

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



**BİLECİK ŞEYH
EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

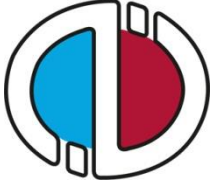
**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**YAPIŞTIRICI TÜRÜNÜN ANKRAJ ÇEKME KUVVETİNE
ETKİSİ VE SONLU ELEMANLAR İLE MODELLENMESİ**

**Murat ARAS
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Özlem ÇALIŞKAN DEĞİRMENCİ**

**BİLECİK, 2015
Ref. No: 10082510**



ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



**BİLECİK ŞEYH
EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

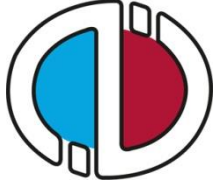
**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**YAPIŞTIRICI TÜRÜNÜN ANKRAJ ÇEKME KUVVETİNE
ETKİSİ VE SONLU ELEMANLAR İLE MODELLENMESİ**

**Murat ARAS
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Özlem ÇALIŞKAN DEĞİRMENCİ**

BİLECİK, 2015



ANADOLU UNIVERSITY



**BİLECİK SEYH
EDEBALI UNIVERSITY**

**Graduate School of Sciences
Civil Engineering**

**EFFECT OF ADHESION TYPE ON ANCHORAGE
STRENGTH AND MODELLING WITH FINITE
ELEMENT METHOD**

**Murat ARAS
Master's Thesis**

**Thesis Advisor
Assist. Prof. Dr. Özlem ÇALIŞKAN DEĞİRMENCİ**

BİLECİK, 2015



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK LİSANS
JÜRİ ONAY FORMU**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 25.06.2015 tarih ve 2356 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 10.07.2015 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Murat ARAS'ın "Yapıştırıcı Türünün Ankraj Çekme Kuvvetine Etkisi ve Sonlu Elemanlar İle Modellenmesi" başlıklı tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/ oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI): Yrd. Doç. Dr. Özlem ÇALIŞKAN DEĞİRMENCI

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Kıvanç TAŞKIN

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Mehmet CANBAZ

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANI:
Yrd. Doç. Dr. Cenk KARAKURT**

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../.....tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgisini ve desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen, yol gösterici, teşvik edici ve öğretici değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Özlem ÇALIŞKAN DEğİRMENCİ'ye öncelikle teşekkürlerimi borç bilirim.

Çalışmalarımda büyük yardımları bulunan Uzm. Turęut KAYA, Uzm. Gökhan POYRAZ, İnaşat Mühendisi Murat KELEŐ, ArŐ. Gör. Ali Erdem EREVİK ve Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi İnaşat Mühendisliği bölüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her türlü desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyerek yanımda olan çok kıymetli aileme sonsuz teşekkür ederim.

Murat ARAS

ÖZET

Ülkemizdeki mevcut betonarme yapıların büyük çoğunluğunun Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007)'in öngördüğü deprem güvenliğine sahip olmadığı ve büyük çoğunluğunda da güçlendirme gerektiği bilinmektedir. Güçlendirme uygulamalarında taşıyıcı sisteme yeni yapısal eleman eklenmesi yönteminde kimyasal ankrajlar sıkça kullanılmaktadır. Kimyasal ankrajlar yüksek yapışma kapasiteleri, kolay ve hızlı uygulanabilir olmaları nedeniyle tercih edilmektedir. Kimyasal ankrajların güvenli tasarımı için aksel çekme etkisi altında davranışlarının bilinmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada 10 farklı kimyasal yapıştırıcı ile farklı çaplarda (12, 16, 20 ve 24 mm), farklı derinliklerde (5, 10, 15 ve 20Φ), donatısız beton bloklara nervürlü çubuklar ekilerek aksel çekme deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda yük-deplasman eğrileri, aksel yük kapasiteleri ve göçme modları elde edilmiştir. Deney sonuçları ACI 318'in öngördüğü kapasite ve tasarım dayanım değerleri ile karşılaştırılmış ve güvenlik katsayıları belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışma mühendislik uygulamalarında kullanılan ANSYS programı yardımıyla modellenmiştir. Sonuç olarak kimyasal ankrajların aksel çekme davranışları için deneysel çalışma yapılmış, ACI 318 ve sonlu elemanlar programı ile karşılaştırılmıştır.

Çalışma sonucunda kimyasal ankraj elemanlarında aksel çekme kapasitesine kimyasal yapıştırıcının etkisinin derin ankrajlarda ortaya çıktığı görülmüştür. ACI 318 ankraj nominal kapasitesinin hedeflenen %95 güvenli durumu için ankraj elemanlarının %85'inde sağlanmıştır. ANSYS programıyla gerçekleştirilen modelde büyük çaplarda ve derin ankrajlarda sağlıklı sonuçlar elde edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kimyasal Ankraj; Güçlendirme; ANSYS; Sonlu Elemanlar Yöntemi.

ABSTRACT

It is known that the majority of the current reinforced concrete buildings do not have the relevant earthquake safety measures established by the Directive on the Buildings to be constructed in the Earthquake Zones (DBYBHY 2007) and many of the buildings require reinforcement. Chemical anchorages are widely used in the method in adding a new structural element to the load-bearing system for reinforcement works. Chemical anchorages are preferred thanks to their high adhesion capacity, easy and quick-to-apply characteristics. For the safe design of the chemical anchorages, it is required to know their behavior under axial tension impact.

In this study, ribbed bars were put inside the plain concrete blocks in different diameters (12, 16, 20 and 24 mm) different deepness (5, 10, 15 and 20 Φ) with the help of 10 different chemical adhesives and they were then exposed to axial tension test. As a result of the tests conducted, load-displacement curves, axial load capacities and collapse modes were obtained. The results of the test were compared to the capacity and design strength values anticipated by ACI 318 and safety coefficients were designated. This experimental study was modeled with ANSYS program preferred in engineering works. As a result, an experimental study was carried out for the axial tension behaviors of the chemical anchorages, and it was compared to the ACI 318 and finite elements program.

It was reached to the conclusion at the end of the study that the impact of the chemical adhesive to the axial tension capacity for the chemical anchorage elements was apparent in the deep anchorages. The targeted 95% safety status of the ACI 318 anchorage nominal capacity was ensured in 85% of the anchorage elements. In the model carried out by the ANSYS program, sound results are obtained in large diameters and deep anchorages.

Keywords: Chemical Anchorage; Reinforcement; ANSYS; Finite Elements Method.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JURİ ONAY FORMU

TEŞEKKÜR

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Konu	1
1.2. Çalışmanın Amacı	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
3. ANKRAJLAR VE SONLU ELEMANLAR HAKKINDA GENEL BİLGİLER 13	
3.1. Ankraj Türleri	13
3.1.1. Sertleşmiş betona yapılan ankrajlar	13
3.1.1.1. Bağ tipi ankrajlar	14
3.1.1.2. Mekanik ankrajlar	16
3.2.2. Taze betona yapılan ankrajlar	16
3.2. Etkin Parametreler	16
3.3. Çekme Altındaki Kimyasal Ankrajların Göçme Tipleri	16
3.4. Kimyasal Ankrajların Çekme Davranışı Modelleri.....	17
3.4.1. Beton koni modelleri	18
3.4.1.1. Düzgün yayılı bağ modeli.....	20
3.4.1.2. Elastik bağ teorisi	21
3.5. Sonlu Elemanlar Yöntemine Giriş.....	27
3.5.1. Sonlu elemanlar yöntemi	27
3.5.2. Elastisite modülü	28
3.5.3. Poisson katsayısı.....	29

3.5.4. Beton için modeller.....	29
3.5.5. Betonun çekme gerilmeleri altındaki davranışı	29
4. MATERYAL VE METOT	31
4.1. Ankrajların Ekilme Geometrisi	31
4.2. Malzeme	31
4.2.1. Kimyasal yapıştırıcı	31
4.2.2. Beton.....	33
4.2.3. Ankraj donatıları.....	34
4.3. Ankraj Ekimi	34
4.4. Parametreler.....	35
4.5. Ankraj Çekme Deneyi	35
5. DENEY SONUÇLARI	37
5.1. Yük-Deplasman Eğrileri.....	37
5.2. Eksenel Çekme Kapasiteleri Ve Göçme Tipleri.....	37
5.2.1. M1 malzemesiyle ekilen ankrajlar için göçme modları.....	39
5.2.2. M2 malzemesiyle ekilen ankrajlar için göçme modları.....	39
5.2.3. M3 malzemesiyle ekilen ankrajlar için göçme modları.....	40
5.2.4. M4 malzemesiyle ekilen ankrajlar için göçme modları.....	41
5.2.5. M5 malzemesiyle ekilen ankrajlar için göçme modları.....	42
5.2.6. M6 malzemesiyle ekilen ankrajlar için göçme modları.....	43
5.2.7. M7 malzemesiyle ekilen ankrajlar için göçme modları.....	44
5.2.8. M8 malzemesiyle ekilen ankrajlar için göçme modları.....	45
5.2.9. M9 malzemesiyle ekilen ankrajlar için göçme modları.....	46
5.2.10. M10 malzemesiyle ekilen ankrajlar için göçme modları.....	47
5.3. Ankraj Çapına ve Gömme Derinliğine Göre Yük Kapasitesi	48
5.3.1. 12 mm çaplı, 5Φ gömme derinlikli ankraj çubukları	48
5.3.2. 12 mm çaplı, 10Φ gömme derinlikli ankraj çubukları	49
5.3.3. 12 mm çaplı, 15Φ gömme derinlikli ankraj çubukları	50
5.3.4. 12 mm çaplı, 20Φ gömme derinlikli ankraj çubukları	51
5.4. Ankraj Çapına Göre Değerlendirme	52
5.4.1. 12 mm çaplı ankraj çubukları	52
5.4.2. 16 mm çaplı ankraj çubukları	53

5.4.3. 20 mm çaplı ankraj çubukları	54
5.4.4. 24 mm çaplı ankraj çubukları	55
5.5. Yük Kapasiteleri	56
5.6. Aderans Dayanımları	56
5.7. Deney Programındaki Elemanlar İçin Yük Kapasitesi Güvenlik Düzeyleri	57
5.8. Eksenel Gerilmeler	59
5.8.1. M1 malzemesiyle ekilen ankrajlar için eksenel gerilme değerleri	60
5.8.2. M2 malzemesiyle ekilen ankrajlar için eksenel gerilme değerleri	61
5.8.3. M3 malzemesiyle ekilen ankrajlar için eksenel gerilme değerleri	62
5.8.4. M4 malzemesiyle ekilen ankrajlar için eksenel gerilme değerleri	63
5.8.5. M5 malzemesiyle ekilen ankrajlar için eksenel gerilme değerleri	64
5.8.6. M6 malzemesiyle ekilen ankrajlar için eksenel gerilme değerleri	65
5.8.7. M7 malzemesiyle ekilen ankrajlar için eksenel gerilme değerleri	66
5.8.8. M8 malzemesiyle ekilen ankrajlar için eksenel gerilme değerleri	67
5.8.9. M9 malzemesiyle ekilen ankrajlar için eksenel gerilme değerleri	68
5.8.10. M10 malzemesiyle ekilen ankrajlar için eksenel gerilme değerleri	69
6. SONLU ELEMAN YAZILIMI İLE MODELLEME	71
6.1. Modelin ANSYS'e Aktarılması	71
6.2. Malzeme Özelliklerin Girilmesi	72
6.3. Deney Modelinin İncelenmesi	76
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	80
8. KAYNAKLAR	82
EK-1: M1 malzemesine ait yük-deplasman eğrileri	88
EK-2: M2 malzemesine ait yük-deplasman eğrileri	89
EK-3: M3 malzemesine ait yük-deplasman eğrileri	91
EK-4: M4 malzemesine ait yük-deplasman eğrileri	93
EK-5: M5 malzemesine ait yük-deplasman eğrileri	95
EK-6: M6 malzemesine ait yük-deplasman eğrileri	97
EK-7: M7 malzemesine ait yük-deplasman eğrileri	99
EK-8: M8 malzemesine ait yük-deplasman eğrileri	101
EK-9: M9 malzemesine ait yük-deplasman eğrileri	103
EK-10: M10 malzemesine ait yük-deplasman eğrileri	105

EK-11: 16mm çaplı ankraj elemanları	107
EK-12: 20 mm çaplı ankraj elemanları	109
EK-13: 24 mm çaplı ankraj elemanları	111

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa No
Çizelge 4.1:	Kimyasal yapıştırıcı özellikleri.....	33
Çizelge4.2:	Ağırlıkça beton karışım oranları.....	33
Çizelge 4.3:	Beton basınç dayanımları.....	34
Çizelge 4.4:	S420a çubukların mekanik özellikleri.....	35
Çizelge 5.1:	Kimyasal yapıştırıcı 1 için maksimum yük kuvvetleri ve göçme tipleri.....	39
Çizelge 5.2:	Kimyasal yapıştırıcı 2 için maksimum yük kuvvetleri ve göçme tipleri.....	40
Çizelge 5.3:	Kimyasal yapıştırıcı 3 için maksimum yük kuvvetleri ve göçme tipleri.....	41
Çizelge 5.4:	Kimyasal yapıştırıcı 4 için maksimum yük kuvvetleri ve göçme tipleri.....	42
Çizelge 5.5:	Kimyasal yapıştırıcı 5 için maksimum yük kuvvetleri ve göçme tipleri.....	43
Çizelge 5.6:	Kimyasal yapıştırıcı 6 için maksimum yük kuvvetleri ve göçme tipleri.....	44
Çizelge 5.7:	Kimyasal yapıştırıcı 7 için maksimum yük kuvvetleri ve göçme tipleri.....	45
Çizelge 5.8:	Kimyasal yapıştırıcı 8 için maksimum yük kuvvetleri ve göçme tipleri.....	46
Çizelge 5.9:	Kimyasal yapıştırıcı 9 için maksimum yük kuvvetleri ve göçme tipleri.....	47
Çizelge 5.10:	Kimyasal yapıştırıcı 10 için maksimum yük kuvvetleri ve göçme tipleri.....	48

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3.1: Sertleşmiş betonda ankraj uygulamaları.....	13
Şekil 3.2: Beton döküm esnasında ankraj uygulamaları.....	13
Şekil 3.3: Kimyasal ankraj bileşenleri.....	14
Şekil 3.4: Harçlı ankraj.....	15
Şekil 3.5: Eksenel çekme altında ankrajların göçme biçimleri.....	17
Şekil 3.6: Koni modeli.....	19
Şekil 3.7: CCD koni modeli.....	20
Şekil 3.8: Düzgün yayılı bağ model.....	20
Şekil 3.9: Elastik bağ modeli.....	21
Şekil 3.10: Öngörülen göçme alanları.....	25
Şekil 3.11: Beton çekme gerilmeleri için σ -eilişkisi.....	30
Şekil 4.1: Deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	36
Şekil 4.2: Deney düzeneği.....	36
Şekil 5.1: Kimyasal yapıştırıcı için yük deplasman eğrileri.....	38
Şekil 5.2: D1216 eksenel yük kapasiteleri.....	49
Şekil 5.3: D12112 eksenel yük kapasiteleri.....	50
Şekil 5.4: D12118 eksenel yük kapasiteleri.....	51
Şekil 5.5: D12124 eksenel yük kapasiteleri.....	52
Şekil 5.6: 12 mm ankraj çubuklarının kullanılan malzemeyle ilişkisi.....	53
Şekil 5.7: 14 mm ankraj çubuklarının kullanılan malzemeyle ilişkisi.....	54
Şekil 5.8: 20 mm ankraj çubuklarının kullanılan malzemeyle ilişkisi.....	55
Şekil 5.9: 24 mm ankraj çubuklarının kullanılan malzemeyle ilişkisi.....	55
Şekil 5.10: Malzeme-yük kapasitesi değerleri.....	56
Şekil 5.11: Malzeme-aderans dayanım değerleri.....	57
Şekil 5.12: Deneysel çalışma sonuçlarının analitik hesap ile kıyaslanması.	58
Şekil 5.13: Numune-güvenlik katsayısı grafiği.....	59
Şekil 5.14: Eksenel gerilme- zaman grafiği (M1).....	61

Şekil 5.15:	Eksenel gerilme- zaman grafiği (M2).....	62
Şekil 5.16:	Eksenel gerilme- zaman grafiği (M3).....	63
Şekil 5.17:	Eksenel gerilme- zaman grafiği (M4).....	64
Şekil 5.18:	Eksenel gerilme- zaman grafiği (M5).....	65
Şekil 5.19:	Eksenel gerilme- zaman grafiği (M6).....	66
Şekil 5.20:	Eksenel gerilme- zaman grafiği (M7).....	67
Şekil 5.21:	Eksenel gerilme- zaman grafiği (M8).....	68
Şekil 5.22:	Eksenel gerilme- zaman grafiği (M9).....	69
Şekil 5.23:	Eksenel gerilme- zaman grafiği (M10).....	70
Şekil 6.1:	SOLID65 eleman geometrisi.....	72
Şekil 6.2:	Model geometrisi.....	73
Şekil 6.3:	Eleman tipinin seçimi.....	73
Şekil 6.4:	SOLID65 eleman özellikleri.....	74
Şekil 6.5:	Beton lineer izotropik parametreleri.....	75
Şekil 6.6:	S420a parametrelerinin girilmesi.....	75
Şekil 6.7:	M1 malzemesi, 12 mm çaplı 10Φ derinlikli ankraj modeli...	77
Şekil 6.8:	M1 malzemesi, 16 mm çaplı 10Φ derinlikli ankraj modeli....	78
Şekil 6.9:	M1 malzemesi, 20 mm çaplı 10Φ derinlikli ankraj modeli....	78

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
a	:Ankrajlar Arası Mesafe
a_{krit}	:Ankrajlar Arası Kritik Mesafe
A_c	:Koni Yüzey Alanı
A_{se}	:Etkili Kesit Alanı
A_{Nc}	:Öngörülen Göçme Alanı
A_{Nco}	:1.5 h_{ef} Kenar Mesafesindeki Ankrajda Öngörülen Göçme Alanı
ACI	:Amerikan Beton Enstitüsü
CCD	:Beton Kapasite Metodu
DBYBHY	:Deprem Bölgelerinden Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
d_o	:Ankraj Donatı Çapı
d_h	:Ankraj Delik Çapı
E	:Elastisite Modülü
f_{cc}	:Beton Küp Basınç Dayanımı
f_c	:Beton Standart Silindir Basınç Dayanımı
f_{ct}	:Alan Boyunca Çekme Gerilmeleri
f_{uta}	:Belirlenmiş Ankraj Nihai Dayanımı
f_{ya}	:Belirlenmiş Ankraj Akma Dayanımı
F	:Yerdeğiştirmelerden Kaynaklanan Enerji
h_{ef}	:Efektif Ankraj Derinliği
N_b	:Nominal Beton Göçme Dayanımı
N_p	:Nominal Sıyrılma Kapasitesi
N_{sa}	:Ankraj Nominal Çekme Dayanımını
n	:Ankraj Sayısı
$P_{u,mak}$:Tekil Ankraj Eksenel Çekme Kapasitesi
P_u	:Ankraj Çekme Kapasitesi
P_k	:Çekme Kapasitesi
S420a	:Sıcak Haddemeleme İşlemi ile İmal Edilen Donatı

σ	:Normal Gerilme
ε	:Birim Uzama
ν	:Poisson Oranı
$\Psi_{c,p}$:Betonda Çatlak Olmasıyla İlgili Bir Azaltma Katsayısı
$\Psi_{ed,N}$:Serbest Kenara Olan Uzaklıkla İlgili Azaltma Katsayısı
$\Psi_{c,N}$:Çatlamış Ve Çatlamamış Beton İle İlgili Azaltma Katsayısı
τ_0	:Düzgün Yayılı Bağ Gerilmesi

1. GİRİŞ

1.1. Konu

Mevcut yapıların onarım ve güçlendirmelerinde, yapıya yeni betonarme eleman eklenmesi uygulamalarında kimyasal ankrajlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Kimyasal ankraj uygulamaları; düşük maliyetli, yüksek yapışma dayanımı ve uygulanması hızlı olan bir yöntem olmasıyla tercih edilmektedir.

Son yıllardaki depremler sonucunda maddi ve manevi kayıplar verilmesi, yapı stokumuzun büyük bir bölümünün deprem güvenliği olarak yeterli düzeyde olmadığını göstermektedir. Bu durum mevcut yapı stokumuzun sismik olarak güçlendirmesini kaçınılmaz hale getirmektedir. Ülkemizde güçlendirme uygulamalarının genelinde mevcut yapıya yeni taşıyıcı betonarme eleman ekleme yöntemi kullanılmaktadır. Bu uygulamalarda tercih edilen ankraj yönteminde; çekme, kesme ve kesme-çekme yüklemelerine maruz kalacağı yüklemelerinde göstereceği yapısal davranışın, tasarımcı ve uygulamacı tarafından dikkate alınması gerekmektedir.

Kimyasal ankrajlar, sertleşmiş betona sonradan açılan deliğe yapılan bağ tipi ankrajlardır. Betonarme yapıların güçlendirilmesi esnasında, mevcut taşıyıcı sistem elemanlarının kesitlerinin büyütülmesi veya mevcut sisteme yeni taşıyıcı eleman ilavesinde ihtiyaç duyulan yeni donatıların kimyasal ankrajla betona sabitlenerek beraber çalışması beklenilecektir. Kimyasal ankrajlar planlama, tasarım ve uygulama aşamalarında kullanıcıya büyük esneklik sağlamaktadır (Gürbüz vd., 2007).

Mevcut bir yapının depreme karşı güçlendirilmesi için sisteme sonradan eklenen yeni yapısal betonarme elemanlarında en önemli ilke; eklenen elemanın mevcut yapısal elemanla beraber çalışmasıdır. Bu nedenle birleşimi sağlayan malzemenin önemi artmaktadır. Kullanılan kimyasalın mekanik özellikleri ankraj ve beton arasında kenetlenmeyi doğrudan etkilemektedir. Bundan dolayı farklı tipte kimyasal yapıştırıcılarla oluşturulan birleşimlerin farklı sonuçlar vereceği bilinmektedir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma kapsamında farklı kimyasal yapıştırıcılar kullanılarak, farklı çap ve farklı gömme derinliklerinde oluşturulan elemanlarda çekip çıkarma deneyleri yapılmıştır. Deney programı; 10 farklı kimyasal yapıştırıcı, 4 farklı çap (12, 16, 20 ve 24 mm) ve 4 farklı gömme derinliğinden (5Φ, 10Φ, 15Φ ve 20Φ) oluşmaktadır. Açılan delik

apı kullanılacak donatı çapından 4mm fazla olacak şekilde oluşturulmuştur. Toplam 160 adet çekip çıkarma deneyi yapılarak yük-deplasman eğrileri, aksenal yük kapasiteleri ve göçme tipleri hakkında veriler elde edilmiştir. Sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS programıyla deney programının en iyi dayanım gösteren serisi için modelleme yapılmıştır. Deney sonuçları, ACI318 (Amerikan Beton Enstitüsü) Ek-D'nin önerdiği kapasite ve tasarım değerleriyle karşılaştırılmış ve güvenlik düzeyleri belirlenmiştir. Sonuç olarak farklı tipte kimyasal yapıştırıcılar kullanılarak oluşturulan deneysel veriler hem ACI 318-Ek-D'ye göre hem de sonlu elemanlar yazılımında oluşturulan model sonuçlarıyla karşılaştırılarak irdelenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Ankrajlar için ilk tasarım standardı 1970 ortalarında çıkmıştır. ACI 349 ve PCI Design Handbook bu yayını referans göstermelerine rağmen, bu iki yayın yalnız yerinde döküm başlıklı ankrajların tasarım metotlarını önermiştir. Mevcut betona sonradan eklenen ankraj sistemlerini kapsamamaktadır. ACI 318-Ek-D, yerinde dökme ve sonradan yerleştirilen mekanik ankrajların her ikisini de kapsamaktadır. Yapılan çalışmalarla kimyasal ankrajlar için tasarım şartnamelerinin oluşmasına katkıda bulunulmuştur (Zamora vd. 2003).

Peier (1983), tekil ankrajların çekme davranışını matematik model oluşturarak incelemiştir. Oluşturulan matematik modelde C25 ve C50 beton sınıflarında çalışılmış, hesaplanan yük taşıma kapasiteleri deneysel sonuçları ile karşılaştırılıp uyumlu olduğu gösterilmiştir.

Ueda, vd., (1990), beton basınç dayanımları 18.36 ile 25.75 MPa aralığında, kenar mesafeleri 50, 100, 150 ve 200 mm olan, donatısız betona gömülen tek ve çift bulonlu ankrajların çekme ve kesme davranışlarını incelemiştir. Tek ve çift bulonlarda farklı kenar mesafelerinde kesme dirençleri karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada göçme tipi olarak beton koni göçmesi gözlenmiştir. Yaptıkları çalışma sonucunda tek bulonlu ankrajların kesme dayanımının kenar mesafesinin artmasıyla arttığını göstermişlerdir.

Cook, vd., (1992), taze betona ve sertleşmiş betona yerleştirilen ankrajların yük deplasman davranışlarını incelemiştir. 24 farklı yapıştırıcı ürün kullanılarak, 16 mm çaplı ve 34.5 MPa basınç dayanımlı deney numuneleriyle toplamda 178 adet deney yapılarak kimyasal ankrajların çekme yükleri altındaki davranışlarını incelemiştir. Çalışmada kimyasal ankrajların kapasitesinin; kullanılan kimyasalın, beton ve çelik yüzeylerindeki aderansla ilişkili olduğunu göstermişlerdir.

Cook (1993), bağ tipi ankrajların çekme dayanımını belirlemek için oransal tasarım önerileri sunmuş ve bağ gerilme modeli üzerine çalışmıştır. Tasarım önerileri, çekme deneylerinde göçme durumlarını kapsamaktadır. Texas Üniversitesi'nde 113, Florida Üniversitesi'nde 167 deney olmak üzere toplam 280 adet deney sonucuna bağlı olarak tasarım önerilerinde bulunmuştur. Bağ gerilme modeli çalışmalarında ise yapışma dayanımının, ankraj boyunca düzgün yayılı dağıldığını öneren "Düzgün Yayılı Bağ (Uniform) Modelini" önermiştir. Bu modelde göçme anındaki yükün konik kopma

yüküne eşit olduğunu varsayarak, yükü derinlik üzerinden minimize ederek; koni yüksekliği ve gömme yüküyle ilişkili bağıntılar kurmuştur.

Fuchs, vd., (1995), mevcut betona ve sertleşmemiş betona uygulanan ankrajlar için beton kapasite tasarım yaklaşımı olarak adlandırılan bir model sunmuşlar ve bu yaklaşımı ACI 349-85 ile kıyaslamışlardır. Veri tabanı olarak Avrupa ve Amerika'da yapılan toplamda 1200 deneyi; ankraj kenar mesafeleri, ankraj grupları, çekme ve kesme yükleri verilerini kullanmışlardır. Çalışmalarında CCD (Beton Kapasite Metodu) metoduyla incelenen deneylerin tamamında beton göçme yükünün ACI 349'dan daha uygun sonuçlar olduğuna ve ACI 349'un kullanımının uygun olmadığını ifade etmişlerdir.

Darwin ve Zavaregh (1996), çalışmalarında harçlı ankrajlarda delik hazırlama metodu, harç türü, delik çapı, ankraj boyu, ekilme derinliği, ankraj yüzey koşulları, ankrajların birbiriyle olan mesafesi ve beton dayanımının etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında 16 mm çaplı ankrajlar için gömme derinlikleri 102-305 mm ve delik çapları 19-38 mm aralığında, 25 mm çaplı çubuklar için delik çapı 32 mm, gömme derinliklerini ise 150-380 mm olarak belirlemişlerdir. Çubuklar farklı tiplerde ekilerek gömülme derinliği ve çubuk boyu arttığında bağ dayanımında da artış olduğuna ve deneyi yapılan harçların bağ dayanımının yaklaşık olarak beton basınç dayanımının karekökü ile arttığını belirlemişlerdir.

McVay, vd., (1996), dört farklı derinliklerde (76, 102, 127 ve 152 mm), 16 mm çaplı ankrajların, 90 günlük silindir basınç dayanımları 39 ile 43.4 MPa aralığında olan ve yapıştırıcı türü olarak epoksi kullanarak deneysel çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarında beton göçme konisinin beton ile yapıştırıcı arasında başladığını ve olası göçme alanlarının aralıklarıyla bölgesel göçme olarak yüzeye doğru yayıldığını göstermişlerdir. Kimyasal ankrajların her derinlik için göçme konilerinin sayısal tahminlerle oldukça uyumlu olduğunu ve gömülme derinliği arttıkça beton yapıştırıcı ara yüzünde kesme gerilmelerinin daha üniform hale geleceğini ifade etmişlerdir.

Primavera, vd., (1997), beton basınç dayanımları 51.7 MPa ve 82.7 MPa dayanımda olan, 102, 152 ve 203 mm gömülme derinliklerinde taze ve sertleşmiş betona ekilen öngermeli ankrajların yük-deplasman ilişkilerini, göçme konisi biçimlerini ve çekme dayanımları üzerine çalışma yapmışlardır. 102 mm gömme derinliğindeki taze betona yapılan ankrajların çekme kapasitelerin yüksek dayanımdaki betonlarda artmadığı

gözlenmiş, tüm ankrajlarda koni yüzeyi göçme açılarının 21° - 28° olarak elde etmişlerdir. Yaptıkları çalışmalarında 45° koni modeliyle örtüşmediğini belirtmişlerdir.

Cook, vd., (1998), yaptıkları çalışmalarında üniform bağ modelinin Dünya çapında yapılan tekil kimyasal ankrajlar için uygunluğunu incelemişlerdir. Önerilen tasarım modelinin ankraj grupları için geliştirilmesine ve kenar mesafe etkisinin modele dahil edilmesini gerekli bulmuşlardır. Yük aktarma özelliği iyi olan yüksek yapışma dayanımına sahip malzemelerde beton dayanımının artmasıyla ankraj çekme kapasitesinin arttığı görülmüştür. Fakat ankraj performansına bazı kimyasal yapıştırıcı türlerinin beton dayanımından etkilenmediğini belirtmişlerdir.

Obata, vd., (1998), bağ tipi ankrajların eksenel çekme dayanımlarını 24.6 ve 28.9 MPa basınç dayanımına sahip olan beton bloklarda serbest kenar mesafesi etkisiz analitik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Göçme konisi dayanımını tahmin etmek için yeni bir metot geliştirerek ACI 349' e göre beton göçme yüzeyinde üniform gerilme dağılımı ve kritik yükteki kararsız çatlak büyümesi kabulleriyle gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada doğrusal göçme mekanizmasının çalışması için derinliğin 1.5 katı ile orantılı olması gerektiğini göstermişlerdir.

Higgins, vd., (1998), taze betona ve sertleşmiş betona ekilen ankrajların performanslarını 5 farklı çevresel etkiler altındaki incelemişlerdir. Çevresel etki olarak ultraviyole ışık, donma-çözülme, doğal tuz solüsyonunda korozyon, asit yağmurlarından ıslanma ve kuruma durumlarıdır. Çevresel etkilere maruz bırakılmış ve bırakılmamış durumlar karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma da ultraviyole ışığın ve asit yağmurlarında ıslanma-kuruma etkisinin kimyasal ankrajların davranışını önemli oranda etkilemediğini göstermişlerdir. Doğal tuz solüsyonunda oluşturulan korozyon ve donma-çözülme betona zarar vermesinden dolayı ankrajları etkiyebileceğini belirtmişlerdir. Çevresel etkilerin kombinasyonlarının ankraj dayanımını azaltacağı fakat bu dayanım azalışının taze beton ankrajlarında etkisiz olduğunu göstermişlerdir.

Lotze, vd., (2001), çekme ve kesme yüklemesinin aynı anda uygulandığı ankrajların davranışını araştırmışlardır. İnceleme alanı olarak Amerika'daki nükleer santrallerde en çok kullanılan ankraj tür ve boylarına benzer şekilde ekilerek oluşturulan 179 adet ankrajın statik ve dinamik davranışlarını incelemişlerdir.

Gross, vd., (2001), çalışmalarında çatlamış ve çatlamamış betona sonradan ekilen ankrajları incelemişlerdir. Deneplerinde beton basınç dayanımı 32.4 MPa olan, tekil

ankrajın kenar mesafesi 100 mm, çift ankrajın kenar mesafeleri 100 ve 300 mm ve iki ankraj arası mesafe 200 mm olan ankrajlarda; statik ve dinamik davranışlarını incelemişlerdir. Çatlamış betona ekilen ankraj kapasitesi çatlamamış betona ekilen ankraj kapasitesinden %18 daha düşük çıktığını belirtmişlerdir.

Cook ve Konz (2001), kimyasal ankrajlarda yapıştırıcı ile ankraj arasındaki kenetlenmeye etki eden faktörleri incelemişlerdir. Çalışmalarında 12 üreticiden alınan 14'ü epoksi, 6'sı ester bazlı yapıştırıcılardan oluşan 20 farklı ürünle 765 adet deney yapmışlardır. Beton basınç dayanımları 17.2 MPa ve 37.9 MPa sahip numunelerde, oda ve 43°C sıcaklıklarda ankraj çekme deneyleri yapmışlardır. 20 farklı ürünü oluşturan 14 çeşit epoksinin ortalama dayanımları 18.4 MPa, 6 çeşit ester esaslı ürünlerin ortalamasını 8.3 MPa bulmuşlardır. Referans yapışma dayanımı olarak kuru ve temiz yüzeylere yapılan ankrajları almışlardır. Referans yapışma dayanımının azalımı; nemli yüzeylere yapılan ankrajlarda %77, ıslak yüzeylere yapılan ankrajlarda %43, tozlu deliklere yapılan ankrajda %71 olduğunu göstermişlerdir. Kür süresi olarak 24 saat olduğunda yapışma dayanımlarının ortalama %88'ini kazandığı görülmüştür. Beton basınç dayanımdaki artışın yapışma dayanımlarına etkisinin düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Özkul, vd., (2001), sertleşmiş betona 3 farklı nervürlü donatının (14, 18 ve 22 mm), 3 ayrı beton sınıfında (C14, C20 ve C25), bağlayıcı olarak iki farklı epoksi reçinesi ve bir çeşit döküm harcı (grout) kullanarak deneysel çalışma yapmışlardır. 3 ayrı bağlayıcı ile oluşturulan sistemlerden en büyük ankraj kapasitesinin döküm harcı ile ekilen sistemde elde edildiğini gözlemlemişlerdir. Döküm harcı kullanımı için açılacak deliğin daha büyük çaplarda olması ve bu boşluğu doldurmak için daha çok malzeme gerektirmesi hem kullanım alanlarını kısıtlama hem de maliyet açısından elverişli olmadığını belirtmişlerdir. Ankraj çapları olarak çalışmaya bakıldığında en büyük aderans gerilmesi sırası ile 14, 22 ve 18 mm çaplı donatılarda oluştuğunu belirtmişlerdir.

Fujikake, vd., (2003), kimyasal ankrajlarda; koni oluşumu, sıyrılma ve koni-sıyrılma göçme modları altında dinamik nihai dayanımdaki yükleme oranının etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında gömme derinlikleri 40, 65, 70, 90 ve 120 mm seçilerek toplamda 92 adet deney gerçekleştirmişlerdir. Yükleme oranı artışı ile konik kopma direnci ve nihai yapışma dayanımının arttığını gözlemlemişlerdir. Konik kopma dayanımı ve yapışma dayanımı tahmini için deneysel denklemler önermişlerdir. Yapılan çalışma sonrasında kimyasal ankrajların davranışlarının yapıştırıcı türüne büyük oranda bağlı

olduğunu bu sebepten kimyasal ankrajların dinamik çekme dayanımını tahmin etmek için bir model gerekliliği tavsiyesinde bulunmuşlardır.

Zamora, vd., (2003), harçlı ankraj tipleri için tasarım modeli geliştirerek tekil, başlıklı ve başlıksız ankrajların çekme davranışlarını belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmalarında 3 polimer harç ve 6 çimento harcı ile başlıklı ve başlıksız ekilen 237 adet ankraj için çekme deneyi yapmışlardır. Ankraj çapları 15.9, 19.1 ve 25.4 mm olan 3 farklı donatıda ve 30-64 MPa aralığında değişen betonlarda çalışmışlardır. Kimyasal ankraja benzerlik gösteren başlıksız harçlı ankraj ve başlıklı harçlı ankrajların da yerinde dökülmüş başlıklı ankrajlara benzediğini gözlemlemişlerdir.

Shirvani, vd., (2004), çekme ankraj çubuklar için mevcut veritabanını değerlendirmişlerdir. Ankraj çekme davranışını çatlamış ve çatlamamış betonda statik ve dinamik yüklemeler altında göçme kapasiteleri için 3 farklı modeli incelemişlerdir. Göçme mekanizmasında beton koni olan ankrajlarda dayanım kapasiteleri 3 metodun tahminleriyle karşılaştırılmıştır. 45° koni metodu, beton kapasitesi (CC) metodu ve teorik metotlar yöntemleriyle çatlamış ve çatlamamış betondaki ankrajların statik ve dinamik yükleme altındaki davranışlarını belirlemeyi amaçlamışlardır. Çatlamamış betondaki ankraj veritabanı istatikselsel olarak 6 kademede incelenmiştir: 1- Tekil çekme ankrajları, etkili derinlik ≤ 188 mm, kenar etkisi yok (1130 test). 2 – Tekil çekme ankrajları, etkili derinlik >188 mm, kenar etkisi yok (77 test). 3- Tekil çekme ankrajları, etkili derinlik ≤ 188 mm, kenar etkisinde (137 test). 4- Tekil çekme ankrajları, etkili derinlik >188 mm, kenar etkisinde (33 test). 5- 2'li ve 4'lü çekme ankraj grupları, etkili derinlik ≤ 188 mm, kenar etkisi yok (170 test). 6- 4'lü çekme ankraj grupları, etkili derinlik >188 mm, kenar etkisi yok (19 test). Sonuç olarak çekme kapasitesinin tahmininde beton kapasitesi metodu (CC) ve teorik metodun 45° koni metoduna göre daha gerçekçi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Özturan, vd., (2004), yalın ve lif takviyeli normal-yüksek dayanımlı betona kimyasal, harçlı ve genişleyen tip olarak ekilen ankrajların; statik çekme, tekrarlı çekme ve statik kesme yüklemeleri altında yük-deplasman eğrilerini, taşıma kapasitelerini ve göçme modlarını belirlemek üzere 130 adet deney yapmışlardır. Sonuç olarak ASTM E-488'de verilen ankrajlar arası mesafe ve serbest kenardan uzaklıklar değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada sığ ve orta derinliklerdeki ankrajlar için ankrajlar arası mesafeyi ve

minimum serbest kenar uzaklığını yetersiz bulmuşlardır. Ankrajlarda çapın artmasıyla çekme dayanımının arttığını gözlemlemişlerdir.

Gesoğlu, vd., (2005), ankraj çapları 12 mm ve 16 mm olan sertleşmiş çelik liflerle güçlendirilmiş normal ve yüksek dayanımlı betonlara uygulanan kimyasal ankrajlar için 39 adet çekme deneyi yapmışlardır. Bu deneylerin 18 adetini harçlı ankrajlar için 16 mm çap ile 80, 120 ve 160 mm gömülme derinliği seçerek yapmışlardır. Beton dayanımının artmasıyla ankrajların nihai çekme kapasitelerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen verilerin CCD metodundan daha çok ACI 349-85'e göre elde edilen değerlerle uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Seyhan (2006), mevcut yapı stokunu temsil edecek şekilde 16 MPa basınç dayanımına sahip betonlara, ankraj çapları 16 ve 20 mm çaplı nervürlü çubukları gömerek çekme deneyleri yapmıştır. Deney çalışmasında gömülme derinlikleri kullanılan donatı çapının 6, 8, 10 ve 12 katı olacak şekilde ve açılan delik çapı kullanılan donatı çapının 6 mm ve 8 mm ($\Phi+6$, $\Phi+8$) artırılarak deneysel çalışma yapmıştır. Delik yüzeyi olarak tam, eksik ve suya doymun-nemli ortamlar oluşturularak 80 adet ankraj çekme deneyi sonucunda derinliğin artması ile ankraj dayanımının arttığını göstermiştir. Kullanılan malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dayanım ve göçme tipini doğrudan etkilediğini belirtmiştir.

Eligehausen, vd., (2006), kimyasal ankrajlar için mevcut Dünya genelinde yapılmış deneylerin oluşturduğu veritabanını kullanarak nümerik bir model oluşturmuşlar ve deneysel olarak bu modeli desteklemişlerdir. Kimyasal ankrajların birbiriyle olan mesafesi ve serbest kenar uzaklığının ankraj çapına ve bağ dayanımına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Kimyasal ankraj dayanımına kimyasal yapıştırıcı türü yanı sıra işçilik, uygulama biçimleri ve çevresel koşulların da etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Ozbolt, vd., (2006), yaptıkları çalışmada başlıklı tekil ankrajların sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla nihai eksenel dayanımlarını incelemişlerdir. Derinlikleri 150-1500mm arasında değişen farklı gömülme derinliklerinde, küçük, orta ve geniş başlıklı ankraj çivilerinin davranışını beton koni modeli tahmin yöntemi sonuçlarıyla kıyaslamışlardır. Ankrajların derinlikleri arttıkça eksenel çekme yük kapasitelerinin arttığı ve geniş başlıklı ankraj çivilerinin nümerik hesaplamalar için uygun olduğunu gösterilmiştir.

Gürbüz (2007), yaptığı çalışmada tam ve kısmi bağlı ankrajlarda çevresel etkiler ve yüzeysel koşullarının dayanıma olan etkisini araştırmıştır. 6Φ derinliğine kadar tam bağlı ankrajlarda betonun konik kopma, daha derin uygulamalarda ankrajın beton koni kopmasıyla beraber sıyrılma oluştuğunu ifade etmiştir. Kısmi bağlı ankrajların tümünde sıyrılma ile göçme meydana geldiğini, temizlenmemiş numunelerde ankraj eksenel yük kapasitesi temizlenmiş ankrajlara oranla % 40' lara varan düşüş gösterdiğini, nemli ve ıslak uygulama deliklerinden ankrajların eksenel yük kapasitelerinde düşüş olduğunu göstermiştir.

Kaya (2007), yaptığı tez çalışmasında 14 MPa basınç dayanımına sahip betona ekilen ankrajların farklı yüzey koşulları altında deneyler yaparak incelemiştir. Üç tip yüzey temizlik işlemi tanımlanarak gerçekleştirilen çekip çıkarma deneylerinde derin ankrajlarda sıyrılma olmadan önce donatının büyük oranda pekleştiği ve ardından ani göçme ile göçtüğünü belirlemiştir. Kullanma yüzeyinin herhangi bir yüzey temizlik işlemi görmemesi durumunda tasarım dayanımının en az %30 azaltılarak değerlendirilmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Mazılıgüney (2007), çalışmasında kimyasal ankrajların yatay doğrultuda çekme deneyleri yaparak incelemişlerdir. Yapılan çalışma mevcut bir betonarme binada gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar 5 MPa ile 16 MPa arası beton basınç dayanımına sahip olan betonarme elemanlar üzerinde yapılmıştır. Ankraj performansında etkili olan beton basınç dayanımı, ankraj derinliği ve ankraj çapı hakkında veriler elde etmiştir.

Yılmaz, vd., (2010), kimyasal ankrajlar hakkında yapılan çalışmaları derlemiş, ankraj dayanımına etki eden parametreleri incelemişlerdir. Ankraj performansında etkili olan bağlayıcı cinsi, ankraj deliği temizliği, ankraj deliği nem durumu, kenar mesafeleri ve ankraj ara mesafelerini irdelemişlerdir.

Özen (2010), tez çalışmasında düşük ve normal dayanımlı betonlarda epoksi ankrajların çekme davranışlarını deneysel olarak incelemiştir. Çalışmasında beton basınç dayanımları 5.9, 10.9, 17, 25, 35.6 MPa olan, farklı gömülme derinliklerinde (10Φ, 15Φ ve 20Φ) ve farklı kenar mesafelerinde (10Φ, 15Φ ve 20Φ) ankrajların çekme davranışını belirlemek için 337 adet deney yapmıştır. Deney sonuçlarının ACI 318 ile belirlenen ankraj eksenel yük kapasitelerinin altında olduğunu ifade etmiştir.

Chang, vd. (2011), yaptıkları çalışmada beton içine gömülü ankrajlarda, çekme testi simülasyonunu program yardımıyla gerçekleştirmişlerdir. Beton numunesi olarak

çatlamış ve çatlamamış durumlar için modellemeler oluşturularak elde edilen nümerik değerler incelenmiştir. Oluşturulan simülasyon sonucunda başlık çapı arttıkça nihai çekme yükünün artacağına, gömülme derinliği artmasıyla beton koni göçme tipi gerçekleşeceğini belirtmişlerdir.

Pinoteau, vd., (2011), yangın etkisinin kimyasal ankrajlara olan etkilerini araştırmışlardır. Farklı sıcaklıklarda yapışma dayanımlarını kıyaslayarak laboratuvar ortamında aksel çekme davranışlarını belirlemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmada 20-24 MPa olan silindirik beton numunelere, donatı çapı 16 mm olan donatıları 250 mm derinlikte ekmişlerdir. Çalışmanın ana unsuru olan sıcaklık değişimi elektrikli fırın ya da yüksek sıcaklıklı gazlar kullanılarak sağlanmıştır. Elektrikli fırın dakikada 20°C artırırken, yüksek sıcaklıklı gazların kullanımında dakikada 300°C'lık ısı artışı sağlanarak deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Elektrikli fırın yardımıyla gerçekleştirilen deneyde dakika 5°C -10°C -20°C artışlarda ankraj dayanımında önemli değişikliklere rastlanmadığını belirtmişlerdir. 20°C üzerindeki durumlarda ankrajın doğrudan etkilendiğini ancak önemli bir azalma olmadığını sığ ankrajlarda yangın durumlarının da dikkate alınarak tasarlanması gerektiğini belirtmişlerdir.

Strba ve Karmazinova (2012), sertleşmiş betona ekilen genişlemeli ankrajların tekrarlı yükler altındaki davranışını incelemişlerdir. 800 MPa çekme dayanımına sahip ankraj çubukları, C12/20 ile C30/37 aralığındaki beton sınıflarında, 600x500x300 mm ebatlardaki betona, 55-100 mm aralığında değişen gömme derinliğinde 255 adet ankraj gömülerek çekip çıkarma deneyleri yapmışlardır. Deney sonucunda 156 adet numunede ankraj çubuğu kopmuş, 72 adet numunede konik göçme oluşmuş ve 25 adet numunede ise sonuç alınamamıştır. Genişlemeli olarak gerçekleştirilen mekanik ankrajların genişleyen kısmı ile baş tarafı arasındaki mesafe 1-2 mm'den fazla olmaması aksi durumlarda ankraj dayanımının azalacağını belirtmişlerdir.

Bajer ve Barnat (2012), piyasada en çok kullanılan vinil-üretan, polimer-çimento ve epoksi reçinesi yapıştırıcıların, yüksek dayanımlı çelik malzeme kullanarak beton, donatı ve yapıştırıcı arasındaki arayüzeylerin davranışını incelemişlerdir. Deney numunesi olarak C20/25 MPa basınç dayanımına sahip beton, 300 MPa, 640 MPa ve 900 MPa akma dayanımına sahip ankrajların farklı derinliklerde gömülerek deneye tabi tutmuşlardır. Çalışmalarında ETAG ankraj dizayn standardı kullanılmıştır. Elde edilen deneysel veriler ATENA 2D ve ATENA 3D oluşturulan modellerle kıyaslanmıştır. Hem

deneysel hem de analitik sonuçların tasarım nihai yük kapasitesinden daha büyük değerler çıktığını göstermişler ve 40 MPa dayanım altındaki betonlarda beton dayanımının ankraj dayanımını belirlemek için yaptıkları deneysel çalışmalar ve nümerik hesaplamaları karşılaştırarak kesin bir göçme yükü belirlenemeyeceğini açıklamışlardır.

Karasek, vd., (2012), serbest uçlu bir kirişi kimyasal ankrajlar kullanarak iki farklı kolon tipinde birleştirmiş ve kirişin serbest ucundan hidrolik pompalar ile kuvvet uygulayarak bağlantı noktasında göçmenin oluşmasını sağlamışlardır. Çalışmalarında iki farklı kolon tipini karşılaştırmışlardır. Bu betonarme kolon tiplerinden ilkin normal kolon yüzüne ankraj ekip kirişi bağlarken, diğeri ise kolonda çelik I profil betonla güçlendirilerek kolon hazırlanmış kirişi civatalamışlardır. Toplam dokuz adet numune hazırlanmıştır. Serbest uçtan verilen kuvvet sonrasında dayanımı belirleyen nihai etken ankrajların dayanımları olduğu için iki farklı kolonda da moment-eğrilik ilişkisini yaklaşık olarak bulmuşlardır.

Kim, vd., (2013), yaptıkları çalışmada mekanik ankrajların modellemesini sonlu elemanlar yazılımlı program yardımıyla oluşturmuş ve deneysel verilerle kıyaslamışlardır. Yapılan çalışma sonucunda maksimum yük kapasitesi beton ile ankraj arasındaki sürtünmenin yapışma teorilerine kıyaslanarak, en ideal yapışma teorisini belirlemeye çalışmışlardır. Mekanik ankrajların ankraj çapına, ankraj derinlik parametreleri arasındaki ilişkiyi sonlu eleman yazılımı programıyla elde etmişlerdir.

Turan (2013), yaptığı tez çalışmasında betona sonradan yerleştirdikleri kimyasal ankrajların eğilme etkisi altında mekanik özelliklerini incelemiştir. Betona sonradan ettikleri ankrajların eğilme etkisini Belçika kiriş modelini kullanarak; donatı çapının artmasıyla basit eğilme etkisindeki davranışlarının ön plana çıktığını göstermiştir.

Çavunt (2013), çalışma kapsamında mevcut bir betonarme binada 14 adet çekme ve 16 adet kesme olmak üzere toplamda 30 adet deney gerçekleştirmiştir. Deneyler için 3 çeşit kimyasal yapıştırıcı ve kimyasal yapıştırıcı olmadan yapmıştır. Yapıştırıcı türü olarak modifiye polimer esaslı ankraj ve montaj harç katkısı (F), özel çimentolar ve modifiye polimerler içeren erken dayanımı yüksek ankraj harcı (M) ve epoksi esaslı çift bileşenli ankraj harcı (E) kullanmıştır. Standartlara ve literatürde verilmiş bağıntılar ile tahmini ankraj kapasitelerini deneysel sonuçlarla kıyaslamıştır. Çalışmanın sonucunda ankrajların çimento esaslı harçlar ile ekimi, epoksi ile ekimininden daha ucuzdur ve

çimento esaslı yapıştırıcıların düşük dayanımlı betonda etkin bir şekilde kullanılabilceğini göstermiştir.

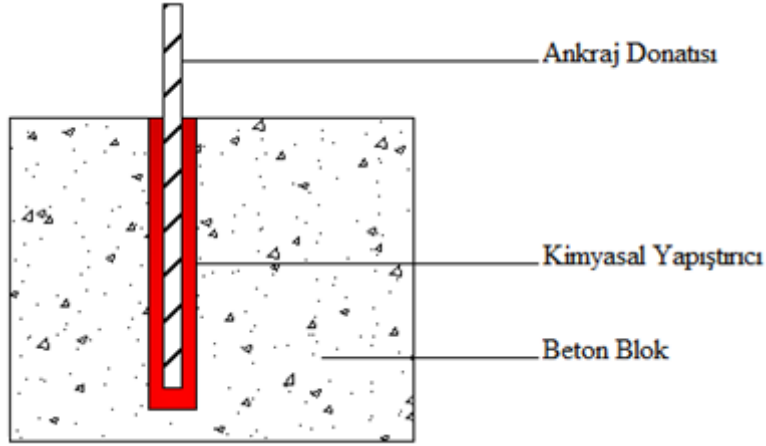
Yang, vd., (2014), yaptıkları çalışmalarında epoksi esaslı yapıştırıcılarla oluşturulmuş ankrajları hem matematiksel model hem de ABAQUS'de oluşturulan modelde çekme kuvvetleri açısından kıyaslamışlardır. Epoksi esaslı yapıştırıcılar kullanılarak oluşturulan ankrajlar, açılan deliklerin nem durumu ve ankraj uygulanma anındaki farklı sıcaklıklar açısından incelemişlerdir. Yapılan çalışmada uygulama anındaki sıcaklığın ve açılan deliklerin nem durumlarının ankraj dayanımına etkisini matematik ve program yardımıyla göstermişlerdir.

Delhomme, vd., (2015), farklı gömme derinliklerinde oluşturulan başlıklı ve başlıksız ankrajların çekme kuvvetleri deneysel olarak incelemişlerdir. Daha önceki yapılan çalışmalar gömme derinlikleri, kullanılan ankraj çapı ve mevcut beton dayanımı açısından incelenerek yaptıkları deneysel çalışma verilerini oransal olarak kıyaslamışlardır. Yapılan deneysel çalışmada çatlamamış betonarme elamanlarda, hem tekil çalışan ankrajlar hem de grup olarak çalışan başlıklı ve başlıksız ankraj elemanları tasarım oranları oluşturularak aderans dayanımı açısından ideal gömme derinliği arasında ilişkisini göstermişlerdir.

3.1.1.1. Bağ tipi ankrajlar

Kimyasal bağlı ankrajlar

Yapıların güçlendirme uygulamalarında kullanılan kimyasal ankrajlar; ankraj donatısı, beton/betonarme elemanı ve kimyasal yapıştırıcı olmak üzere üç ana bileşenden oluşur (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Kimyasal ankraj bileşenleri.

Kimyasal ankrajlar; etkisi altında oldukları kuvvetin oluşturduğu gerilmeleri aderans ile betona aktarırlar. Bu aktarımın tam aderansla gerçekleşmesi için bağlantıyı oluşturan ara elemanın tam kenetlenme yapması gerekmektedir. Ankrajlarda yapıştırıcı malzeme olarak reçine malzemeler kullanılır. Reçinelerin; polyester, vinylester, epoksi, poliüretan, akrilik olmak üzere çeşitleri vardır. Epoksi ankraj çubuklarında kullanılan en yaygın bağlayıcı polimerlerdir. Sertleştirici polimer ile reçine karıştırıldıktan sonra açılan deliğe doldurulur. Ankraj elemanları mevcut elemanlar arasında iyi bir yük aktarımının sağlanması için açılan deliklerin iyice doldurulması ve ankraj macununun uygun kıvamda ekiminin yapılması gerekir (Özen, 2010).

Ankrajın performansına; yapıştırıcı ile beton ve yapıştırıcı ile ankraj donatısı arasındaki kenetlenme etkin belirleyicidir. Kimyasal ankrajlarda oluşan ara yüzeylerin birbiriyle tutunmasını sağlayan kayma gerilmelerine aderans denilmektedir. Beton ve çelik çubuklardan oluşan bir yapı elemanının betonarme olarak davranabilmesi için çubukların betona kenetlenmesi gerekliliği; standartlara uygun oluşturulan kimyasal ankraj uygulamalarıyla sağlanabilmektedir.

3.1.1.2. Mekanik ankrajlar

Mekanik ankrajlar, etkileyen yükü ön germeli ya da ucu genişleyerek delik cidarı arasında oluşacak sürtünme ve basınç kuvveti yardımıyla aktarmaktadır.

3.1.2. Taze betona yapılan ankrajlar

Taze betona uygulanan ankrajlar genellikle betonarme ile çelik elemanları birleştirilerek uygulanmaktadır. Taze betona uygulanan ankrajların tasarımındaki en önemli ilkelerden birisi sünek davranış göstererek gevrek malzeme olan betonun güç tüketmesine izin vermeden ankraj donatısının akmasına izin verilerek sünek bir davranış sergilemesidir (Özen, 2010).

3.2. Etkin Parametreler

Kimyasal ankrajlarda oluşacak kuvvetler; beton ile yapıştırıcı ve yapıştırıcı ile ankraj donatısı arasındaki yüzeylerde oluşan sürtünmeden dolayı kimyasal bağlar ve ankraj donatısının üzerindeki dış kuvvetleridir. Yapılan çalışmalarda ankrajın dayanıma farklı çevresel koşullarında etkisi olduğu görülmüştür. Bunlar; nem etkisi, temizlik koşulları, sıcaklık, kür süresidir. Bunların yanı sıra betona sonradan açılan silindir deliğe kimyasal yapıştırıcı yardımıyla gömülen donatının dayanımı; donatı çapı, açılan delik çapı, gömme derinliği, mevcut beton dayanımı, ankrajların kenardan olan uzaklığı, ankrajlar arası mesafe ve kimyasal yapıştırıcı türü olmak üzere birden çok unsur ankraj davranışını etkilemektedir.

3.3. Çekme Altındaki Kimyasal Ankrajların Göçme Tipleri

Kimyasal ankrajların çekme davranışını belirlemek için yapılan çekip çıkarma deneylerinde çeşitli göçme tiplerine rastlanmaktadır (Şekil 3.5). Bu göçme tipleri;

1. Ankraj donatısının kopması
2. Ankraj donatısının sıyırılması
3. Betonun konik kopması
4. Konik kopma ve sıyırmanın birlikte oluşumu
5. Betonun yarılarak göçmesi

Ankraj çubuğunun kopmasına, beton ve kimyasal yapıştırıcı kalitesi yüksek derin ankrajlarda karşılaşılmaktadır. Ankraj donatısının kopması ankrajın maksimum dayanımına gelen karşılıktır.

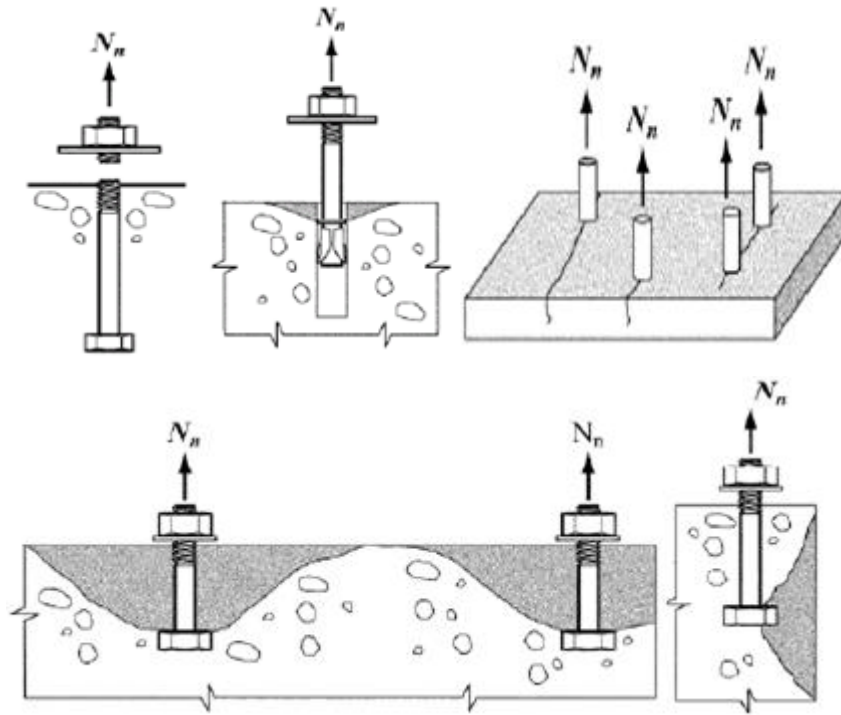
Koni ile sıyırmanın birlikte oluşması, derin ankrajlarda rastlanmaktadır. Sıyırılma yükü; kullanılan kimyasal ile betonun özelliklerine ve bağlantılarına bağlıdır.

Malzemenin yapışma dayanımının yetersiz olması, kötü kür, kötü yüzeysel koşullar sıyrılmanın oluşmasına neden olur (Cook, 1993).

Beton konik kopma ise aksenal çekme sırasında betonda oluşan çekme gerilmelerinin beton çekme dayanımını aşmasıyla betonun koni şekilde göçmesidir. Genellikle uygulanma derinliği ve betonun çekme dayanımıyla ilişkilendirilir.

Ankraj çubuğunun sıyrılması, yapışma dayanımının sonra ermesiyle meydana gelir. Bu tip göçmeyi engellemek için kimyasal yapıştırıcının iyi seçilmesi ve doğru şekilde uygulanması gereklidir.

Betonun yarılması, serbest kenara yakın uygulanan ankrajlarda rastlanır. Beton konisi oluşumu için yeterli alan olmaması veya ankraj ve serbest kenar mesafelerinin çalışma alanıyla kesişmesiyle meydana gelmektedir.



Şekil 3.5. Aksenal çekme altında ankrajların göçme biçimleri.

3.4. Kimyasal Ankrajların Çekme Davranışı Modelleri

Kimyasal ankrajların dayanımına birden çok parametre etkidiği için birçok problemde olduğu gibi kimyasal ankrajda da kesin bir model oluşturulamamıştır. Yapılan çalışmalarda göçme modlarına göre matematiksel modeller oluşturularak, ankrajların

çekme altındaki dayanım değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Oluşturulan bazı modeller aşağıda verilmiştir.

3.4.1. Beton koni modelleri

Eligehausen vd., tarafından 1984'te ilk olarak önerilen model sadece konik göçmenin meydana geldiği uygulamaları kapsamaktadır. Konik göçme mekanizmaları için deneysel sonuçlardan faydalanarak geliştirdiği denklem;

$$P_u = 0.92h_{ef}^2 \sqrt{f_c} \quad (3.1)$$

P_u ankrajın çekme kapasitesi, f_c betonun standart silindir basınç dayanımı, h_{ef} efektif ankraj derinliğini göstermektedir. Bu modelde betonun çekme dayanımı, basınç dayanımının karekökü ile ifade edilmiştir. Denklem 3.1'de ankrajlar arası mesafenin yeterli olması başka bir deyişle beton göçme konilerinin birbirini kesmemesi gerekmektedir.

Eligehausen yaptıkları çalışmalarda konik göçmede oluşacak koninin geometrisi hakkında özelliklere yer verilmiştir. Yapılan ve çalışılan veri tabanında ankraj derinliğiyle oluşan koni yüksekliği arasındaki değişimin %10 ile %70 arasında kaldığını ve tepe açılarının 30° - 40° arasında olduğu belirtilmiştir.

Göçme konilerinin çakıştığı durumlar için ise;

$$P_u = \chi_a P_{u,max} \quad (3.2)$$

$$\chi_a = 0.5 \left(1 + \frac{a}{a_{krit}} \right) \leq 1 \quad (3.3)$$

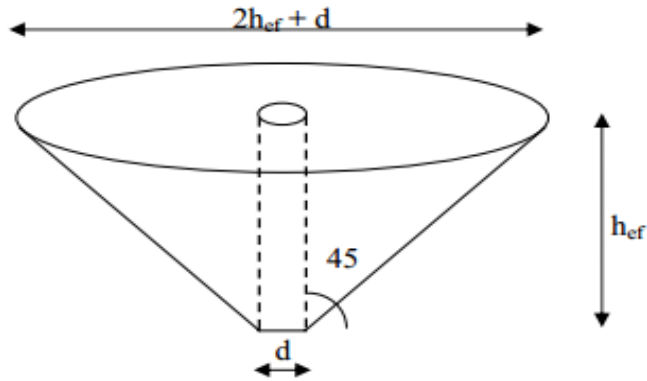
Burada; a , ankrajlar arası mesafeyi, a_{krit} ; ankrajlar arası kritik mesafeyi, $P_{u,max}$ tekil ankraj aksenal çekme kapasitesinin iki katını gösteren denklemlerden yararlanılmasını önermektedir.

Amerikan Beton Enstitüsünün hazırladığı ACI349-97'nin eklerinde yer alan ankraj tasarım ilkeleri, ACI 349'da yer alan 45° koni modeli ve akabinde oluşturulan CCD modeliyle hesap kolaylığı açısından yaygınca kullanılmıştır (Şekil 3.6). ACI 349'da yer verilen 45° derece koni modelinde betonda oluşacak çekme gerilmelerinin sabit olduğu, yüke maruz kalan ankrajın en alt noktasından beton yüzeyine kadar olan kısmına 45° geldiği kabulüyle modellenmiştir.

$$P_k = f_{ct} A_c \quad (3.5)$$

$$A_c = \frac{(2h_{ef} + d_h)\pi}{2} h_{ef} \approx \pi h_{ef}^2 \left(1 + \frac{d_h}{h_{ef}}\right) \quad (3.6)$$

Burada; A_c : koni yüzey alanı, f_{ct} : alan boyunca çekme gerilmeleri ve P_k : çekme kapasitesini göstermektedir.



Şekil 3.6. Koni modeli (ACI 349, Ek-B).

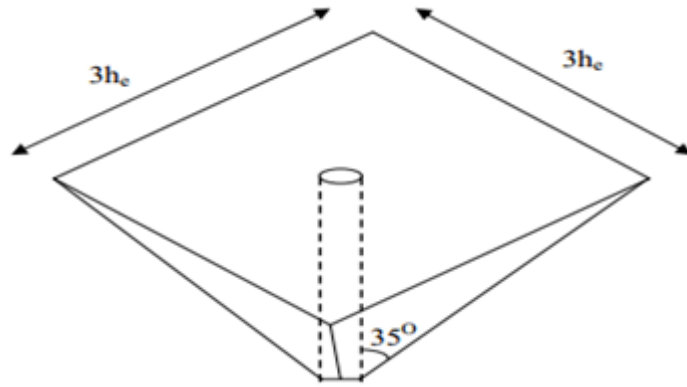
45° koni modelinde çekme kapasitesi 3.7’de verilen denklemle hesaplanabilir.

$$P_k = 0.96 \sqrt{f_c} \pi h_{ef}^2 \left(1 + \frac{d_h}{h_{ef}}\right) \quad (3.7)$$

Formülasyondaki f_{cc} betonun küp basınç dayanımı, h_{ef} efektif ankraj derinliğini, d_h ankraj delik çapını ifade etmektedir. Beton Kapasitesi Metoduna göre göçme yüzeyi koni yerine taban açısı 35° olan kare piramit olarak oluşturulmuştur (Şekil 3.7).

$$P_c = k \sqrt{f_{cc}} h_{ef}^{1.5} \quad (3.8)$$

Denklemde yer alan k bir katsayı olup ankraj tipine göre farklı değerler almaktadır. Bu hesaplama göre prizmanın kenarlarını ankrajın gömülme değerinin 3 katı olacak şekilde oluşturulmuştur.



Şekil 3.7. CCD Koni modeli.

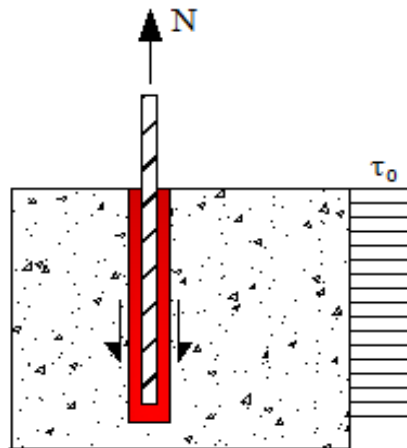
Kimyasal ankrajlarda ankraj boyunca oluşan gerilme dağılımları için iki farklı model oluşturulmuştur. Ankraj tasarımında bu iki farklı tip bağ modelleri düzgün yayılı bağ modeli ve elastik bağ teorisidir.

3.4.1.1. Düzgün yayılı bağ modeli

Ankrajların tam bağlı derinlikleri boyunca bağ gerilmelerinin dağılımının düzgün olduğu, derinlikle değişmediği kabul edilmiştir (Şekil 3.8).

$$N_u = \tau_0 \pi d h_{ef} \quad (3.9)$$

Düzgün yayılı bağ gerilmesi (τ_0), sıyrılmanın olduğu alana bölünerek hesaplanır.



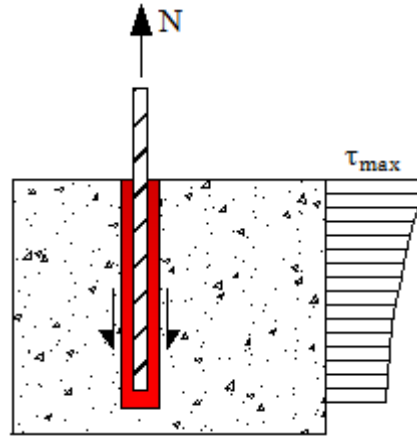
Şekil 3.8. Düzgün yayılı bağ model.

Yapılan çalışmalar sonucunda düzgün yayılı bağ modelinin tüm ankrajları kapsamadığı görülmüştür. Bu bağ modeli sadece sığ olarak uygulanmış ankrajlarda deneysel sonuçlara yakın sonuçlar vermektedir. Oluşturulan denklem beton konisi,

derinliği ve biçimi hakkında bilgi vermemekle birlikte derin olarak uygulanan ankrajlar için daha düşük değerler vermektedir.

3.4.1.2. Elastik bağ teorisi

Kimyasal ankrajlarda beton ve kimyasal yapıştırıcı arasındaki yüzeyde oluşan bağ gerilemelerini dikkate alarak modellenmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Elastik bağ teorisi.

Ankraj için şekil değiştirme enerjisi;

$$\Pi_{tr} = \frac{1}{2} \int_0^l \sigma \varepsilon A dz \quad (3.10)$$

$\varepsilon = \frac{dw}{dz} = w'$, $\sigma = E\varepsilon = w'E$ şeklinde ifade edildiğinden, ankraj çubuğunun şekildeğiştirme enerjisi denklemini;

$$\Pi_{tr} = \frac{1}{2} \int_0^l EA w'^2 dz \quad (3.11)$$

Kimyasal epoksi için şekil değiştirme enerjisi;

$$\Pi_a = \frac{1}{2} \int_0^l kw^2 dz \quad (3.12)$$

Dış Kuvvetlerin yaptığı iş;

$$\Pi_e = -Pw(l) \quad (3.13)$$

Toplam enerji;

$$\Pi_{tr} = \frac{1}{2} \int_0^1 EA w'^2 dz + \frac{1}{2} \int_0^1 kW^2 dz - Pw(1) \quad (3.14)$$

Toplam enerjinin türevi alınmasıyla;

$$w'' = \frac{k}{EA} w = 0 \quad (3.15)$$

Kimyasal yapıştırıcının kayma rijitliği;

$$k = \tau \pi d \quad (3.16)$$

$$\tau = \gamma G, \quad \gamma = \frac{1}{t} \quad (3.17)$$

Epoksi kayma gerilmesi τ , kayma modülü G , birim kayma yerdeğiştirmesi γ göstermektedir.

$$k = \frac{G \pi d}{t} \quad (3.18)$$

$w'' - \frac{G \pi d}{t EA} w = 0$ denklemi elde edilir. Bu diferansiyel denklem çözülecek olursa

$$w(z) = C_1 e^{\lambda z} + C_2 e^{-\lambda z} \quad (3.19)$$

$\lambda = \sqrt{\frac{G \pi d}{t EA}}$ belirlenip denklem sınır şartlarıyla çözümlerse;

$$w(z) = \left(\frac{P}{EA \lambda} \right) \frac{\cosh(\lambda z)}{\sinh(\lambda l)} \quad (3.20)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{G \pi d}{t EA}} = \sqrt{\frac{4 G \pi d}{t E \pi d^2}} = \sqrt{\frac{4 G}{t E d}} \quad (3.21)$$

elde edilerek, λ' 'dan kimyasal yapıştırıcının; beton kesme rijitliğine ve ankrajın rijitliğine bağlı bir parametreye geçilirse;

$$\lambda' = \lambda \sqrt{d} = \sqrt{\frac{4 G}{t E}} \quad (3.22)$$

$$w(l) = \frac{t \tau_{\max}}{G} \quad (3.23)$$

sınır koşulunda λ' değerine bağlı olarak yazılıp P denklemden çekilirse;

$P = \left(\frac{\pi \tau_{\max} d^{1.5}}{\lambda'} \right) \tanh\left(\frac{\lambda'}{\sqrt{d}}\right)$ olarak elde edilir (Cook 1993). Elastik bağ teorisinde kısmi bağlı ankrajlarda kimyasal yapıştırıcının maksimum yapışma dayanımına bağlı bir denklem geliştirilmiştir.

$$P = \pi \tau_{\max} l_b d \quad (3.24)$$

Denklemdaki l_b ankrajın bağlı derinliği, τ_{\max} ise kimyasal yapıştırıcının maksimum yapışma dayanımını göstermektedir. Kimyasalın maksimum yapışma dayanımı için önerin değer sığ ankrajlar da uygulanmasıyla bulunabilmektedir. Beton konisi ve sıyrılmanın aynı anda olduğu modellerde her iki mekanizmanın da aynı anda olduğu kabul edilerek oluşturulan denklem;

$$P = P_{\text{koni}} + P_{\text{sıyrılma}} \quad (3.25)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Beton konisi için farklı hesaplama yöntemleri ve farklı bağ modeller mevcuttur. Bu sebeple oluşturulacak denklem seçilecek bağ ve koni modeline göre değişiklik gösterecektir.

Eligehausen beton koni modeli ve düzgün yayılı bağ modeli esas alınır;

$$P_u = 0.92 h_k^2 \sqrt{f_c} + \pi \tau d (h_{ef} - h_k) \quad (3.26)$$

Eligehausen beton koni modeli ve elastik bağ teorisi esas alınır;

$$P_u = 0.92 h_k^2 \sqrt{f_c} + \tau_{\max} \pi d \left(\frac{d}{\lambda'} \tan \frac{\lambda' (h_{ef} - h_k)}{\sqrt{d}} \right) \quad (3.27)$$

Cook'un (1993) yaptığı çalışma sonucunda koni derinliği veren ifadeyi beton koni ve düzgün yayılı bağ modelinin çekme kapasitesi denkleminin türevini alarak bulmuştur.

$$\frac{dP_u}{dh_k} = 0, h_k = \frac{\pi \tau d}{1.84 \sqrt{f_c}} \quad (3.28)$$

Her iki bağ modelini kıyaslanırsa; beton koni derinliğinin sığ olacağı kimyasal ankrajlar için düzgün yayılı bağ modeliyle aksel çekme kapasite tahmininde bulunulabilir. Ankraj gömülme derinliğinin artmasıyla betonda koni ve sıyrılma göçme tipiyle karşılaşılma olasılığı artmaktadır. Ankraj kapasiteleri hesaplamalarında ACI 318’de verilen formüller yardımıyla ankraj dayanımları, deneysel dayanım değerlerin göre daha tutarlı sonuçlar vermesini beklenir.

Donatı kapasitesi

Amerikan Beton Enstitüsünün (ACI 318)’de donatının kopma dayanımını belirlemek için verdiği formül;

$$N_{sa} = n A_{se} f_{uta} \quad (3.29)$$

Tekil veya grup ankrajların çekme etkisinde nominal dayanımını geçmeyecek şekilde tasarlamayı öngörmüştür. Verilen denklemde n ankraj sayısı, f_{uta} kopma dayanımı ($f_{uta} < \min(1.9f_{ya})$) ve A_{se} etkili kesit alanını göstermektedir.

$$A_{se} = \frac{\pi}{4} \left(d_a - \frac{0.9743}{n_t} \right)^2 \quad (3.30)$$

Beton koni kapasitesi

Tekil ankraj için;

$$N_{cb} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \Psi_{ed,N} \Psi_{c,N} \Psi_{cp,N} N_b \quad (3.31)$$

Ankraj grubu için;

$$N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \Psi_{ec,N} \Psi_{ed,N} \Psi_{c,N} \Psi_{cp,N} N_b \quad (3.32)$$

Birbirine $3h_{ef}$ daha yakın olan ankrajlar grup olarak çalıştığı kabul edilir.

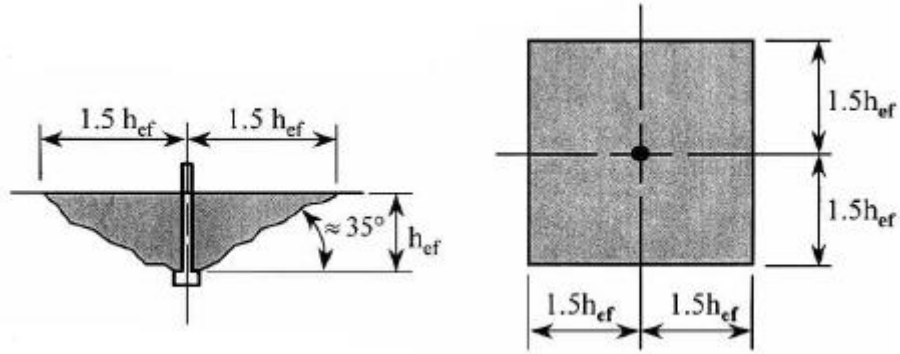
A_{Nc} ; betonda öngörülen göçme alanı.

A_{Nco} ; $1.5 h_{ef}$ kenar mesafesindeki ankrajda öngörülen göçme alanı.

N_b ; nominal beton göçme dayanımı.

N_{cb} ; beton koni kapasitesidir.

Belirli kenar mesafede A_{Nco} öngörülen göçme alanı etkin gömme derinliğiyle ilişkilendirilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Öngörülen göçme alanları.

$$A_{Nco} = (2 \times 1.5h_{ef}) (2 \times 1.5 h_{ef}) = 9 h_{ef}^2 \quad (3.33)$$

Sonradan ekilen ankrajlar için belirli bir katsayıya bağlı olarak nominal beton göçme dayanımı hesaplanabilmektedir.

$$N_b = k_c \lambda_a \sqrt{f'_c} h_{ef}^{1.5} \quad (3.34)$$

Verilen denklemde;

k_c değeri kimyasal ankraj için 17, önceden yerleştirilmiş ankraj bulonlar için 10, sonradan yerleştirilmiş ankraj bulonlar için 7.

f'_c ; beton basınç dayanımı.

λ_a ; hafif beton için düzeltme katsayısıdır.

Çekme kuvveti etkisi altındaki ankrajın betonun kopup çıkma dayanımı N_b 'yi geçemez.

N_b 'nin $280\text{mm} \leq h_{ef} \leq 635\text{mm}$ aralığı için maksimum değerine alternatif denklem ise;

$$N_b = 3.9 \lambda_a \sqrt{f'_c} h_{ef}^{5/3} \quad (3.35)$$

Denklemde verilen katsayılar kenar mesafeli durumlarına göre belirlenmesi gerekir.

$$c_{a,\min} \geq 1.5 h_{ef} \text{ ise } \Psi_{ed,N} = 1 \quad (3.36)$$

$$c_{a,\min} < 1.5 h_{ef} \text{ ise } \Psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3 \frac{c_{a,\min}}{1.5 h_{ef}} \quad (3.37)$$

$c_{a,\min}$; ankrajların kenara olan en yakın mesafedir.

$\Psi_{ed,N}$; serbest kenara olan uzaklıkla ilgili azaltma katsayısı.

$\Psi_{c,N}$; çatlamış ve çatlamamış beton ile ilgili azaltma katsayısıdır.

Servis yükleri etkisinde betonun çatlamadığı gösterilebiliyorsa 1.25 alınabilir.

Sertleşmiş betona ekilen ankrajlarda;

$$c_{a,min} \geq c_{ac} \text{ ise } \Psi_{cp,N} = 1 \quad (3.36)$$

$$c_{a,min} \leq c_{ac} \text{ ise } \Psi_{cp,N} = \frac{c_{a,min}}{c_{ac}} \quad (3.37)$$

Şeklinde ifade edilir.

Sıyırılma kapasitesi

ACI 318' de yer verilen sıyırılma kapasitesi;

$$N_p = 0.9 f'_c e_h d_o \quad (3.38)$$

N_p ; nominal sıyırılma kapasitesi.

f'_c ; belirlenen beton basınç dayanımı.

d_o ; ankraj donatı çapı.

e_h ; uygulanan ankraj tipine göre değişen bir katsayıdır.

$$N_{pn} = \Psi_{c,p} N_p \quad (3.39)$$

$\Psi_{c,p}$ değeri betonda çatlak olmasıyla ilgili bir azaltma katsayısıdır ve ACI 318'de $3d_o \leq e_h \leq 4.5d_o$ aralığındaki ankrajlar için deneysel olarak hesaplanmasını önermektedir. ACI 318, 9.2' deki tasarıma göre ankraj dayanım azaltma katsayıları kullanılmaktadır. Dayanım azaltma katsayıları A ve B durumu olmak üzere mekanik ve kimyasal ankrajlarda; yüksek, orta ve düşük hassasiyetli durum olarak sırasıyla A durumu için 0.75, 0.65, 0.55, B durumu için ise sırasıyla 0.65, 0.55, 0.45 katsayıları kullanılır. A durumu ek donatı düzenlemesi yapıldığı durumda, B durumu ise ek donatı düzenlemesi yapılmadığı, sıyırılma ve kaldıraç etkisi durumlarında kullanılır.

ACI 318, Ek-C' deki tasarıma göre mekanik ve kimyasal ankrajlarda dayanım azaltma katsayıları düşük, orta ve yüksek hassasiyetli durum olarak sırasıyla A durumu için 0.85, 0.75, 0.65, B durum için ise sırasıyla 0.75, 0.65, 0.55 katsayıları kullanılır. Ankrajların çekme kapasiteleri çelik dayanımı, beton kopma dayanımı ve betonda

sıyırılma dayanımları hesaplanarak en elverişsiz durumun dayanım azaltma katsayıları çarpılarak belirlenir.

3.5. Sonlu elemanlar Yöntemine Giriş

Sonlu eleman yöntemiyle çözümü yapılacak yapı daha önceden davranışı belirlenmiş alt elemanlara bölünüp sonrasında elemanların “nod” adı verilen noktalardan tekrar birleştirilerek mühendislik için önemli olan alanın almış olduğu en büyük değer veya en büyük gradyen sonucuyla çözüm gerçekleştirilir. Seçilen birim eleman tasarımcının belirlediği geometrik bir şekildir. Birim elemanın artması ya da alanın küçülmesi daha hassas çözüm yapılmasını sağlarken çözüm adımları artmasına ve çözüm süresini artırmaktadır. Bu sebeple sonlu eleman yönteminde nodlarda oluşturan denklem takımlarının çözümü bilgisayar kullanımını gerektirmektedir. Sonlu elemanlar metodu geliştirilerek ısı transferi, yer altı sularının akışı, manyetik alan gibi birçok alanda uygulanmıştır (Figes).

3.5.1. Sonlu elemanlar yöntemi

Bu çalışmada analitik hesaplamalarda ANSYS paket programı kullanılmıştır. ANSYS; mühendislerin mukavemet, titreşim, akışkanlar mekaniği ve ısı transferi ile elektromanyetik alanlarında fiziğin tüm disiplinlerinin birbiri ile olan etkileşimlerini gerçeğe uygun bir şekilde kullanılabilen genel amaçlı bir sonlu elemanlar yazılımıdır (Figes). Bu sayede gerçekleştirilen testlerin ya da çalışma şartlarının simüle edilmesine olanak sağlayan ANSYS, ürünlerin henüz prototipleri üretilmeden sanal ortamda test edilmelerine olanak sağlar. Ayrıca sanal ortamdaki 3 boyutlu modellemeler neticesinde yapıların zayıf noktalarının tespiti ve iyileştirilmesi ile ömür hesaplarının gerçekleştirilmesi ve muhtemel problemlerin öngörülmesi mümkün olmaktadır. Başlıca kullanım alanları; mukavemet, titreşim, yorulma, ısı transferi, metal şekillendirme, elektromanyetik, mekanizma dinamiği hesapları, çarpma ve devrilme simülasyonları, test ve ölçüm sistemleri, sistem modelleme, otomatik kontrol simülasyonlarıdır.

ANSYS yazılımı hem dışarıdan CAD verilerini alabilmekte hem de içindeki menü imkanları ile geometri oluşturulmasına izin vermektedir. Yine aynı menü içinde hesaplama için gerekli olan sonlu elemanlar modeli yani mesh de oluşturulmaktadır. Yüklerin tanımlanmasından sonra ve gerçekleştirilen analiz neticesinde sonuçlar sayısal

ve grafiksel olarak elde edilebilmektedir (Figes). ANSYS ile analizi yapılan model sonlu sayıda elemana bölünerek, sonlu elemanlar ağı oluşturulur. Önemli olan geometrik modeli doğru ve sağlam bir şekilde oluşturmaktır. ANSYS kütüphanesinde farklı analiz tipleri için geliştirilmiş eleman tipleri mevcuttur. Sonlu elemanlar ağı oluşturulduktan sonra yükleme ve sınır koşulları belirlenir ve programa işlenir. Bu aşamada problemin çok iyi yorumlanması ve modele gelen yükleri doğru bir şekilde belirlenmesi gerekir. Yapı problemlerin çözümlerinde tasarımcı için sıklıkla karşılaşılan terimleri kısaca açıklayacak olursak;

3.5.2. Elastisite modülü

Elastisite modülü, deformasyondaki birim uzama ile normal gerilme arasındaki doğrusal ilişkiyle birim uzama başına gelen gerilme başka bir deyişle kuvvet altındaki elastik şekil değiştirmenin ölçüsü olarak tanımlanabilir. Üç fazlı anizotropik gevrek bir malzeme olarak tanımlanabilen betonun küçük gerilmeler altında elastik davrandığı kabul edilen sınırlar için elastisite modülünün belirlenmesi standart yükleme düzeylerinde ve standart boyutlardaki (150 x 300 mm) silindir şekilli numuneler üzerinde gerçekleştirilir. Betonun elastisite modülü için yapılan deneylerin ışığında ampirik bağıntılar geliştirilmiştir. TS 500 (2000) Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarım Kurallarında elastisite modülü için 3.40'daki denklemlerle verilmektedir;

$$E=14000 + 3250 \sigma^{1/2} \text{ (MPa)} \quad (3.40)$$

Avrupa Beton Komitesi (CEB) ise beton dayanımından elastisite modülünü hesaplamak için;

$$E=9500 (\sigma + 8)^{1/3} \quad (3.41)$$

Amerikan Beton Enstitüsü beton elastisite modülü hesaplamasında beton basınç dayanımı ile birlikte birim ağırlığı da ekleyerek geliştirdikleri 3.42'deki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$E= 0.043 \sigma^{1/2} W^{3/2} \quad (3.42)$$

Birim uzama ile normal gerilme arasındaki doğrusal ilişki olduğunu Robert Hooke tarafından geliştirilmiştir.

$$\text{Elastisite Modülü (E)} = \text{Normal Gerilme } (\sigma) / \text{Birim Uzama } (\epsilon)$$

3.5.3. Poisson katsayısı

Bir malzeme eksen doğrultusunda çekme gerilmesine maruz bırakıldığında gerilme doğrultusunda uzayacak diğer doğrultuda ise kısalma olacaktır. Her malzeme türü için sabit bir oran olduğu kabul edilerek bu değer Poisson Katsayısı veya Poisson Oranı olarak isimlendirilmektedir.

$$\nu = \text{Yanal Gerinme} / \text{Eksenel Gerinme}$$

şeklinde elde edilir. Bu oran malzemeye bağlı bir katsayıdır. Genellikle çeliklerde $\nu = 0.30$, alüminyumda $\nu = 0.34$, bakırda $\nu = 0.32$ ve betonda $\nu = 0.10$ civarındadır. Poisson oranı genel olarak $0 < \nu < 0.5$ arasında değişmektedir.

3.5.4. Beton için modeller

Betonun gerilme-birim deformasyon ilişkisinin doğrusal olmamasından dolayı gerilme ve kuvvet cinsinden ifade edilen denge denklemleri ile deformasyon cinsinden ifade edilen uygunluk denklemleri arasında bağıntılar oluşturulmalıdır. Malzemenin gerilme-şekil değiştirme arasındaki ilişki doğru ilişkilendirilirse sonuç gerçeğe daha yakın olur. Yapılan nümerik çözümleri kolaylaştırmak için deneyler sonucunda elde edilen değerler idealize edilerek modeller oluşturulmuştur.

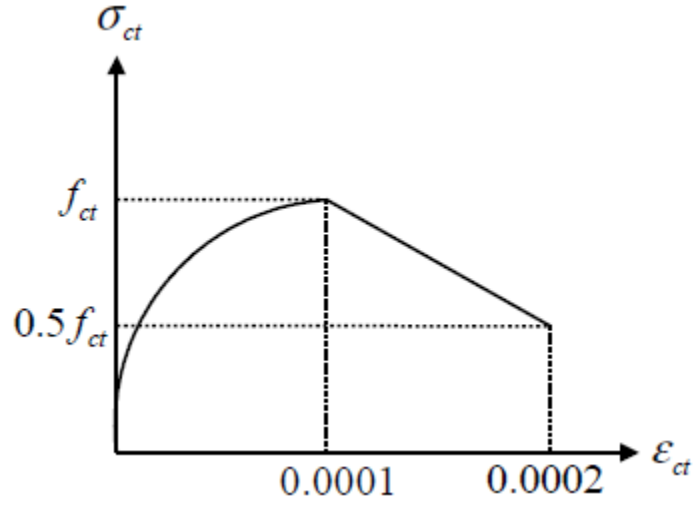
Kimyasal ankrajlarda yapılan deneysel çalışmaların birçoğu donatısız bloklarda gerçekleştirilir. Bilindiği gibi kimyasal ankraj uygulamaları mevcut eksenel yüke maruz betonarme yapılarda donatılı kesitlere kesit artırılması için uygulanır. Deneysel çalışmalarda kullanılan beton/betonarme elemanların eksenel yüklü iken davranış ve taşıma güçlerinin elde edilmesi amacıyla matematiksel modeller oluşturularak beton davranışını belirleme amaçlanmıştır.

Betonarme elemanların nonlinear analiz sırasında, beton malzemesine ait nonlinear gerilme-şekil değiştirme eğrisini tanımlayan matematiksel modellerden en yaygın kullanılanları; Hognestad, Saatcioğlu ve Ravzi, Sheikh ve Üzümeri, Geliştirilmiş Kent ve Park modelleridir.

3.5.5. Betonun çekme gerilmeleri altındaki davranışı

Çekme için önerilen σ - ϵ ilişkisinde, betonun maksimum çekme gerilmesine karşılık gelen birim uzamasına kadar olan kısım, ikinci dereceden bir parabol ile (bazı problemlerde doğru olarak da kabul edilebilir), maksimum çekme gerilmesine karşılık gelen birim uzama ile maksimum birim uzama arasında ise bir doğru ile tanımlanmıştır (Şekil 3.11). Betonun maksimum birim uzaması $\epsilon_{ct} = 0.0002$, buna karşılık gelen gerilme

değer $0.5 f_{ct}$ olarak verilmiştir (Ersoy ve Özcebe, 2001). Tez kapsamında yapılan çalışmada ise beton modeli iki bölgeden oluşturulmuştur. İlk bölge tepe noktasına kadar 2° parabol artan ve altı noktalı, ikinci bölge ise azalan lineer tek noktalı olarak oluşturulmuştur.



Şekil 3.11. Beton çekme gerilmeleri için σ - ϵ ilişkisi (Çakıroğlu ve Özer).

4. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma kapsamında kimyasal ankrajların çekme davranışları; farklı çap, farklı gömme derinliği ve farklı kimyasal yapıştırıcı parametreleriyle incelenmiştir. Çalışmada 10 farklı kimyasal yapıştırıcı türüyle ekilen ankrajlarda çekip çıkarma deneyleri yapılmıştır. Ekilen S420a çelik çubuklarının çapları 12, 16, 20 ve 24 mm olarak seçilmiştir. Gömme derinlikleri kullanılan çapların 5, 10, 15 ve 20 katı olacak şekilde uygulanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen nihai aksenal çekme kapasiteleri ve ACI 318'e göre belirlenen tasarım kapasiteleri karşılaştırılarak irdelenmiştir.

4.1. Ankrajların Ekilme Geometrisi

Kimyasal ankrajın uygulanacağı mevcut betonarme elemanı temsil edecek donatısız beton bloklara, kullanılan donatı çapının 5, 10, 15 ve 20 katı gömme derinliğinde, 12, 16, 20 ve 24 mm çaplarında nervürlü donatılar kullanılarak ekilme gerçekleştirilmiştir. Ankraj uygulaması yapılacak silindir delik uygulanacak donatı çapından 4 mm fazla olarak belirlenmiştir. Ankrajlar ekilirken birbirlerinden etkilenmemeleri için ASTM E-488-5 Yönetmeliğinde verilen ankrajlar arası mesafe ve kenara olan mesafe sınır şartları göz önünde bulundurulmuştur.

4.2. Malzeme

Bu çalışma kapsamında kimyasal ankrajların aksenal çekme altında yük kapasiteleri belirlemek için yapılan çekip çıkarma deneyinde nervürlü S420a çubukları, beton ve kimyasal yapıştırıcılardan oluşmaktadır.

4.2.1. Kimyasal yapıştırıcı

Ankrajların üretiminde kullanılan ve ankrajın performansını doğrudan etkileyen temel malzemelerden biri de kullanılan kimyasal yapıştırıcıdır. Kimyasal yapıştırıcının mekanik özellikleri ankrajın kapasitesini ve göçme tipini doğrudan etkilemektedir (Çalışkan, 2010). Bu çalışma kapsamında kimyasal yapıştırıcı olarak kullanılacak malzeme yapıları; epoksi, epoksi akrilik, vinylester, polyester esaslı yapıştırıcılardan oluşmaktadır.

Epoksi, ısı ya da basınç altında kolaylıkla sertleşme özelliğiyle karşıt bağlanmış molekül yapısına iki aşamada geçmektedir. İlk aşamada fazla epiklorhidrin kullanılarak zincir sonları epoksi grupları bulunan düşük mol kütleli bir önpolimer hazırlanır. Elde edilecek polimer özellikleri ön oluşumdaki yinelenme biriminin sayısına bağlı olarak değişecektir. Küçük yinelenen birim değerlerinde polimer viskoz bir sıvı iken yinelenen

birim sayı artışıyla oda sıcaklığında katılaşma ve sertleşme meydana gelir. İkinci aşamada ise önpolimer uygun bir karşıt çapraz bağlayıcı ile reaksiyona girer. Bu aşamada epoksi için seçilen uygun çapraz bağlayıcı diamin, dietilen triamin, trietlen tetraamin gibi aminlerle epoksit gruplar üzerinden çapraz bağlanmaya girerek termoset elde edilir. Epoksi uygun bir karşıt bağlama bileşiğiyle birleşiminde sertleşerek uygulanabilir hale gelirler. Epoksinin sertleşmesi seçilen sertleştiriciye bağlı olarak 5°C-150°C arasındaki sıcaklıklarda gerçekleşebilir. Akıcı olmasına rağmen uçucu olmaması kullanımı için kolaylık sağlayacaktır. Doğru sertleştirici ve epoksi tercih edilirse her türlü kimyasal ve çevresel etkiye karşı dayanıklı olacaktır (Begimgil vd., 2003).

Epoksi akrilat ise akrilik poligomerlerin tepkime hızı, kolay polimerleşmeleri, ekonomik ve kolay elde edilebilir olmalarından dolayı tercih edilmektedir. Epoksi akrilatlar, akrilik veya metakrilik asitlerin epoksi reçine açılmasıyla elde edilir. Metakrilat esaslı kimyasal yapıştırıcılar, metakrilatların daha yavaş tepkimeye girmeleri ve esnekliklerinin akrilatlarla nazaran daha az olmasına rağmen tercih edilmektedir. Diğer taraftan ise metakrilatlar ısıya ve aşınmaya karşı dayanımları oldukça yüksektir. Polyester esaslı kimyasal yapıştırıcılar, kolay temin edilebilmeleri ve ucuz olmaları en büyük avantajlarıdır. Bu malzemeleri seyreltilmesi genellikle stiren ile gerçekleştirilir (Begimgil vd., 2003).

Kullanılan kimyasal yapıştırıcılar 3 markanın 10 farklı ürününden oluşmaktadır. Üretici firmalar tarafından oluşturulan ürün bilgi kitapçıklarından yararlanılarak; malzeme yapısı, yoğunluğu, kullanım yüzeyi sıcaklık aralığı, ortam sıcaklık aralığı, kullanım gerçekleştirilecek yüzeyin özellikleri, kullanım alanları ve kullanım avantajları bakımından incelenmiştir. Her farklı ürün için malzeme yapısı, bileşen, yoğunluk, basınç dayanımı, yüzey ve ortam sıcaklığı verileri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kimyasal yapıştırıcı özellikleri.

Malz.	Malz. Yapısı	Bileşen	Yoğunluk (kg/l)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Yüzey Sıcaklığı (° C)	Ortam Sıcaklığı (° C)
M1	Epoksi	İki	1.8	83	-5 / 49	-5 / 49
M2	Epoksi	İki	1.7	60	-10 / 40	-10 / 40
M3	Vinylester	İki	1.7	50	-10 / 40	-10 / 40
M4	Polyester	İki	1.7	74	0 / 40	0 / 40
M5	Epoksi	İki	1.45	104	0 / 40	0 / 40
M6	Polyester	İki	1.63	50	10 / 40	10 / 40
M7	Epoksi Akrilik	İki	1.64	60	-5 / 35	-5 / 35
M8	Polyester	İki	1.60	55	-5 / 35	-5 / 35
M9	Epoksi Akrilik	İki	1.60	60	-5 / 35	-5 / 35
M10	Epoksi	Üç	1.20	70	8 / 35	8 / 35

4.2.2. Beton

Ankraj uygulaması yapılacak beton blokların tek seferde ve donatısız olarak üretilmiştir. Ağırlıkça beton karışım oranları Çizelge 4.2'deki gibidir. Üretim sırasında alınan numunelerde 7, 28 ve deney günü basınç deneyleri yapılmıştır. Beton basınç dayanımları ise Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Ağırlıkça beton karışım oranları.

Malzeme (kg/m ³)	C25
0-5 mm	1016
5-15 mm	388
15-22 mm	443
CEM I 42,5	215
Su	160
Mineral katkı	70
Kimyasal katkı	3

Çizelge 4.3. Beton basınç dayanımları (MPa).

Beton Yaşı	C25		
	I	II	III
7 Günlük	21.47	23.37	24.66
28 Günlük	27.11	28.61	27.36
Deney günü	34.47	34.66	31.90

4.2.3. Ankraj donatıları

Yapılan deneylerde kullanılmak üzere S420a donatı çubukların mekanik özellikleri belirlenmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan 12, 16, 20 ve 24 mm çaplı ankraj çubuklarına çekme testi yapılmıştır. Çekme testi sonuçları Çizelge 4.4’de verilmiştir.

4.3. Ankraj Ekimi

Ankraj uygulanacak delikler, beton bloklara ankrajların birbiriyle ve kenarla olan sınır şartları sağlayacak şekilde belirlendikten sonra darbeli matkap yardımıyla silindir olarak açılmıştır. Açılan deliklere S420a nervürlü çubuklar kimyasal yapıştırıcı vasıtasıyla ankre edilmiştir. Açılan delikler basınçlı hava yardımıyla tozdan arındırılmıştır. Delikler iyice temizlendikten sonra ekim işlemine geçilmiştir. Ankraj ekimlerinde kullanılan kimyasal yapıştırıcı hazır kartuşlu tüplerde tabanca ve spatula yardımıyla uygulanmıştır. Kimyasal yapıştırıcı ile doldurulan deliklere çubuklar döndürerek yerleştirilmiş ve içeride kalan hava kabarcıklarının çıkması sağlanmıştır. Ankrajlar taban betonuna dik bir şekilde yerleştirilmiş ve yapıştırıcı dayanım sağlayıncaya kadar koruma altına alınmıştır. Üretici firmalar tarafından hazırlanan ürün teknik kitapçıklarında priz alma süreleri bilgileri de mevcuttur. Genellikle ürünlerin 7-12 saat içerisinde prizlerini tamamladıkları ifade edilmiştir. Bu çalışmada tüm ürünler için 1 hafta beklenilmiş ve daha sonrasında çekme deneyleri yapılmıştır.

Çizelge 4.4. S420a çubukların mekanik özellikleri.

TS 708 Standart Sınır Değerler					
		Akma Min. (N/mm ²)	Çekme Min. (N/mm ²)	Kopma Uzaması	
		420	500	10	
Deney Sonucu Bulunan Değerler					
Çap (mm)	Akma Dayanımı (N/mm²)	Ortalama Akma Dayanımı (N/mm²)	Çekme Dayanımı (N/mm²)	Ortalama Çekme Dayanımı (N/mm²)	Kopma Uzaması (%)
12	467	465	544	543	31
	463		542		30
	464		544		29
16	473	473	577	579	29
	470		578		30
	475		582		31
20	479	477	580	582	30
	484		585		28
	469		582		29
24	465	475	596	596	27
	474		593		27
	486		599		28

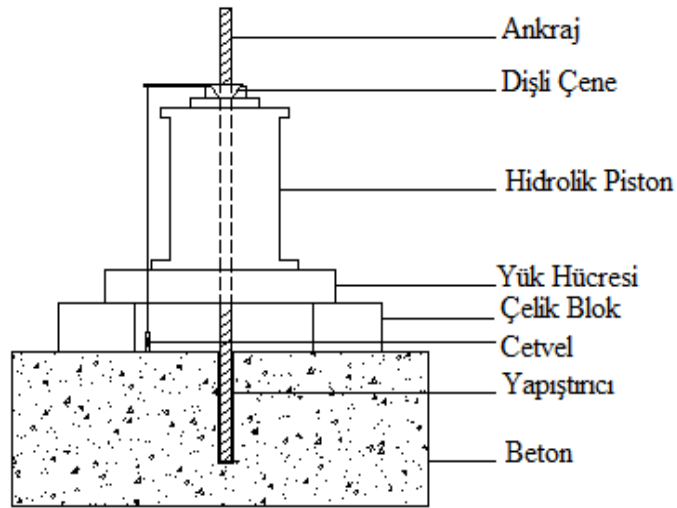
4.4. Parametreler

DeneySEL çalışmalar da kullanılan kimyasal yapıştırıcıları göstermek için M, çapı D (mm) ve gömme derinliği L (cm) kullanılmıştır. Böylece her bir numune isimlendirilmiştir. Örneğin M1D12L6; 1 diye adlandırılan kimyasal yapıştırıcı ile 12 mm çapa sahip ankraj çubuğunun 6 cm derinliğe ekildiği numuneyi göstermektedir.

4.5. Ankraj Çekme Deneyi

Kimyasal ankrajların, çekme altındaki dayanımını belirlemek için çekip çıkarma deneyi yapılmıştır. Deney seti, deney düzeneğinin beton bloğuna yerleşerek göçme şeklinin görülmesini sağlayan çelik bloklar, çekme işlemi yapacak hidrolik piston, yük

hücresi ve deplasman ölçerden oluşmaktadır. Hidrolik pistonun üst kısmında ankraj donatısının sıkışması için donatı çapına göre değişen üç ayrı çelik dişli çeneler kullanılmıştır. Ankraj donatısı üzerinde deplasmanları ölçmek için deplasman ölçer sabitlenerek deney için yük-deplasman değerleri veri toplama cihazı yardımıyla elde edilmiştir. Deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.

Deneyisel çalışmada toplamda 160 adet çekip çıkarma deneyi yapılmıştır. Oluşturulan deneysel düzeneği Şekil 4.2’de görülmektedir. Yapılan deneyler sonucunda yük-deplasman grafikleri, aksenal çekme kapasiteleri ve göçme tipleri hakkında sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.2. Deney düzeneği.

5. DENEY SONUÇLARI

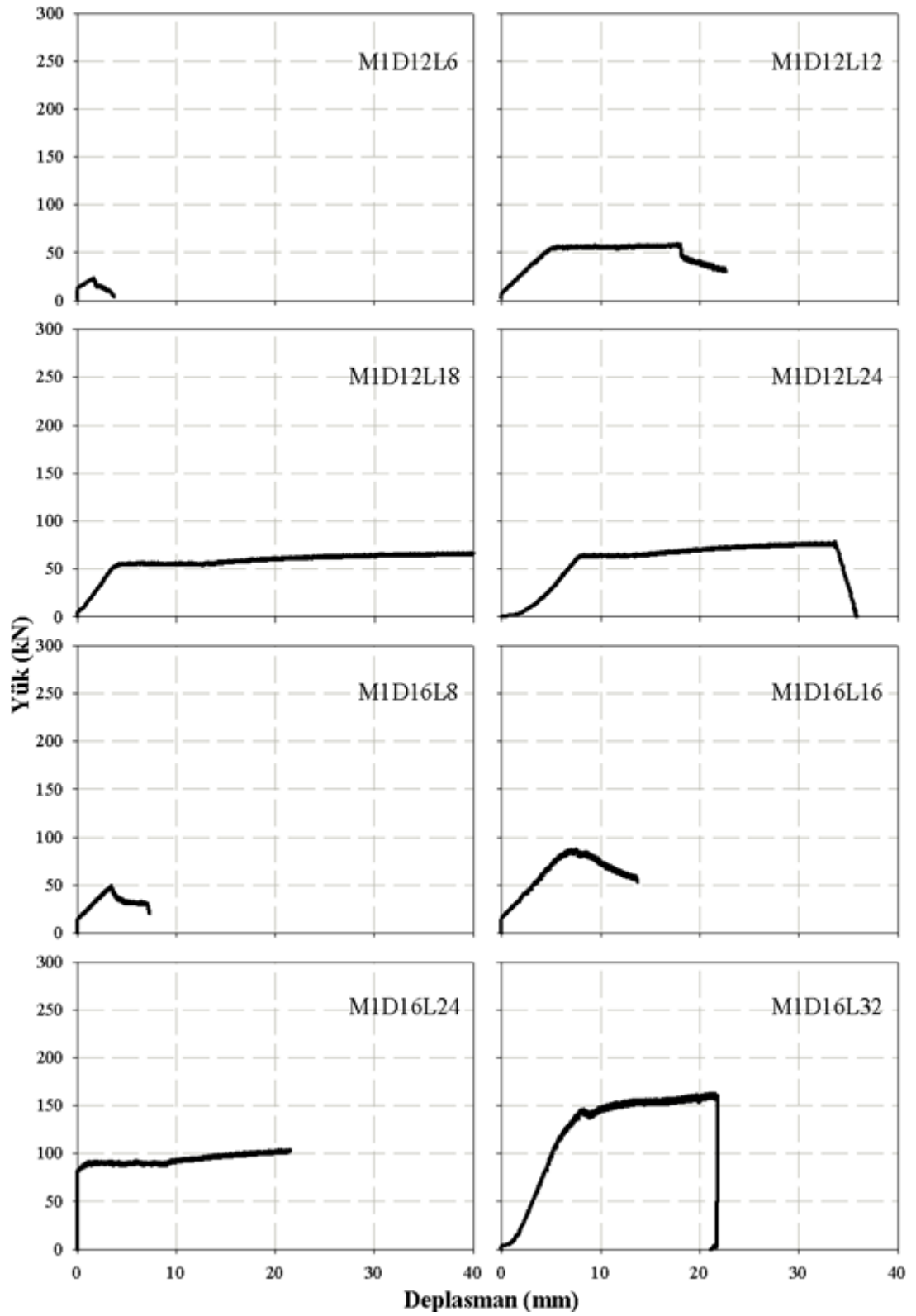
Bu bölümde; farklı çap, farklı gömme derinlikleri ve farklı kimyasal yapıştırıcılar kullanılarak oluşturulan ankraj çubuk elemanlarında çekip çıkarma deneyleri sonucunda elde edilen yük-deplasman eğrileri, aksenal gerilme grafikleri ve göçme tiplerine yer verilmiştir.

5.1. Yük-Deplasman Eğrileri

Deney programında yer alan 10 farklı kimyasal yapıştırıcı türüyle oluşturulan elemanların her biri için farklı çap ve farklı gömme derinliğinde 160 adet aksenal çekme deneyi yapılmıştır. Toplamda 160 adet çekip çıkarma deneyinden oluşan çalışmada her bir eleman için oluşturulan yük-deplasman eğrileri incelenmiştir.

5.2. Aksenal Çekme Kapasiteleri ve Göçme Tipleri

Deney programında yer alan her bir farklı kimyasal yapıştırıcıyla oluşturulmuş deney elemanları için aksenal çekme kapasiteleri ve göçme tipleri elde edilmiştir. Aksenal çekme kapasitesi bakımından; en iyi dayanım değerleri M1 kimyasal yapıştırıcısıyla oluşturulmuş ankraj elemanlarında görülmüştür. En kötü dayanım ise M10'da (3 bileşenli epoksi) görülmüştür. Kullanılan 10 farklı yapıştırıcı türü incelendiğinde en iyi dayanım değerlerinin epoksi esaslı bağlayıcılarla oluşturulan ankraj elemanlarında görülmüştür. 12 ve 16 mm çapa sahip, M1 kimyasal yapıştırıcısıyla oluşturulan ankraj çubuklarının yük-deplasman eğrileri Şekil 5.1'de verilmiştir. Diğer deney elemanları için yük-deplasman eğrileri ise Ek: 1-10'da verilmiştir.



Şekil 5.1. Kimyasal yapıştırıcı 1 (M1) için yük deplasman eğrileri.

5.2.1. M1 malzemesiyle ekilen ankrajlar için göçme modları

M1 diye isimlendirilen iki bileşenli, epoksi esaslı kimyasal yapıştırıcı ile 12, 16, 20 ve 24 mm çapa sahip ankraj çubukları 5Φ, 10Φ, 15Φ ve 20Φ derinliğinde ekilmiş ve eksenel çekme deneyine tabi tutulmuştur. M1 malzemesi ile ekilen ankrajlarda oluşan göçme tipleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Bu malzeme ile yapılan deneylerde genel olarak koni göçmesi gözlenmiştir.

Çizelge 5.1. Kimyasal yapıştırıcı 1(M1) için maksimum yük kuvvetleri ve göçme tipleri.

Yapıştırıcı Adı	Donatı Çapı (mm)	Gömme Derinliği (cm)	Maksimum Yük Kuvveti (kN)	Göçme Tipi
M1	12	5Φ (6)	23.3	Koni
M1		10Φ (12)	58.9	Koni
M1		15Φ (18)	66.5	Koni + Sıyırılma
M1		20Φ (24)	77.1	Koni
M1	16	5Φ (8)	49.3	Koni
M1		10Φ (16)	87.3	Koni
M1		15Φ (24)	103.6	Koni + Sıyırılma
M1		20Φ (32)	162.6	Koni
M1	20	5Φ (10)	95.1	Koni
M1		10Φ (20)	145	Koni
M1		15Φ (30)	152.5	Koni + Sıyırılma
M1		20Φ (40)	176.7	Koni + Sıyırılma
M1	24	5Φ (12)	117.5	Koni
M1		10Φ (24)	253.5	Sıyırılma
M1		15Φ (36)	282.8	Sıyırılma
M1		20Φ (48)	267.8	Sıyırılma

5.2.2. M2 malzemesiyle ekilen ankrajlar için göçme modları

M2 diye isimlendirilen iki bileşenli, epoksi esaslı kimyasal yapıştırıcı ile 12, 16, 20 ve 24 mm çapa sahip ankraj çubukları 5Φ, 10Φ, 15Φ ve 20Φ derinliğinde ekilmiş ve eksenel çekme deneyine tabi tutulmuştur. M2 malzemesi ile ekilen ankrajlarda oluşan göçme tipleri Çizelge 5.2’de verilmiştir. Bu malzeme ile yapılan deneylerde genel olarak

koni göçmesi gözlenirken, ankraj çapı ve gömme derinliğinin artmasıyla beton koni göçmesiyle beraber sıyrılma görülmüştür.

Çizelge 5.2. Kimyasal yapıştırıcı 2(M2) için maksimum yük kuvvetleri ve göçme tipleri.

Yapıştırıcı Adı	Donatı Çapı (mm)	Gömme Derinliği (cm)	Gömme Derinliği (mm)	Maksimum Yük Kuvveti (kN)	Göçme Tipi
M2	12	5Φ (6)	5Φ	15.7	Koni
M2		10Φ (12)	10Φ	48.5	Koni
M2		15Φ (18)	15Φ	55.4	Sıyrılma
M2		20Φ (24)	20Φ	59.8	Koni + Sıyrılma
M2	16	5Φ (8)	5Φ	33.2	Koni
M2		10Φ (16)	10Φ	63.7	Koni
M2		15Φ (24)	15Φ	93.1	Koni
M2		20Φ (32)	20Φ	85	Koni
M2	20	5Φ (10)	5Φ	51	Koni
M2		10Φ (20)	10Φ	84.9	Koni + Sıyrılma
M2		15Φ (30)	15Φ	125.9	Koni
M2		20Φ (40)	20Φ	158.1	Koni + Sıyrılma
M2	24	5Φ (12)	5Φ	90.2	Koni
M2		10Φ (24)	10Φ	165.8	Koni
M2		15Φ (36)	15Φ	242	Sıyrılma
M2		20Φ (48)	20Φ	215	Koni + Sıyrılma

5.2.2. M3 malzemesiyle ekilen ankrajlar için göçme modları

M3 diye isimlendirilen iki bileşenli, vinlyester esaslı kimyasal yapıştırıcı ile 12, 16, 20 ve 24 mm çapa sahip ankraj çubukları 5Φ, 10Φ, 15Φ ve 20Φ derinliğinde ekilmiş ve aksenal çekme deneyine tabi tutulmuştur. M3 malzemesi ile ekilen ankrajlarda oluşan göçme tipleri Çizelge 5.3’de verilmiştir. Bu malzeme ile yapılan deneylerde genel olarak koni göçmesi gözlenmiştir.

Çizelge 5.3. Kimyasal yapıştırıcı 3(M3) için maksimum yük kuvvetleri ve göçme tipleri.

Yapıştırıcı Adı	Donatı Çapı (mm)	Gömme Derinliği (cm)	Gömme Derinliği (mm)	Maksimum Yük Kuvveti (kN)	Göçme Tipi
M3	12	5Φ (6)	5Φ	24.8	Koni
M3		10Φ (12)	10Φ	54.3	Koni
M3		15Φ (18)	15Φ	62.1	Koni + Sıyrılma
M3		20Φ (24)	20Φ	47.9	Koni
M3	16	5Φ (8)	5Φ	36.4	Koni
M3		10Φ (16)	10Φ	82.6	Koni
M3		15Φ (24)	15Φ	78.6	Koni
M3		20Φ (32)	20Φ	121	Sıyrılma
M3	20	5Φ (10)	5Φ	43.6	Koni
M3		10Φ (20)	10Φ	89.3	Koni
M3		15Φ (30)	15Φ	154.3	Koni + Sıyrılma
M3		20Φ (40)	20Φ	165.3	Sıyrılma
M3	24	5Φ (12)	5Φ	95.5	Koni
M3		10Φ (24)	10Φ	209.9	Koni
M3		15Φ (36)	15Φ	260.7	Sıyrılma
M3		20Φ (48)	20Φ	207.8	Sıyrılma

5.2.2. M4 malzemesiyle ekilen ankrajlar için göçme modları

M4 diye isimlendirilen iki bileşenli, polyester esaslı kimyasal yapıştırıcı ile 12, 16, 20 ve 24 mm çapa sahip ankraj çubukları 5Φ, 10Φ, 15Φ ve 20Φ derinliğinde ekilmiş ve aksenal çekme deneyine tabi tutulmuştur. M4 malzemesi ile ekilen ankrajlarda oluşan göçme tipleri Çizelge 5.4’de verilmiştir. Bu malzeme ile yapılan deneylerde ankraj çapının ve gömme derinliğinin doğrudan göçme tipine etkilediği gözlenmiştir. Ankraj çapının ve gömme derinliğinin artmasıyla beton koni ve sıyrılmanın aynı anda oluştuğu göçmeler görülmüştür.

Çizelge 5.4. Kimyasal yapıştırıcı 4(M4) için maksimum yük kuvvetleri ve göçme tipleri.

Yapıştırıcı Adı	Donatı Çapı (mm)	Gömme Derinliği (cm)	Gömme Derinliği (mm)	Maksimum Yük Kuvveti (kN)	Göçme Tipi
M4	12	5Φ (6)	5Φ	16	Koni
M4		10Φ (12)	10Φ	43	Koni + Sıyırılma
M4		15Φ (18)	15Φ	64.6	Koni + Sıyırılma
M4		20Φ (24)	20Φ	64.4	Sıyırılma
M4	16	5Φ (8)	5Φ	37.1	Koni
M4		10Φ (16)	10Φ	82.6	Koni
M4		15Φ (24)	15Φ	88.4	Koni
M4		20Φ (32)	20Φ	97.9	Sıyırılma
M4	20	5Φ (10)	5Φ	45.2	Koni
M4		10Φ (20)	10Φ	109.9	Koni
M4		15Φ (30)	15Φ	164.6	Koni + Sıyırılma
M4		20Φ (40)	20Φ	154.7	Koni + Sıyırılma
M4	24	5Φ (12)	5Φ	85.7	Koni
M4		10Φ (24)	10Φ	171	Koni + Sıyırılma
M4		15Φ (36)	15Φ	219.5	Koni + Sıyırılma
M4		20Φ (48)	20Φ	269.6	Koni + Sıyırılma

5.2.2. M5 malzemesiyle ekilen ankrajlar için göçme modları

M5 diye isimlendirilen iki bileşenli, epoksi esaslı kimyasal yapıştırıcı ile 12, 16, 20 ve 24 mm çapa sahip ankraj çubukları 5Φ, 10Φ, 15Φ ve 20Φ derinliğinde ekilmiş ve eksenel çekme deneyine tabi tutulmuştur. M5 malzemesi ile ekilen ankrajlarda oluşan göçme tipleri Çizelge 5.5’de verilmiştir. Bu malzeme ile yapılan deneylerde genel olarak koni ve sıyırılma göçmesi beraber gözlenmiştir. Bu deney elemanlarında ankraj çapının artmasıyla göçme tipinde sıyırılmanın öne çıktığı görülmüştür.

Çizelge 5.5. Kimyasal yapıştırıcı 5(M5) için maksimum yük kuvvetleri ve göçme tipleri.

Yapıştırıcı Adı	Donatı Çapı (mm)	Gömme Derinliği (cm)	Gömme Derinliği (mm)	Maksimum Yük Kuvveti (kN)	Göçme Tipi
M5	12	5Φ (6)	5Φ	27.8	Koni
M5		10Φ (12)	10Φ	53	Koni
M5		15Φ (18)	15Φ	65	Koni + Sıyırılma
M5		20Φ (24)	20Φ	73.4	Koni + Sıyırılma
M5	16	5Φ (8)	5Φ	58	Koni
M5		10Φ (16)	10Φ	95	Koni + Sıyırılma
M5		15Φ (24)	15Φ	101.5	Koni + Sıyırılma
M5		20Φ (32)	20Φ	123.1	Koni + Sıyırılma
M5	20	5Φ (10)	5Φ	19.35	Sıyırılma
M5		10Φ (20)	10Φ	27.7	Sıyırılma
M5		15Φ (30)	15Φ	69.6	Sıyırılma
M5		20Φ (40)	20Φ	36.7	Sıyırılma
M5	24	5Φ (12)	5Φ	102.9	Sıyırılma
M5		10Φ (24)	10Φ	110.8	Koni + Sıyırılma
M5		15Φ (36)	15Φ	230.4	Sıyırılma
M5		20Φ (48)	20Φ	284.8	Koni + Sıyırılma

5.2.2. M6 malzemesiyle ekilen ankrajlar için göçme modları

M6 diye isimlendirilen iki bileşenli, polyester esaslı kimyasal yapıştırıcı ile 12, 16, 20 ve 24 mm çapa sahip ankraj çubukları 5Φ, 10Φ, 15Φ ve 20Φ derinliğinde ekilmiş ve aksel çekme deneyine tabi tutulmuştur. M6 malzemesi ile ekilen ankrajlarda oluşan göçme tipleri Çizelge 5.6'da verilmiştir. Bu malzemeyle oluşturulan deney elemanlarının genelinde ankraj çapının artmasıyla sıyırılma göçme modu öne çıktığı gözlenmiştir.

Çizelge 5.6. Kimyasal yapıştırıcı 6(M6) için maksimum yük kuvvetleri ve göçme tipleri.

Yapıştırıcı Adı	Donatı Çapı (mm)	Gömme Derinliği (cm)	Gömme Derinliği (mm)	Maksimum Yük Kuvveti (kN)	Göçme Tipi
M6	12	5Φ (6)	5Φ	14.8	Koni
M6		10Φ (12)	10Φ	45.4	Koni
M6		15Φ (18)	15Φ	62.9	Sıyırılma
M6		20Φ (24)	20Φ	75.6	Sıyırılma
M6	16	5Φ (8)	5Φ	28.1	Koni
M6		10Φ (16)	10Φ	68.3	Koni
M6		15Φ (24)	15Φ	74.8	Koni
M6		20Φ (32)	20Φ	73.7	Koni
M6	20	5Φ (10)	5Φ	54	Koni + Sıyırılma
M6		10Φ (20)	10Φ	99.5	Koni + Sıyırılma
M6		15Φ (30)	15Φ	170.3	Koni + Sıyırılma
M6		20Φ (40)	20Φ	127.6	Koni
M6	24	5Φ (12)	5Φ	79.4	Koni
M6		10Φ (24)	10Φ	178.6	Koni + Sıyırılma
M6		15Φ (36)	15Φ	237.9	Koni + Sıyırılma
M6		20Φ (48)	20Φ	269.7	Sıyırılma

5.2.2. M7 malzemesiyle ekilen ankrajlar için göçme modları

M7 diye isimlendirilen iki bileşenli, epoksi akrilik esaslı kimyasal yapıştırıcı ile 12, 16, 20 ve 24 mm çapa sahip ankraj çubukları 5Φ, 10Φ, 15Φ ve 20Φ derinliğinde ekilmiş ve aksenal çekme deneyine tabi tutulmuştur. M7 malzemesi ile ekilen ankrajlarda oluşan göçme tipleri Çizelge 5.7’de verilmiştir. Bu malzeme ile yapılan deneylerde genel olarak koni göçmesi gözlenmiştir.

Çizelge 5.7. Kimyasal yapıştırıcı 7(M7) için maksimum yük kuvvetleri ve göçme tipleri.

Yapıştırıcı Adı	Donatı Çapı (mm)	Gömme Derinliği (cm)	Gömme Derinliği (mm)	Maksimum Yük Kuvveti (kN)	Göçme Tipi
M7	12	5Φ (6)	5Φ	28.5	Koni
M7		10Φ (12)	10Φ	46.3	Koni
M7		15Φ (18)	15Φ	58	Sıyırılma
M7		20Φ (24)	20Φ	62.9	Sıyırılma
M7	16	5Φ (8)	5Φ	41.2	Koni
M7		10Φ (16)	10Φ	67.7	Koni
M7		15Φ (24)	15Φ	88.2	Koni
M7		20Φ (32)	20Φ	137.2	Koni
M7	20	5Φ (10)	5Φ	60	Koni
M7		10Φ (20)	10Φ	144	Koni + Sıyırılma
M7		15Φ (30)	15Φ	167.4	Koni
M7		20Φ (40)	20Φ	169	Sıyırılma
M7	24	5Φ (12)	5Φ	33	Koni
M7		10Φ (24)	10Φ	71.1	Koni
M7		15Φ (36)	15Φ	216.6	Koni + Sıyırılma
M7		20Φ (48)	20Φ	229.3	Koni + Sıyırılma

5.2.2. M8 malzemesiyle ekilen ankrajlar için göçme modları

M8 diye isimlendirilen iki bileşenli, polyester esaslı kimyasal yapıştırıcı ile 12, 16, 20 ve 24 mm çapa sahip ankraj çubukları 5Φ, 10Φ, 15Φ ve 20Φ derinliğinde ekilmiş ve eksenel çekme deneyine tabi tutulmuştur. M8 malzemesi ile ekilen ankrajlarda oluşan göçme tipleri Çizelge 5.8’de verilmiştir. Bu malzeme ile yapılan deneylerde ankraj çapının artmasıyla koni ve sıyırılma göçmeleri aynı anda gözlenmiştir.

Çizelge 5.8. Kimyasal yapıştırıcı 8(M8) için maksimum yük kuvvetleri ve göçme tipleri.

Yapıştırıcı Adı	Donatı Çapı (mm)	Gömme Derinliği (cm)	Gömme Derinliği (mm)	Maksimum Yük Kuvveti (kN)	Göçme Tipi
M8	12	5Φ (6)	5Φ	20	Koni
M8		10Φ (12)	10Φ	36	Koni
M8		15Φ (18)	15Φ	50.2	Koni
M8		20Φ (24)	20Φ	63	Sıyırılma
M8	16	5Φ (8)	5Φ	32	Koni
M8		10Φ (16)	10Φ	63.9	Koni + Sıyırılma
M8		15Φ (24)	15Φ	82.7	Koni
M8		20Φ (32)	20Φ	110.8	Koni
M8	20	5Φ (10)	5Φ	53.1	Koni
M8		10Φ (20)	10Φ	125.2	Koni + Sıyırılma
M8		15Φ (30)	15Φ	161.1	Sıyırılma
M8		20Φ (40)	20Φ	70.4	Sıyırılma
M8	24	5Φ (12)	5Φ	36.9	Koni
M8		10Φ (24)	10Φ	127	Koni + Sıyırılma
M8		15Φ (36)	15Φ	227.1	Koni + Sıyırılma
M8		20Φ (48)	20Φ	283.7	Koni + Sıyırılma

5.2.2. M9 malzemesiyle ekilen ankrajlar için göçme modları

M9 diye isimlendirilen iki bileşenli, epoksi akrilik esaslı kimyasal yapıştırıcı ile 12, 16, 20 ve 24 mm çapa sahip ankraj çubukları 5Φ, 10Φ, 15Φ ve 20Φ derinliğinde ekilmiş ve aksenal çekme deneyine tabi tutulmuştur. M9 malzemesi ile ekilen ankrajlarda oluşan göçme tipleri Çizelge 5.9’da verilmiştir. Bu malzeme ile yapılan deneylerde genel olarak ankraj çapı ve gömme derinliğinin artmasıyla koni ve sıyırılma göçmeleri aynı anda gözlenmiştir.

Çizelge 5.9. Kimyasal yapıştırıcı 9(M9) için maksimum yük kuvvetleri ve göçme tipleri.

Yapıştırıcı Adı	Donatı Çapı (mm)	Gömme Derinliği (cm)	Gömme Derinliği (mm)	Maksimum Yük Kuvveti (kN)	Göçme Tipi
M9	12	5Φ (6)	5Φ	18.8	Koni
M9		10Φ (12)	10Φ	42.1	Koni
M9		15Φ (18)	15Φ	56.7	Koni + Sıyırılma
M9		20Φ (24)	20Φ	53.8	Koni
M9	16	5Φ (8)	5Φ	24	Koni
M9		10Φ (16)	10Φ	67.2	Koni + Sıyırılma
M9		15Φ (24)	15Φ	71.5	Sıyırılma
M9		20Φ (32)	20Φ	62.8	Koni + Sıyırılma
M9	20	5Φ (10)	5Φ	68.2	Koni
M9		10Φ (20)	10Φ	114.4	Koni
M9		15Φ (30)	15Φ	148.9	Koni + Sıyırılma
M9		20Φ (40)	20Φ	158.4	Koni + Sıyırılma
M9	24	5Φ (12)	5Φ	35.3	Koni
M9		10Φ (24)	10Φ	122.9	Koni
M9		15Φ (36)	15Φ	234.7	Koni + Sıyırılma
M9		20Φ (48)	20Φ	279.3	Koni + Sıyırılma

5.2.2. M10 malzemesiyle ekilen ankrajlar için göçme modları

M10 diye isimlendirilen üç bileşenli, epoksi esaslı kimyasal yapıştırıcı ile 12, 16, 20 ve 24 mm çapa sahip ankraj çubukları 5Φ, 10Φ, 15Φ ve 20Φ derinliğinde ekilmiş ve eksenel çekme deneyine tabi tutulmuştur. M10 malzemesi ile ekilen ankrajlarda oluşan göçme tipleri Çizelge 5.10’da verilmiştir. Bu malzeme ile yapılan deneylerde genel olarak koni göçmesi gözlenmiştir. Deney programında yer alan malzemeler içerisinde en düşük eksenel yük kapasiteleri M10 malzemesiyle oluşturulmuş elemanlarda görülmüştür.

Çizelge 5.10. Kimyasal yapıştırıcı 10(M10) için maksimum yük kuvvetleri ve göçme tipleri.

Yapıştırıcı Adı	Donatı Çapı (mm)	Gömme Derinliği (cm)	Gömme Derinliği (mm)	Maksimum Yük Kuvveti (kN)	Göçme Tipi
M10	12	5Φ (6)	5Φ	28.9	Koni
M10		10Φ (12)	10Φ	27.9	Koni
M10		15Φ (18)	15Φ	42.6	Koni
M10		20Φ (24)	20Φ	54.5	Koni
M10	16	5Φ (8)	5Φ	38.9	Koni
M10		10Φ (16)	10Φ	31.7	Koni
M10		15Φ (24)	15Φ	45.7	Koni
M10		20Φ (32)	20Φ	48.1	Koni
M10	20	5Φ (10)	5Φ	19.1	Koni
M10		10Φ (20)	10Φ	75.2	Koni
M10		15Φ (30)	15Φ	73.5	Koni
M10		20Φ (40)	20Φ	48.2	Koni
M10	24	5Φ (12)	5Φ	73.5	Koni
M10		10Φ (24)	10Φ	130.7	Koni
M10		15Φ (36)	15Φ	254	Sıyrılma
M10		20Φ (48)	20Φ	248	Sıyrılma

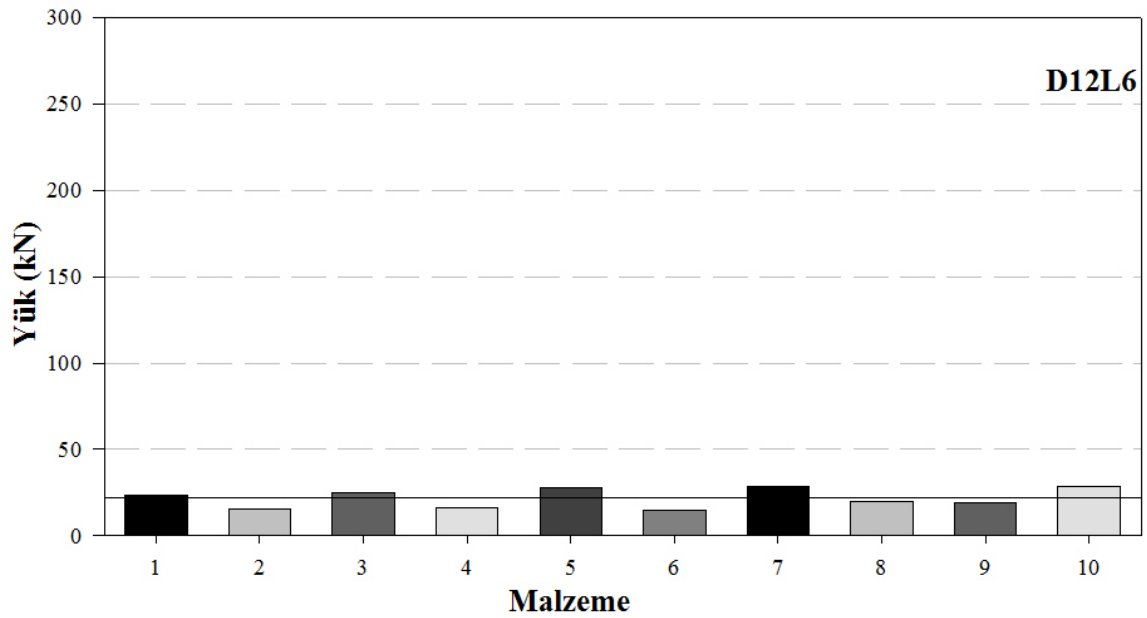
5.3. Ankraj Çapına ve Gömme Derinliğine Göre Yük Kapasitesi

Tez kapsamında yapılan 160 adet aksenal çekme deneyi çapa göre değerlendirilmiştir. 12 mm çapa sahip ankraj çubuklarında her gömme derinliğinde sonuçlar açıkça verilmiş, 16, 20 ve 24 mm çapa sahip ankraj çubukları için genel bir değerlendirme yapılmıştır.

5.3.1. 12 mm çaplı, 5Φ gömme derinlikli ankraj çubukları

Deneyel programda yer alan 12 mm çaplı ankraj çubuklarının, 6 cm derinliğe M1 malzemesiyle ekilerek oluşturulan elemanlarda çekip çıkarma deneyleri sonucunda elde edilen aksenal çekme dayanımları Şekil 5.2’de verilmiştir. Bu deney grubunda en iyi aksenal yük kapasitesinin M7’de 28.9 kN olarak görülürken, en düşük dayanımın ise M6 yapıştırıcıyla oluşturulmuş ankraj elemanında görülmüştür. D12L6 numunelerinde 10 farklı kimyasal yapıştırıcı kullanılarak yapılan deneylerin hepsinde beton koni göçmesi

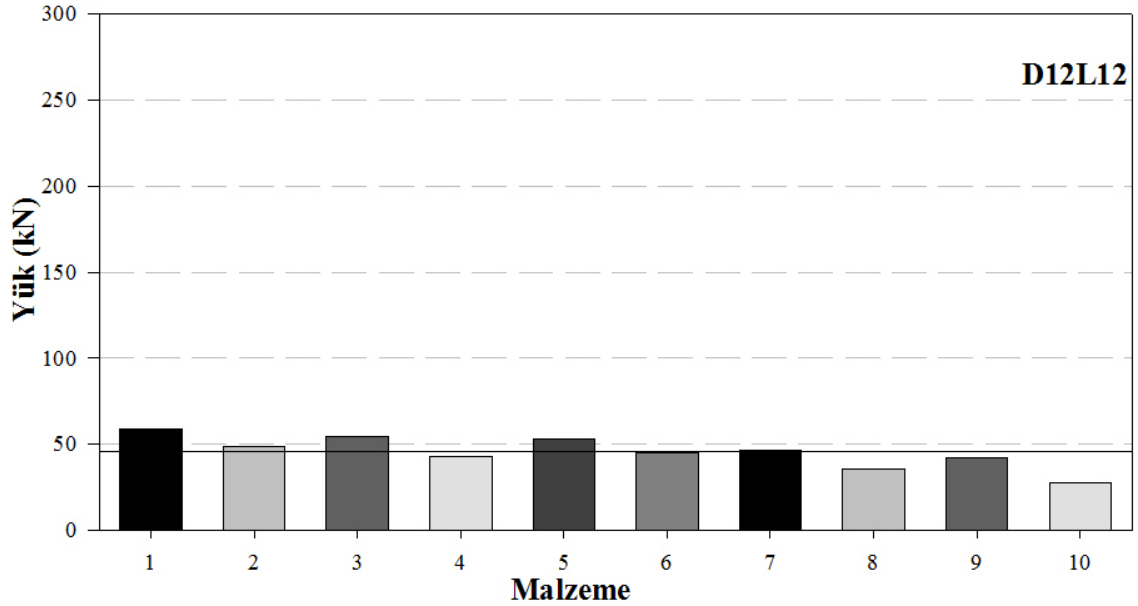
görülmüştür. Deney elemanları için elde edilen aksenal çekme kuvvetlerinin ortalaması 22 kN olarak bulunmuş ve ACI 318-Ek-D' de öngörülen kapasite dayanımının %20' sinden daha büyük bir değer almıştır. 12 mm çaplı 6 cm gömme derinlikli deney elemanlarında epoksi esaslı yapıştırıcıların üstünlüğü görülmektedir. M1, M3, M5, M7 ve M10 kimyasal yapıştırıcılar bu deney grubunda ortalamanın üzerinde aksenal çekme kapasitelerine ulaşmıştır. Ortalamanın üzerine çıkan elemanları oluşturan kimyasal yapıştırıcıların malzeme yapılarına bakıldığında ise M3 hariç diğerleri epoksi esaslı ürünlerdir.



Şekil 5.2. D12L6 ankrajlarının aksenal yük kapasiteleri.

5.3.2. 12 mm çaplı, 10Φ gömme derinlikli ankraj çubukları

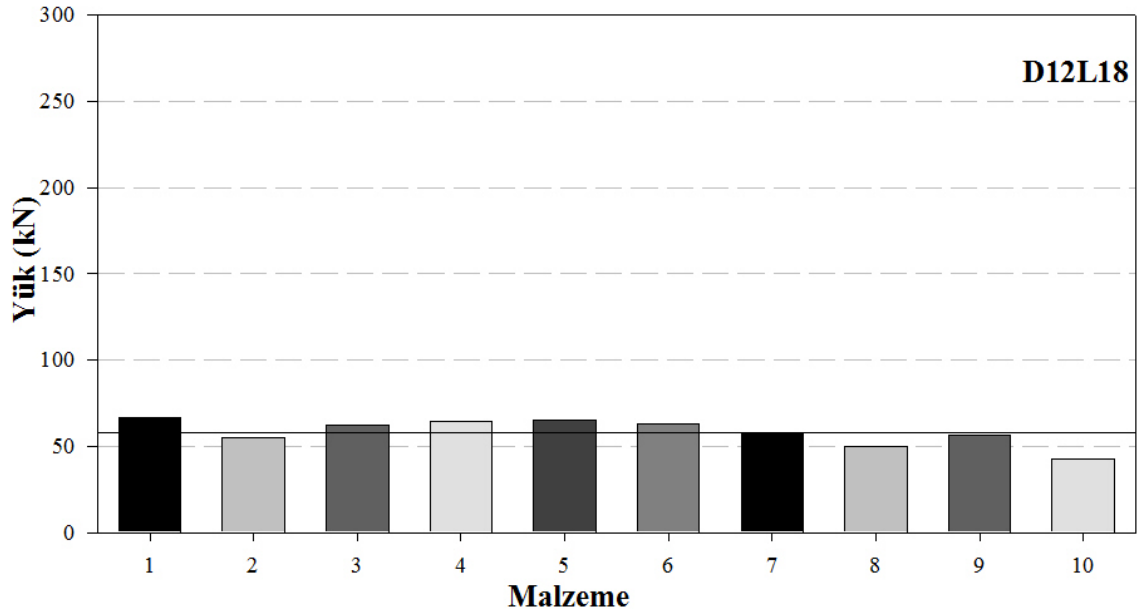
Donatı çapı 12 mm ve 10Φ gömme derinliğinde oluşturulan elemanlarda en iyi dayanım M1'de görülmüştür. Bu deney grubundaki elemanların 6'sında beton koni göçmesi diğer 4'ünde ise koni ve sıyırılma göçmeleri aynı anda gözlenmiştir. D12L12 numuneleri için elde edilen aksenal çekme kuvvetlerinin ortalaması 46 kN olarak bulunmuş ve ACI 318-Ek-D' de öngörülen tasarım dayanımından %10 daha büyük bir değer almıştır. Bu deney grubunda en büyük aksenal yük kapasitesi 58.9 kN olarak M1'de, en düşük ise 27.9 kN olarak M10 yapıştırıcıyla oluşturulmuş ankraj elemanında görülmüştür. 12 mm çaplı 12 cm gömme derinlikli oluşturulan deney grubunda M1, M2, M3, M5 ve M7 malzemelerin ortalama aksenal çekme kapasitesinin üzerine çıktığı görülmüştür (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. D12L12 ankrajlarının aksel yük kapasiteleri.

5.3.3. 12 mm çaplı, 15Φ gömme derinlikli ankraj çubukları

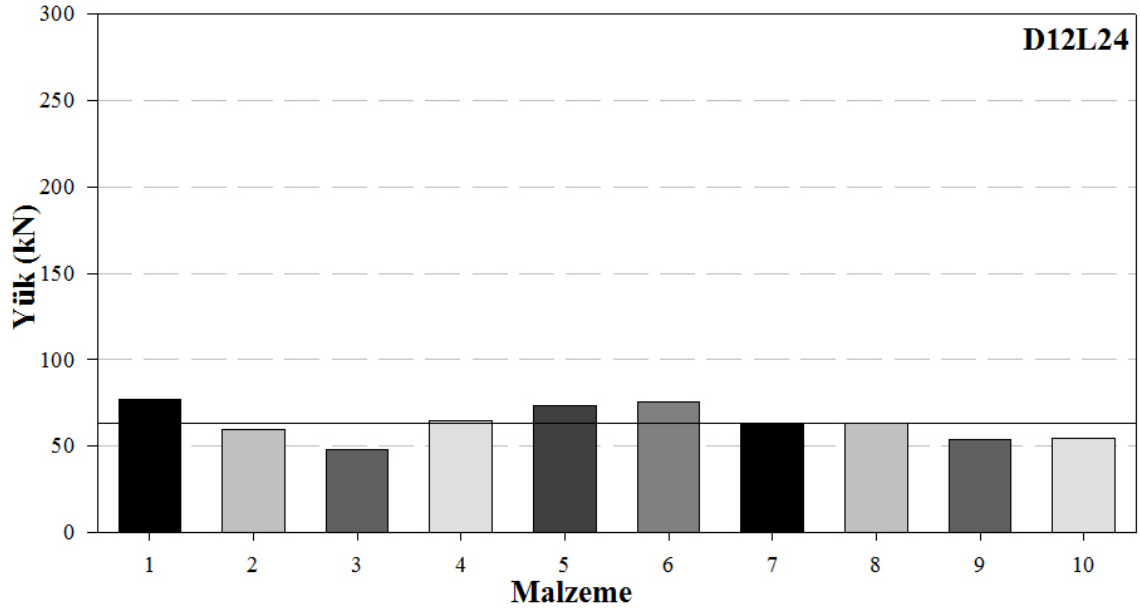
Donatı çapı 12 mm ve 15Φ gömme derinliğinde oluşturulan ankraj elemanlarında en iyi dayanım değeri M1 malzemesiyle ekilen çubuklarda görülmektedir. Oluşturulan deney elemanların 3'ünde beton koni göçmesi diğer 7'sinde ise koni ve sıyırılma göçmeleri aynı anda gözlenmiştir. Bu deney grubunda en büyük aksel yük kapasitesi 66.5 kN olarak M1'de, en düşük ise 42.6 kN olarak M10 yapıstırıcıyla oluşturulmuş ankraj elemanında görülmüştür. On farklı kimyasal yapıstırıcıyla elde edilen aksel çekme kuvvetlerinin ortalaması 58 kN olarak, ACI 318 Ek-D'de öngörülen tasarım dayanımında bir değer almıştır. M1, M3, M4, M5 ve M6 kimyasallarıyla oluşturulan ankraj çubuklarının deney grubunda yer alan malzemelerin ortalama aksel çekme kapasitenin üzerine çıktığı görülmektedir. Bu deney grubunda polyester esaslı kimyasal yapıstırıcılar (M4 ve M6) ortalama aksel çekme kapasitesinin üzerine çıktığı görülmektedir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. D12L18 ankrajlarının eksenel yük kapasiteleri.

5.3.4. 12 mm çaplı, 20Φ gömme derinlikli ankraj çubukları

Donatı çapı 12 mm, 20Φ gömme derinliğinde oluşturulan ankraj elemanlarında en iyi dayanımı M1’de görmek mümkündür. D12L24 numunelerinde 10 farklı kimyasal yapıştırıcı kullanılarak yapılan deneylerin 2’sinde beton koni göçmesi diğer 8’inde ise koni ve sıyrılma göçmeleri aynı anda gözlenmiştir. Bu deney grubunda en büyük eksenel yük kapasitesi 77.1 kN olarak M1’de, en düşük ise 47.9 kN olarak M3 yapıştırıcıyla oluşturulmuş ankraj elemanında görülmüştür. On farklı kimyasal yapıştırıcı türü ile oluşturulan deney elemanlarında elde edilen eksenel çekme kuvvetlerinin ortalaması 63 kN olarak bulunmuş ve ACI 318-Ek-D’de öngörülen tasarım dayanımı ile karşılaştırıldığında %10 daha büyük bir değere ulaştığı gözlenmiştir. Deney elemanlarında M1, M5, M6, M7 ve M8 ortalama eksenel çekme kapasitenin üzerinde değerler aldığı görülmektedir. Deney elemanlarında gömme derinliği arttıkça polyester esaslı yapıştırıcılar ile oluşturulan deney elemanlarının çekme dayanımlarının arttığı görülmüştür (Şekil 5.5). Deney programında yer alan diğer elemanlar için malzemeler açısından yük kapasite grafikleri Ek: 11-13’de verilmiştir.



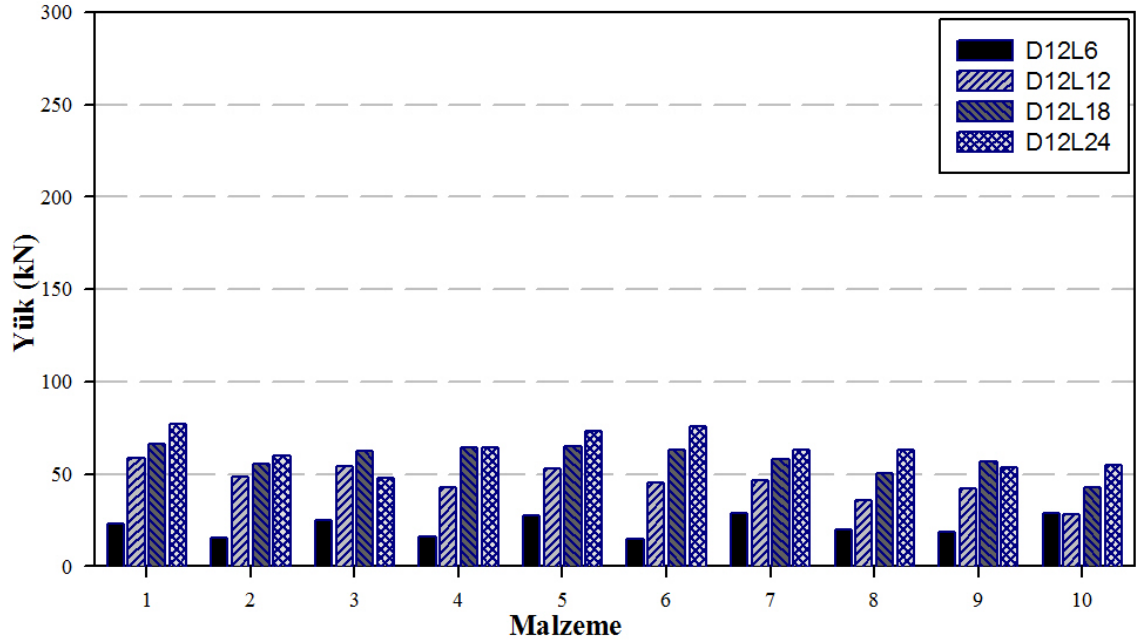
Şekil 5.5. D12L24 ankrajlarının aksenal yük kapasiteleri.

5.4. Ankraj Çapına Göre Değerlendirme

Yapılan çalışmada her farklı kimyasal yapıştırıcı için oluşturulan ankraj elemanlarında genel olarak gömme derinliğinin ve ankraj donatısının artmasıyla dayanım arttığı görülmektedir.

5.4.1. 12 mm çaplı ankraj çubukları

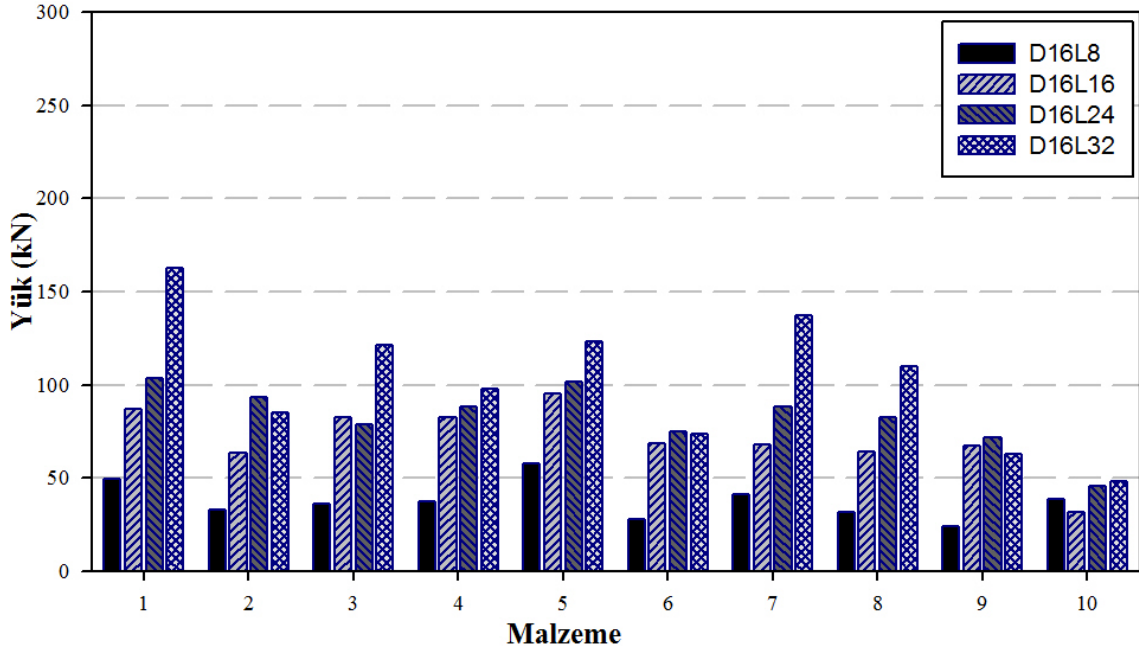
12mm çaplı ankraj eleman grubunda genelde ekilme derinliğinde 5Φ'den 10Φ'e geçişlerde %25-55 civarında artışlar gözlenirken sadece M10'da azalış gözlenmiştir. M3, M4 ve M9 kimyasal yapıştırıcılarında 15Φ gömme derinliğinden sonra nihai aksenal çekme yükünde azalma görülmektedir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. 12 mm çaplı ankraj çubuklarının kullanılan malzemeyle ilişkisi.

5.4.2. 16 mm çaplı ankraj çubukları

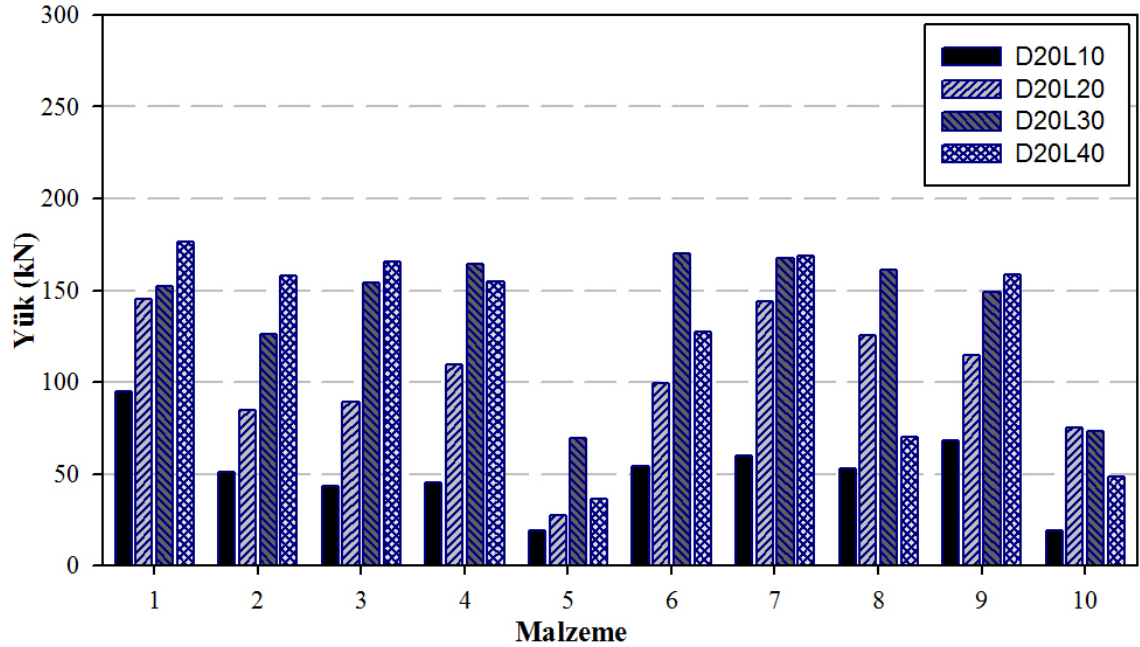
16 mm çaplı ankrajlarda; gömülme derinliğinde 5Φ 'den 10Φ 'e geçişlerde %15-45 arasında artış gözlenirken sadece M10'da azalış gözlenmiştir. 16 mm nervürlü ankraj çubuklar kullanılarak 10Φ gömme derinliklerinde oluşturulan deney grubunda kimyasal yapıştırıcıların çoğunda yakın yük kapasiteleri aldığı görülmüştür. M1 kimyasal yapıştırıcısıyla oluşturulan elemanlarda gömme derinliğinin artmasıyla eksenel çekme kapasitesinin arttığı belirgin bir şekilde görülmüştür. M2, M6 ve M9 kimyasal yapıştırıcılarında 15Φ gömme derinliğinden sonra nihai eksenel çekme yükünde azalma görülmektedir. Bu numune grubunda polyester, akrilik ve üç bileşenli epoksi esaslı olan M6, M9 ve M10 kimyasal yapıştırıcıları genel itibariyle diğer malzemelere göre daha düşük dayanım vermiştir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. 16 mm çaplı ankraj çubuklarının kullanılan malzemeyle ilişkisi.

5.4.3. 20 mm çaplı ankraj çubukları

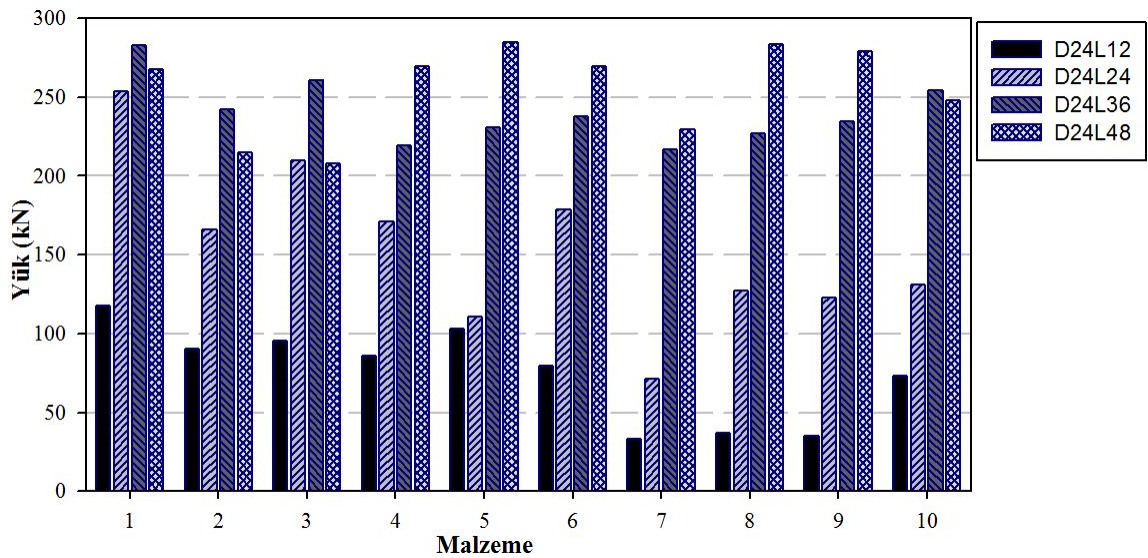
20 mm ankraj elemanların oluşturduğu deney grubunda genelde gömülme derinliği 5Φ 'den 10Φ 'e geçişlerde büyük bir artışın gözlemlendiği ve 15Φ derinlikler için M5 ve M10 hariç diğer kimyasallarda yakın aksenal çekme kapasitesine ulaşıldığı görülmüştür. Her farklı kimyasal yapıştırıcı için oluşturulan numunelerde derinlik artmasıyla dayanım arttığı gözlenmiştir. M5 ve M10 kimyasal yapıştırıcılarında 20 mm çaplı deney elemanları için genel gruptan daha düşük sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. 20 mm çaplı ankraj çubuklarının kullanılan malzemeye ilişkisi.

5.4.4. 24 mm çaplı ankraj çubukları

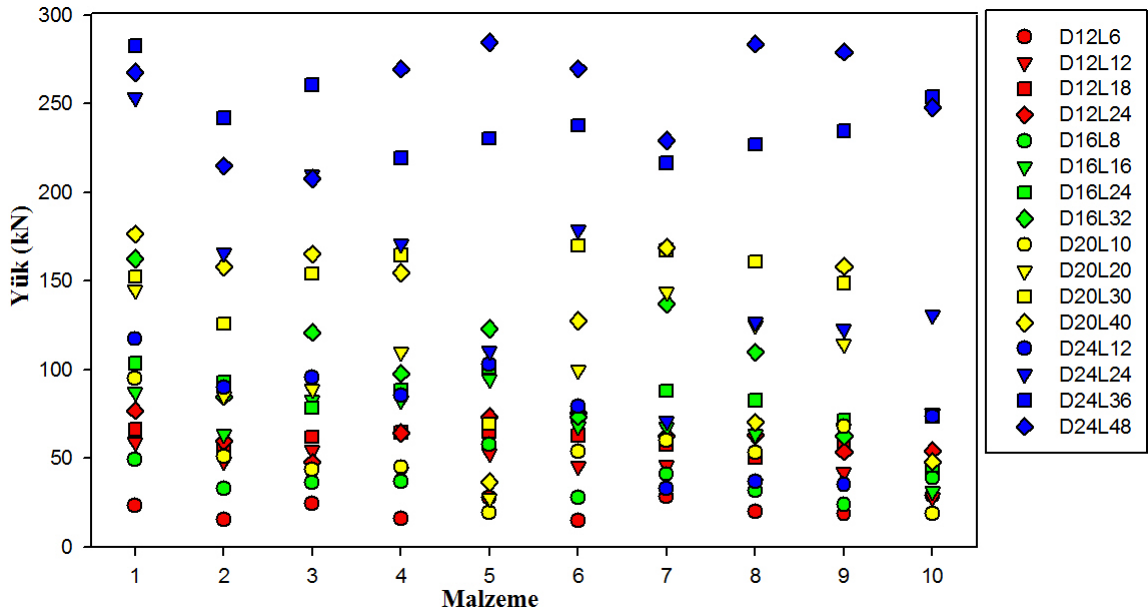
24 mm çaplı ankraj çubuklarında genelde gömülme derinliği 5Φ 'de ankrajın nihai dayanıma erişmediği görülmüştür. Ankraj gömülme derinliğinde 5Φ 'den 10Φ 'e geçişlerde %20-90 arasında bir artışın gözlemlendiği ve M1, M2, M3 ve M10'da 20Φ gömme derinlikleri için gömme derinliğiyle aksel çekme dayanımının azalış gösterdiği görülmektedir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. 24 mm çaplı ankraj çubuklarının kullanılan malzemeye ilişkisi.

5.5. Yük Kapasiteleri

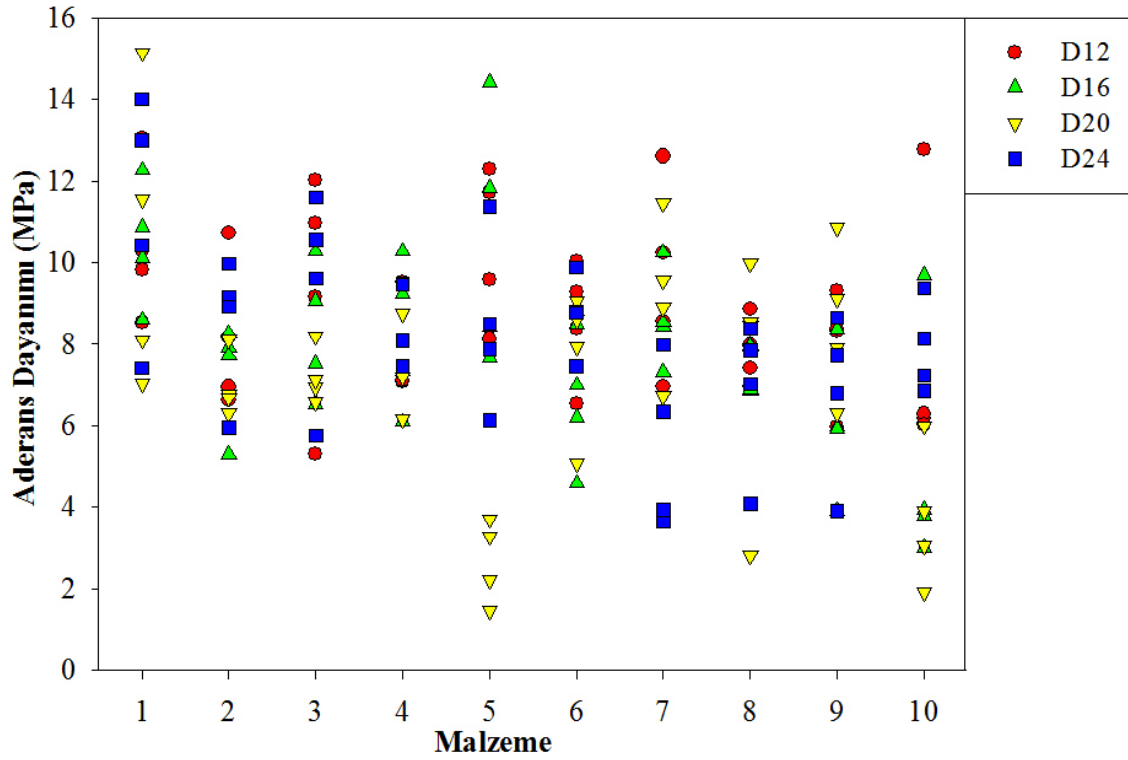
Çalışma kapsamında oluşturulan 160 adet deneyin sonucunda elde edilen nihai eksenel yük kapasiteleri Şekil 5.10'da verilmiştir. Yapılan çalışmada, kullanılan ankraj donatısının çapının artmasıyla nihai eksenel yük kapasitesinin arttığı görülmektedir.



Şekil 5.10. Malzeme-yük kapasitesi değerleri.

5.6. Aderans Dayanımları

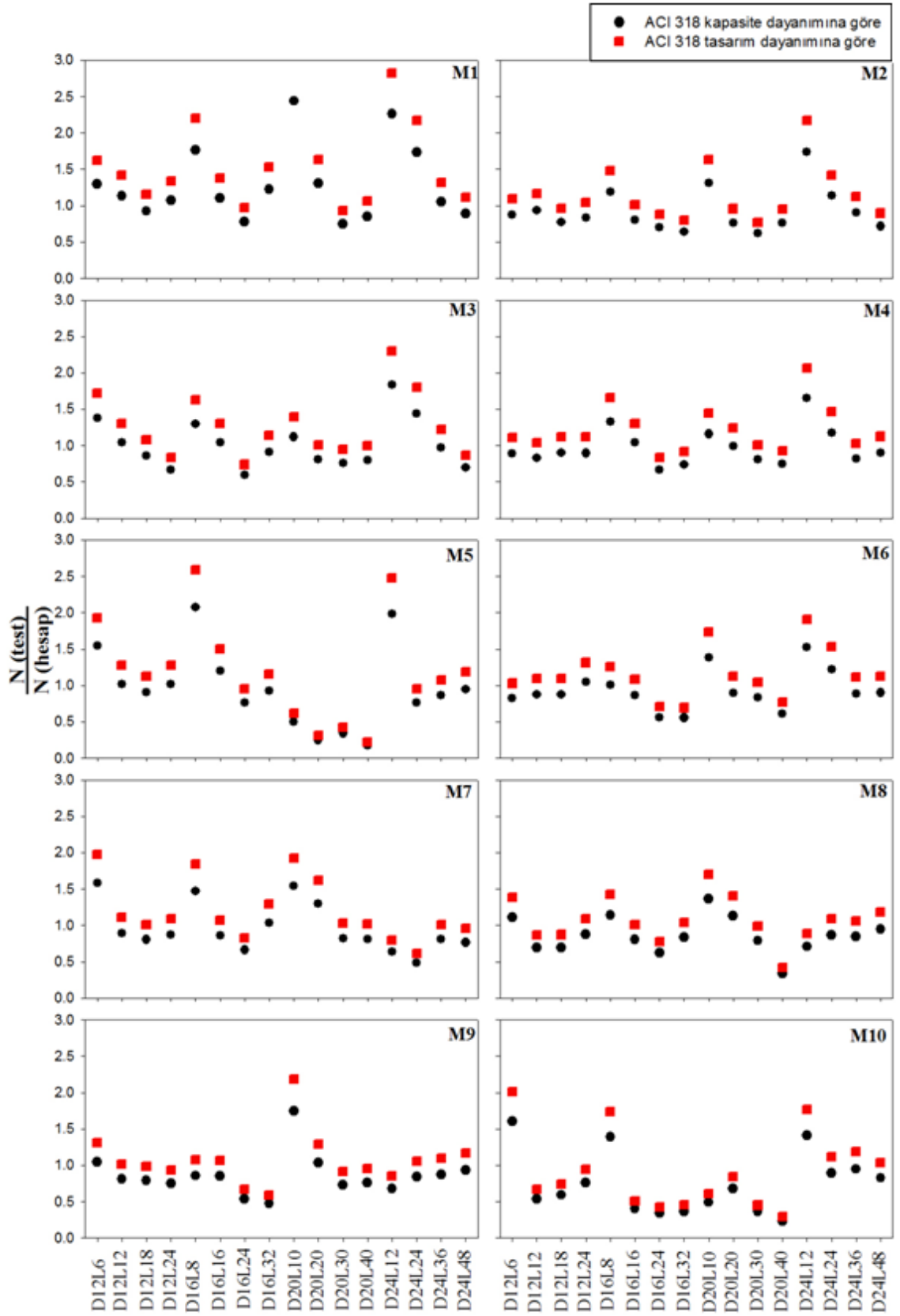
Çalışma kapsamında oluşturulan 160 adet deneyin sonucunda elde edilen aderans dayanımları Şekil 5.11'de verilmiştir. Oluşturulan elemanlarda yapışma yüzeyi düzgün dağılım gösterdiği kabulüyle elde edilen aderans dayanımlarında maksimum değer M1 yapıştırıcısıyla oluşturulan 20 mm çaplı ankraj elemanında görülmüştür.



Şekil 5.11. Malzeme-aderans dayanım değerleri.

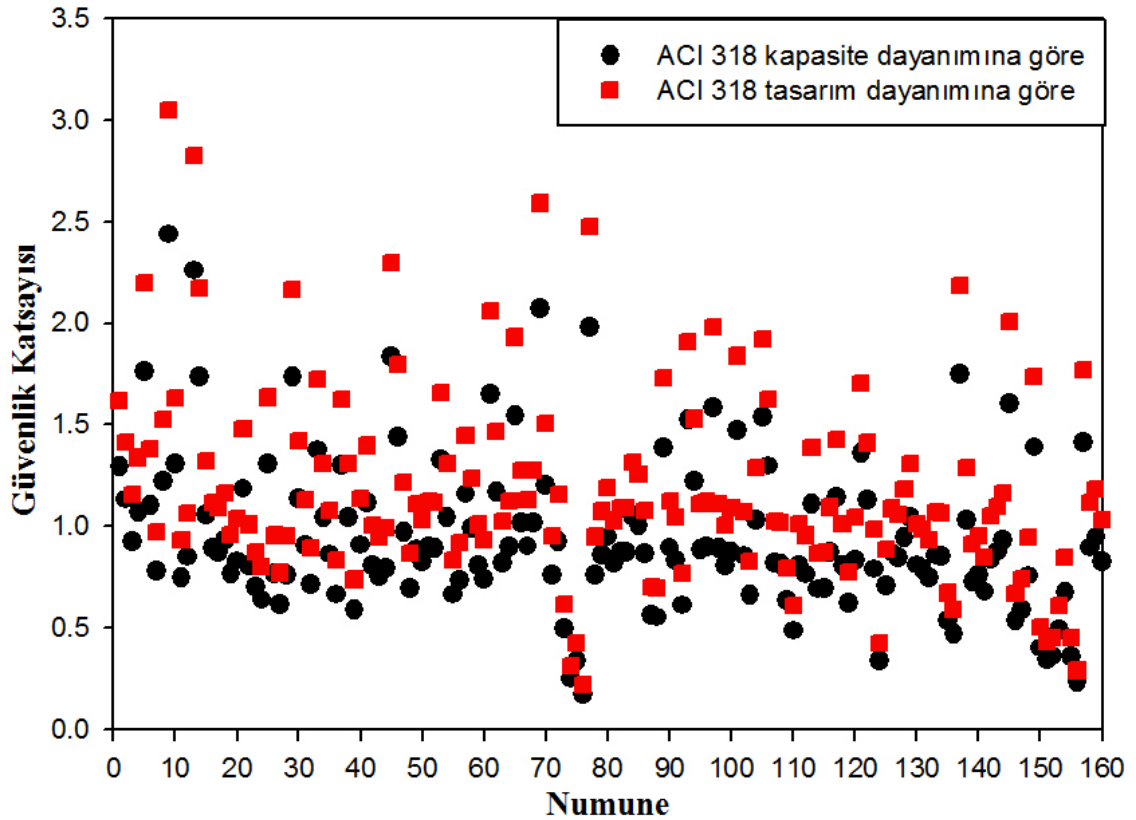
5.7. Deney Programındaki Elemanlar İçin Yük Kapasitesi Güvenlik Düzeyleri

Deneyel eksenel çekme kapasitelerinin ACI 318 Ek-D'nin önerdiği kapasite ve tasarım dayanımları kıyaslandığında elde edilen güvenlik düzeyleri Şekil 5.12'de verilmiştir. Deney programında M1, M2 ve M3 kimyasal yapıştırıcılarıyla oluşturulan deney elemanları için deneyel eksenel yük kapasitelerinin ACI 318-Ek-D'nin önerdiği tasarım kapasitesiyle karşılaştırıldığında hedeflenen %95 güvenli tarafında kaldığı görülmüştür.



Şekil 5.12. Deneysel çalışma sonuçlarının analitik hesap ile kıyaslanması.

Yapılan çalışma sonrasında elde edilen deneysel eksenel çekme kapasitelerinin ACI 318-Ek-D'nin önerdiği kapasite ve tasarım dayanımlarına göre kıyaslanmıştır. Genel olarak deney programını oluşturan kimyasal yapıştırıcı türü 1'den 10'a giderken güvenlik düzeylerinde azalma görülmektedir. Tasarım dayanımına göre belirlenen güvenlik düzeylerinde deney elemanlarında güvenlik düzeyleri %85 için sağlandığı görülmüştür (Şekil 5.13).



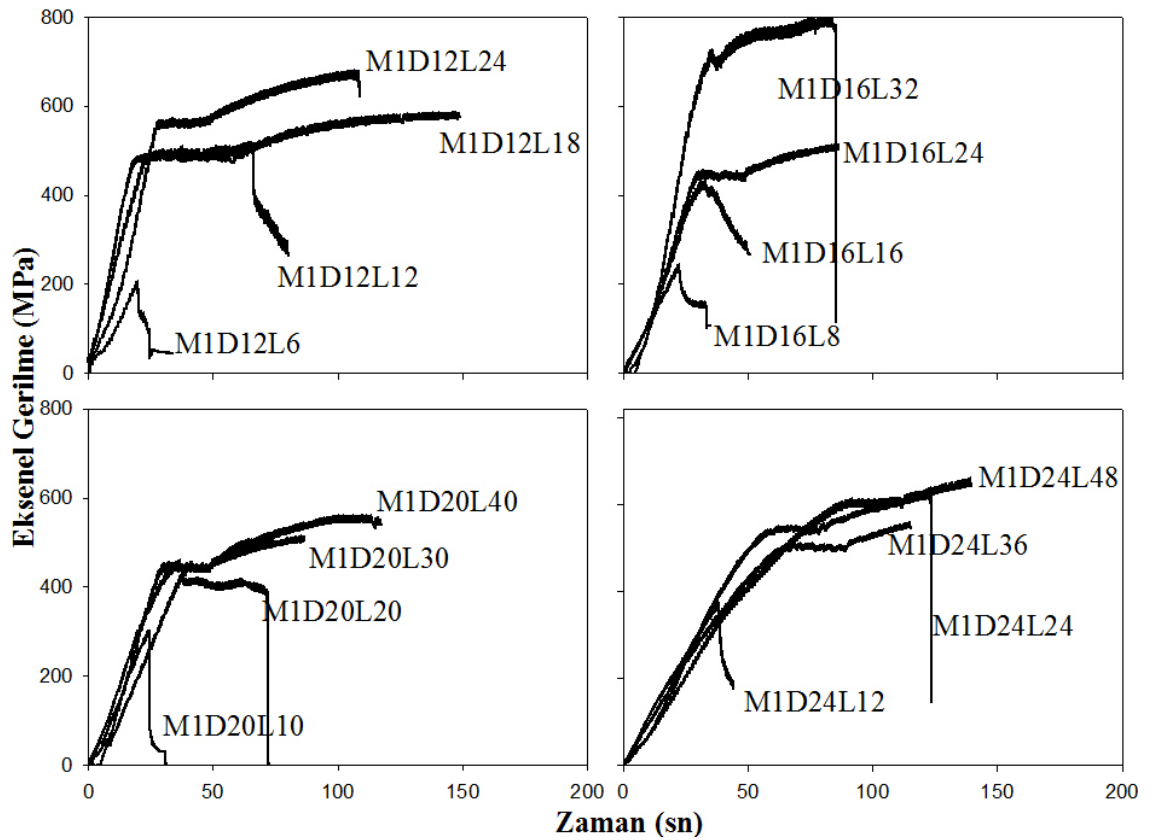
Şekil 5.13. Numune-güvenlik katsayısı grafiği.

5.8. Eksenel Gerilme

On farklı yapıştırıcı türü ile yapılan çekme deneyleri için eksenel gerilme değerleri bu bölümde özetlenmiştir.

5.7.1. M1 malzemesiyle ekilen ankrajlar için aksenal gerilme değerleri

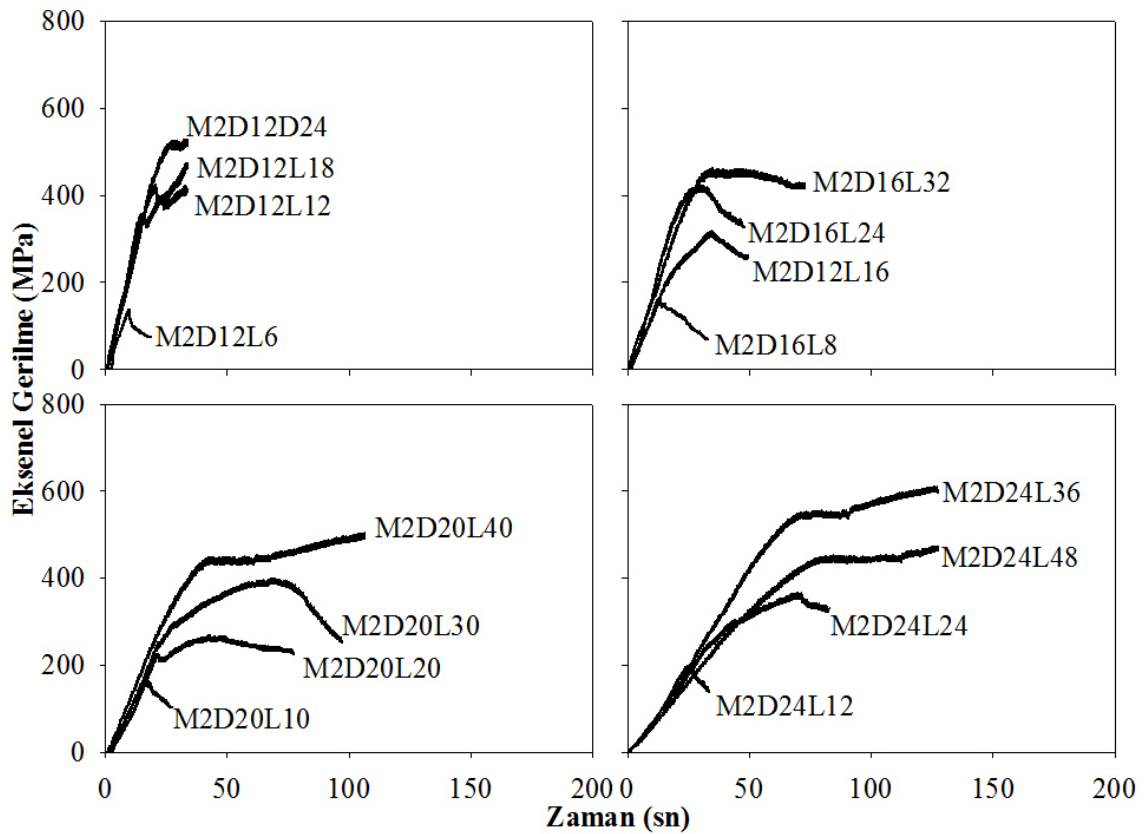
M1 malzemesiyle farklı çap ve farklı gömme derinliklerinde oluşturulan ankraj elemanlarına ait aksenal gerilme-zaman grafikleri Şekil 5.14'te verilmiştir. 12 mm çaplı ankraj elemanlarında sıg gömme derinliklerinde koni göçmesi gözlenirken, ankraj çapının artmasıyla koniyle beraber sıyrılma görülmüştür. 12 mm çaplı 6 cm gömme derinliğinde oluşturulan numunelerde donatı akmadan beton koni hasarı gözlenirken gruptaki diğer elemanlar içinse donatı akması gözlenmiştir. Gömme derinliğinin 5Φ 'den büyük olduğu durumlarda, ankraj çubukları akma değerleri ulaşp, pekleşerek taşıma kapasitelerine ulaşmışlardır. 8 cm ve 16 cm gömme derinlikli, 16 mm çaplı ankraj çubuklarıyla oluşturulmuş elemanlarda; donatı akma dayanımına ulaşmadan önce sıyrılma ya da beton hasarıyla taşıma kapasitelerini kaybetmişlerdir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14. Aksenal gerilme-zaman grafiği (M1).

5.7.2. M2 malzemesiyle ekilen ankrajlar için eksenel gerilme değerleri

Şekil 5.15’de M2 malzemesiyle farklı çap ve farklı gömme derinliklerinde oluşturulan ankraj elemanlarına ait eksenel gerilme-zaman grafikleri verilmiştir. 12 mm çaplı ankraj elemanların tümünde donatı akma dayanımına erişmeden önce sıyrılma ya da beton hasarıyla taşıma kapasitesine ulaşmıştır. M2 deney elemanların geneli için kullanılan ankrajlarda akma bölgesi gözlenmezken 24 mm ankraj elemanlarında 15Φ ve 20Φ gömme derinliklerinde donatı akarak pekleşme sonrası nihai dayanımına ulaşmıştır (Şekil 5.15).

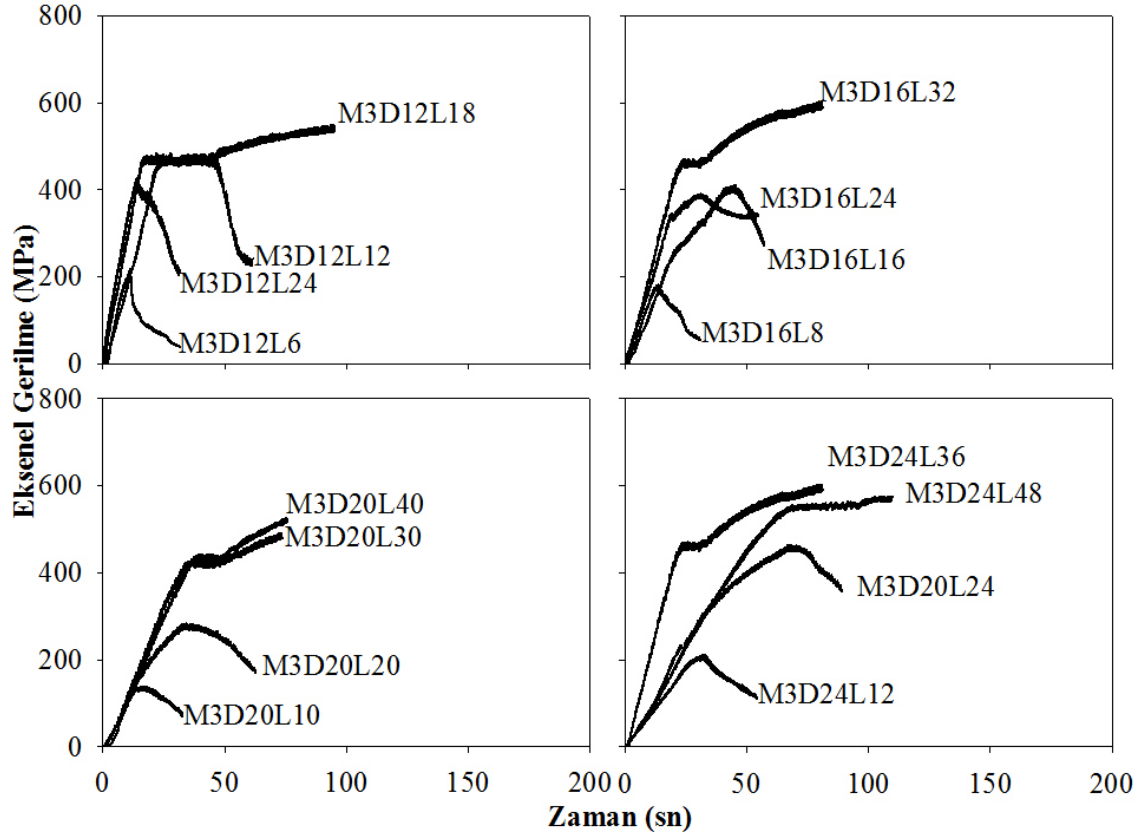


Şekil 5.15. Eksenel gerilme-zaman grafiği (M2).

5.7.3. M3 malzemesiyle ekilen ankrajlar için eksenel gerilme değerleri

Farklı çap ve farklı gömme derinliklerde M3 malzemesiyle ekilen ankraj elemanlarına ait eksenel gerilme-zaman grafikleri Şekil 5.16’da verilmiştir. Gruptaki deney elemanları için 5Φ ve 10Φ gömme derinliklerinde ankraj donatısı akma dayanımına erişmeden önce sıyrılma ya da beton hasarıyla taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Deney elemanlarında gömme derinlikleri 15Φ ve 20Φ değerlerinde ankraj donatısının akma dayanımına erişerek nihai dayanıma eriştiği görülmüştür. M3 kimyasal yapılandırıcı

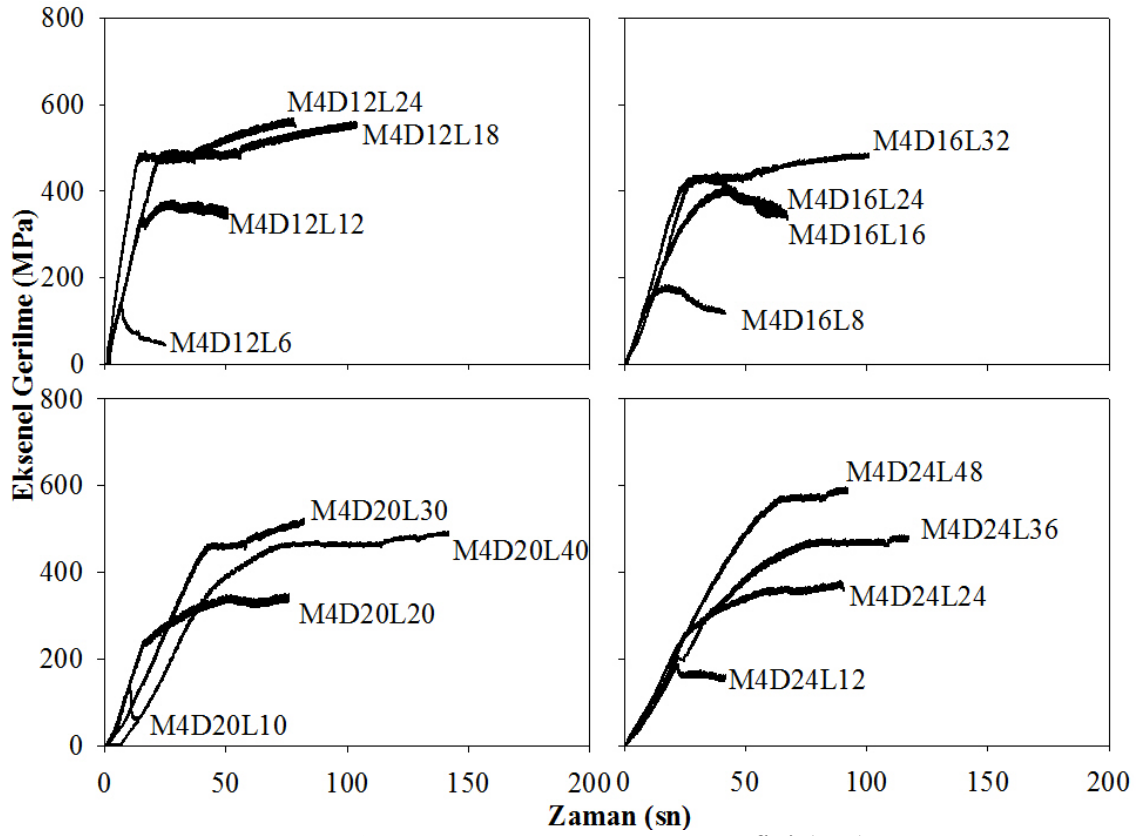
türü için sığ derinlik kabul edilebilecek 5Φ ve 10Φ gömme derinlikleri için ankraj donatılar akmadan ya da beton koni ya da sıyrılma göçme tipi görülmüştür (Şekil 5.16).



Şekil 5.16. Eksenel gerilme-zaman grafiği (M3).

5.7.4. M4 malzemesiyle ekilen ankrajlar için eksenel gerilme değerleri

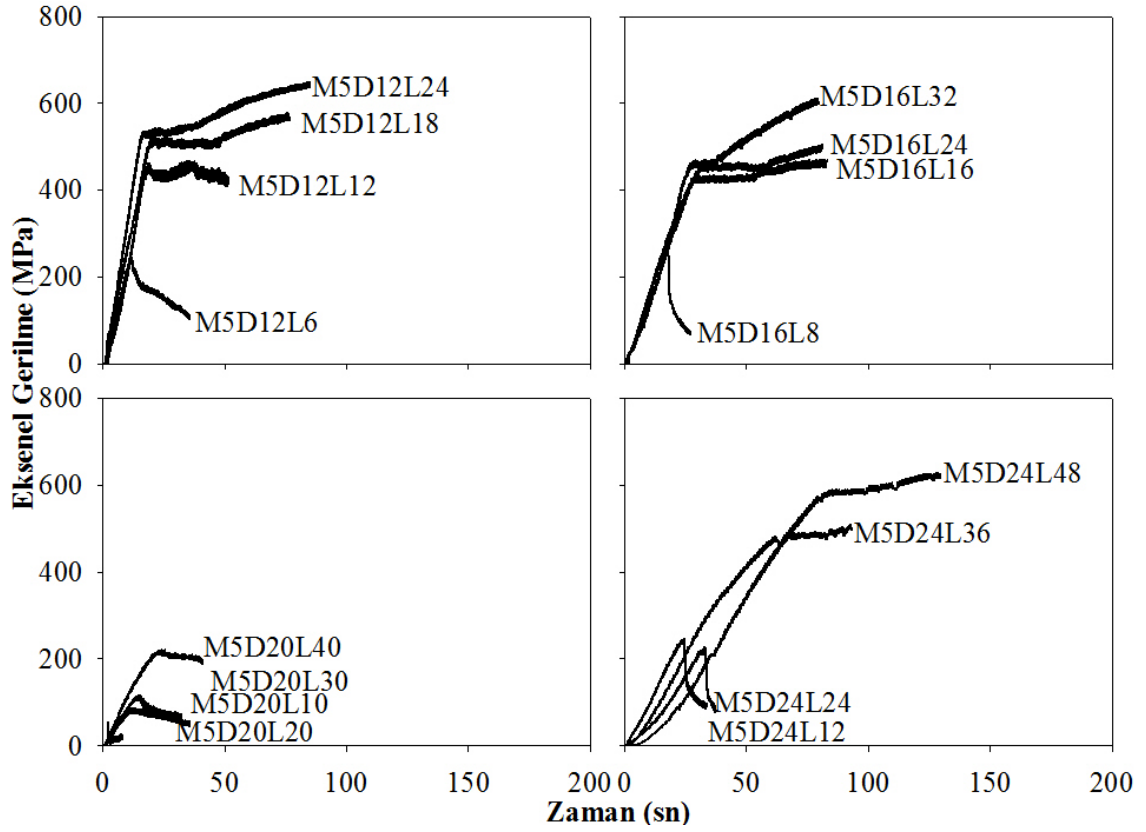
M4 malzemesiyle oluşturulan tüm ankraj elemanlarına ait eksenel gerilme-zaman grafikleri Şekil 5.17'de verilmiştir. M4 ile oluşturulan deney elemanlarının 5Φ , 10Φ ve 15Φ gömme derinliklerinde ankraj donatısı akma dayanımına erişmeden önce sıyrılma ya da beton koni hasarıyla taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Deney elemanlarında gömme derinlikleri 15Φ ve 20Φ değerlerinde ankraj donatısı akarak kapasitesine ulaşmıştır. M4 kimyasal yapıştırıcı türünde, sığ derinlik kabul edilebilecek 5Φ ve 10Φ gömme derinlikleri için ankraj elemanların akma dayanımına ulaşamadığı görülmektedir (Şekil 5.17).



Şekil 5.17. Eksenel gerilme-zaman grafiği (M4).

5.7.5. M5 malzemesiyle ekilen ankrajlar için eksenel gerilme değerleri

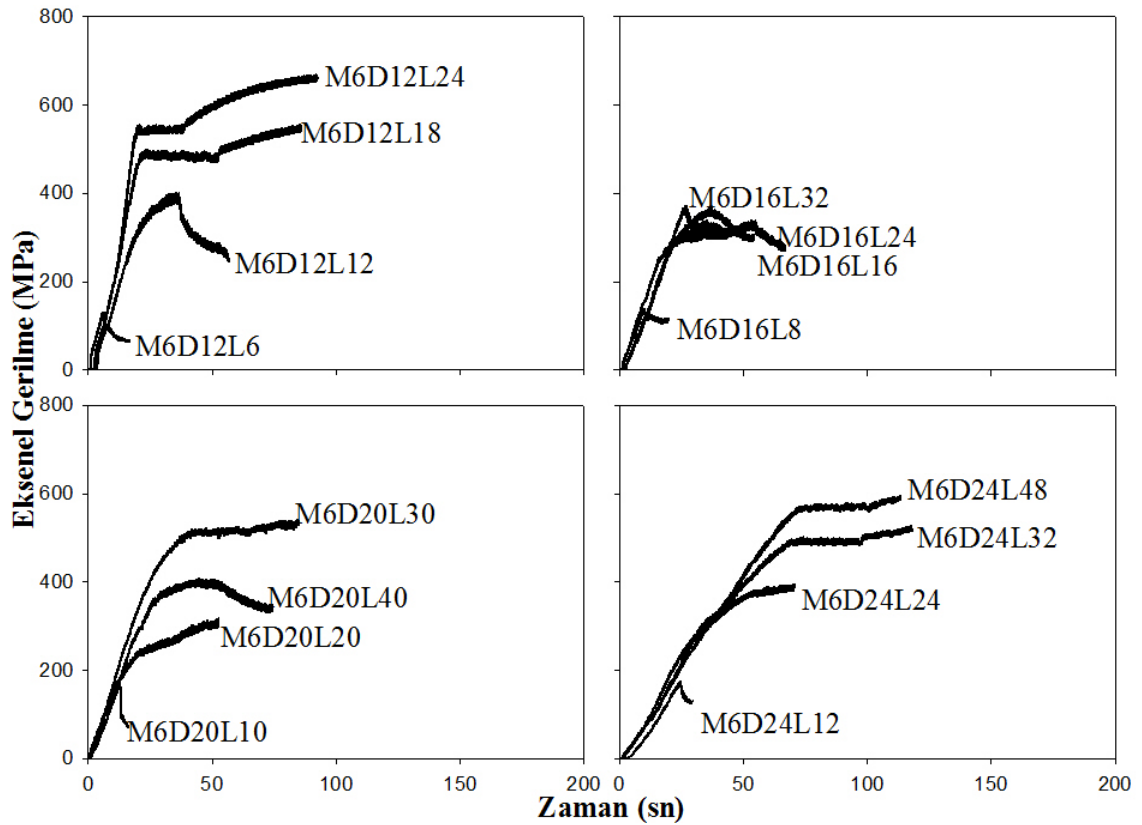
M5 malzemesiyle oluşturulan tüm ankraj elemanlarına ait eksenel gerilme-zaman grafikleri Şekil 5.18'de verilmiştir. M5 ile oluşturulan deney elemanlarının 5Φ, 10Φ ve 15Φ gömme derinliklerinde ankraj donatısı akma dayanımına erişmeden önce sıyrılma ya da beton koni hasarıyla taşıma kapasitesine ulaşmıştır. 12, 16 ve 24 mm çaplı ankraj elemanlarında, 15Φ gömme derinliğinin üzerindeki numunelerde istenen sünek davranış gözlenmiştir. M5 kimyasal yapıştırıcı türünde, sığ derinlik kabul edilebilecek 5Φ ve 10Φ gömme derinlikleri için beton koni oluşumuyla taşıma kapasitesine ulaştığı görülmüştür (Şekil 5.18).



Şekil 5.18. Eksenel gerilme-zaman grafiği (M5).

5.7.6. M6 malzemesiyle ekilen ankrajlar için eksenel gerilme değerleri

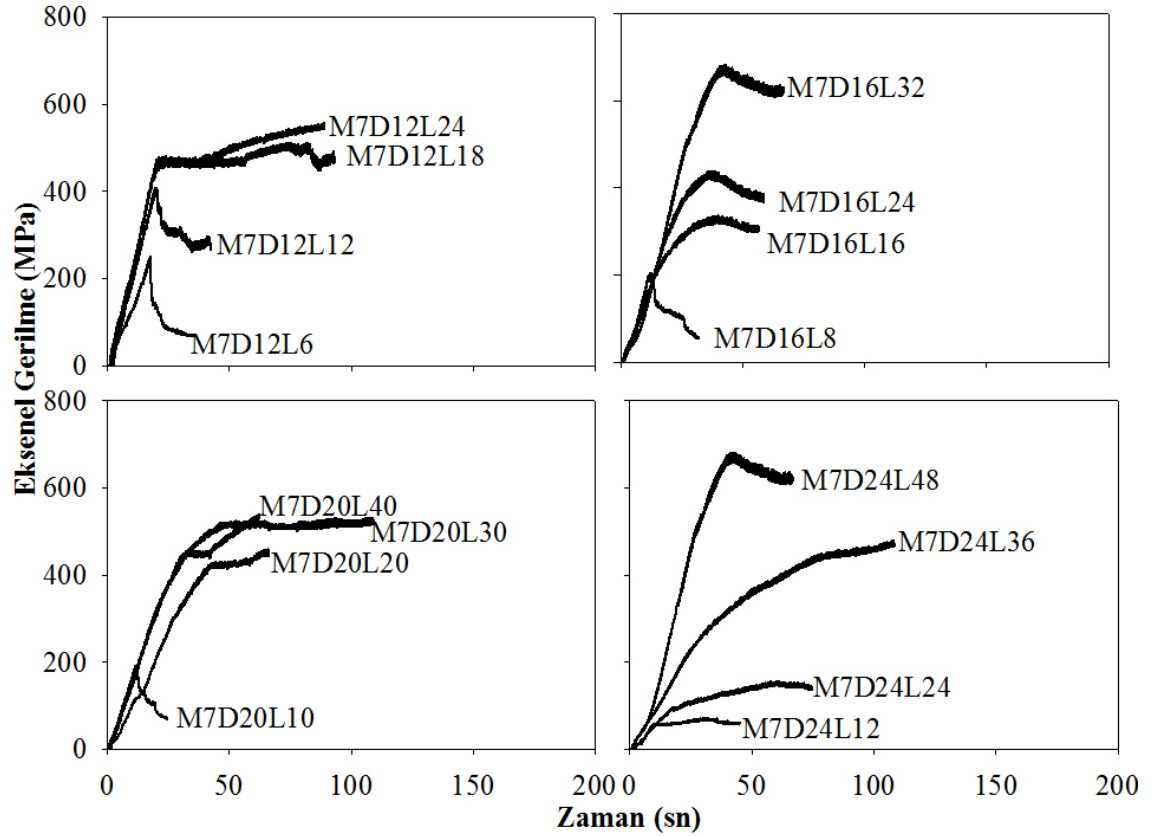
M6 malzemesiyle oluşturulan ankraj elemanlarına ait eksenel gerilme-zaman grafikleri Şekil 5.19’da verilmiştir. M6 ile oluşturulan 12 mm çaplı ankraj elemanlarında 5Φ ve 10Φ , 16 mm çaplı ankrajlarda tüm gömme derinliklerinde, 20 mm çaplı ankrajlarda 5Φ , 10Φ ve 15Φ gömme derinliklerinde ankraj donatısı akma dayanımına erişmeden önce sıyrılmaya ya da beton koni hasarıyla taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Aynı zamanda 24 mm çaplı ankraj elemanlarında ise 5Φ ve 10Φ gömme derinliklerinde ankraj donatıları akma dayanımına erişmediği gözlenmiştir. M6 kimyasal yapıştırıcı türünde, sığ derinlik kabul edilebilecek 5Φ ve 10Φ gömme derinlikleri için ideal davranışa ulaşamadığı görülmektedir (Şekil 5.19).



Şekil 5.19. Eksenel gerilme-zaman grafiği (M6).

5.7.7. M7 malzemesiyle ekilen ankrajlar için eksenel gerilme değerleri

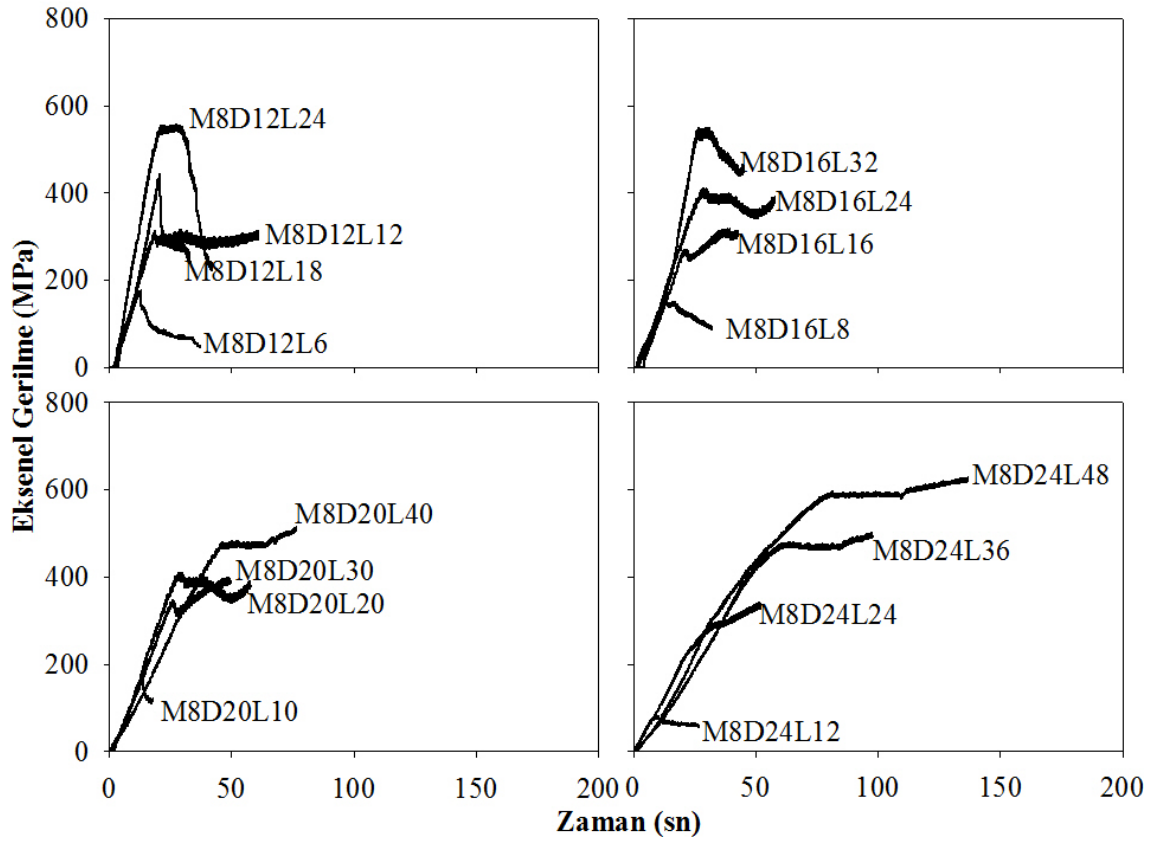
M7 malzemesiyle oluşturulan tüm ankraj elemanlarına ait eksenel gerilme-zaman grafikleri Şekil 5.20'de verilmiştir. M7 ile oluşturulan deney elemanlarının 5Φ ve 10Φ gömme derinliklerinde ankraj donatısı akma dayanımına erişmeden önce sıyrılma ya da beton koni hasarıyla taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Deney elemanlarında gömme derinlikleri 15Φ ve 20Φ değerlerinde ankraj donatısının akma dayanımına eriştiği görülmüştür. M7 kimyasal yapıştırıcı türünde, sığ derinlik kabul edilebilecek 5Φ ve 10Φ gömme derinlikleri için ankraj elemanlarında göçme ya betonla ya da sıyrılma ile gerçekleştiği gözlenmiştir (Şekil 5.20).



Şekil 5.18. Eksenel gerilme-zaman grafiği (M7).

5.7.8. M8 malzemesiyle ekilen ankrajlar için eksenel gerilme değerleri

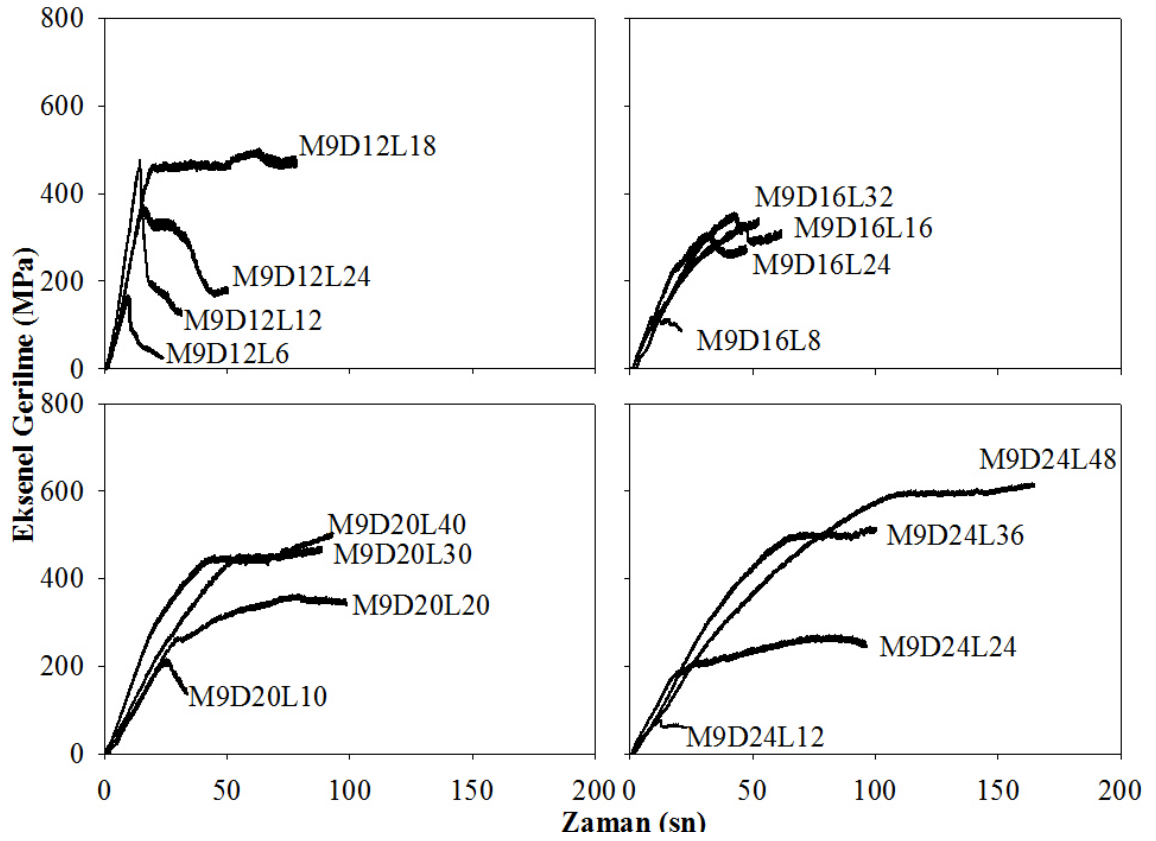
M8 malzemesiyle farklı çap ve farklı gömme derinliklerinde oluşturulan ankraj elemanlarına ait eksenel gerilme-zaman grafikleri Şekil 5.19'da verilmiştir. Bu deney elemanların genelinde ankraj donatısı akma dayanımına erişmeden önce sıyrılma ya da beton hasarıyla taşıma kapasitesine ulaşmıştır. M8 deney elemanların geneli için kullanılan ankrajlarda akma bölgesi gözlenmezken 24 mm çaplı ankrajlar eleman grubunda 15Φ ve 20Φ gömme derinliklerinde ankraj donatısı akarak pekleşme sonrası nihai dayanımına ulaştığı görülmüştür (Şekil 5.19).



Şekil 5.19. Eksenel gerilme-zaman grafiği (M8).

5.7.9. M9 malzemesiyle ekilen ankrajlar için eksenel gerilme değerleri

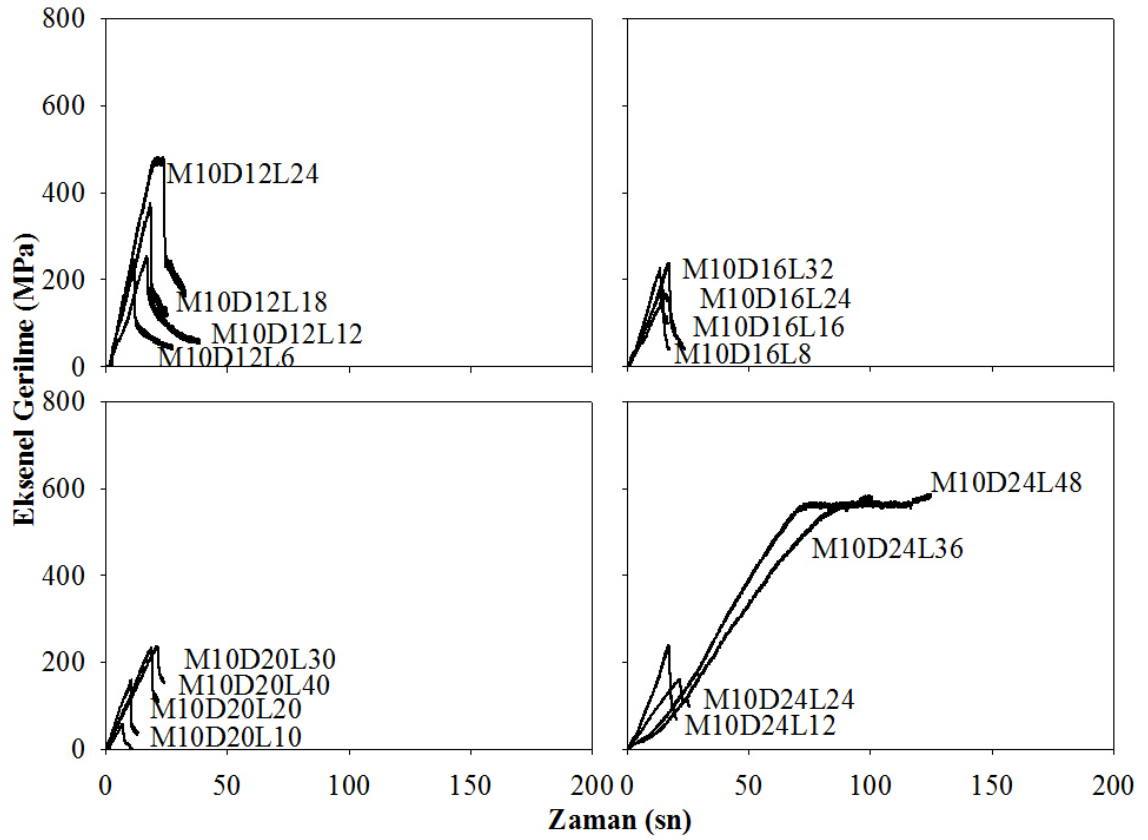
M9 malzemesiyle farklı çap ve farklı gömme derinliklerinde oluşturulan ankraj elemanlarına ait eksenel gerilme-zaman grafikleri Şekil 5.20'de verilmiştir. Bu deney elemanların genelinde ankraj donatısı akma dayanımına erişmeden önce sıyrılma ya da beton hasarıyla taşıma kapasitesine ulaşmıştır. 12 mm çaplı ankraj elemanında sadece 15Φ gömme derinliğinde akma bölgesi gözlenirken 20 ve 24 mm çaplı elemanların 15Φ ve 20Φ gömme derinliklerinde donatı akarak pekleşme sonrası nihai dayanımına ulaştığı görülmüştür (Şekil 5.20).



Şekil 5.20. Eksenel gerilme-zaman grafiği (M9).

5.7.10. M10 malzemesiyle ekilen ankrajlar için eksenel gerilme değerleri

M10 malzemesiyle farklı çap ve farklı gömme derinliklerinde oluşturulan ankraj elemanlarına ait eksenel gerilme-zaman grafikleri Şekil 5.21’de verilmiştir. Bu deney elemanların genelinde ankraj donatısı akma bölgesi gözlenemezken donatı kapasitesine erişmeden önce sıyrılma ya da beton hasarıyla taşıma kapasitesine ulaşmıştır. M10 malzemesiyle oluşturulan deney elemanların 12 mm çaplı 20Φ ve 24 mm çaplı 15Φ ile 20Φ gömme derinliklerinde donatı akarak taşıma kapasitesine eriştiği görülmüştür (Şekil 5.21).



Şekil 5.21. Eksenel gerilme-zaman grafiği (M10).

Genel olarak incelendiği sığ derinlikli ankraj elemanlarında ya beton ya da sıyrılma göçme tipleri görülmüştür. Kullanılan kimyasal yapıştırıcı türünün eksenel çekme dayanımına etkisi ankraj elemanların gömme derinliğinin artmasıyla belirgin olduğu görülmüştür. M1 malzemesiyle oluşturulan ankraj elemanlarında genelde donatı akarak çekme kapasitesine ulaşmıştır. M10 malzemesiyle oluşturulan ankraj elemanların genelde donatı akma kapasitesine erişmeden beton ya da sıyrılma ile taşıma kapasitesine ulaştığı görülmüştür.

6. SONLU ELEMAN YAZILIMI İLE MODELLEME

6.1. Modelin ANSYS'e Aktarılması

Bu bölümde, ANSYS programı ile modellemeye ilişkin çeşitli genel bilgiler verilmiştir. Bilgisayar yazılımları deneysel çalışmaların yerini tam olarak tutmasalar da tasarım aşamasına yön vermekte ve büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Bilgisayarda oluşturulan modelin doğruluğu büyük ölçüde malzeme varsayımlarına, modelin ve mesnetlenme şartlarının gerçeğe uygun olmasına bağlıdır. Dolayısıyla, modeller hazırlanırken deney sonuçları ile uyum sağlanabilmesi için gerekli adımlar belirlenmiştir. Çalışmada, deney elemanlarının bilgisayar ortamında modellenmesi için kullanılan ANSYS, doğrusal ötesi problemlerin çözümlerinde Newton-Raphson metodunu kullanan, çok çeşitli mekanik problemlerin tasarımında ve sayısal çözümünde kullanılabilen, sonlu eleman programıdır. Ayrıca, programda davranışın gerçeğe yakın olarak elde edilmesi için gerekli girdilerin kullanılmasına olanak tanıyan seçenekler de mevcuttur (Çırak, 2011).

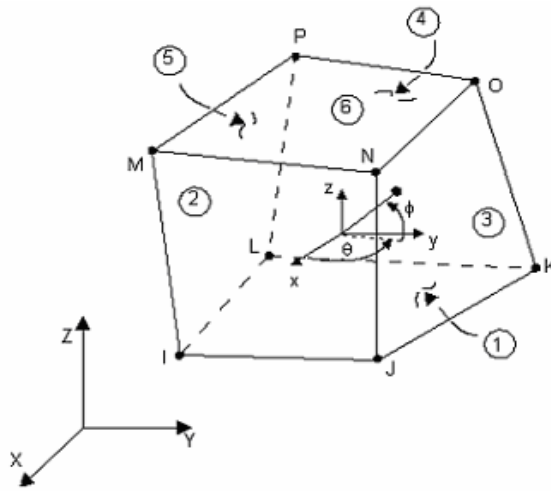
Yapılan çalışmanın bilgisayar yardımıyla modellenmesi için birden çok seçenek olmakla beraber, geometri modülünde herhangi farklı bir programa ihtiyaç duyulmaksızın deney geometrisi oluşturulabilmektedir. Daha karmaşık geometriye sahip modellerde ise geometri farklı bir 3D programında oluşturularak ANSYS programından File/Import/Sat seçeneği yardımıyla programa eklenerek birbirinden bağımsız olarak çağrılan yada gelen model parçaları Preferences/ Preprocessor/ Modeling/Operate/Boolean/ Glue/Volumes seçeneğiyle birleştirme gerçekleştirilebilir. Herhangi bir program yardımıyla çağrılan katı model malzeme özelliklerine sahip olmayacağından sonraki aşamada malzeme özelliklerinin girilmesi gerekmektedir. Programda malzemenin nasıl çalışacağı, mesnetlenme şekli ve hasar biçimi; modelleme yapan tarafından en gerçekçi şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

ANSYS ile yapılan çözümlerinde çözüm süresi önemli kriter olmaktadır. Modelin çözümlenme süresi eleman sayısına doğrudan bağlıdır. Sonlu eleman boyutlarının küçülmesi analizin süresinin artmasına neden olmaktadır. Analiz sonuçlarının deney ya da analitik hesap sonuçlarına uyum sağlanabilmesi için elemanların en ideal boyutları belirlenmelidir.

Modelleme sırasında karmaşık geometriye sahip şekillerin oluşturulabilmesi için süperpozisyon prensibinden faydalanılmaktadır. Bu amaçla, ANSYS çeşitli işlemler sunmaktadır. Bunlardan bazıları, divide, subtract ve glue'dur. Örneğin, divide işlemi ile bir volume bir area ile iki ayrı volume bölünebilir. Subtract işlemi ile birbiri içine girmiş iki volume'dan biri diğerinden çıkartılabilir. Glue işlemi ile de iki ayrı nesnenin birleşme noktaları/arayüzeyleri ortak hale getirilerek mesh işlemi sonrasında bu ortak noktalarda tek ortak düğüm oluşması sağlanabilir (Dede, 2006).

6.2. Malzeme Özelliklerin Girilmesi

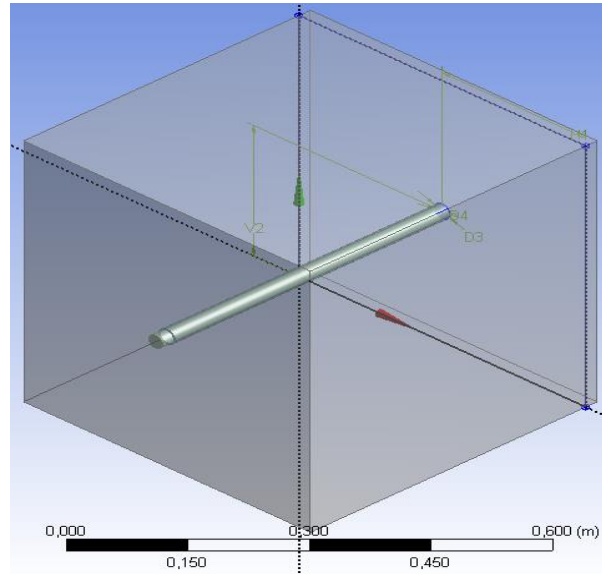
ANSYS paket programının kütüphanesinde yapılacak analize göre birden çok eleman tipi mevcuttur. Her eleman tipinin çeşitli özelliklerle birbirinden ayrılmıştır. Yapılan çalışmada beton modeli olarak SOLID65 malzemesi tercih edilmiştir. SOLID65 elemanı yapısında; çekmede çatlama, basınçta ezilme, plastik deformasyon, süneklik gibi özellikleri içeren 8 düğümlü katı elemandır. Her bir düğümde 3 serbestlik derecesine sahiptir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. SOLID65 eleman geometrisi.

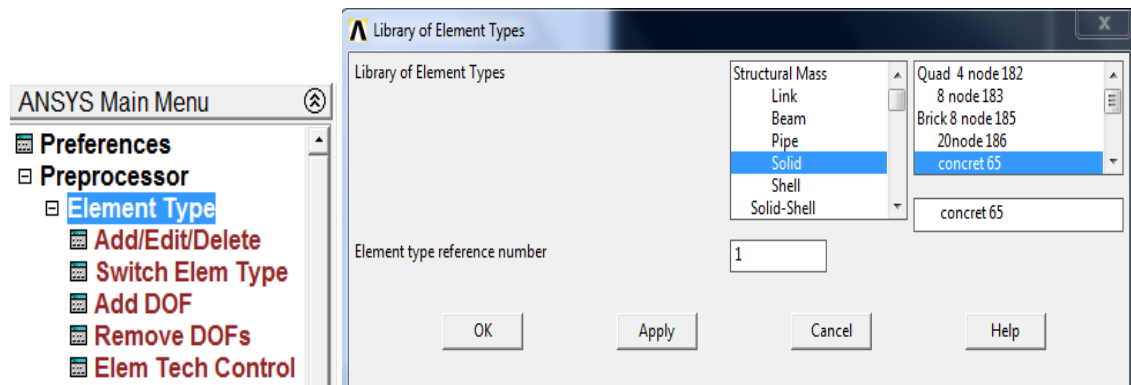
Ankraj donatıları için SOLID45 elemanı seçilmiştir. SOLID45 plastisite, sünme, rijitlik, büyük dönme ve deformasyon yapabilme özelliklerine sahip olarak 3serbestlik derecesiyle oluşturulmuş elemandır. Her iki malzeme tanımlanmasında sonra beton ile yapıştırıcı ve yapıştırıcı ile ankraj çubuğu arasında yüzeyler CONTAC elemanlarıyla oluşturulmuştur. Ara yüzeylerde oluşturulan sürtünme değerleri hem literatürden hem de referans sonuçlar olan ACI 318-Ek-D'nin önerdiği değerlere ulaşıldığında belirlenmiştir.

Çalışmada kenar mesafesinden bağımsız olarak oluşturulacak modelde farklı donatı çapları ve farklı gömme derinlikleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.2).



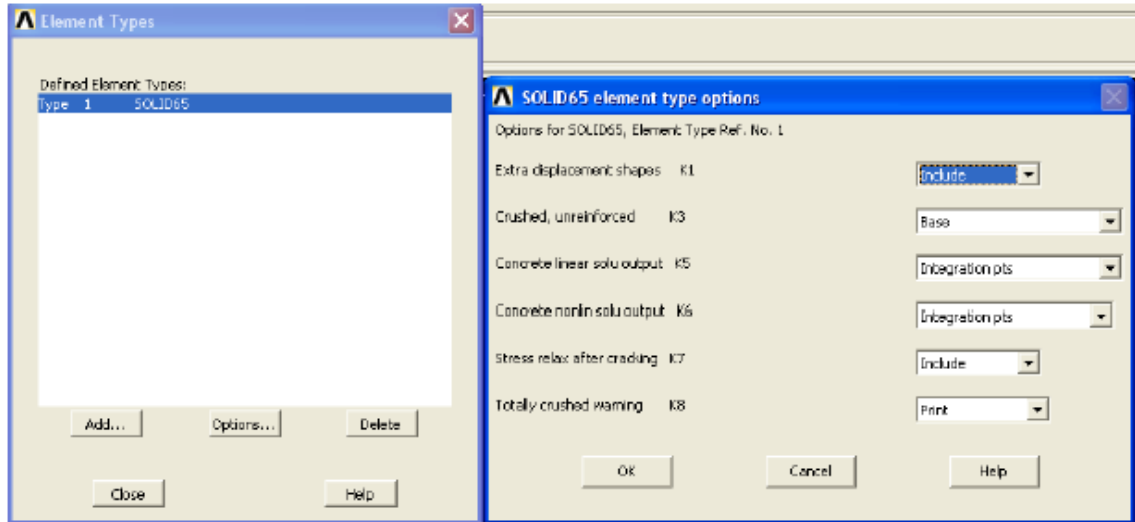
Şekil 6.2. Model geometrisi.

Oluşturulan geometri sonrasında beton elemanını malzeme özelliği girilmesi Preprocessor/ ElementType/ Add/ Edit/ Delete kısmında seçerek eklenmiştir.



Şekil 6.3. Eleman tipinin seçimi.

Malzemenin parametrelerini değiştirmek için Options kısmına girilerek çalışmaya uygun değerler girilir.



Şekil 6.4. SOLID65 eleman özellikleri.

Bu penceredeki özellikleri açıklamak gerekirse;

Extra displacement shape (K1): Ekstra şekil değiştirmeler.

Crushed, unreinforced (K3): Tamamen çatlamış donatısız eleman davranışı.

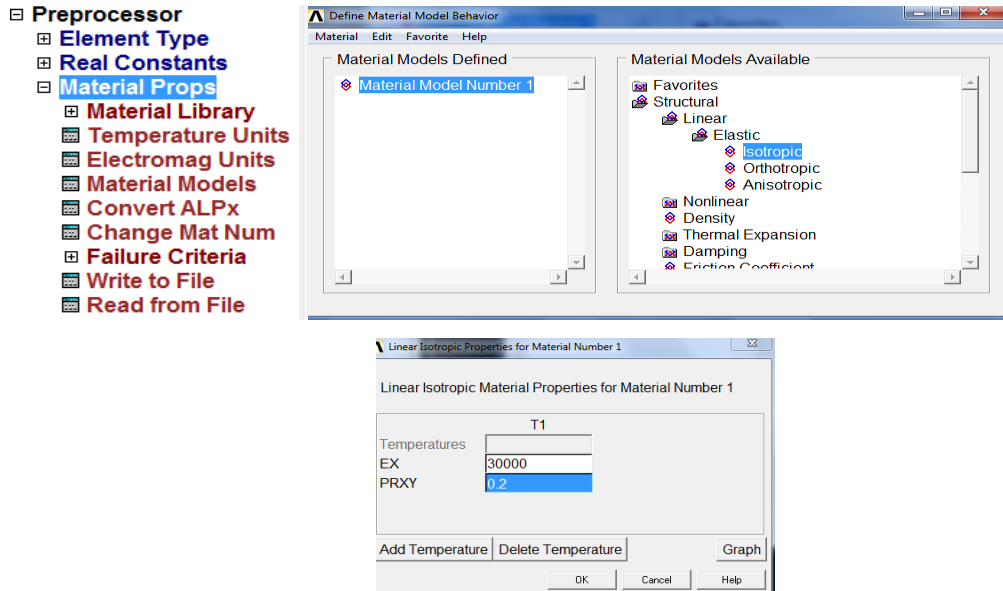
Concrete linear solution output (K5): Lineer analizde sadece eleman merkezi değil tüm integrasyon noktaları için sonuç.

Concrete nonlinear solution output (K6): Nonlineer analizde sadece eleman merkezi değil tüm integrasyon noktaları için sonuç.

Stress relax after cracking (K7): Çatlama sonrası çekme gerilmelerinde zayıflama sağlayarak yansıma.

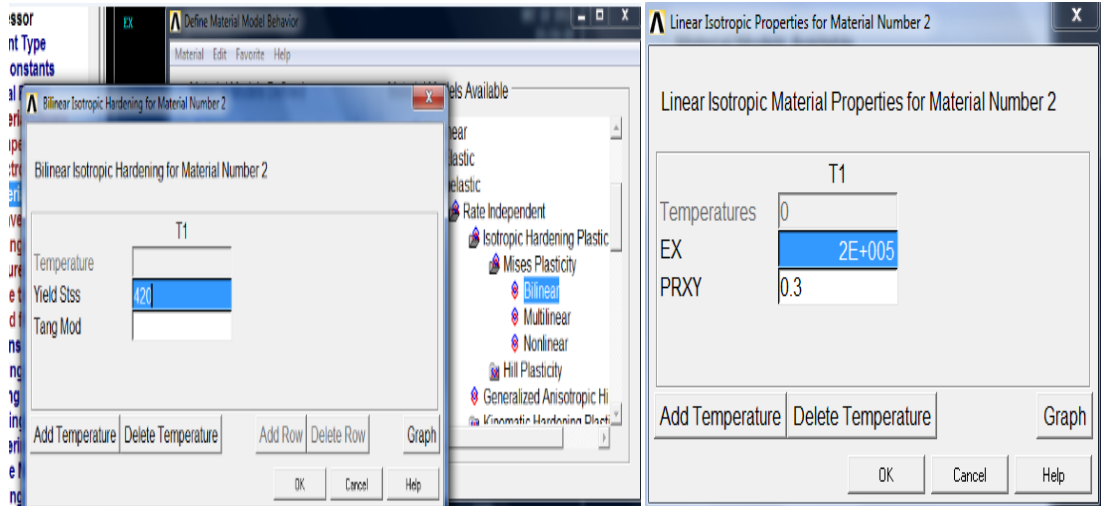
Totally crushed warning (K8): Donatısız betona bütünüyle kırılmaya uyarı olarak yazdırma.

Beton davranışı zaman ve yükleme hızına göre davranış gösteren, heterojen ve anizotrop bir malzeme olmasına rağmen modellemelerin tamamında izotropik bir malzeme olarak ele alınıp çatlama gibi durumlarda gösterdiği davranış dikkate alınarak gerçeğe yakın sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür. Malzeme davranışı tanımlamak için Preferences/Preprocessor/MaterialProps/Material/Models/Structural/Linear/Elastic/İstrp seçilir. Bu çalışmada beton modeli için Multilineer izotropik olarak gerilme-şekil değiştirme eğrisi kullanılmıştır.



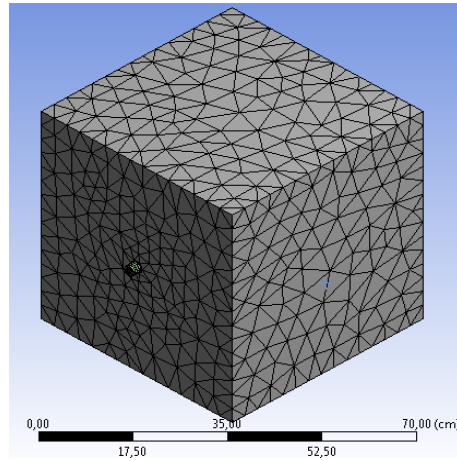
Şekil 6.5. Beton lineer izotropik parametreleri.

Kullanılacak ankraj donatı özelliklerini girmek için Material/New Model tıklanarak elastisite modülü, poisson oranı ve karakteristik akma dayanımı girilebilir.



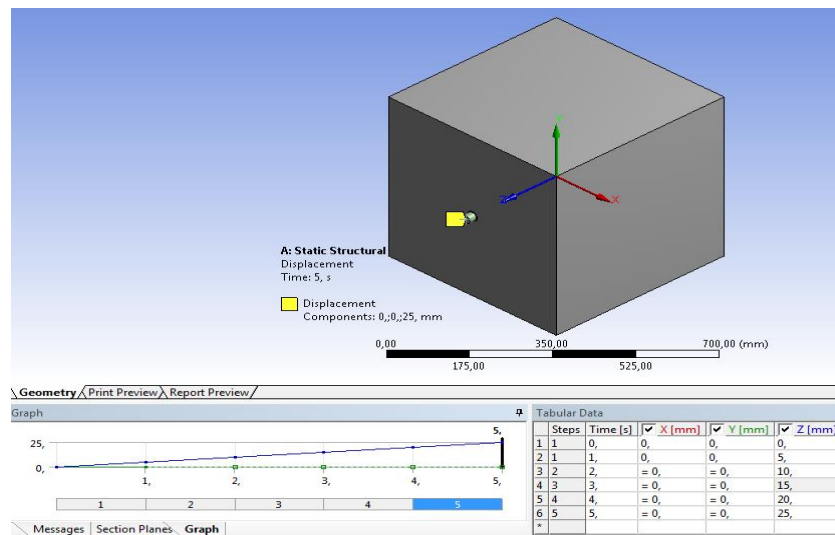
Şekil 6.6. S420a parametrelerinin girilmesi.

Bir problemde gerçeğe yakın sonuç elde edebilmek için sistemin birbirine bağlı meydana gelen elemanlara ayırarak çözüm yapılması gerekmektedir. Programdan hassas sonuçlar alabilmek için öngörülen zorlanma bölgelerindeki eleman sayılarını arttırarak gerçeğe yakın sonuç daha kısa zamanda elde edilebilir. ANSYS’de bu işlem Preferences/ Preprocessor/ Meshing/ Mesh Tool sekmesinde Size Control/ Global/ Set’den eleman boyutunu belirlenerek gerçekleştirilir. Modelin sonlu elemanlara ayrılmış hali Şekil 6.7’de verilmiştir.



Şekil 6.7. Modelin mesh hali.

Oluşturulan modelin mesnet ataması beton blokların alt yüzeyinde yatay ve düşey ötelenmelerin engellenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Model, deplasman kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Analiz 5 adımda Z yönüne verilen deplasman ile sağlanmıştır (Şekil 6.8).



Şekil 6.8. Uygulanan deplasman.

Beton malzemesinin modellenmesinde sargısız beton modeli kullanılmıştır. Hognestad modelinden elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrisi betonun doğrusallığının sınırını ve plastik davranışını belirleyecek kriterler belirlenmiştir. Beton Multilineer İzotropik Pekleşmeli Plastisite modelinde tanımlanmıştır. Beton gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi iki bölgeden oluşturularak programa girilmiştir. İlk bölge; başlangıç ile tepe noktası arasındaki oluşturulan kısım ikinci dereceden parabol, ikinci bölge ise azalan doğrusal kabul edilmiştir.

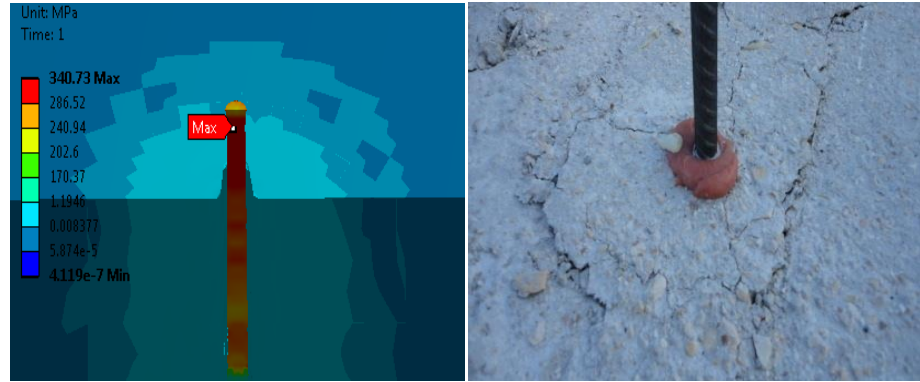
Çelik malzemesinin homojen ve izotrop olmasından dolayı betona göre tanımlanması daha kolay olmaktadır. Çelik malzemesi yüklemelerin kalkmasıyla geri dönebilecek başlangıçta doğrusal elastik bölgeye sahiptir. Bu elastiklik durumu orantılılık sınırına kadar, doğrusallık da akma noktasına kadar devam etmektedir. Orantılılık sınırı ile akma noktası arasında çok küçük farklılıklar olmasından dolayı tek bölge olarak tanımlanabilmektedir. Gerçekte akma noktasından sonra bir akma bölgesi ve onu takip eden pekleşme bölgesi bulunurken modellemelerde çeliğin davranışını idealize ederek kullanılmaktadır. Çalışmaların genelinde olduğu gibi bu çalışmada da çelik malzemesi lineer elastik-tam plastik (Bilineer izotropik pekleşmeli plastisite) olarak tanımlanmıştır. Donatı çeliğin tanımlanmasında başlangıç elastisite modülü-poisson oran ilişkisi ve deney sonuçlarında elde edilen gerilme-şekil değiştirme ilişkisini ifade eden multilinear elastik özelliğinden yararlanılmıştır.

6.4. Deney Modelinin İncelenmesi

Bu çalışmada ANSYS Sonlu Eleman Programında analiz, yaklaşım metodu program kontrollü bırakılmıştır. ANSYS Sonlu Elemanlar programı doğrusal olmayan problemlerin çözümünde; program kontrollü bırakıldığında Newton-Raphson metodunu kullanmaktadır. Yapılan analizlerde çözüm süresini azaltmak için mesh yoğunluğu sadece birleşime yakın alanlarda yapılmıştır. Daha hassas değerler alınması istenen ankraj donatısı ve beklenen göçme alanında mesh yoğunlaştırılması yapılarak sağlanmıştır.

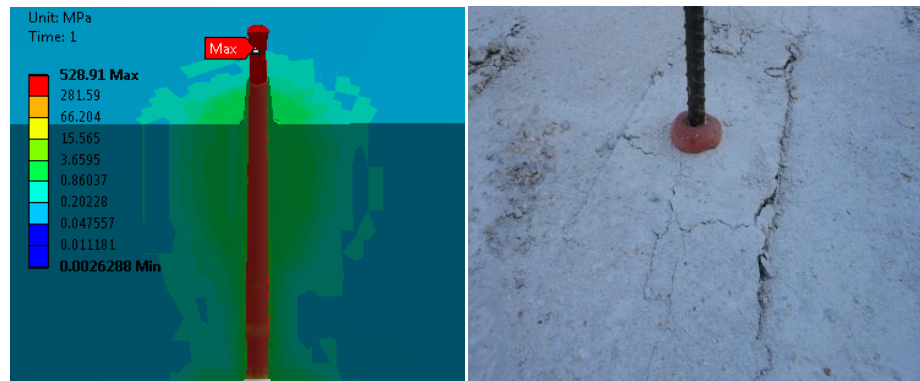
Yapılan analiz sonucunda ankraj çapı 12 mm ve gömme derinliği 12 cm olarak oluşturulan modelde ankraj akma dayanımına ulaşmadan betonda koni göçmesinin gerçekleştiği görülmüştür. Yapılan deneysel çalışma ve ACI 318-Ek-D' nin önerdiği analitik hesaplamalar için en elverişsiz durumun betonda oluşması durumu programda da görülmektedir. Konik kopma biçimindeki hasar, donatı akma dayanımına ulaştıktan sonra ya da akma dayanımına ulaşmadan da gerçekleşebilen gevrek bir hasar türü olduğu için

ani bir dayanım kaybına neden olmaktadır. Yapılan çalışmada ACI 318-Ek-D'nin önerdiği kapasite aksenal gerilme değeriyle ANSYS programı yardımıyla elde edilen değer %10'luk bir fark göstererek kabul edilebilir değerler arasında kaldığı görülmüştür (Şekil 6.9).



Şekil 6.9. M1 malzemesi, 12 mm çaplı 10Φ derinlikli ankraj modeli.

Ankraj çapı 16 mm ve gömme derinliği 24 cm olarak oluşturulan modelde göçmenin donatı kontrollü olarak gerçekleşmiş yani ankraj nihai kapasite ulaşmış ve sıyrılma meydana gelmiştir. Sıyrılma hasarı, donatı akmaya başlamadan, akarken ya da pekleşirken gerçekleşebilir. Oluşturulan model sonuçlarında ACI 318-Ek-D'nin önerdiği analitik hesaplamalarda göçmenin beton koni şeklinde gerçekleşeceği öngörüsüyle ters düşmekte fakat analitik hesap değerleri ile hata oranı %5 civarında seyretmektedir (Şekil 6.10).



Şekil 6.10. M1 malzemesi, 16 mm çaplı 15Φ derinlikli ankraj modeli.

Ankraj çapı 20 mm ve gömme derinliği 40 cm olarak oluşturulan modelde göçmenin donatı kontrollü olarak gerçekleşerek ankraj nihai kapasite ulaşmıştır. Analitik

hesaplamalar sonucunda öngörülen tasarım kapasitesinden %4 civarında farkın olduğu görülmektedir (Şekil 6.11).



Şekil 6.11. M1 malzemesi, 20 mm çaplı 20Φ derinlikli ankraj modeli.

ANSYS program yardımıyla yapılan analizde gömme derinliğin ve ankraj donatı çapının artmasıyla göçmenin ankraj donatısında gerçekleştiği görülmektedir. Beton göçmesi beklenen durumlar için modelin sağlıklı değerler vermediği bunun nedenin ise beton malzemesinin modellenmesi ve göçme kriterinin belirlenmesinde parametre eksikliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca yapıştırıcı ile beton arasındaki ara yüzeyinin tanımlanması literatürde birden çok farklı yöntem ve katsayı bulunması analizin tekrarlanarak deneysel verilerle tutarlılık sağlayan durumların belirlenmesi gerekmektedir. Gerçekçi ve daha sağlıklı sonuçlar alınabilmesi için yapıştırıcı ile beton arayüzünün tam bağlı olacak şekilde gömme derinliğine sahip olması gerektiği görülmüştür. Bu durumda modelin, nervürlü ankraj donatısı çekme analizine döndüğü düşünülürse tüm ankraj elemanları için kapsamlı sonuçlar vermemektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kimyasal ankrajlar, mevcut betonarme elemanlara yeni taşıyıcı eleman eklenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu uygulama deneyleri mevcut beton/betonarme, ankraj donatısı ve kimyasal yapıştırıcılardan oluşmaktadır. Kullanılan her bir farklı kimyasal yapıştırıcı standart koşullar altında birbirinden farklı mekanik özelliklere sahip olduğu bilinmektedir.

Bu çalışmada 10 farklı kimyasal yapıştırıcı ile değişen çap (12, 16, 20 ve 24 mm), değişen derinliklerde (5Φ, 10Φ, 15Φ ve 20Φ) ekilen 160 adet ankraja aksenal çekme deneyi uygulanmıştır. Deneyler sonucunda yük-deplasman eğrileri ve göçme modları belirlenmiştir. ACI 318-Ek-D'nin öngördüğü kapasite ve tasarım dayanım değerlerine göre güvenlik katsayıları belirlenmiştir. Deneysel olarak incelen ankraj çekme dayanımının, sonlu elemanlar programı olan ANSYS ile de modellenmesi yapılmıştır.

Ankrajlarda yapıştırıcı malzeme olarak reçineler kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada yapıştırıcı malzemesi olarak piyasada sıkça kullanılan 3 farklı markanın polyester, vinylester, epoksi ve epoksi akrilik esaslı ürünleri kullanılmıştır. Çekip çıkarma deneyleri sonucunda epoksi ve polyester esaslı olan ürünlerin yapısal olarak yakın özellik gösterdiği görülmektedir. Genel olarak gömme derinliğinin artmasıyla ankraj elemanın çekme dayanımı artmaktadır. Gömme derinliğinin artmasıyla dayanım artışı göstermeyen elemanlar; 12 mm çaplı vinlyester ve akrilik esaslı yapıştırıcıların, 16 mm çaplı epoksi, polyester, akrilik esaslı yapıştırıcıların, 20 mm çaplı polyester ve epoksi esaslı yapıştırıcıların ve 24 mm çaplı epoksi ve vinlyester esaslı yapıştırıcıların 20Φ gömme derinliğinde oluşturulmuş numunelerdir. Deney programında en iyi sonuçlar alınan M1 ile ekilen elemanlarda ise gömme derinliğinin artmasıyla yük kapasite artışının görülmeyen numune, 24 mm çaplı, 20Φ gömme derinliğinde oluşturulan elemandır. Beklendiği gibi yapıştırıcının basınç dayanımı ve yoğunluğu ile ankraj dayanımı arasında doğrusal ilişki görülmüştür. Aksenal çekme kapasite bakımından en iyi dayanımın iki bileşenli, epoksi malzemesinde olmasına rağmen en düşük dayanım ise üç bileşenli epoksi esaslı kimyasal yapıştırıcı da görülmüştür. Üç bileşenli epoksi bağlayıcısı yardımıyla oluşturulan numunelerin genelinde gevrek davranış gözlenmiştir. Diğer taraftan üç bileşenli olan epoksinin karışım oranları ve katkı malzemesi dayanıma önemli derecede etki edeceği için en iyi dayanımın epoksi esaslı yapıştırıcılarla oluşturulan deney elemanlarında elde edildiği görülmüştür. Dayanım açısından iyi durumda olan epoksi

esaslı kimyasal yapıştırıcıların kenetlenme yüzey alanı ile nihai kapasite arasında doğru orantı olduğu görülmektedir. Kullanılan kimyasal yapıştırıcı türü etkisinin büyük ankraj çaplarında daha belirgin olduğu gözlenmiştir. 5Φ ve 10Φ gibi sığ derinlikli ankrajlarda kimyasal yapıştırıcı türü etkisi azalmaktadır. Kimyasal yapıştırıcı türünün ankraj dayanımına etkisinin belirginleşmesi 10Φ üzeri gömme derinliklerinde görülmektedir. Diğer bir taraftan gömülme derinliği oransal olarak ankraj çapından 10, 15, 20 katı olacak şekilde uygulanması bütün kimyasal türler için belirgin artışların olmasını sağlamıştır. Deney programında elde edilen sonuçlara göre 16 mm çaplı ankraj elemanlarında 10Φ ve 20 mm çaplı ankraj elemanlarında 15Φ gömme derinlikleri ideal gömme derinliği olarak bulunmuştur.

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen nihai eksenel çekme dayanımları ACI 318 Ek-D'nin önerdiği değerler açısından güvenilirliğinin sağlanması gerekmektedir. Elde edilen deneysel verilerin güvenlik düzeyleri için dayanım azaltma katsayıları donatısız bloklarda işçilik kalitesi ve ortam koşullarından az etkilenen, güvenilirliği yüksek durumlar için 0.60 düzeyinde olması tasarım kapasiteleri için istenen %95 güvenlik durumunu sağlayacağı görülmüştür. Ayrıca küçük çap ve gömme derinlikleri için veri bakımından çeşitlilik söz konusu olduğu için dayanım azaltma katsayısının bu durumlar içinde çeşitlilik göstermesi gerekmektedir.

Çalışmanın bilgisayar programı yardımıyla analiz kısmında ise kullanılan donatı çapı artışı, gömme derinliği artışı ve kimyasalın mekanik özellikleri eksenel çekme kuvvetinin doğrudan etkilediği görülmüştür. Küçük çap ve sığ gömme derinliklerinde programdan elde edilen eksenel gerilmeler ile önerilen analitik gerilmeler arasında maksimum değişimin %10 civarında olduğu görülmektedir. Büyük çap ve derin gömme derinliklerinde ise bu değer %4'lere inmektedir. Bunun nedeninin ise çap ve gömme derinliğinin artması göçmenin ankraj donatısında oluşmasına neden olacağından ve programda tanımlanan gerilme-şekil değiştirme eğrisinin homojen ve izotrop olan malzeme için tutarlılık göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Küçük çap ve sığ gömme derinliklerinde diğer bir ifadeyle göçmenin beton veya yapıştırıcıda olması beklenen durumlarda analiz sonuçları ile deneysel veriler arasındaki %15-35'lik farklılık görülmektedir. Bu çalışmada yapılan analizde, kullanılan kimyasal yapıştırıcının özelliklerinin değişimi eksenel çekme kapasitesinde değişimine neden olduğu görülmüştür. Yapılan analiz çalışması, eksenel çekme etkisine maruz kalacak olan

kimyasal ankrajların arayüzeyi oluşturan kimyasalın mekanik özelliklerinin bilinmesi gerekliliğini bir kez daha program yardımıyla gözler önüne koymuştur.

Bu çalışmanın benzerleri daha düşük dayanımlı betonlarda farklı kenar mesafesi durumlarında tekli ve grup şeklinde çalışması önerilen ankrajların çekme performansı durumları üzerinde gerçekleştirilebilir.

8.KAYNAKLAR

- ACI 318, Building code requirements for reinforced concrete, *American Concrete Institute*, Detroit, USA (2008).
- ACI 318, Building code requirements for reinforced concrete, *American Concrete Institute*, Detroit, USA (2005).
- ASTM E488–96, Standard test methods for strength of anchors in concrete and masonry elements, (2003).
- Bajer M. and Barnat J., “The glue-concrete interface of bonded anchors”, *Construction and Building Materials*, 34(1):267-274 (2012).
- Begimgil M., Kocatürk A., Gerçek B.Ö., “Bağlayıcı Reçine Türleri, Epoksi Reçinesi, Temel Kullanım Alanları ve Uygulama Metodları”, *TÜRKİYE Mühendislik Haberleri*, 427(5): (2003).
- Cook R. A., Collins D. M. I., Klingner R. E. and Polyzois D., “Load-deflection behavior of cast-in-place and retrofit concrete anchors”, *ACI Structural Journal*, 89(6): 639-649 (1992).
- Cook R. A., “Behavior of chemically bonded anchors”, *ASCE Journal of Structural Engineering*, 119(9): 2744-2762 (1993).
- Cook R. A., Konz J., Fuchs W. and Konz R. C., “Behavior and design of single adhesive anchors undercut tensile load in uncracked concrete”, *ACI Structural Journal*, 95(1): 9-26 (1998).
- Cook R. A., and Konz R. C., “Factor influencing bond strength of adhesive anchors”, *ACI Structural Journal*, 98(1): 76-86 (2001).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Çalışkan, Ö., “Mevcut betonarme binaların dış perde duvar ile güçlendirilmesinde ankraj uygulamalarının deneysel olarak araştırılması”, Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir (2010).
- Çavunt, D., “Mevcut bir betonarme yapı üzerinde güçlendirme ankrajlarının performanslarının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2013).
- Çakıroğlu, A., Özer, E., “Malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan Sistem”, *Matbaa Teknisyenleri Basımevi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul (1980).
- Çırak, İ. F., “Güçlendirme perdeleri ile mevcut yapı elemanları arasındaki kayma davranışının modellenmesi”, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta (2011).
- Darwin D. and Zavaresh S. S., “Bond strength of grouted reinforcing bars”, *ACI Structural Journal*, 93(4): 486-495 (1996).
- Dede F. T., “Tersinir-Tekrarlanır yükleme altındaki betonarme çerçevelerin ANSYS programı ile nonlinear sonlu elemanlar analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya (2006).
- Delhomme F., Roure T., Arrieta B. and Liman A., “Pullout behavior of cast-in-place headed and bonded anchors with different embedment depths”, *Material And Structures*, 10:616-633 (2014).
- Eligehausen R., Cook R. A. and Appl J., “Behavior and design adhesive bonded anchors”, *ACI Structural Journal*, 103(6): 822-831 (2006).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Fuchs W., Eligehausen R. and Breen J.E., “Concrete capacity design (CCD) approach for fastening to concrete”, *ACI Structural Journal*, 92(1): 73-94 (1995).
- Fujikake K., Nakayama J., Sato H., Mindess S. and Ishibashi T., “Chemically bonded anchors subjected to rapid pullout loading”, *ACI Materials Journal*, 100(3): 246-252 (2003).
- Gesoğlu M., Ozturan T., Ozel M. and Guneyisi E., “Tensile behavior of post-installed anchors in plain and steel fiber-reinforced normal and high strength concretes”, *ACI Structural Journal*, 102(2): 224-231 (2005).
- Gross J. H., Klingner R. E. and Graves H. L., “Dynamic behavior of single and double near-edge anchors loaded in shear”, *ACI Structural Journal*, 98(5): 665-676 (2001).
- Gürbüz T., “Yapıların güçlendirilmesinde kullanılan kimyasal ankrajların eksenel çekme etkisi altındaki davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2007).
- Higgins C. C. and Klingner R. E., “Effects of environmental exposure on the performance of cast-in-place and retrofit anchors in concrete”, *ACI Structural Journal*, 95(5): 506-517 (1998).
- Karasek R., Bajer M. and Jurdova K., “Influence of column construction type on the bearing capacity of bonded anchors”, *Procedia Engineering*, 40: 195-198 (2012).
- Kaya Y., “Yapıların güçlendirilmesi uygulamalarında kullanılacak kısmi bağlı ankraj detayı ve yüzey temizliği koşulları altında ankrajların eksenel çekme davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2007).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Kim J., Jung W., Kwon M. and Ju B., “Performance evaluation of post-installed anchor for sign structure in Sout Korea”, *Construction and Building Materials*, 44: 496-506 (2013).
- Lotze D., Klingner R. E. and Graves H. L., “Static behavior of anchors under combinations of tension and shear loading”, *ACI Structural Journal*, 98(4): 525-536 (2001).
- Mazılıgüney L., “Sonradan yerleştirilmiş kimyasal ankrajların düşük dayanımlı donatılı betonlardaki çekme davranışları”, Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2007).
- McVay, M., Cook, R. A. and Krishnamurthy, K., “Pullout simulation of post-installed chemically bonded anchors”, *Journal of Structural Engineering*, 122(9): 1016-1024 (1996).
- Obata M., Inoue M. and Goto Y., “The failure mechanism and the pull-out strength of a bond-type anchor near a free edge”, *Mechanics of Materials*, 28: 113-122 (1998).
- Ozbolt J., Eligehausen R., Periskis G. and Mayer U., “3D FE analysis of anchor bolts with large embedment depths”, *Engineering Fracture Mechanics*, 74: 168-178 (2006).
- Özen M. A., “Düşük ve normal dayanımlı betonlarda epoksi ankrajların çekme davranışı”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli (2010).
- Özkul H., Mutlu M. ve Sağlam A. R., “Beton ankrajları”, *Sika Teknik Bülten Sayı 4*, (2001).
- Özturan T., Gesoğlu M., Özel M. ve Güneyisi E., “Kimyasal harçlı ve mekanik ankrajların çekme ve kesme yükleri altındaki davranışları”, *İMO Teknik Dergi*, 208: 3105-3124 (2004).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Pinoteau N., Pimienta P., Guillet T., Rivillon P. and Remond S., “Effect of heating rate on bond failure of rebars into concrete using polymer adhesives to simulate exposure to fire”, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 31(8): 851-861 (2011).
- Primavera E. J., Pinelli J. P. and Kalajian E. H., “Tensile behavior of cast-in-place and undercut anchors in high-strength concrete”, *ACI Structural Journal*, 94(5): 583-594 (1997).
- Seyhan E. C., “Kimyasal ankrajların davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2006).
- Shirvani M., Klingner R. E. and Graves H. L., “Breakout capacity of anchors in concrete part 1:tension”, *ACI Structural Journal*, 101(6): 813-820 (2004).
- Strba M. and Karmazinova M., “Actual behavior and objective load-carrying capacity of tension steel expansion anchors to concrete”, *Steel Structures and Bridges*, 40: 440-444 (2012).
- Ueda T., Kitipornchai S. and Ling K., “Experimental investigation of anchor bolts under shear”, *ASCE Journal of Structural Engineering*, 116(4): 910-924 (1990).
- Yang M., Thota M. ve Zhao Y., “Creep design of epoxy bonded anchor system”, *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 22(3):159-167 (2015).
- Yılmaz, S., “Betonarme binaların yapı dışarısından perde duvarlarla güçlendirilmesi”, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2007).
- Yılmaz S., Çetinkaya N., Çalışkan, Ö. ve Çırak İ. F., “Dış perde duvar ile güçlendirme yönteminde ankraj uygulamalarının deneysel olarak araştırılması”, *TÜBİTAK Araştırma Projesi*, Proje No: 107M572, Denizli (2010).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

Xu C., Heping C., Bin L. and Fangfang Z., “Modeling of anchor bolt pullout in concrete based on a heterogeneous”, *Nuclear Engineering and Design*, 241: 1345-1351 (2011).

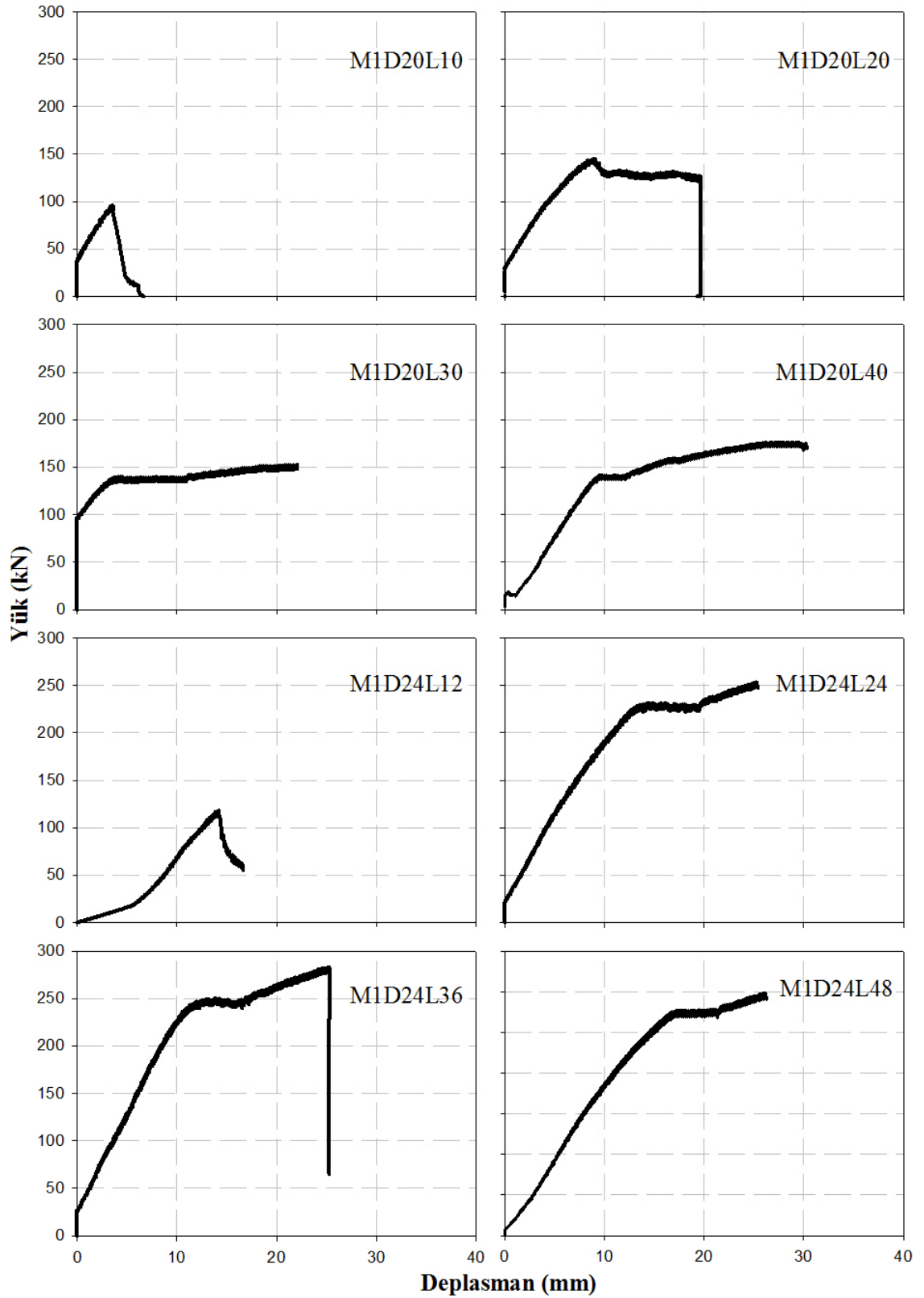
Zamora N. A., Cook R. A., Konz R. C. and Consolazio G. R., “Behavior and design of single, headed and unheaded, grouted anchors under tensile load”, *ACI Structural Journal*, 100(2): 222-230 (2003).

Zuhairi, H. And Fatlawi, D., “Numerical prediction of bond-slip behavior in simple pull-out concrete specimens”, *Journal of Engineering*, 19(1) (2013).

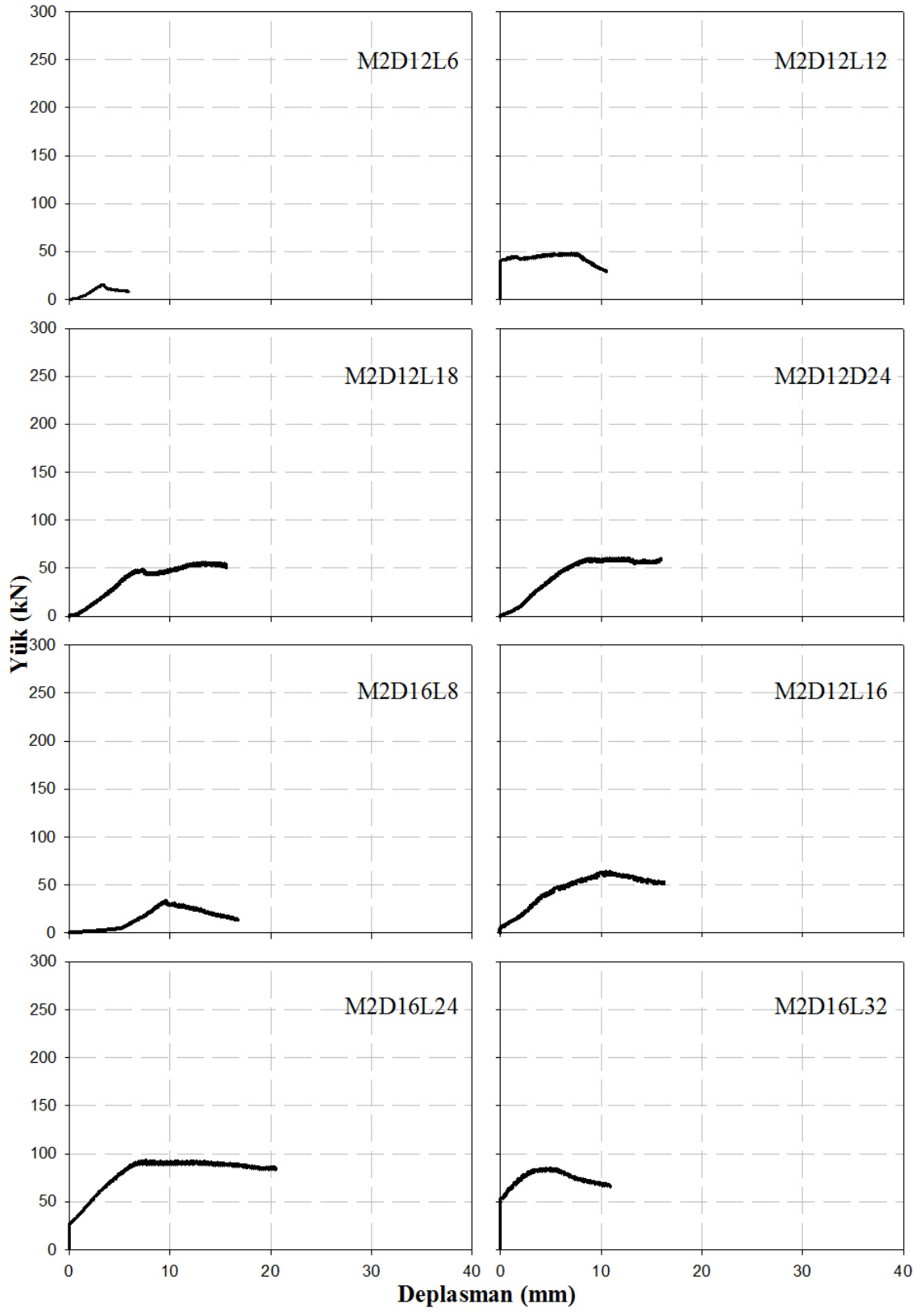
<http://www.figes.com.tr/urunler/ansys/ansys.php>, 2015.

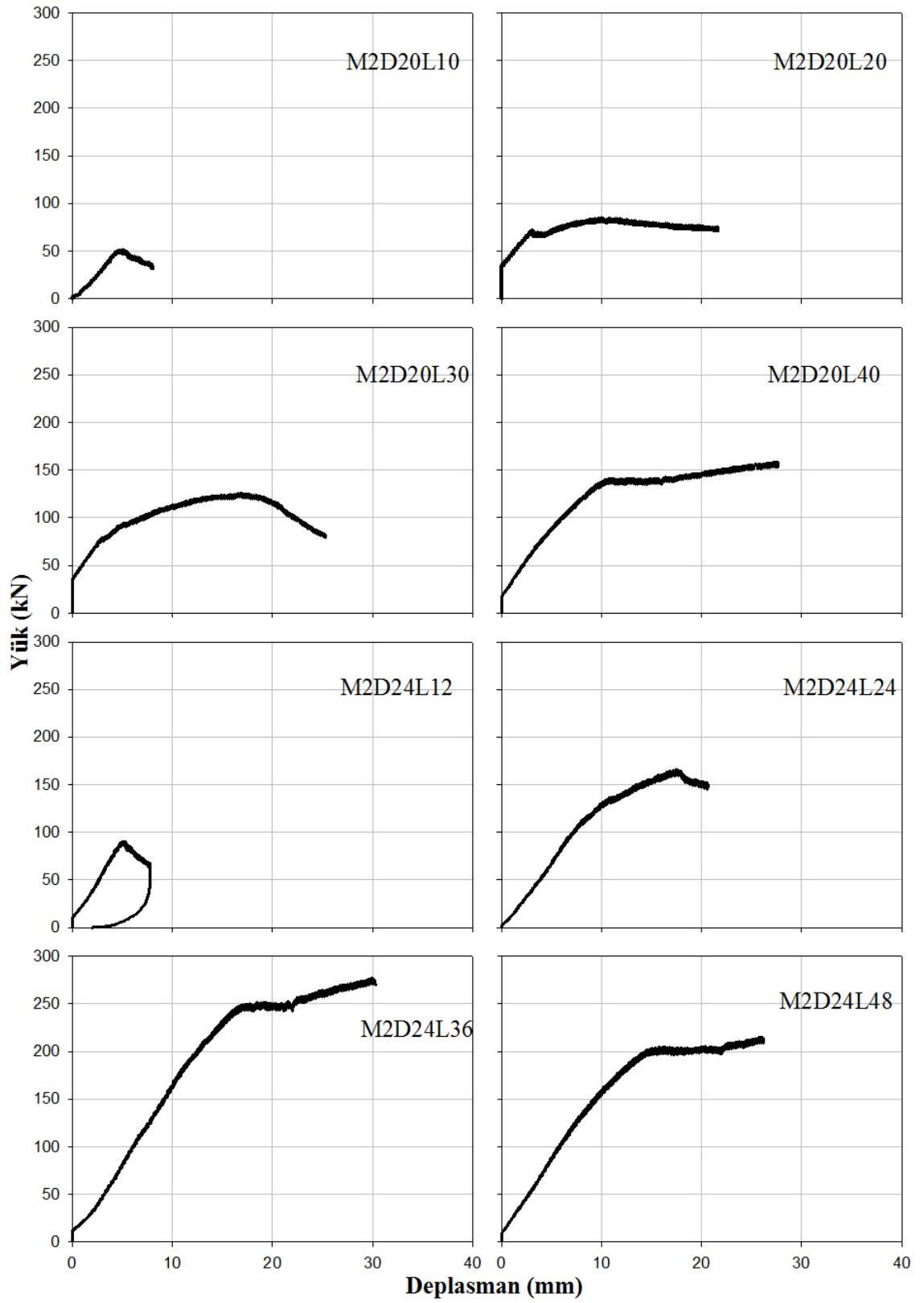
EKLER

EK-1: M1 malzemesine ait yük-deplasman eğrileri.

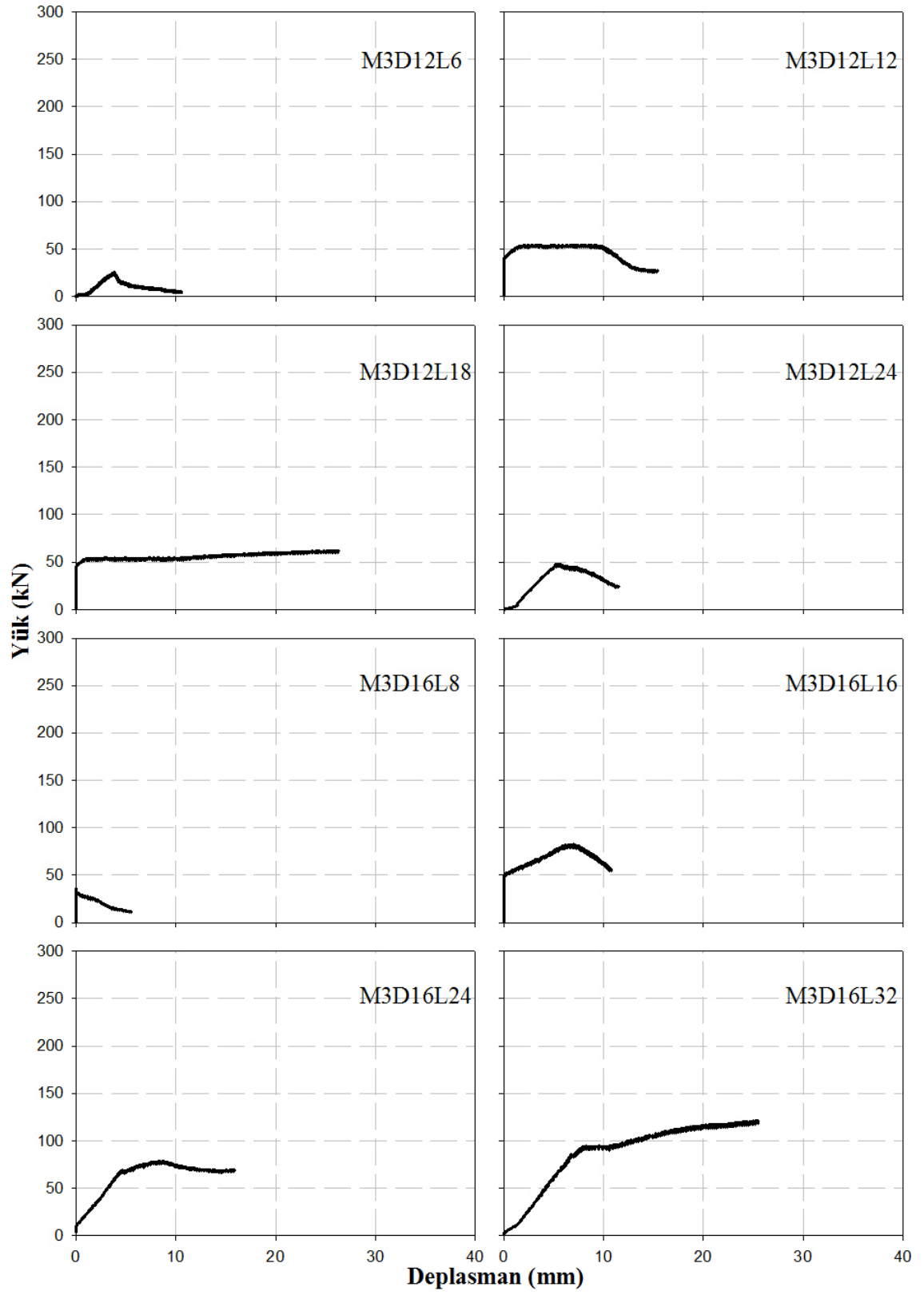


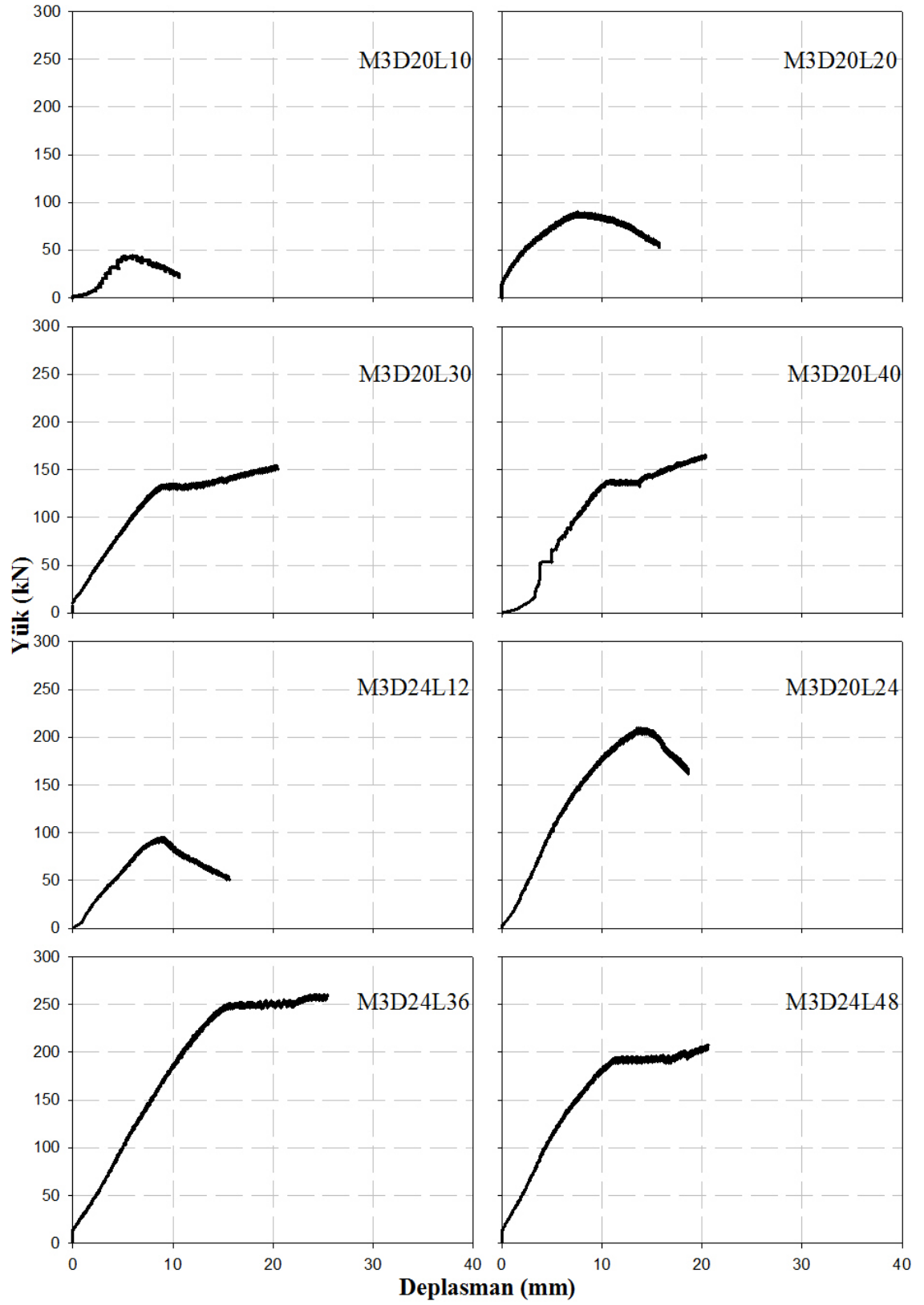
EK-2: M2 malzemesine ait yük-deplasman eğrileri.



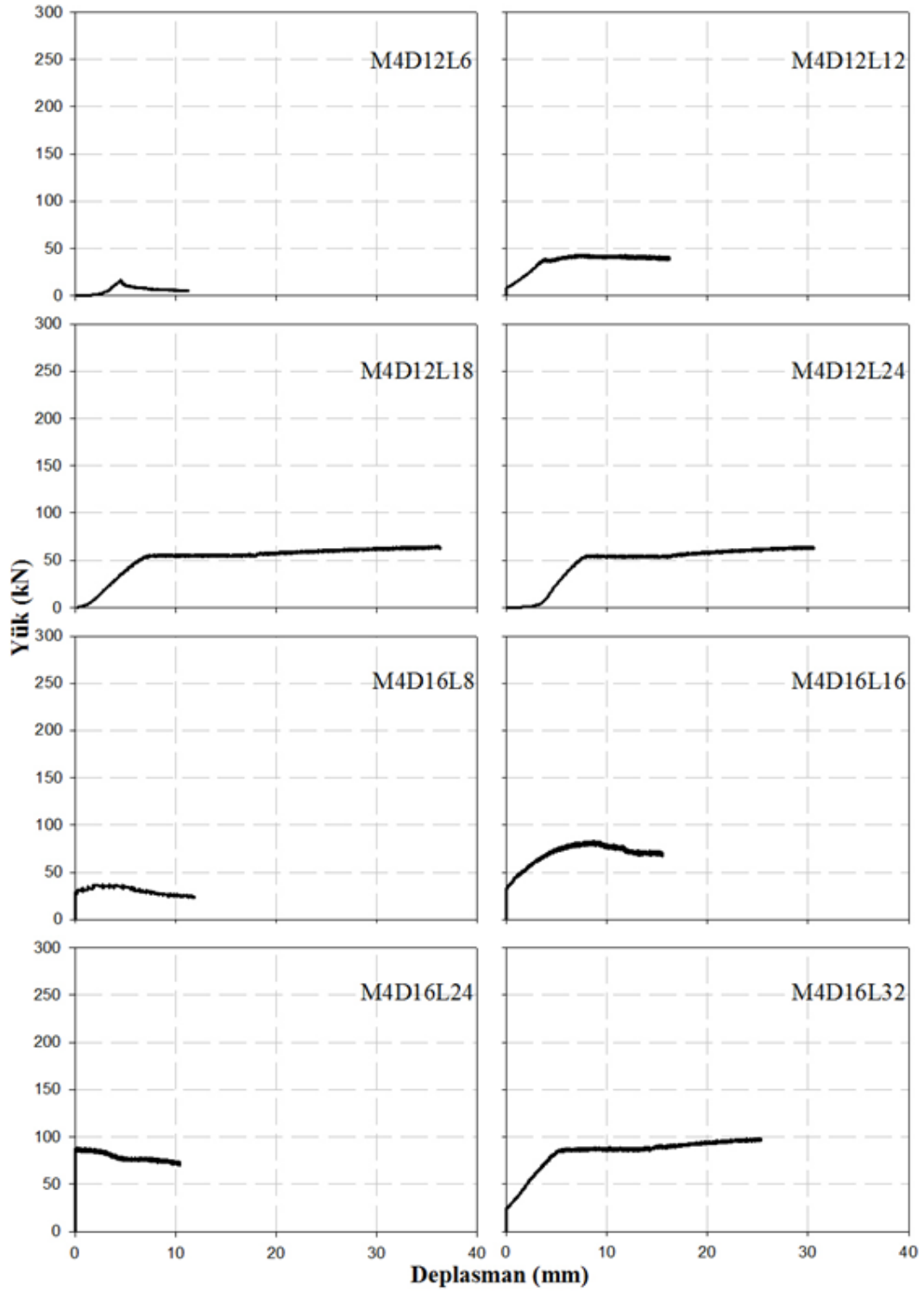


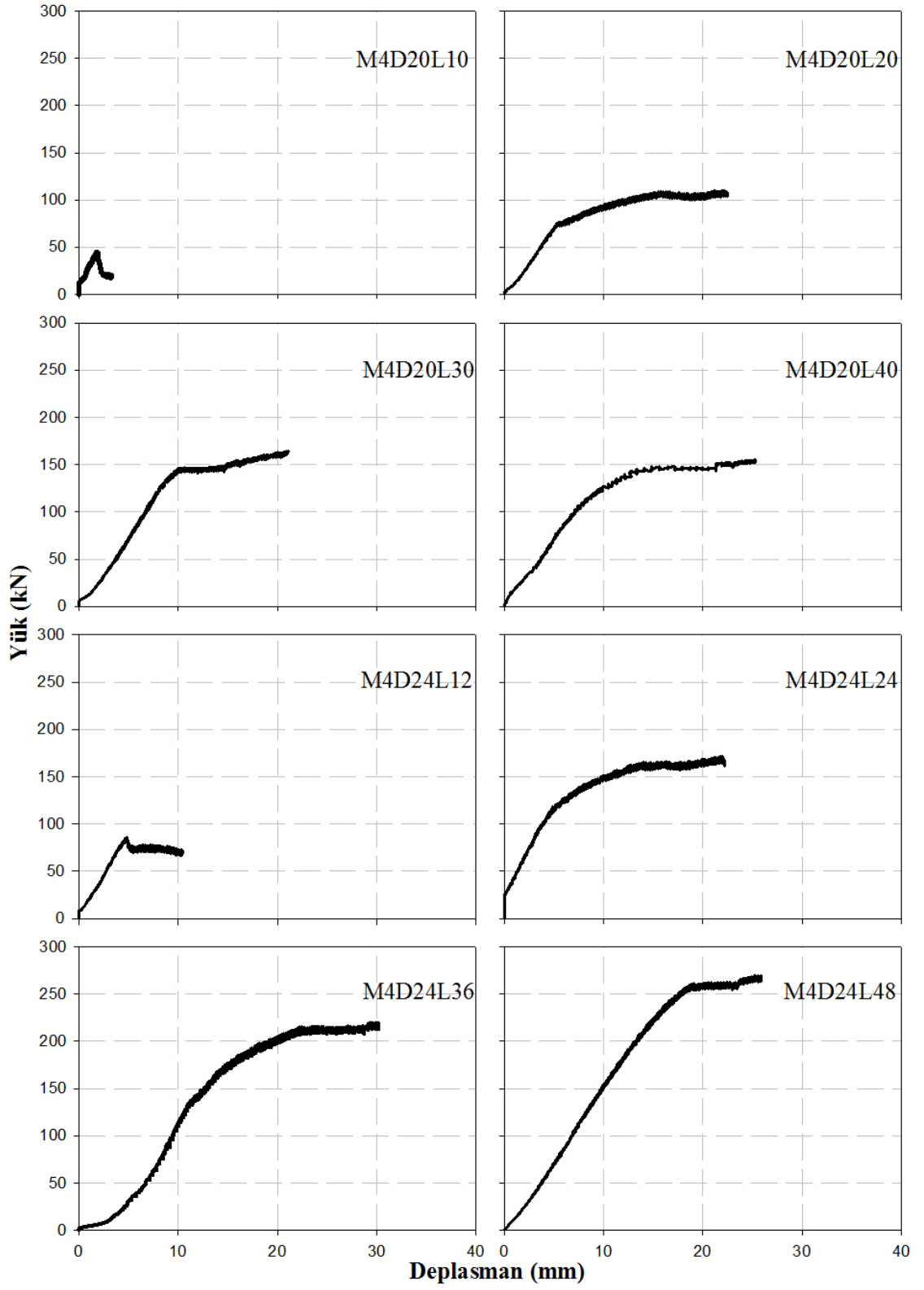
EK-3: M3 malzemesine ait yük-deplasman eğrileri.



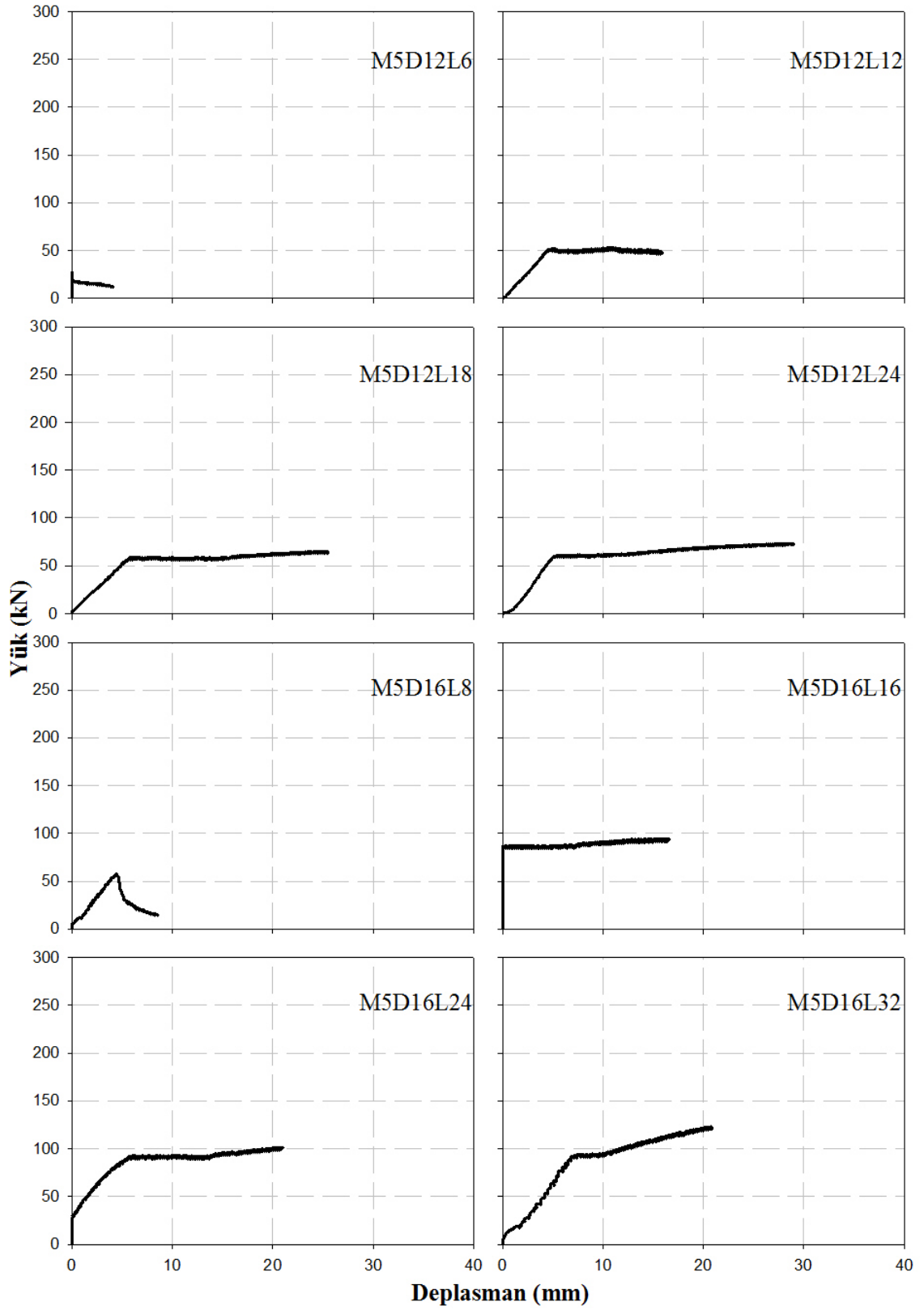


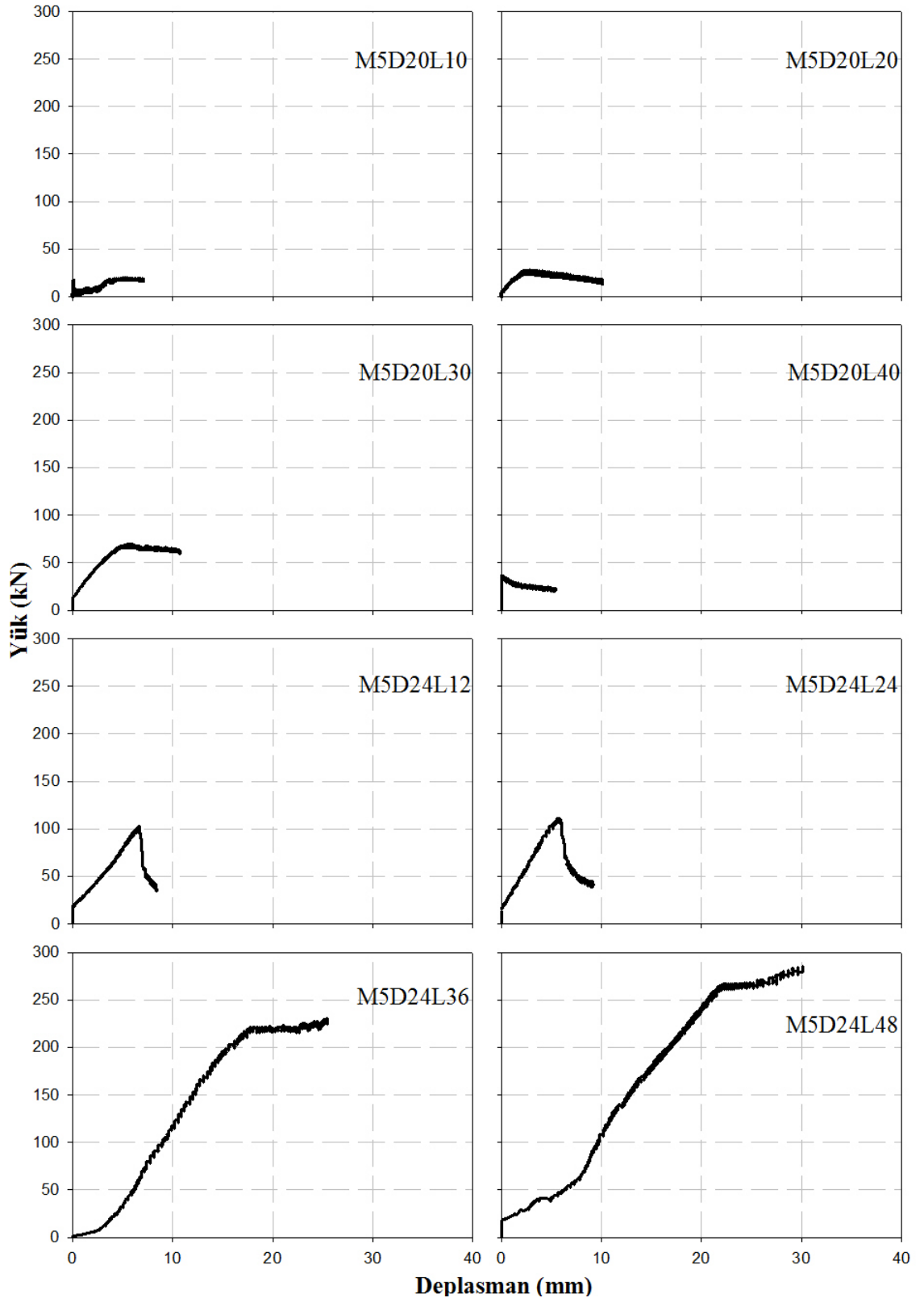
EK-4: M4 malzemesine ait yük-deplasman eğrileri.



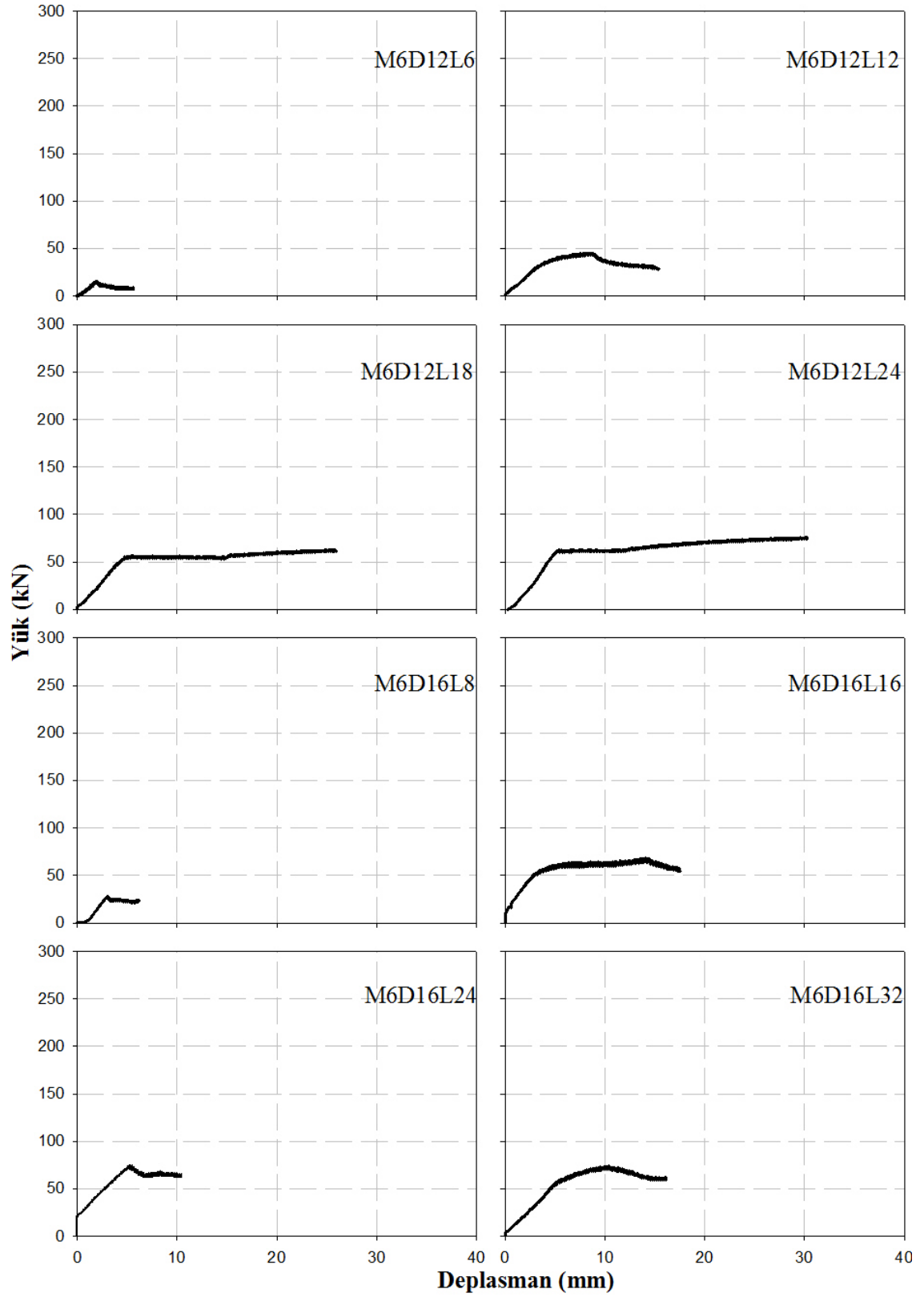


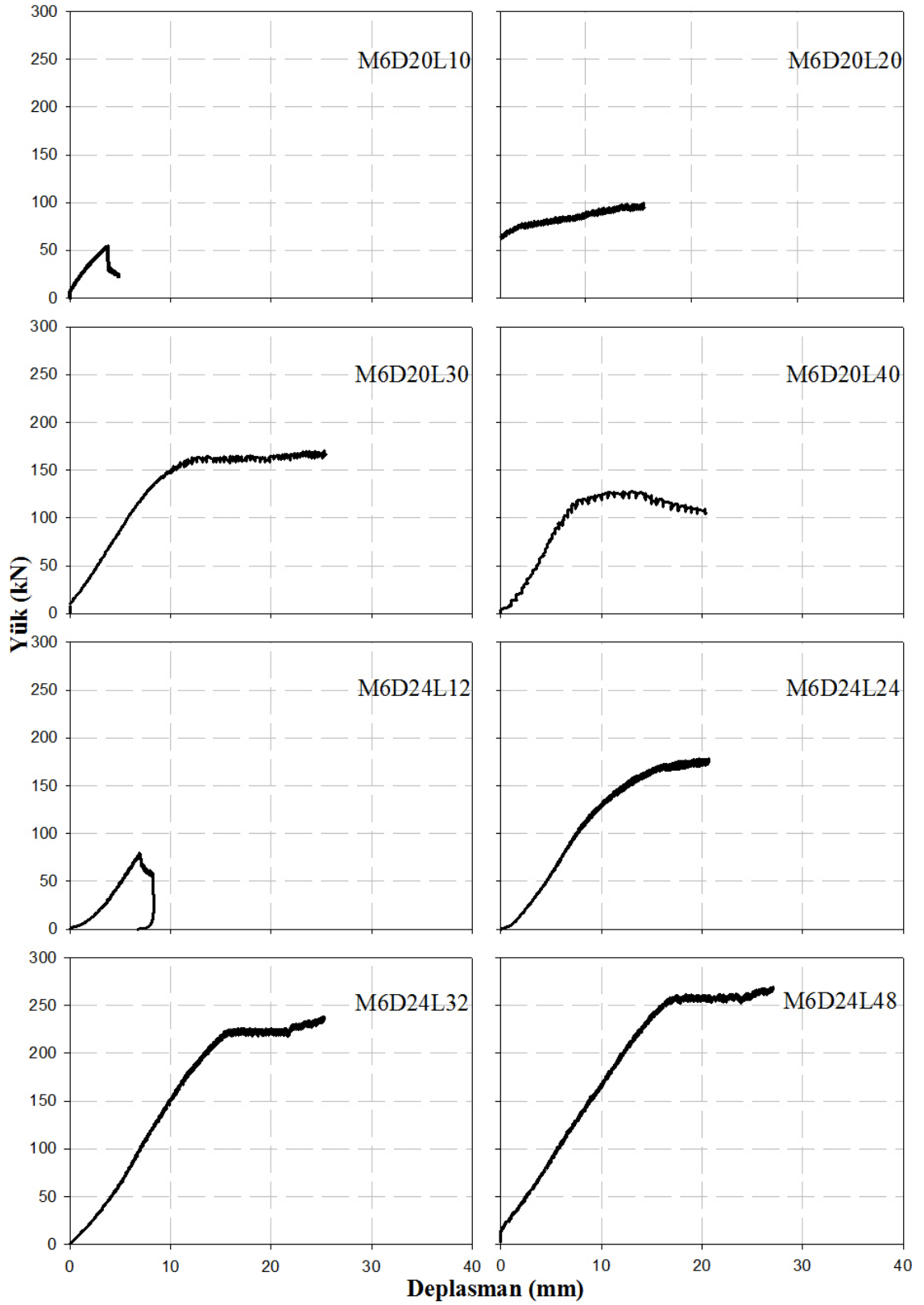
EK-5: M5 malzemesine ait yük-deplasman eğrileri.



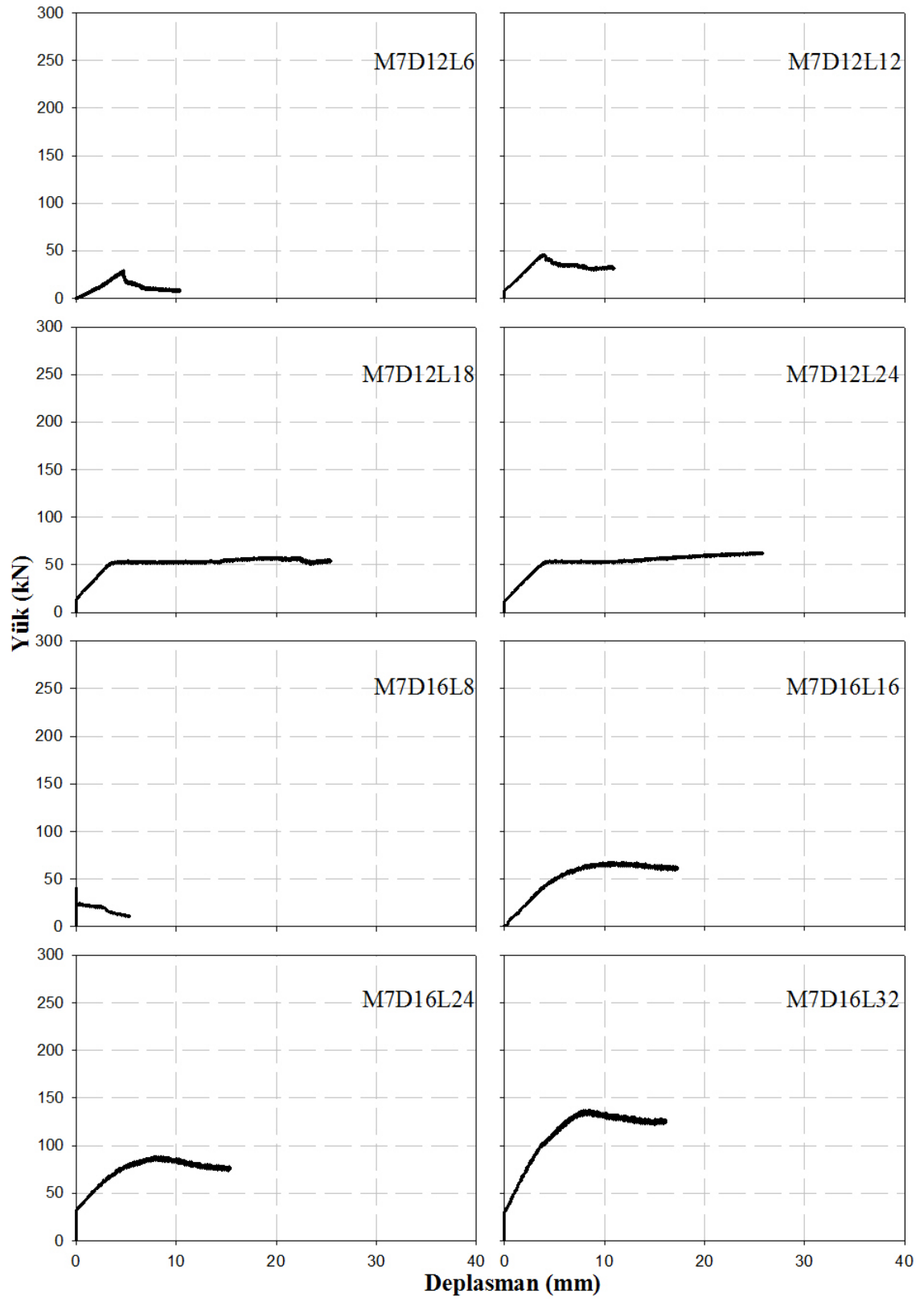


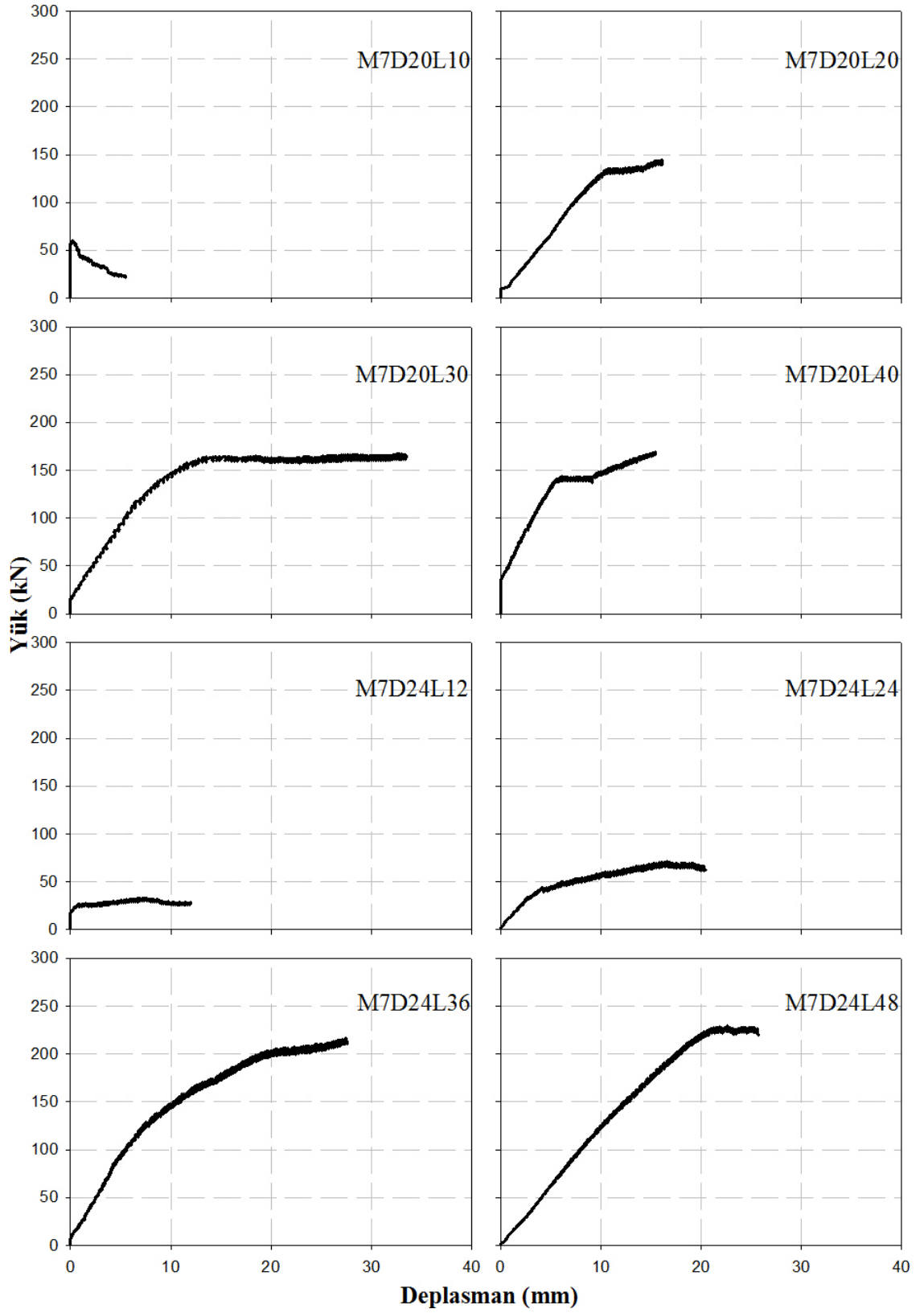
EK-6: M6 malzemesine ait yük-deplasman eğrileri.

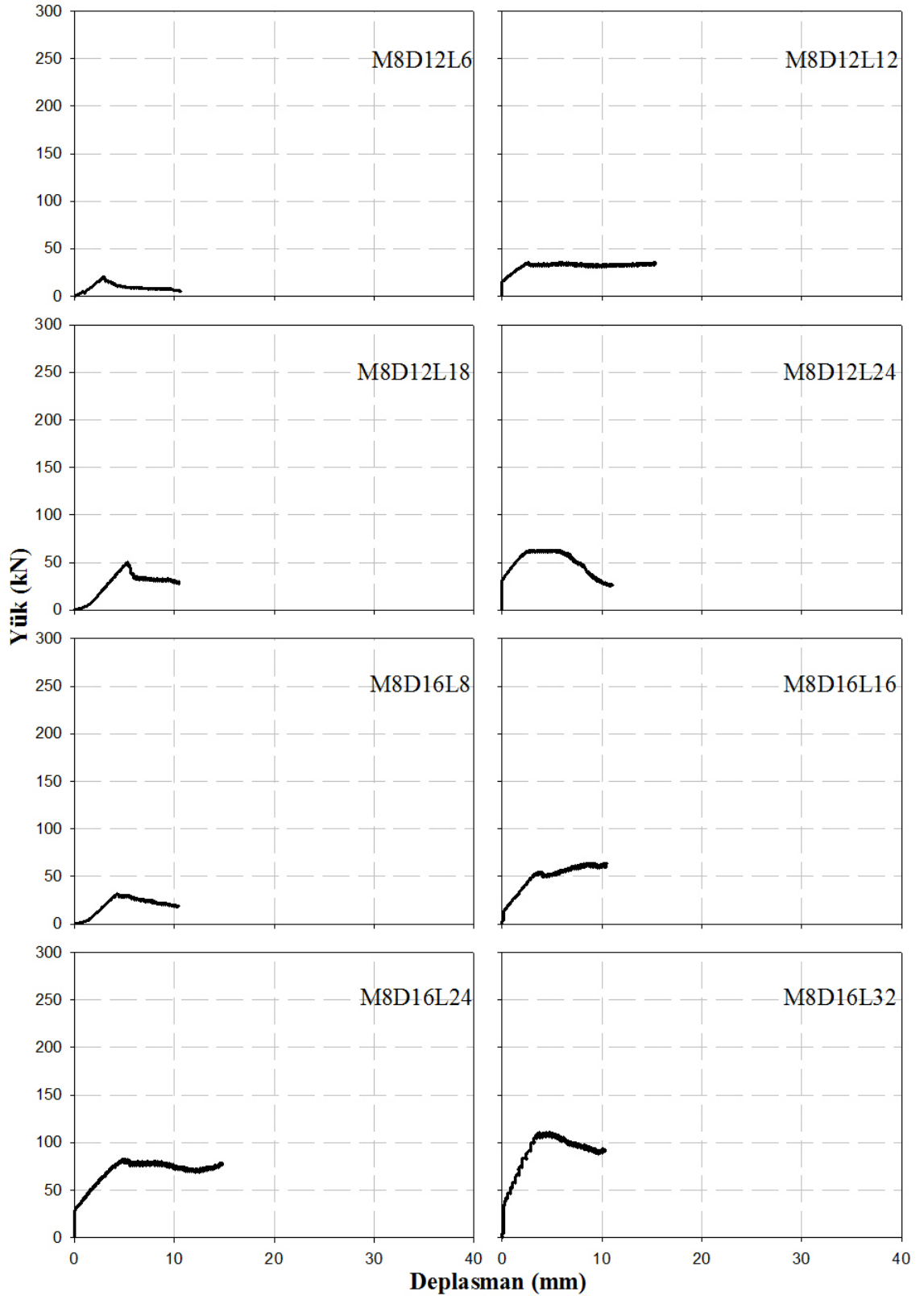


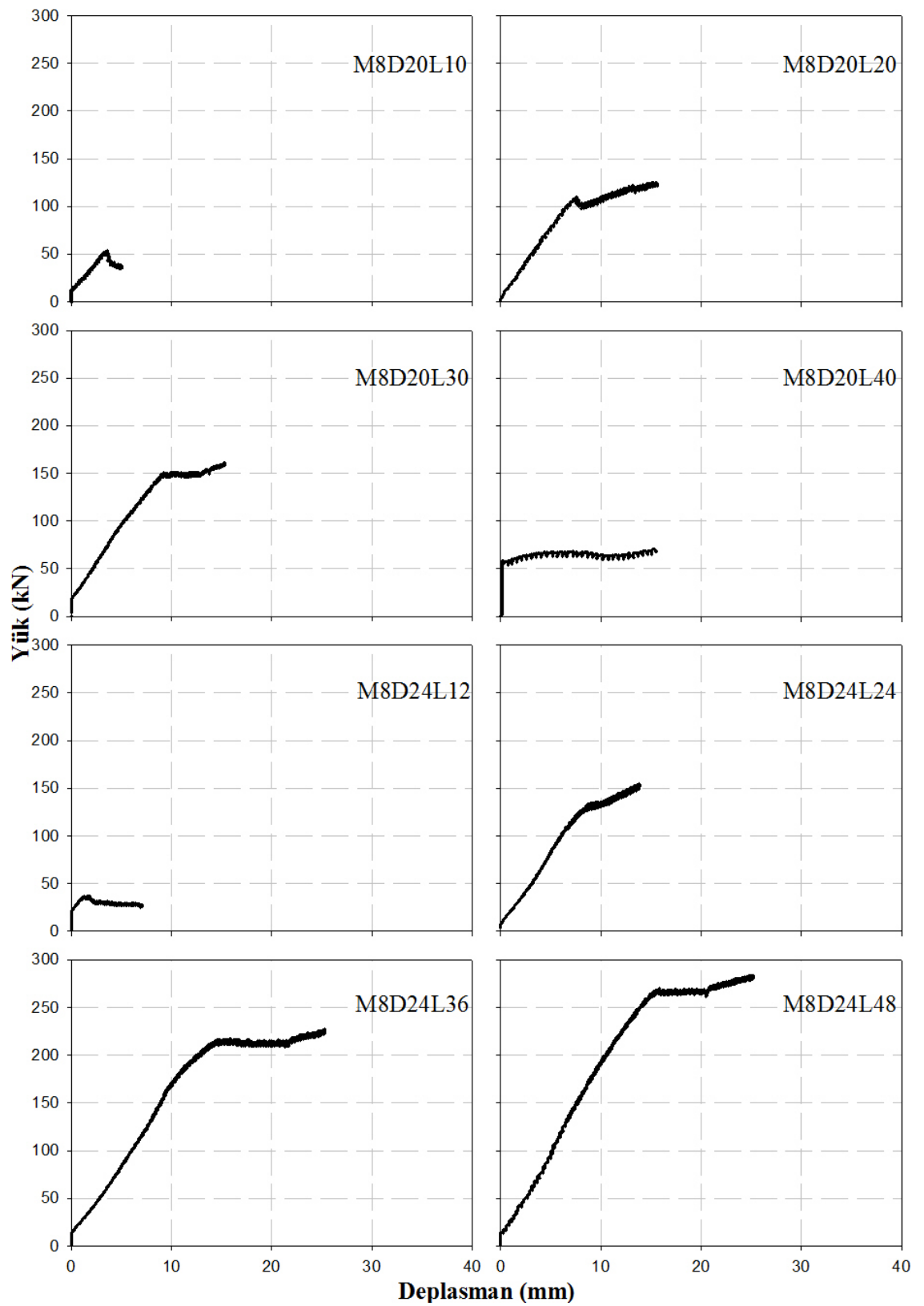


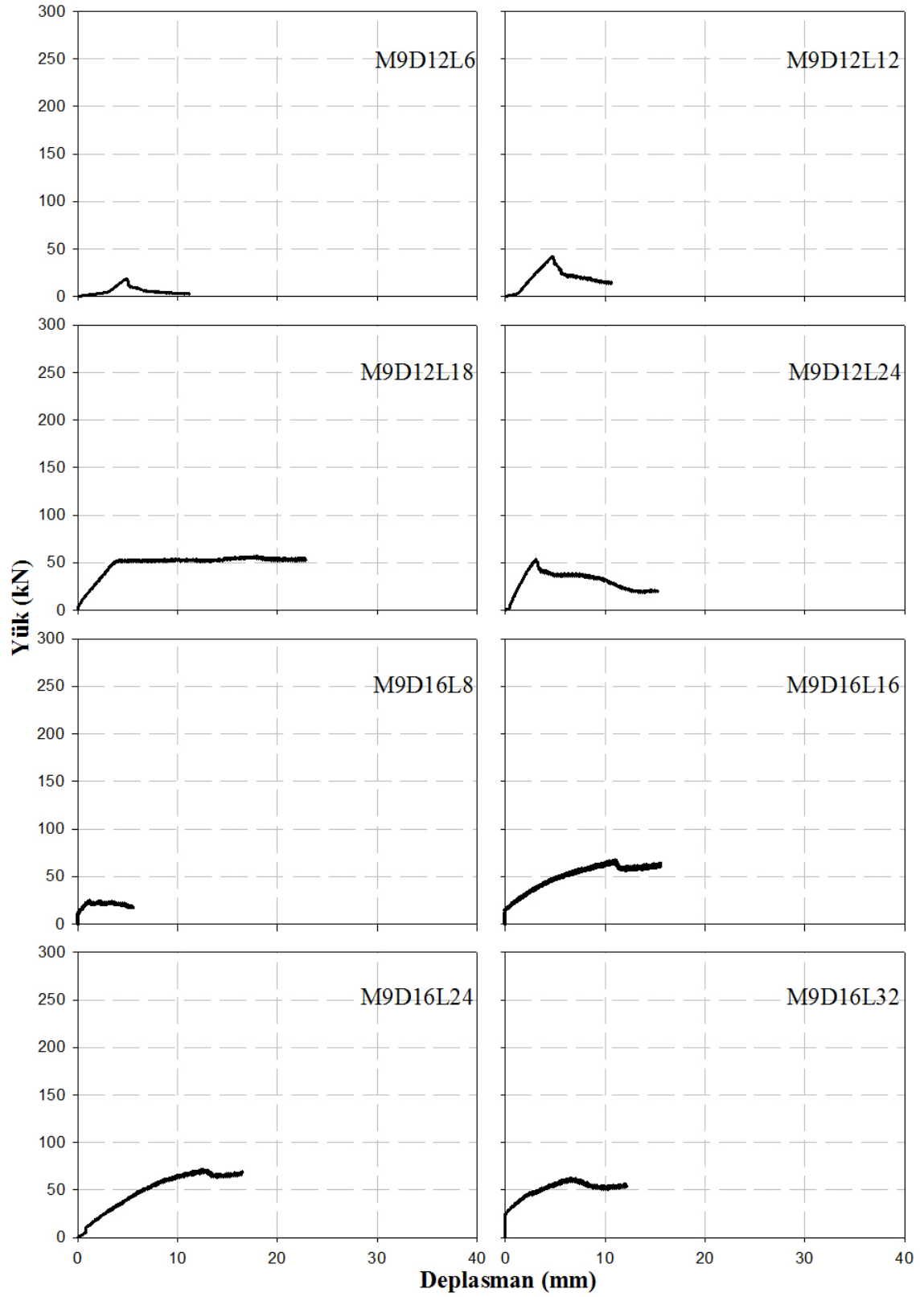
EK-7: M7 malzemesine ait yük-deplasman eğrileri.

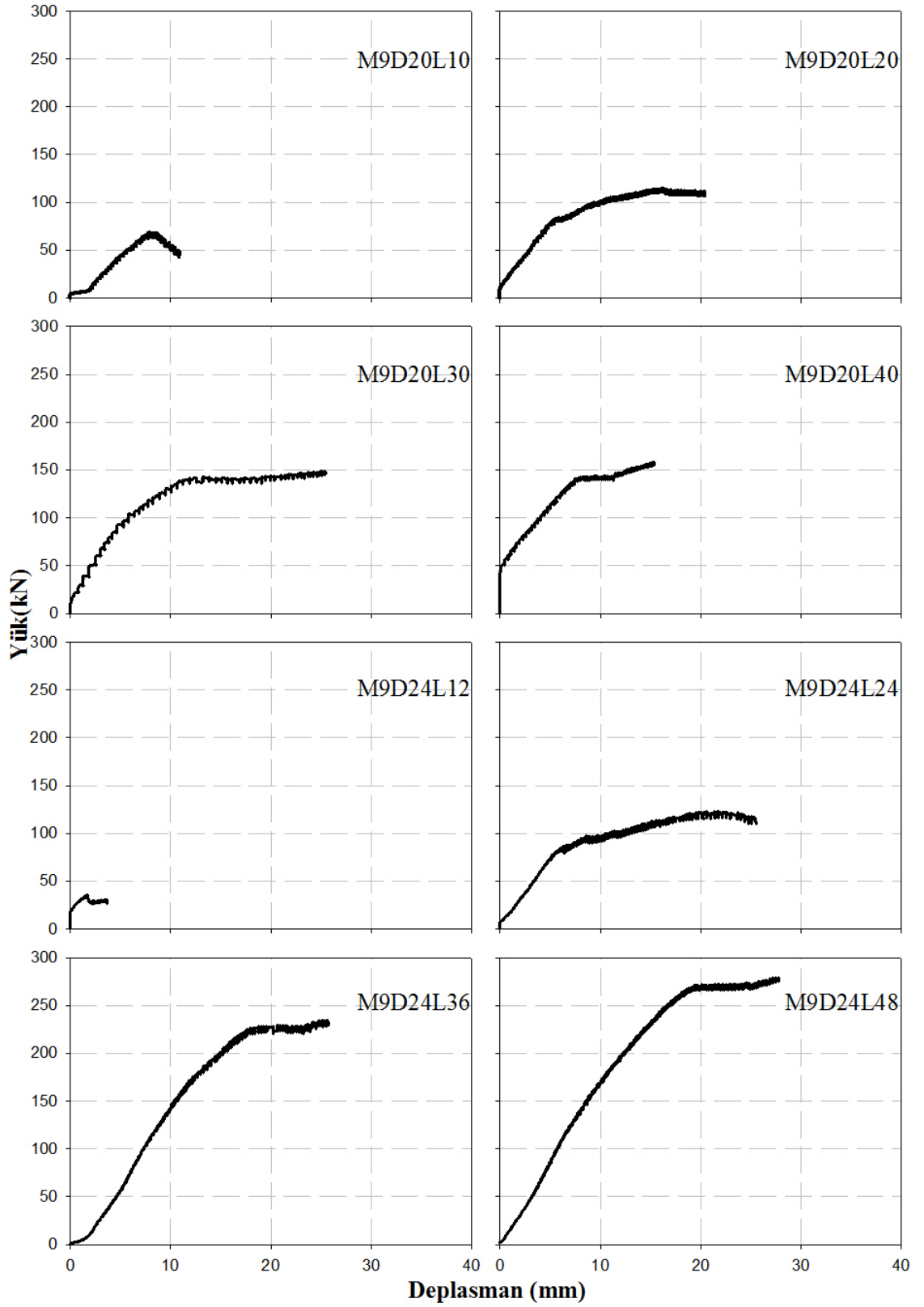


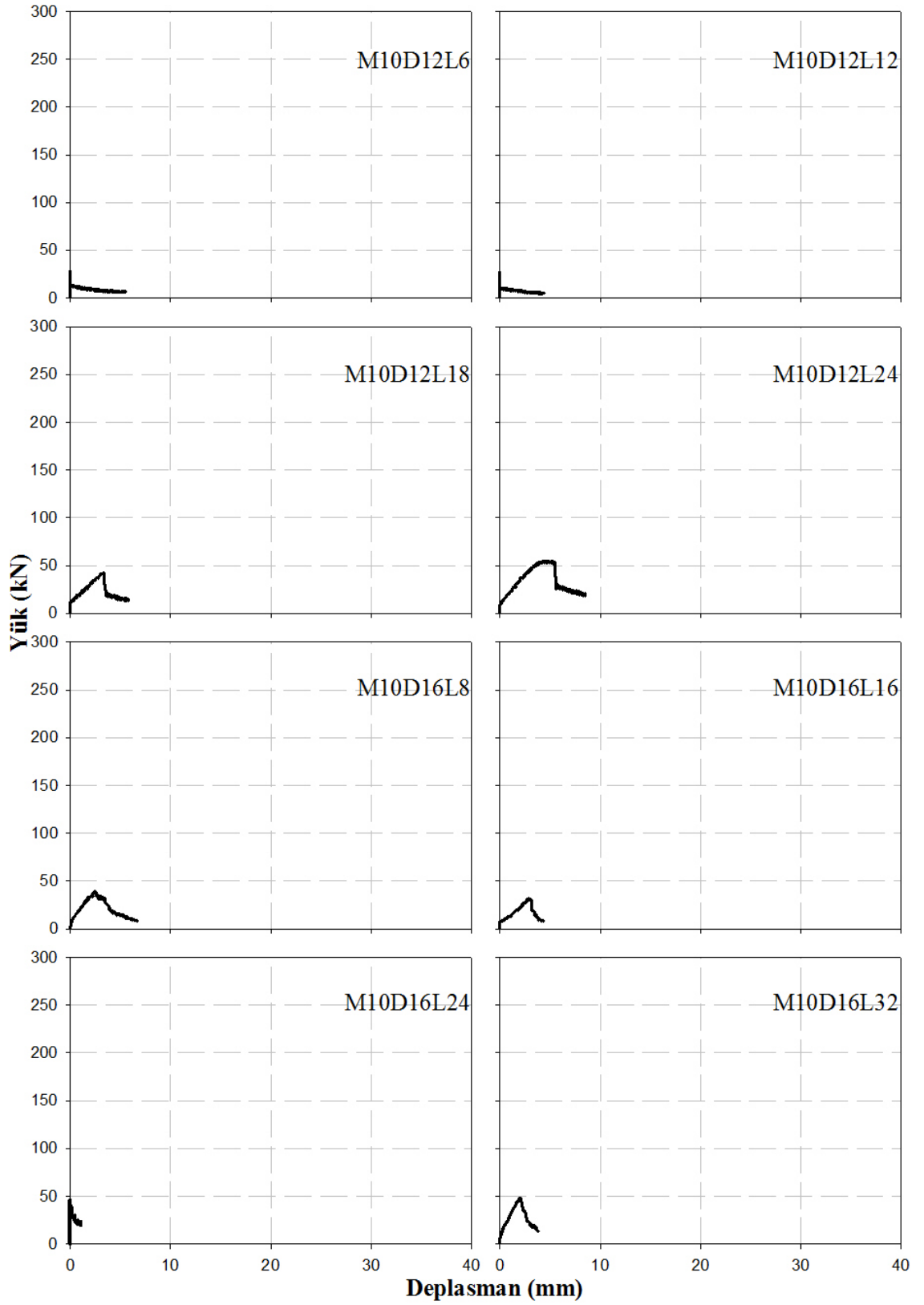


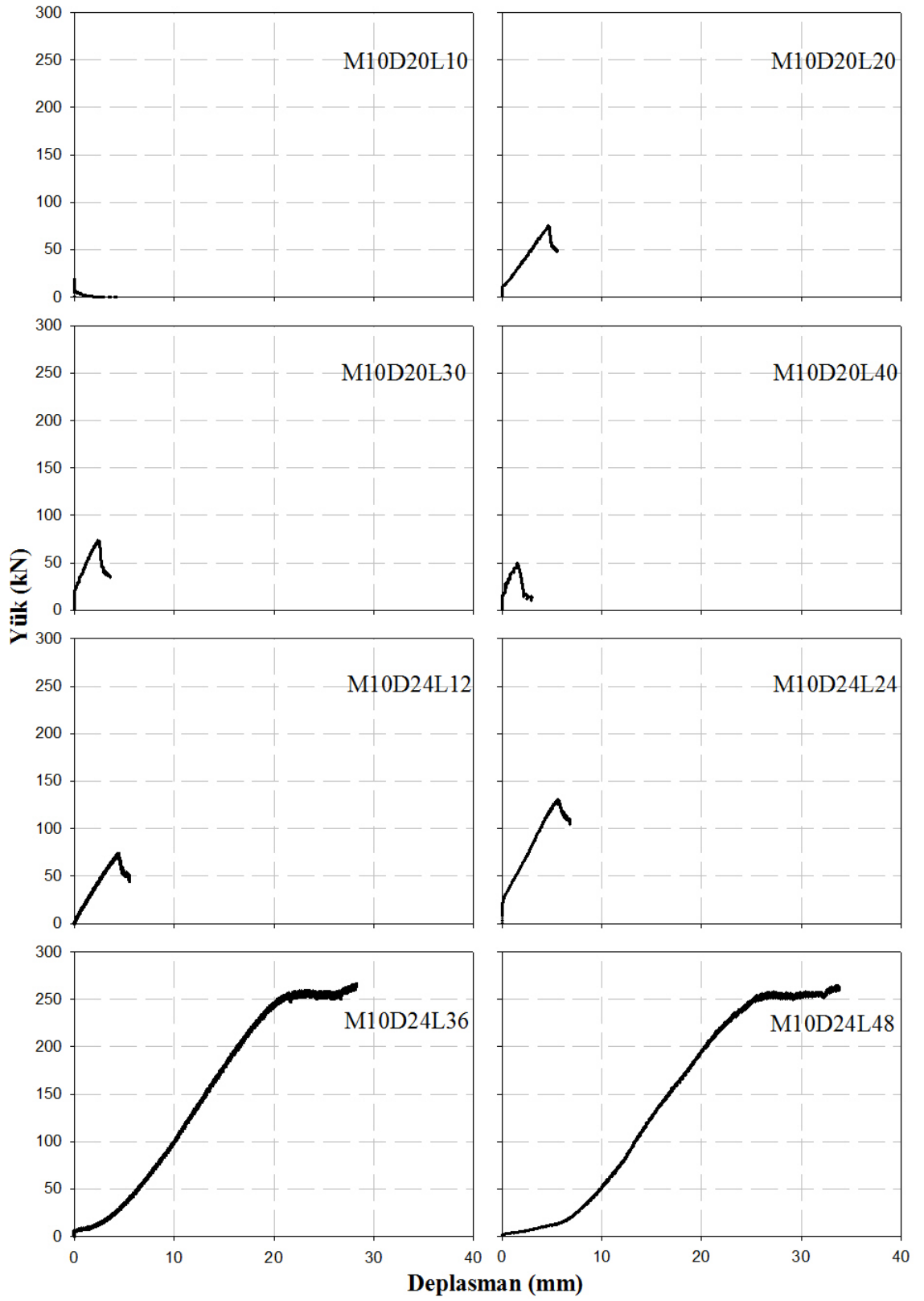
EK-8: M8 malzemesine ait yük-deplasman eğrileri.

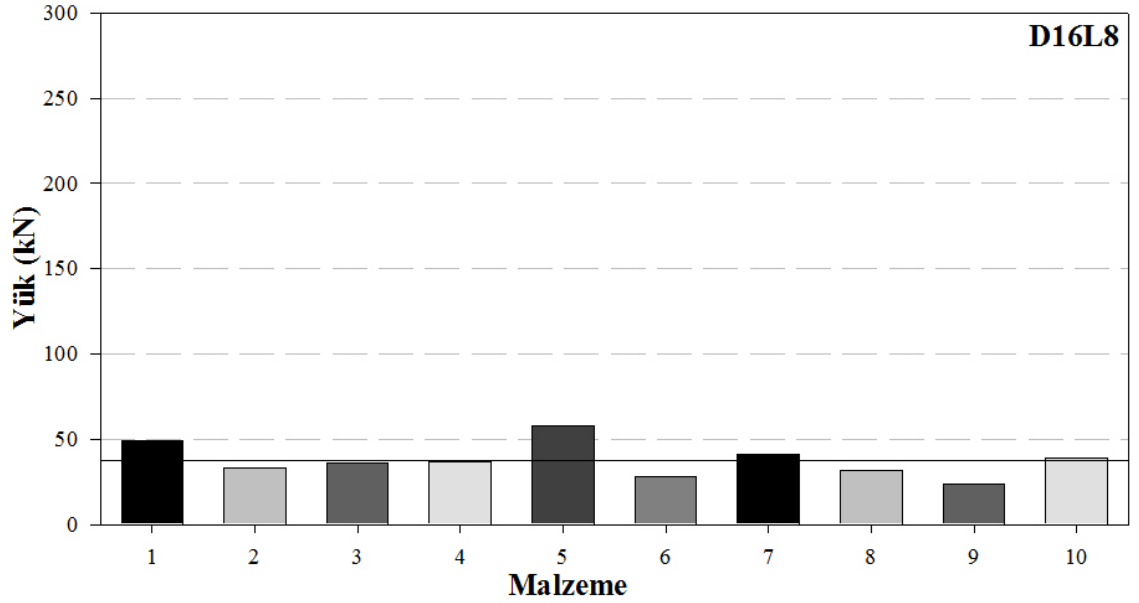


EK-9: M9 malzemesine ait yük-deplasman eğrileri.

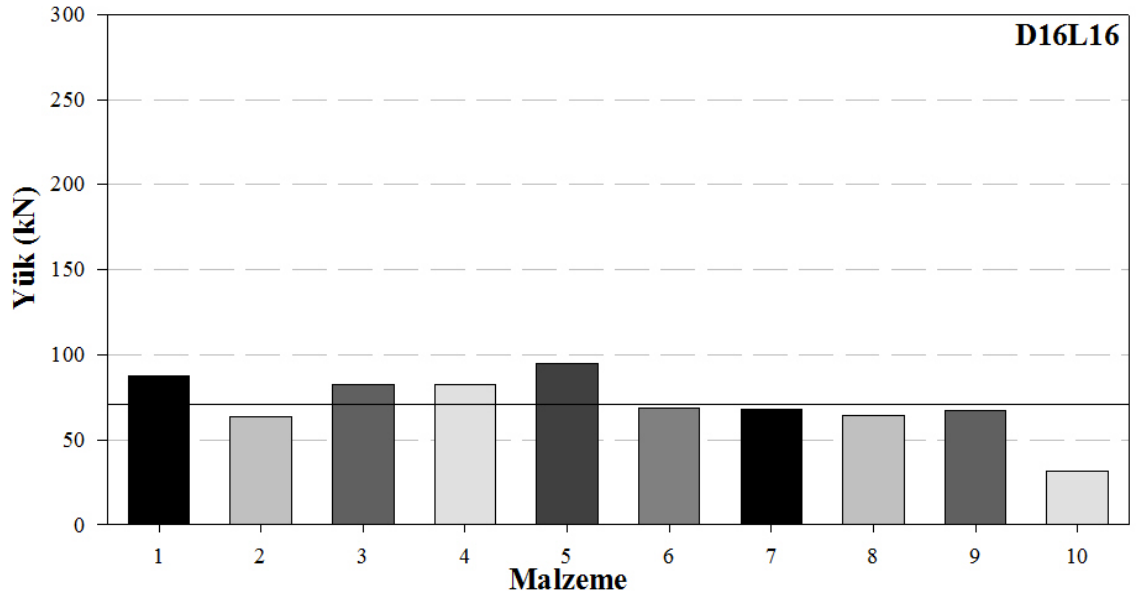


EK-10: M10 malzemesine ait yük-deplasman eğrileri.

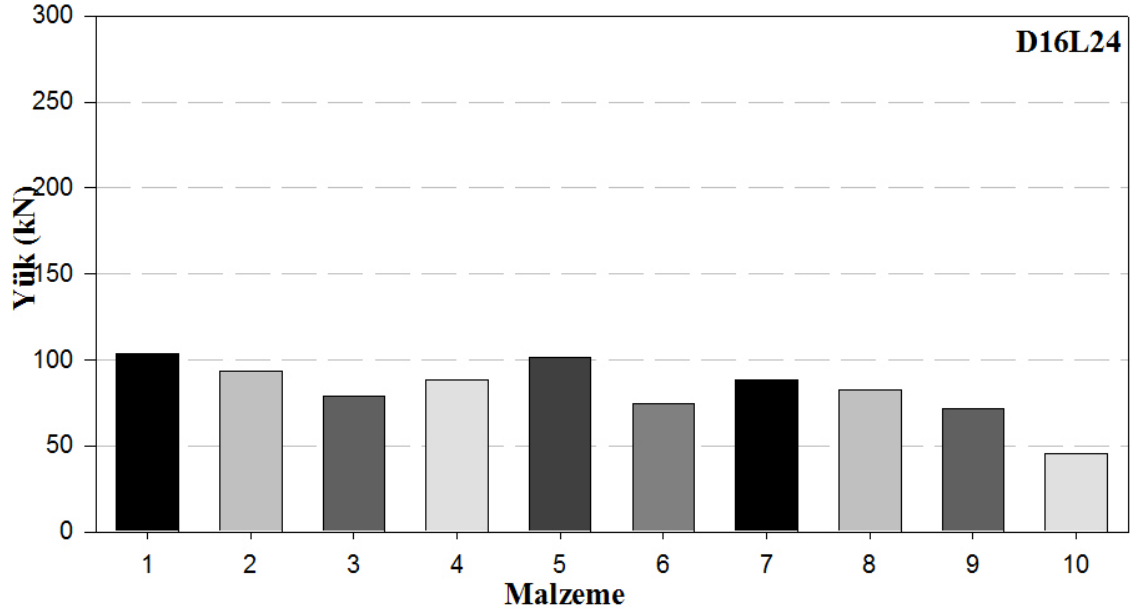


EK-11: 16mm çaplı ankraj elemanları.

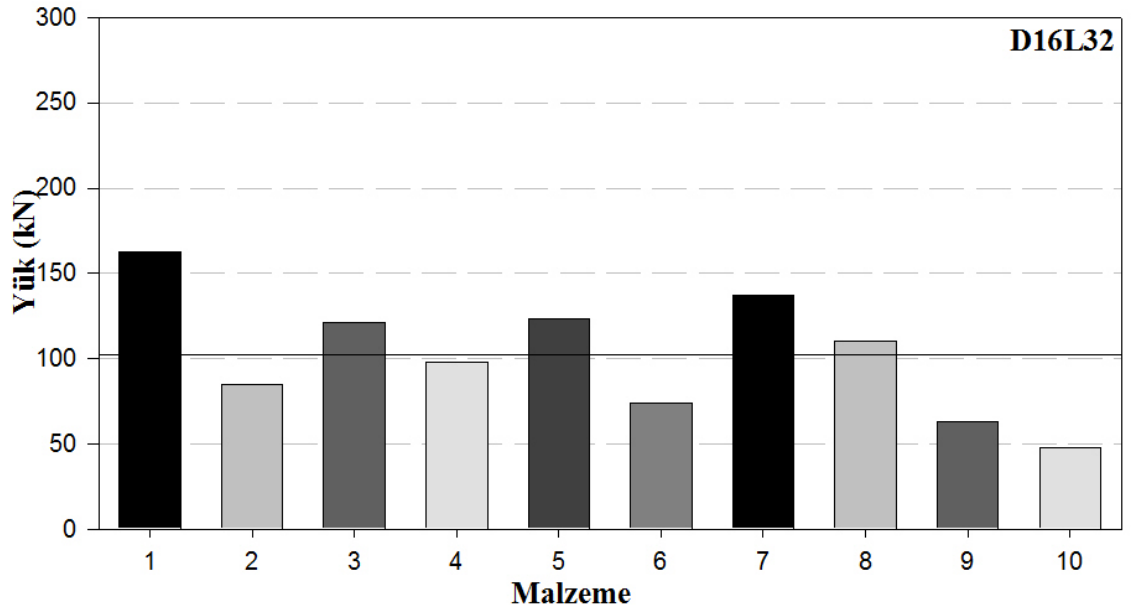
16 mm çaplı, 5Φ derinlikte yük değerleri.



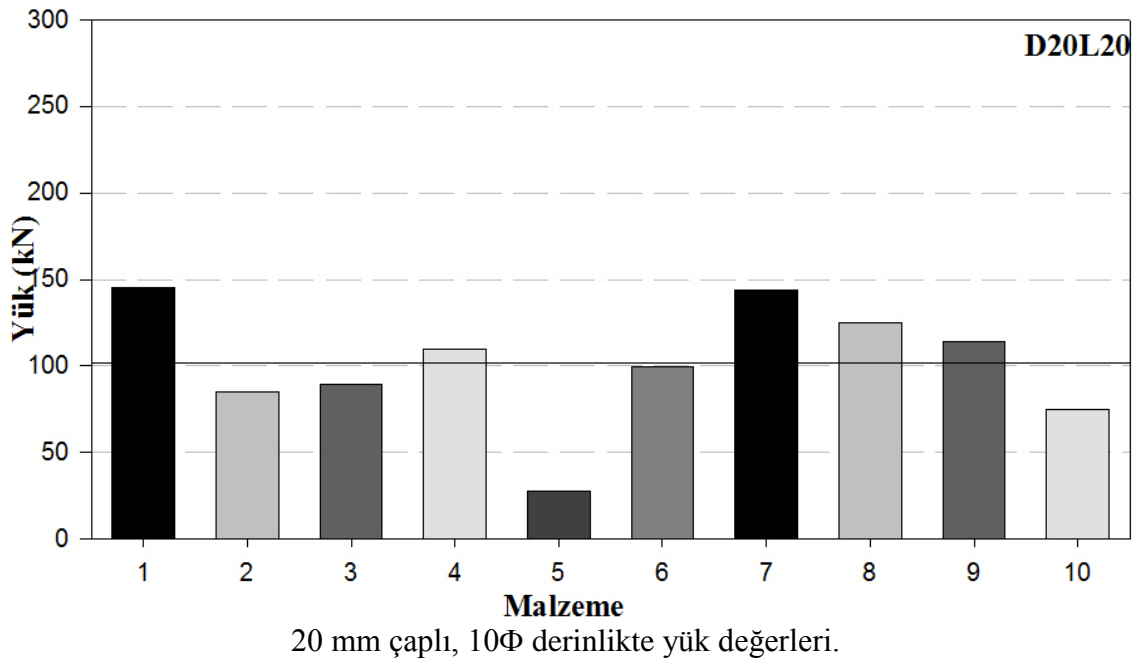
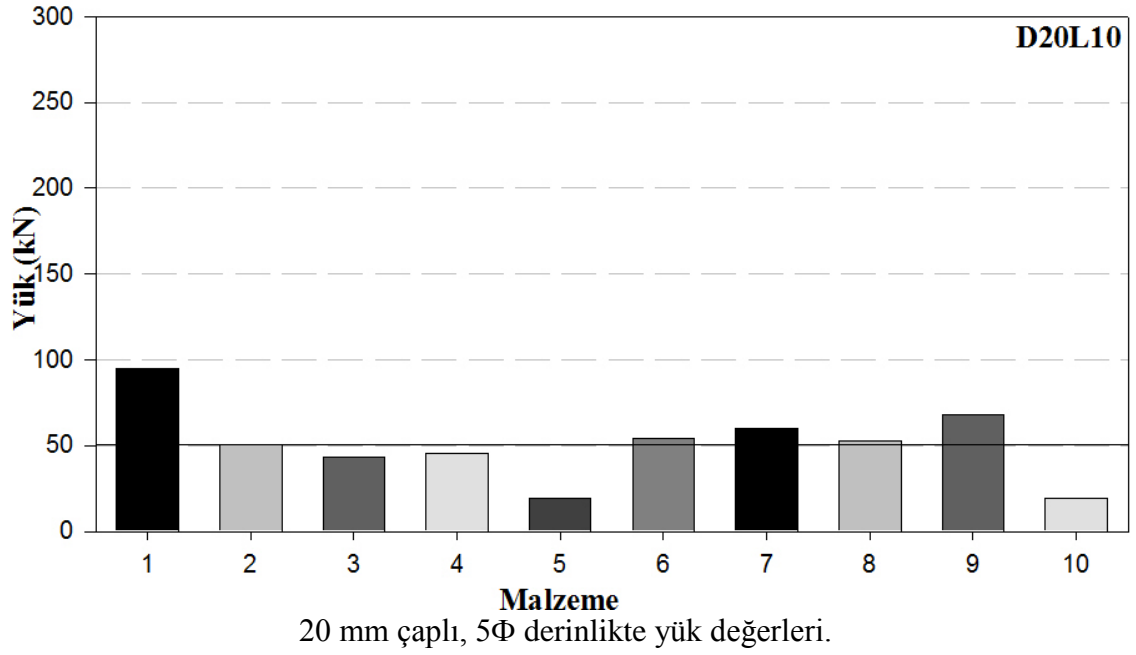
16 mm çaplı, 10Φ derinlikte yük değerleri.

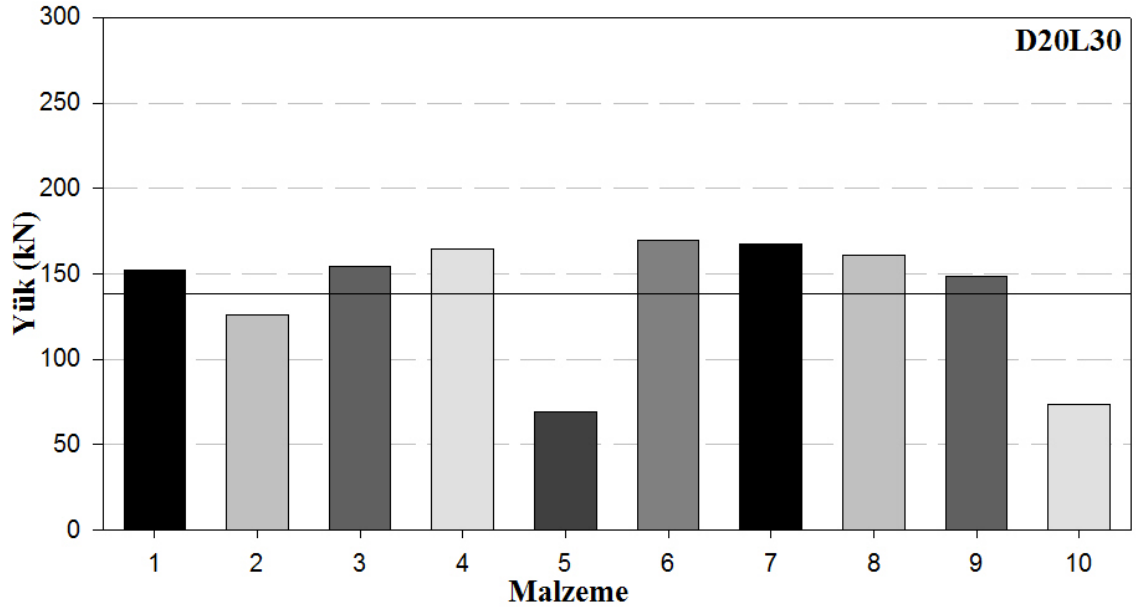


16mm çaplı, 15 Φ derinlikte yük değerleri.

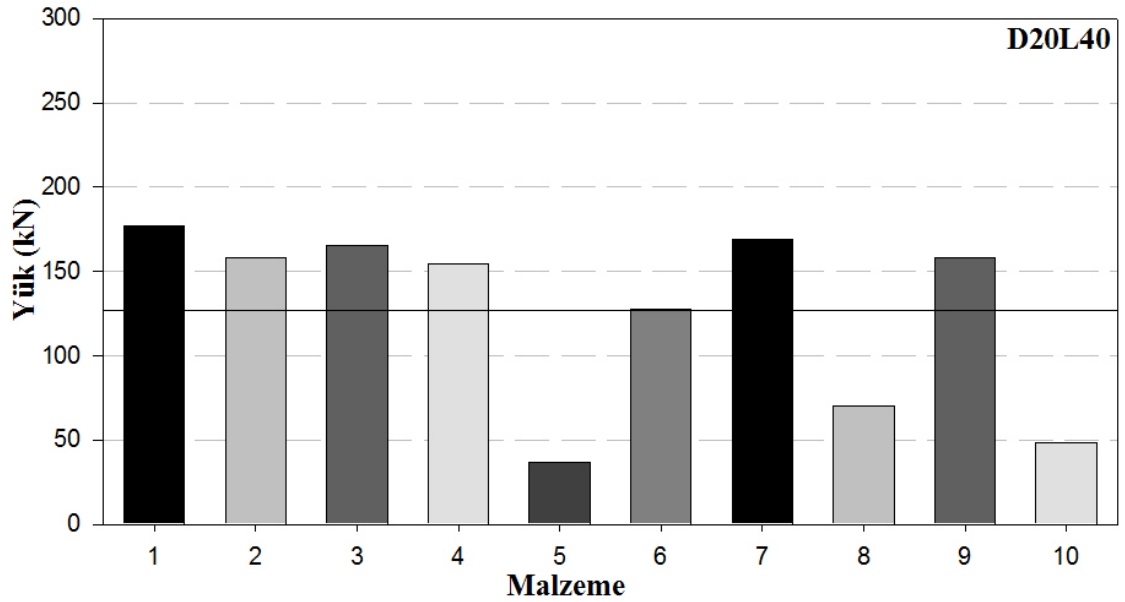


16mm çaplı, 20 Φ derinlikte yük değerleri.

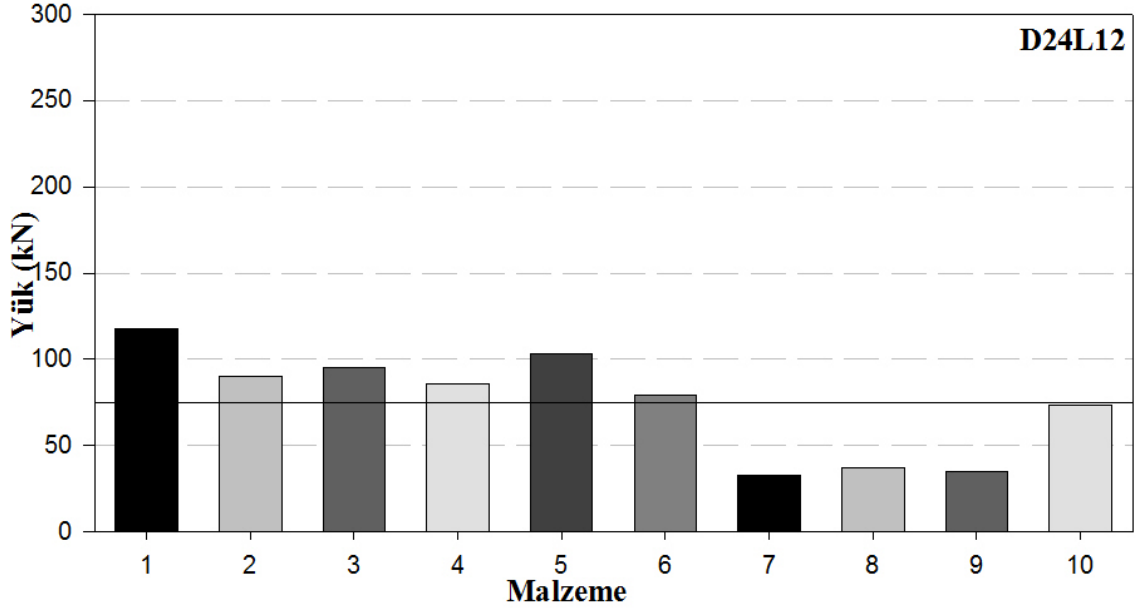
EK-12: 20 mm çaplı ankraj elemanları.



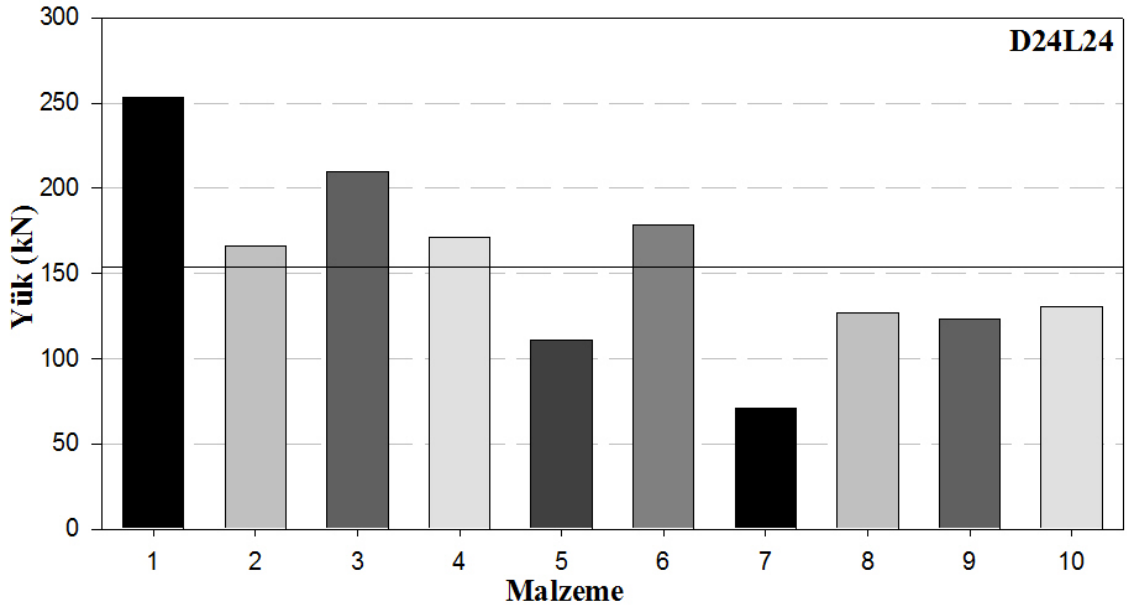
20 mm çaplı, 15 Φ derinlikte yük değerleri.



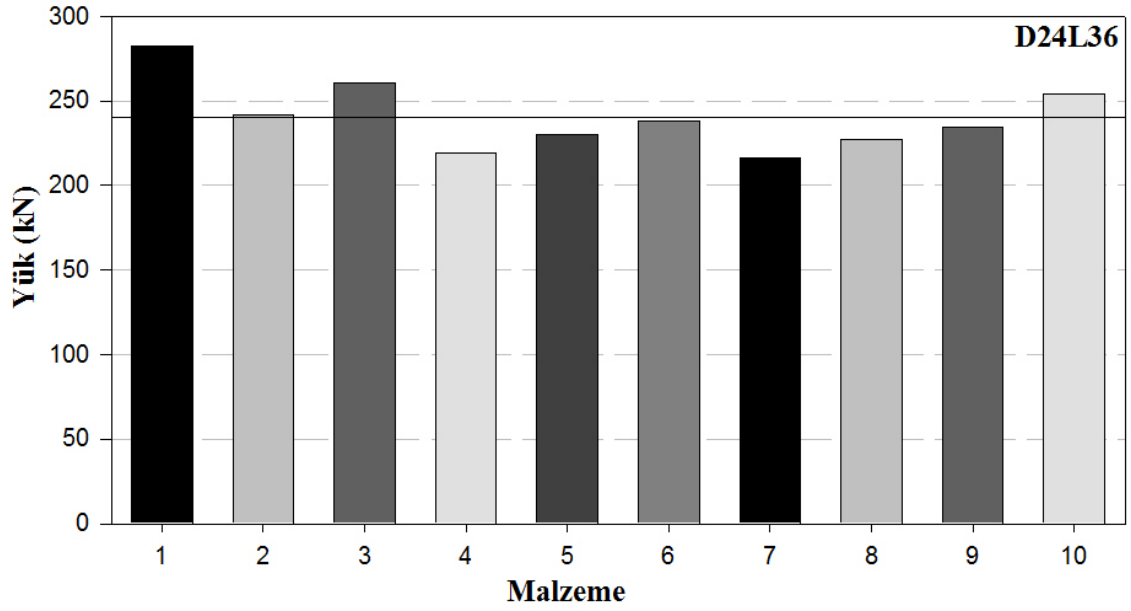
20 mm çaplı, 20 Φ derinlikte yük değerleri.

EK-13: 24 mm çaplı ankraj elemanları.

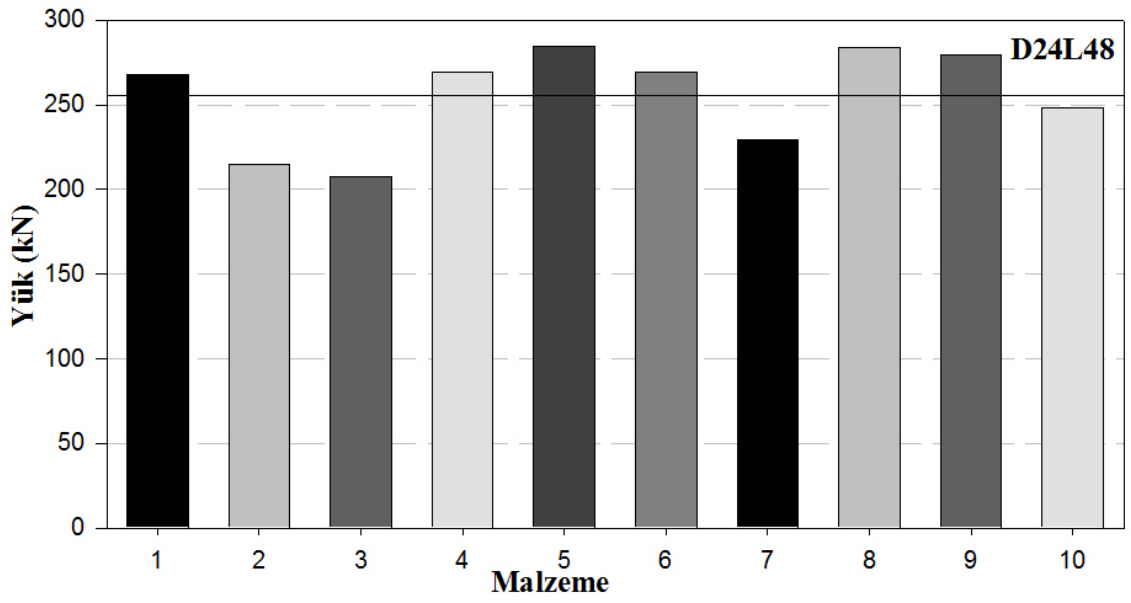
24 mm çaplı, 5Φ derinlikte yük değerleri.



24 mm çaplı, 10Φ derinlikte yük değerleri.



24 mm çaplı, 15Φ derinlikte yük değerleri.



24 mm çaplı, 20Φ derinlikte yük değerleri.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Murat ARAS
Doğum Yeri ve Tarihi : Pazaryeri, 20/02/1987



Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : KTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü (2012)
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyetleri : Çalışkan D. Ö., **Aras M.** “Kimyasal ankrajlarda eksenel çekme davranışının sonlu elemanlar metodu ile modellenmesi”, *8.UDMK*, İstanbul (2015).
Çalışkan D. Ö., Aydoğan İ., **Aras M.**, Çerçevik A. E., “Ankrajlarda epoksi kullanımı” *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1):69-74, Bilecik (2015).

İş Deneyimi

Projeler : 2013-02-BİL.03-03, “Ankraj Uygulamalarının Sonlu Elemanlar Metodu İle Değerlendirilmesi”, Bilecik (2015).
Çalıştığı Kurumlar : Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 2013-bugüne.

İletişim

Adres: Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Gülümbe Kampüsü 11210 BİLECİK.

Tel : 0228 214 1851

E-Posta Adresi: murat.aras@bilecik.edu.tr

Tarih: 10/07/2015