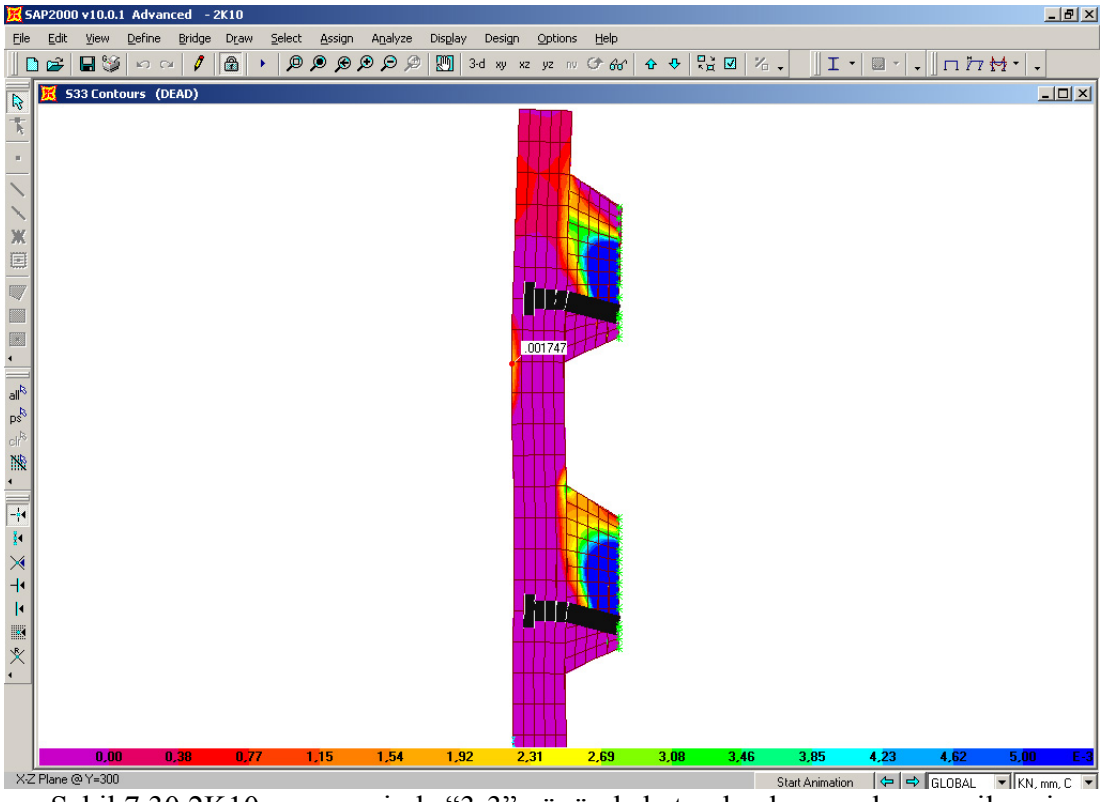
7.3.3.6. 2K10 numunesi

2K10 numunesi için modellenen sisteme eksenel yük tatbik edilmiş ve oluşan beton çekme gerilmeleri elde edilmiştir. Beton çekme gerilmesi çekme dayanımına eşit olduğu durumda tatbik edilen analitik eksenel yük değeri 58 kN'dur. Bu yük durumunda 3-3 yönünde oluşan çekme gerilmesine ait 3 boyutlu görüntü Şekil 7.29'da ve 3-3 yönünde oluşan çekme gerilmesine ait x-z yönündeki görüntü Şekil 7.30'da verilmiştir.

Yapılan modelleme sonucunda Şekil 7.28'den görüldüğü gibi döşemenin zayıf ekseninde meydana gelen çekme gerilmesinden dolayı burada boyuna kırılma olmuştur. Betonda oluşan kırılmanın yeri ve şekli teorik olarak da deneylerle örtüşmüştür.



Şekil 7.29 2K10 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (3d görünümü)

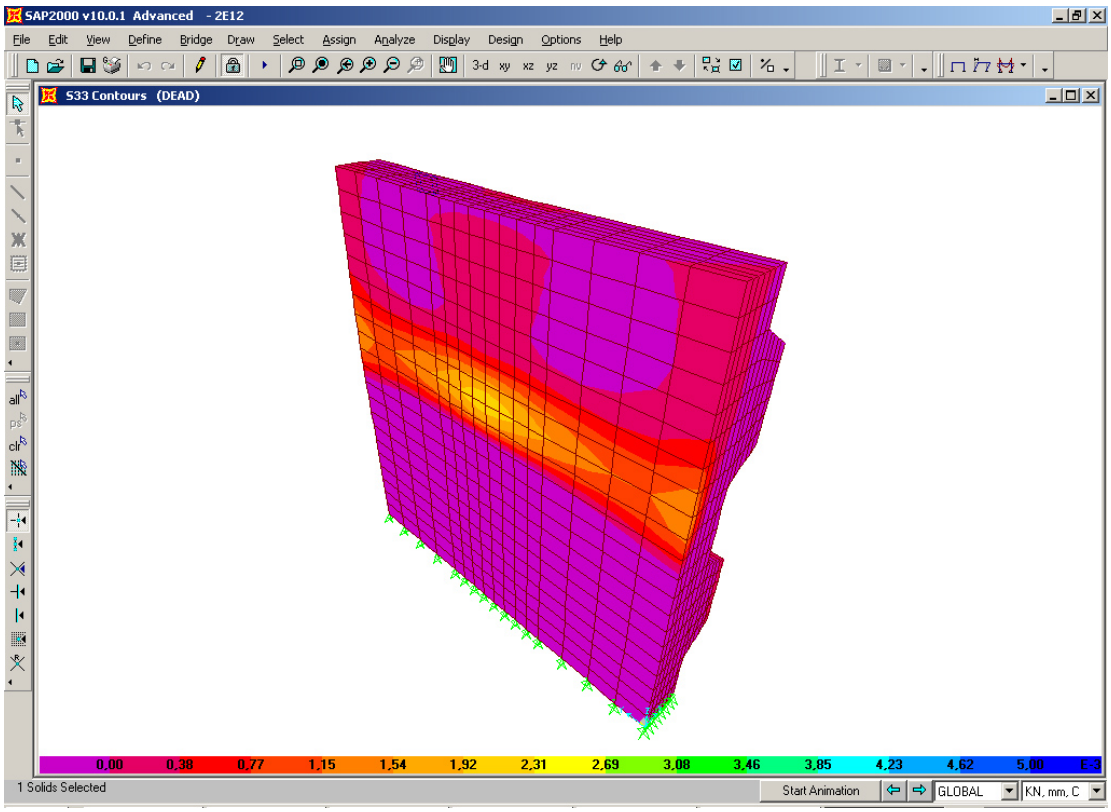


Şekil 7.30 2K10 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (x-z görünümü)

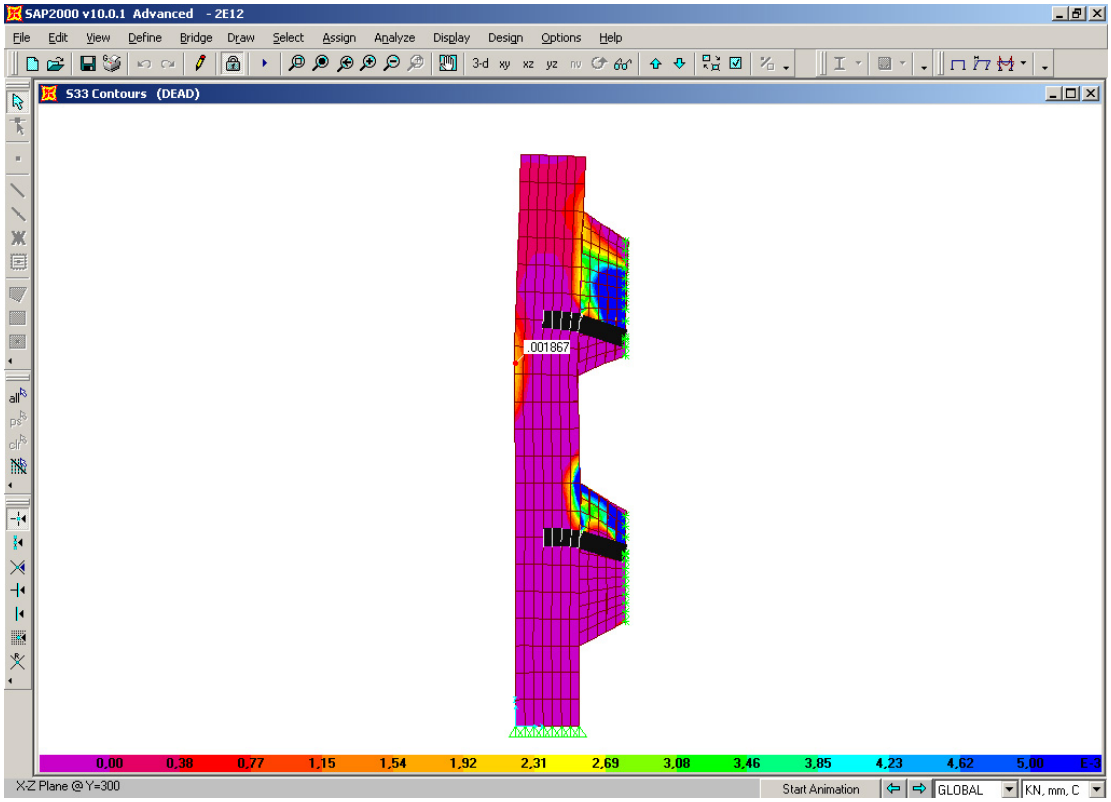
7.3.3.7. 2E12 numunesi

2E12 numunesi için modellenen sisteme eksenel yük tatbik edilmiş ve oluşan beton çekme gerilmeleri elde edilmiştir. Beton çekme gerilmesi çekme dayanımına eşit olduğu durumda tatbik edilen analitik eksenel yük değeri 66 kN'dur. Bu yük durumunda 3-3 yönünde oluşan çekme gerilmesine ait 3 boyutlu görüntü Şekil 7.31'de ve 3-3 yönünde oluşan çekme gerilmesine ait x-z yönündeki görüntü Şekil 7.32'de verilmiştir.

Deneyler ile yapılan modelleme çözümü arasında yük olarak fark olsa da döşemenin kırılma biçimi ye kırılan yeri bire bir örtüşmektedir. Gerilme yığılmalarının olduğu yerden deneyler sırasında kırılmalar gerçekleşmiştir.



Şekil 7.31 2E12 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (3d görünümü)

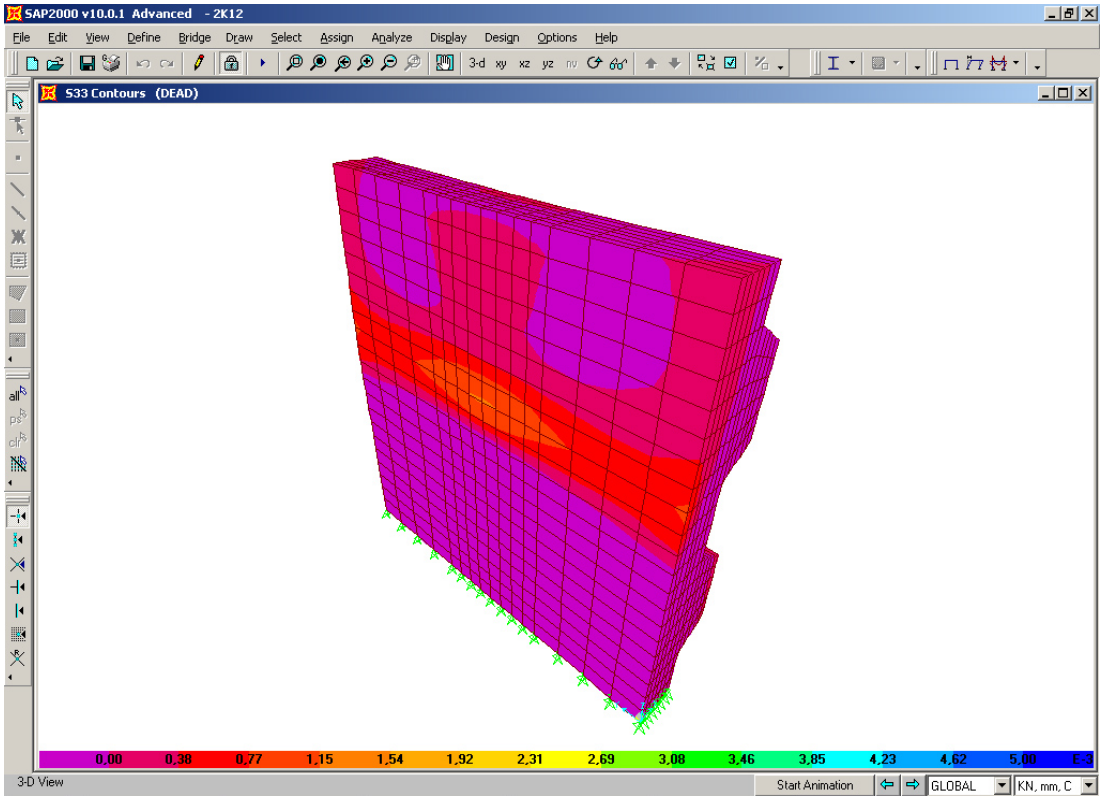


Şekil 7.32 2E12 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (x-z görünümü)

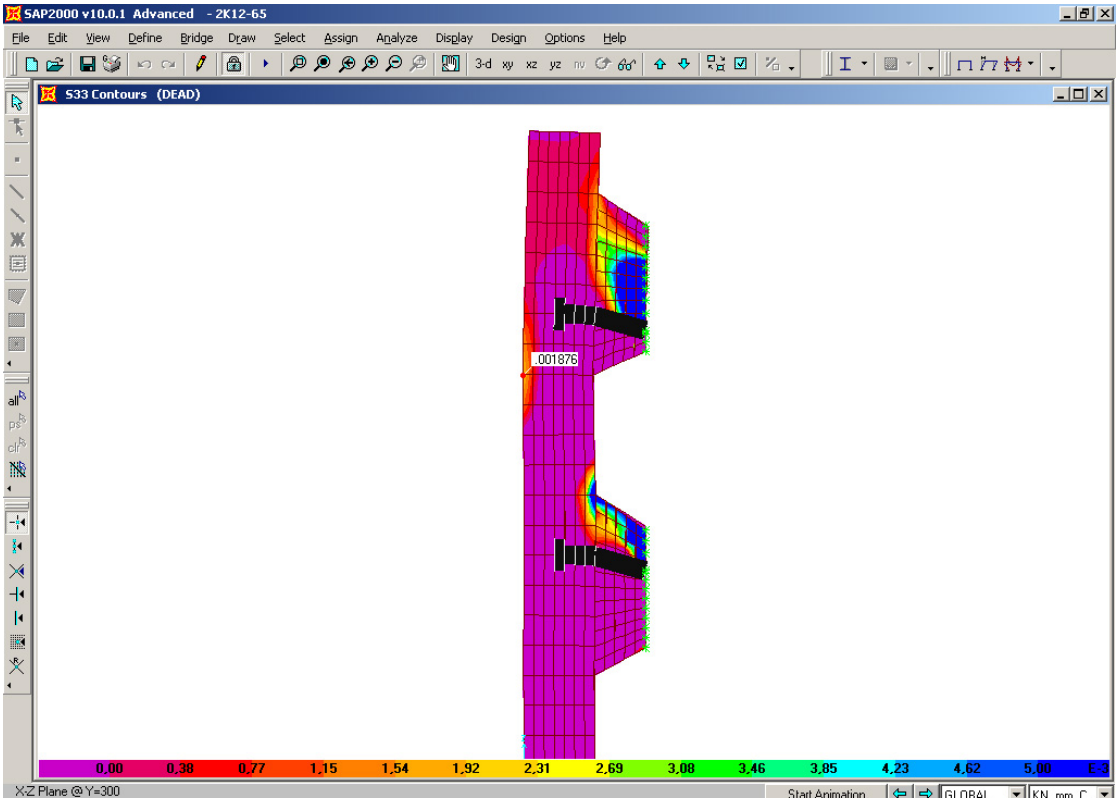
7.3.3.8. 2K12 numunesi

2K12 numunesi için modellenen sisteme eksenel yük tatbik edilmiş ve oluşan beton çekme gerilmeleri elde edilmiştir. Beton çekme gerilmesi çekme dayanımına eşit olduğu durumda tatbik edilen analitik eksenel yük değeri 65 kN'dur. Bu yük durumunda 3-3 yönünde oluşan çekme gerilmesine ait 3 boyutlu görüntü Şekil 7.33'de ve 3-3 yönünde oluşan çekme gerilmesine ait x-z yönündeki görüntü Şekil 7.34'de verilmiştir.

Şekil 7.32'de görüldüğü gibi kırılma döşemede çekme gerilmelerinin arttığı zayıf eksende olmalıdır. Ancak, bu deneyde itme-çıkarma deneylerinde oluşabilecek kırılma türlerinden olan kaynak kırılması olmuştur. Yani kayma bağlayıcısı veya beton taşıyabileceği en yüksek yüke çıkmadan kaynaktan kırılma gerçekleşmiştir.



Şekil 7.33 2K12 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (3d görünümü)



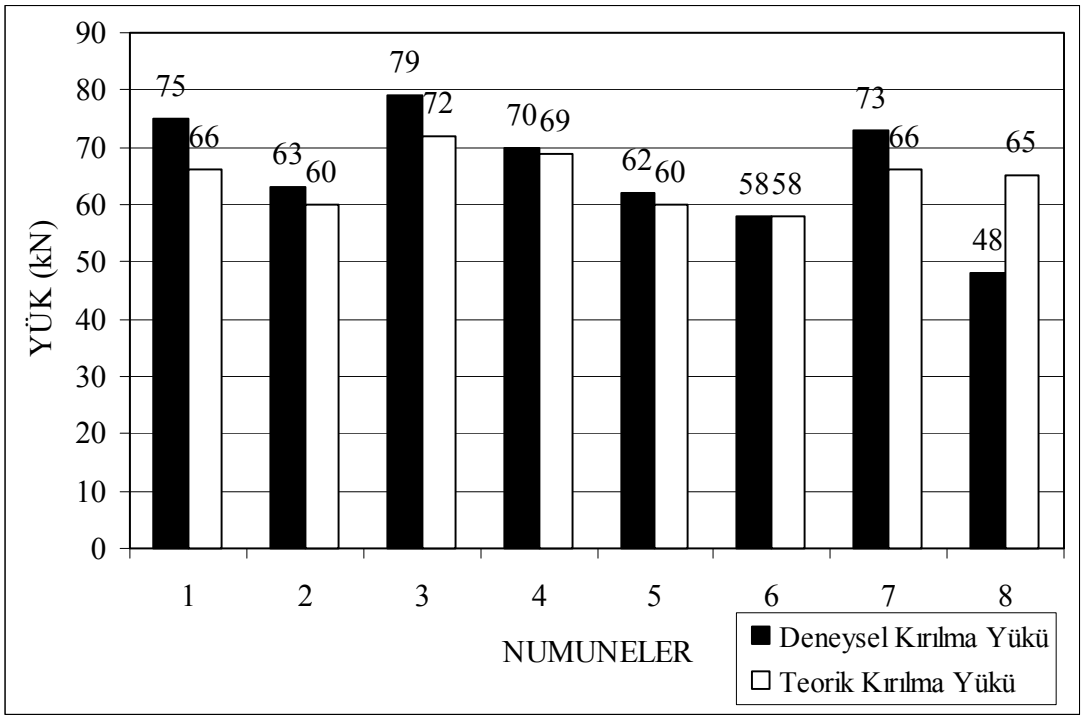
Şekil 7.34 2K12 numunesinde "3-3" yönünde betonda oluşan çekme gerilmesi (x-z görünümü)

7.3.4. Deneysel ve sonlu elemanlar çözüm sonuçlarının karşılaştırılması

Bu çalışmada yapılan her deney için toplam başlığa gelen yükün her kayma bağlayıcısına eşit dağıldığı kabul edilerek toplam yükün kayma bağlayıcısına bölünmesiyle bir kayma bağlayıcısına düşen yük hesap edilmiştir. Bu yüklerle elde edilen analitik yükler karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar Çizelge 7.5'de gösterilmiştir. Bütün numunelerde deneysel kırılma yerlerinin ve oluşan kırılma şekillerinin analitik çözümlerle oldukça iyi bir şekilde örtüştüğü tespit edilmiştir. Bu sonuçlar da Şekil 7.35'de çubuklu grafik şeklinde verilmiştir.

Çizelge 7.5 Deneysel ve analitik sonuçların karşılaştırılması

Numune No	Numune	Toplam Başlık Yükü (kN)	SAP 2000 Programında Bulunan Çatlama Yükü (kN)	1 Bağlayıcıya Düşen Deneysel Çatlama Yükü (kN)
1	**1E10**	150	66	75
2	**1K10**	126	60	63
3	**1E12**	178	72	79
4	**1K12**	140	69	70
5	**2E10**	248	60	62
6	**2K10**	232	58	58
7	**2E12**	292	66	73
8	**2K12**	192	65	48



Şekil 7.35 Deneysel ve Teorik kırılma yükü karşılaştırma

8. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

8.1. Giriş

Bir yapıda kullanılan malzemelerin seçiminde en önemli kriterler güvenlik ve ekonomidir. Kullanılan malzemelerin öngörülen yükleri en elverişsiz durumlarda taşıyabilen maliyeti düşük elemanlar olması çok önemlidir. Bunun içinde kompozit yapı elemanlarında kayma bağlayıcısı olarak farklı malzemeler denenmiştir. Bu çalışmada başlıklı saplamalara alternatif olarak eksismik çeliği kullanılmıştır.

Eksismik çeliğinin kompozit döşemelerde ve kirişlerde kayma bağlayıcısı olarak kullanılabilirliğinin deneysel ve teorik olarak araştırıldığı bu çalışmada on altı adet numune üzerinde sekiz adet itme-çıkarma deneyi yapılmıştır. Her numune üzerine bağlanan altı adet deplasman ölçer ile uygulanan düşey yük altında kayma bağlayıcılarındaki kaymadan dolayı oluşan yer değiştirmeler ölçülerek kaydedilmiştir. Kaydedilen datalar sonucunda her numunede yük deplasman grafikleri çizilmiştir. Her numune üzerinde oluşan çatlakların hangi yükte ve nasıl oluştuğunu tespit edilmiştir. Kayma bağlayıcısı olarak eksismik çeliğinin ve başlıklı saplamanın kullanıldığı aynı özellikteki numunelerin yük deplasman grafikleri çizilerek kırılma türleri tespit edilmiş ve yorumlanmıştır. Deneysel ve analitik sonuçların bir karşılaştırması da Çizelge 8.1'de verilmiştir.

Çizelge 8.1 Deneysel ve analitik sonuçların karşılaştırılması

Numune	Deneyde Oluşan en Fazla Yükü (kN)	Kırılma Yükünde Bir Bağlayıcıya Düşen Yük (kN)	Sonlu Elemanlara göre Kırılma Yükü (kN)	LRFD'ye göre Kayma Bağlayıcısının Taşıyabileceği Maksimum Yük (kN)	EUROCODE4' e göre Kayma Bağlayıcısının Taşıyabileceği Maksimum Yük (kN)	CSA'ya e göre Kayma Bağlayıcısının Taşıyabileceği Maksimum Yük (kN)	Deneysel/Sonlu Elemanlar kırılma Yük Oranları
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(2/3)
1E10	150	75	66	149,87	100,48	87,36	1,14
1K10	126	63	60	125,63	81,61	86,31	1,05
1E12	178	79	72	152,70	100,48	83,10	1,10
1K12	140	70	69	128,73	81,61	86,31	1,01
2E10	248	62	60	145,39	100,48	86,18	1,03
2K10	232	58	58	123,13	81,61	84,28	1,00
2E12	292	73	66	150,19	100,48	81,22	1,11
2K12	-	48	65	134,93	81,61	80,39	0,74

8.2. Deneysel Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar

İtme-çıkarma deneylerinden elde edilen en önemli sonuç eksismik çeliğinin de kompozit döşeme ve kompozit kirişlerde de kayma bağlayıcısı olarak kullanılabileceğidir. Eksismik çeliği betonla iyi aderans sağlayan geometrisiyle, iyi kaynak yapılabilirliğiyle ve çekme dayanımının yüksek olmasıyla başlıklı saplamalara alternatif olabileceği sonucuna varılmıştır.

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlardan, çizilen yük-deplasman grafikleriyle, oluşan kırıkların zamanları ve kırıkların çeşitlerinden yola çıkılarak daha önce yapılan çalışmalardan ve mevcut yönetmeliklerden de faydalanılarak eksismik çeliği ve başlıklı saplamalarla hazırlanan numuneler birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Yapılan karşılaştırmalar deneylerde kullanılan kayma bağlayıcısı çeşidi, kayma bağlayıcısı sayısı ve döşeme betonunun yüksekliği olarak üç farklı değişkene göre yapılacaktır.

8.2.1. Kayma bağlayıcısı çeşitleri yönünden değerlendirme

Yapılan deneysel çalışmada her iki kayma bağlayıcısının da birbirine yakın davranışlar sergilediği görülmüştür. Aralarında oluşan farklılıkların kayma bağlayıcılarının geometrisinden, mekanik özelliklerinden ve 1 mm'lik yarı çapı farkından olduğu kanısına varılmıştır. Kullanılan eksismik çelikli ve başlıklı saplamalı numunelerde elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında;

- Deneyler sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda eksismik çeliğinin kullanıldığı her deneyde kırılma yükü ve kayma bağlayıcısına düşen yük değerine göre; 1. grup numunelerde 10 cm'lik döşeme kalınlığı için %7 daha fazla, 12 cm döşeme kalınlığı için ise %2 daha fazla, 2.grup numunelerde 10 cm'lik döşeme kalınlığı için %4 daha az, 12 cm döşeme kalınlığı için ise %37 oranında daha fazladır.
- Eksismik çeliğinin kayma bağlayıcısı olarak kullanıldığı numunelerden elde edilen yük deplasman eğrileri ile başlıklı saplamaların kullanıldığı

numunelerden elde edilen eğriler karşılaştırılınca eksismik çelikli döşemelerin daha rijit davranış sergiledikleri tespit edilmiştir.

- Deneyler sonrasında betonların içerisinden sökülen kayma bağlayıcıları üzerinde oluşan deformasyonlar incelendiğinde başlıklı saplamalarda eksismik çeliklerine göre daha fazla eğilme deformasyonları tespit edilmiştir. Eğilme deformasyonları bağlayıcıların ortasında oluşmuştur.
- Eksimik çeliğinin geometrisi sayesinde betonla iyi bir aderans sağladığı ve betondan sıyrılmasının da zor olduğu sonucuna varılmıştır.
- Başlıklı saplamaların kullanıldığı döşemelerde yük taşıyamayacak hale gelinceye kadar oluşan kırılmalar incelendiğinde döşemenin katlanmış çelik saçların katlanma eksenlerine dik kırılmalara da meyilli olduğu görülmüştür. Bunun başlıklı saplamalı numunelerin saplamaların üst tarafında genişliği artan geometrisinden dolayı olduğu kanısına varılmıştır.
- Numuneler kırıldıktan sonra betonun içinden çıkarılan bağlayıcılarda eksismik çeliğinin çoğunda yüzeyinde beton parçalarıyla kaldığı tespit edilmiştir. Başlıklı saplamaların hiç birinde bu duruma rastlanmamıştır.

8.2.2. Kayma bağlayıcısı sayısı yönünden değerlendirme

Yapılan çalışmada 650 mm'lik döşeme üzerinde 1 adet ve 2 adet kayma bağlayıcısının kullanıldığı deneyler yapılmıştır. Yapılan bu değişikliğin gerek taşıma gücünde gerek oluşan deplasmanlarda bariz farklılıklar oluşturmadığı görülmüştür. Ancak, bir adet kayma bağlayıcılı numuneler kendileriyle özdeş iki adet numunelerle karşılaştırılınca;

- Bir tane kayma bağlayıcısının kullanıldığı numunelerde iki tane kayma bağlayıcılı numunelere göre eksismik çeliği kullanılan numuneler için 100 mm'lik döşemelerde %20, 120 mm'lik döşemelerde %8 daha fazla, başlıklı saplama kullanılan numuneler için 100 mm'lik döşemelerde %9, 120 mm'lik döşemelerde %46 daha fazla yük taşıdığı görülmüştür.

Bunun iki tane nedeni olabileceği düşünülmektedir.

1. Beton dayanımınleri arasındaki farklar yüzünden olabilir.
2. Bir tane bağlayıcının kullanıldığı numunelerin zemine oturan yüzeyi 100 mm'lik beton döşemelerde 100 mm, 120 mm'lik beton döşemelerde 120 mm'dir. İki tane bağlayıcının kullanıldığı numunelerin zemine oturan yüzeyi 100 mm'lik beton döşemelerde 50 mm, 120 mm'lik beton döşemelerde 70 mm'dir. Bu yüzden, sistem yüklendiği zaman iki bağlayıcılı numunelerde moment kolu fazla olduğu için zayıf eksenlere daha fazla moment etkimektedir. Bu da döşemenin zayıf eksenden daha az bir kuvvet altında kırılmasına neden olmaktadır.

8.2.3. Beton yüksekliği yönünden değerlendirme

Bu çalışmada döşeme yüksekliği 100 ve 120 mm olan iki grup numune kullanılmıştır. Bu iki grup karşılaştırıldığında;

- Beton yüksekliği arttıkça numunelerin taşıdığı yükün arttığı tespit edilmiştir.120 mm döşeme kalınlığı kullanıldığında 100 mm döşemelere göre; eksismik çeliği kullanılan numunelerde tek bağlayıcı için %1,05, çift bağlayıcı için %18 daha fazla, başlıklı saplama kullanılan numunelerde tek bağlayıcı için %11 daha fazla, çift bağlayıcı için % 17 daha az yük taşımaktadır.
- Beton yüksekliği arttıkça kırılma anında başlıkta oluşan deplasmanların azaldığı tespit edilmiştir.
- Eğilme deformasyonlarının daha fazla oluştuğu kayma bağlayıcılarının 2 adet kayma bağlayıcısının kullanıldığı ve 120 mm döşeme yükseklikli numuneler olduğu tespit edilmiştir.
- 1E10 numunesinde oluşan kırılma türü de diğer numunelerdeki gibi kayma bağlayıcısının çok deplasman yapmamasındandır. Bunun sebebi de bir adet kullanılan kayma bağlayıcısında döşeme yüksekliğinin de 100 mm olmasından kayma bağlayıcısının yeterince yüklenemeden betonun zayıf eksenden kırılmasıdır. Beton döşemenin zayıf eksenden

hemen kırılmaması için beton yüksekliği yüksek tutulmalı veya üst donatı kullanılmalıdır.

- Yapılan deneyler sonucunda beton yüksekliğinin katlanmış çelik saçlı döşemelerde zayıf eksenlerden dolayı çok önemli olduğu anlaşılmıştır. Daha güvenli bir döşeme için beton yüksekliğinin en az 120 mm seçilmesi tavsiye edilmektedir.

Üç farklı değişkene göre yapılan karşılaştırmalardan elde edilen sonuçlardan başka, ayrıca aşağıdaki sonuçlar da elde edilmiştir.

- Kayma bağlayıcılarında tespit edilen üç adet kırılma türünde 2K12 numunesinde oluşan kaynak kırılmasının nedeni olarak bu numunede kaynağın uygun olarak yapılamadığı düşünülmektedir. Kaynak kırıldıktan sonra incelendiğinde kaynakta boşluklar olduğu saplanmıştır. Bu yüzden kayma bağlayıcıları kaynakla tutturulacaklarsa mutlaka çok dikkatli kaynak yapılmalıdır.
- Deneylerde kullanılan döşemelerin katlanmış çelik saçlardan dolayı oluşan geometrisinden zayıf eksenleri meydana gelmektedir. Döşemelerde kırılmalar ilk bu zayıf eksenlerde oluşmaktadır. Bu kırılmaları geciktirmek ve döşemenin daha fazla kayma kuvveti taşıyabilmesi için beton dayanımı arttırılmalı ve üst donatı kullanılmalıdır.

8.3. Analitik Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar

8.3.1. SAP 2000 programı ile elde edilen sonuçlar

SAP 2000 programı ile oluşturulan Solid model ile yapılan çözümde oluşan çekme ve basınç gerilmeleri ile deplasmanlar tespit edilmiştir. Bu değerlerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Yapılan modellemeden elde edilen çekme gerilmeleri deneysel çalışmalarda oluşan çatlaklarla aynı yerde oluştuğu için modellemelerin

deneyler öncesinde bize yakın sonuçları verebileceği kanısına varılmıştır.

- Deneysel çalışmada oluşan kırılma anındaki yüklerle modellemedeki yükler 2K12 numunesi haricinde en fazla %14 kadar bir sapma olacak şekilde oldukça yakın sonuçlar vermektedir. Gerekli karşılaştırmalar Çizelge 8.1'de verilmiştir. 2K12 numunesinde kırılma yüklerinin yakın sonuçlar vermemesi bu numunede oluşan kaynak kırılmasından kaynaklanmaktadır.
- Modellemelerde kayma bağlayıcısının etrafında oluşan çekme ve basınç gerilmeleri literatürle paralellik arz etmektedir.

8.3.1. Bazı Standartlardan elde edilen sonuçlar

Bu çalışmada Amerikan standardı LRFD, Avrupa standardı Eurocode-4 ve Kanada Standardı CSA' ya göre itme-çıkarma deneylerinde bir bağlayıcının taşıyabileceği en fazla yük tespit edilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Yapılan hesaplamalarda deneysel çalışmalara en yakın sonuçlar Eurocode–4 ve CSA ile yapılan çözümlerden elde edilmiştir. Bunun da sebebi bu standartta katlanmış çelik sacın geometrisine göre düzeltme katsayısının kullanılmasıdır.
- Eurocode–4 ile yapılan çözümde LRFD' ye göre daha yakın sonuçlar vermekle beraber ikisinde de deneysel sonuçlara göre %25 ile %53 arasında sapmalar olmuştur.
- Standartlarda elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar arasında oluşan farkın bazı sebepleri vardır. Bunlar;
    1. Standartlarda öngörülen yük değerleri bir bağlayıcının taşıyabileceği en fazla kesme kuvveti değerleri olarak verilmiş.
    2. Standartlarda öngörülen yük değerleri hesaplanırken döşemelerde katlanmış çelik saçların katlanma şeklinden dolayı oluşan zayıflama her katlanma şekli için göz önüne alınmamış.

3. Standartlarda öngörülen yük değerleri hesaplanırken döşemedeki beton yüksekliği göz önüne alınmamış.
4. Deneyler sırasında üretilen betondan ve yapılan kaynaklardan oluşabilecek imalat hataları da aradaki farkın artmasına neden olabilir.

Genel olarak kayma bağlayıcısı olarak kullanılan başlıklı saplamalara alternatif olabilecek eksismik çeliği kullanıldığında Ek 1'de yapılan maliyet hesabı doğrultusunda yarı yarıya bir ekonomi sağlandığı da görülmüştür.

8.4. Yorum ve Öneriler

Kompozit döşemelerde kayma bağlayıcısı olarak eksismik çeliğinin kullanılması için bu çalışmada ekonomik yetersizlikten dolayı yapılan deney sayısı sınırlı kalmıştır. Ancak bu sınırlı sayıdaki deneylerden elde edilen sonuçlar çerçevesinde eksismik çeliğinin kayma bağlayıcısı olarak alternatif bir malzeme olduğu söylenebilir. Yine de bunun için daha fazla deneysel çalışmalar yapılmalıdır. Bu çalışmanın vermiş olduğu bilgiler ışığında, aynı yükleme düzeneği ve ölçüm tekniği kullanarak, ileride yapılacak olan araştırmalar için aşağıdaki önerilerde bulunulabilir.

- Bundan sonra yapılacak itme-çıkarma deneyleri farklı çap ve boylardaki kayma bağlayıcıları ve farklı beton dayanımları kullanılarak yapılmalıdır.
- İtme-çıkarma deneylerinde kayma bağlayıcılarının çapları değiştirilerek döşeme ve kirişlerin taşıyabileceği yükün kayma bağlayıcılarının çapı ile değişimi araştırılmalıdır.
- Eksismik çeliğinin kompozit döşeme ve kompozit kirişlerde kayma bağlayıcısı olarak kullanılabilirliğini araştıracaklar bundan sonraki çalışmalarda tam ölçek kompozit kiriş ve döşeme deneyleri de yapılmalıdır.
- Bundan sonraki çalışmalarda yapılacak itme-çıkarma deneylerinin sayıları arttırılmalıdır.

- Yapılan deneylerde döşemeler, üst donatılı ve üst donatısız denenmelidir.
- Başlıklı saplamalarda kullanılan otomatik kaynak yöntemi eksisimik çeliği için de kullanılabilirliğinin deneysel çalışmalarla desteklenmelidir.
- Yapılacak itme-çıkarma deneylerinde gerekirse farklı boyutlarda başlıklı saplamalar veya başka kayma bağlayıcıları kullanılarak karşılaştırmalar yapılabilir.
- Farklı döşeme yüksekliklerinde numuneler üretilerek yapılacak itme-çıkarma deneylerinin sayısının arttırılması ile daha kesin sonuçlara varılabilir.
- Kaynak işleri mutlaka itina ile yapılmalıdır.

9. KAYNAKLAR

Abdullah R., 2004. "Experimental Evaluation and Analitical Modeling of Shear Bond on Composite Slabs", Ph. D. Thesis Virginia Polytechnic Institude and State Univ., Blacksburg.

Alander C. C., 1998. "Standoff Screws Used in Composite Joists", Ph. Master Thesis Virginia Polytechnic Institude and State Univ., Blacksburg.

Anonymous. 1992. Design of composite steel and cocrete structures, ENV 1994-1-1. European Prestandard, Chapter 7. (Eurocode-4)

Avci O., Eastirling W., 2003 "Strength of Welded Weak Position Shear Studs". No.CE/VPI-ST-03/08, Steel Joist Institude

Bro M., Westberg M., 2004. "Influence of Fatigue on Headed Stud Connectors in Composite Bridges", Ph. Master Thesis Lulea University of Technology, Lulea

Davison B., "Composite Construction", Taylor & Francis, USA, 2004

Lam D.,(2006) "Capacities of headed stud shear connectors in composite steel beams with precast hollowcore slabs" Journal of Constructional Steel Research (2006), doi:10.1016/j.jcsr.2006.11.012

Doran B., Alacalı S. 2002. "Örneklerle SAP2000" Y.T.Ü. İstanbul

Easterling S., Gibbings D., Murray T. 2003. "Strength of Shear Studs in Steel Deck on Composite Beam and Joists" Engineering Journal / American Institute of Steel Construction, Second Quarter 44-55.

Ellobody E., Young B., (2005), "Performance of Shear Connection in Composite Beams with Profiled Steel Sheeting" Journal of Constructional Steel Research, 66 (2005) 245-253

Elmalı İ. 2006. "Betonarme Kirişsiz Döşemelerin Çözüm Yöntemleri". Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir

Hanoar A. 2000. "Test of Composite Beams with Colled Formed Sections" Journal of Constructional Steel Research 54 (2000) 245–264.

Karaman V. 1996. "Design Basis of Steel Concrete Composite Construction" Ph. Master Thesis Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

Kim B., Wright H., Cairns R., 2001. "The Behavior of Through-deck Welded Shear Connectors: An Experimental and Numerical Study" Journal of Constructional Steel Research 57 (2001) 1359-1380.

Kodur, V.K.R. 2005. Achieving fire resistance through steel concrete composite construction. Structures Congress 05, New York, April 21-23.

Larbi A., Ferrier E., Jurkiewiez P., Hamelin P., 2007. "Static behaviour of steel concrete beam connected by bonding" Engineering Structures 29 (2007) 1034–1042.

Makelainen P., Sun Y., 1999. "The Longitudinal Shear Behaviour of a New Steel Sheeting Profile for Composite Floor Slabs", Journal of Constructional Steel Research 49 (1999) 117–128.

Öztoprak B.,1999. "Kompozit ve Betonarme Prefabrik Karkas Bir Endüstri Yapısının Maliyet Karşılaştırması" Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Rankovic S., Drenic D., 2002. “Static Strength of the Shear Connectors in Steel-Concrete Composite Beams Regulatıons and Research Analysis”, Architecture and Civil Engineering 2(2002) 251-259.

Roddenberry M. D. R., 2002. “ Behavior and Strenght of Welded Stud Shear Connectors”, Ph. D. Thesis Virginia Polytechnic Institude and State Univ., Blacksburg.

Sarıtaş F., 1996. “Kompozit Yapıların Taşıma Gücüne Göre Bilgisayar Destekli Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Subcommittee on Composite Steel and Concrete Floor Systems of the Committee on Composite Construction of the Technical Administrative Committee on Metals, 2002, Construction Considerations for Composite Steel and Concrete Floor Systems, Journal of Structural Engineering / September ,p 1103

Schueremans L.,2002. ESDEP-The European Steel Design Education Programme Lecture Notes, Katholieke Universiteit Leuven Press, Leuven

Shim C., Lee P., Yoon T., 2003. “Static Behavior of Large Shear Connectors”, Engineering Structures, 26(2004) 1853-1860

Tengirşenk Ö., 1999, “An Experimantal and Nonlinear Analytical Study on Composite Slabs with Expanded Metal Used as Metal Decking”. Ph. Master Thesis Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

Topkaya C., 2002, “Behavior of Curved Steel Trapezoidal Box Girders During Construction”. Ph. D. Thesis University of Texas., Austin.

Valente I., Cruz P., 2004. "Experimental Analysis of Perfobond Shear Connection Between Steel and Lightweight Concrete" Journal of Constructional Steel Research 60 (2004) 465–479.

Vinnakota S., Foley C., ve Vinnakota M., 1998. "Design of Partially or Fully Composite Beams, with Ribbed Metal Deck, Using LRFD Specifications" Engineering Journal. 1998 Second Quarter 60-78

Yağan F., 2002 "Çok Katlı Yüksek Yapılarda Betonarme Çelik ve Kompozit Taşıyıcı Sistemli Yapıların Ekonomik Yönden Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yorgun C., 2005, "Çelik Saç Beton Kompozit Döşeme Sistemlerinin Uygulamalarına Yönelik Değerlendirmeler", Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 435: 60-64

Zaki R., 2003, "Shear Stud Capacity in Profiled Steel Decks". Australia

Zoltan V., Szatmari I. 1998. Composite Slab Design. Paper no.1521. 2nd Int. Phd. Symposium in Civil Engineering, Budapest.

SAP2000, version 8, CSI Company, Berkeley, California, USA.

TS500-2000, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Subat 2000, Ankara.

TS708-1996, Beton Çelik Çubukları, Türk Standartları Enstitüsü, Mart 1996, Ankara.

http://www.mekatronikkulubu.org/40_soruda_marc_mentat_ile_sonlu_elemanlar_analizi

10. EK

10.1. Maliyet Hesabı

Eksismik çeliği ile başlıklı saplamanın kayma bağlayıcısı olarak kullanıldığı yapılarda maliyet karşılaştırması yapmak için bu çalışmada daha önce Belgin Öztoprak (1999) tarafından bir endüstri yapısının hesabından yola çıkılarak bir maliyet hesabı tahmini yapılacaktır. Öztoprak'ın yaptığı çözümde 36*30 m.'lik iki katlı toplam 2160 m^2 lik bir endüstri yapısında yaklaşık 15000 tane kayma bağlayıcısı kullanıldığı ifade edilmektedir.

Başlıklı saplamanın tane fiyatı Bayındırlık Bakanlığı Birim Fiyatlarında bulunmamaktadır. Ancak başlılı saplamaları yurt dışından ihraç eden firmadan alınan bilgilere göre 2007 yılı için tane birim fiyatı 0,6 $'dır.

15000 tane eksismik çeliğinden kayma bağlayıcısı imali için gerekli boy;
15000 x 0,09 m. = 1350 m.'dir.
Ø20 donatı çeliğinin birim boy ağırlığı 2,47 kg olduğuna göre, toplam eksismik çeliği ağırlığı;
1350 m. X 2,47 kg/m = 3334,5 kg ≈ 3500 kg.'dır.

2007 yılı Bayındırlık Bakanlığı Birim Fiyatlarına göre Ø20'lik çelik tutarı 1,2YTL/kg olup toplam maliyet;
3500 X 1,2 = 4200 YTL'dir.
1350 m. Eksismik çeliğinden 15000 kayma bağlayıcısının hazırlanması için 5 işçinin 4 gün çalışması gerekmektedir.
Bayındırlık Bakanlığı Birim Fiyatlarına göre Soğuk Demirci Ustası'nın 1 saatlik ücreti 4 YTL'den günlük 8 saat çalıştığını hesaplarsak;
5 X 4 X 4 X 8 = 640 YTL

Buna göre her iki kayma bağlayıcısına ait yaklaşık maliyet çizelge 10.1'de verilmiştir.

Çizelge 10.1 Maliyet hesabı

	Eksismik Çeliği (YTL)	Başlıklı Saplama (YTL)
Kayma Bağlayıcısı Maliyeti	4200	12000
İşçilik	640	-
Kaynak Maliyeti	1650	550
Yaklaşık Toplam Maliyet	6490	12550

Buna göre kayma bağlayıcısı imalatında eksismik çeliği kullanımının başlıklı saplama kullanımına göre % 48 oranında tasarruf sağladığı görülmüştür.