

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**SERA SİSTEMLERİNDE ÖNGERİLMELİ BETON KOLONLARIN TASARIMI
VE TAŞIMA KAPASİTELERİNİN HESAPLANMASI**

Seçkin SAYGIN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EKİM 2023

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**SERA SİSTEMLERİNDE ÖNGERİLMELİ BETON KOLONLARIN TASARIMI
VE TAŞIMA KAPASİTELERİNİN HESAPLANMASI**

Seçkin SAYGIN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EKİM 2023

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SERA SİSTEMLERİNDE ÖNGERİLMELİ BETON KOLONLARIN TASARIMI
VE TAŞIMA KAPASİTELERİNİN HESAPLANMASI**

**Seçkin SAYGIN
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bu tez TÜBİTAK-TEYDEB kapsamında 5220126 nolu proje ile ve Akdeniz
Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Koordinatörlüğü tarafından 6376 nolu
proje ile desteklenmiştir.**

EKİM 2023

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SERA SİSTEMLERİNDE ÖNGERİLMELİ BETON KOLONLARIN TASARIMI
VE TAŞIMA KAPASİTELERİNİN HESAPLANMASI**

Seçkin SAYGIN
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 27/10/2023 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ferhat ERDAL (Danışman)

Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Prof. Dr. Serdar ÇARBAŞ

ÖZET

SERA SİSTEMLERİNDE ÖNGERİLMELİ BETON KOLONLARIN TASARIMI VE TAŞIMA KAPASİTELERİNİN HESAPLANMASI

Seçkin SAYGIN

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. FERHAT ERDAL

Ekim 2023; 106 sayfa

Geniş bir kullanım alanına sahip olan öngerilmeli beton kolon (ÖBK) sistemleri bağ, bahçe, park sahalarında ve seralarda, arsa ve tarla gibi özel arazili bölgelerin yanı sıra elektrik direkleri ve aydınlatma sahalarında uzun vadeli olarak kullanılabilir. Farklı kesitlerdeki öngerilmeli beton kolonlar; farklı adet, çap ve sargı sayılı öngerme çeliklerine optimum ön gerilme verilmesi ve yüksek dayanımlı hazır betonun vibrasyonlu kalıplara dökülmesiyle üretilmektedir. Bu kolonların optimum tasarımlarının yapılması ve farklı yük koşulları altında yük taşıma kapasitelerinin belirlenmesi çalışmasının öncelikli amacı olarak ortaya çıkmaktadır.

Normal betonarme kolonlarda kullanılan donatıların yerine öngerilme toronları yerleştirilmesi ile öngerilmeli beton direkler elde edilmektedir. Normal betonarme kolonlara kıyasla, öngerilmeli kolonların ağırlık, dayanım ve daha az donatı gereksiniminden dolayı ekonomi sağladığı görülmektedir. Direklerin pürüzsüz yüzeyinin yanı sıra daha yoğun ve az geçirgen yapısı içindeki toronların korozyonu önlemektedir. Ayrıca kolona öngerilme uygulanması, maruz kaldığı yük altında daha az deplasman ve daha az burkulma yapmasını sağlamaktadır. Bu kolon birleşik eksenel ve eğilme yükleri altında tasarlanmalı ve analiz edilmelidir.

Yapılan bu tez çalışmasında sera sistemlerinde öngerilmeli beton kolonların tasarımı ve taşıma kapasitelerinin hesaplanması üç aşamada incelenecektir. İlk bölümde, tasarım örneği ile öngerilmeli beton kolonun tasarımı, adım adım anlatılarak eksenel yük – moment etkileşimi verileri ve grafikleri oluşturulmuştur. Elde edilen veriler aracılığı ile taşıma kapasiteleri hakkında bilgi edinilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde tasarım örneği olarak verilen öngerilmeli beton kolonların fabrikasyon süreci ile üretimi ve yükleme testleri gerçekleştirilmiştir. 24 adet kolon numunesi üzerinde yapılan deneylerin sonucunda elde edilen veriler ışığında bu kolonların gerçek davranışları elde edilmeye çalışılmıştır. Tezin üçüncü bölümde ise öngerilmeli kolonların kullanılmasının planlandığı sera yapılarındaki uygunluğu, örnek bir sera yapısı üzerinde kapsamlı olarak incelenmiştir. Ayrıca üretilen bu kolonların kullanılması planlanan alana uygunluğu yapı analiz programı SAP2000 ortamında modellenerek doğrulanmıştır. Tasarım yapılırken Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY-2018), TS EN 1991-1-3, TS EN 1991-1-4 gibi ülkemizde kullanılan yönetmeliklerin yanı sıra EN 13031 ve EN 10138-3 gibi Avrupa Standartları yönetmelikleri dikkate alınmıştır.

Taşıyıcı sistem elemanları çelik profillerden oluşan sera sistemleri ile kıyaslandığında; ön analizler neticesinde kesite bağlı kullanılacak beton miktarı, öngerme uygulanmış çelik toron sayısı, kalıp işçiliği ve yerinde uygulaması dikkate alındığı zaman maliyeti yarıdan fazla düşürülebileceği hesaplanmıştır. Bu yüzden, ön gerilmeli betonarme kolonların yapısal davranışlarını içeren bir tasarım önerisinin geliştirilmesi yeni yapılacak sera ve örtü sistemleri için ekonomik fayda sağlayacaktır.

ANAHTAR KELİMELELER: Öngerilme, Öngerilmeli Beton Kolon, Sera Sistemleri, Tasarım, Taşıma Kapasitesi

JÜRİ: Doç. Dr. Ferhat ERDAL

Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Prof. Dr. Serdar ÇARBAŞ



ABSTRACT

DESIGN AND CALCULATION OF THE LOAD CARRYING CAPACITY OF PRESTRESSED CONCRETE COLUMNS IN GREENHOUSE SYSTEMS

SEÇKİN SAYGIN

MSc Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ferhat ERDAL

October 2023; 106 pages

Prestressed concrete column (PCC) systems, with a broad range of applications, can be used in various environments such as gardens, park areas, and greenhouses, as well as in private land areas like plots and fields, and for long-term applications in electricity poles and lighting fields. Prestressed concrete columns of different sections are produced by providing optimal prestressing to varying numbers, diameters, and winding counts of prestressing steels, along with casting high-strength ready-mixed concrete into vibrated molds. The primary objective is to determine the optimum designs of these columns and ascertain their load-carrying capacities under different load conditions.

Prestressed concrete columns are obtained by placing prestressing tendons in lieu of the reinforcement used in regular reinforced concrete columns. In comparison to regular reinforced columns, prestressed columns exhibit economy due to lower weight, enhanced strength, and reduced requirement for reinforcement. The smooth surface of the columns, along with the dense and less permeable structure of the tendons inside, prevents corrosion. Additionally, prestressing the column ensures less displacement and less deformation under applied loads. These columns need to be designed and analyzed under combined axial and bending loads.

This thesis work focuses on the design and load-carrying capacity calculation of prestressed concrete columns in greenhouse systems, unfolding in three stages. In the first stages, the design of a prestressed concrete column is explained step by step using a design example, and axial load-moment interaction data and graphs are generated. Information about load-carrying capacities is obtained from the collected data. In the second stage, the fabrication process and loading tests of the prestressed concrete columns given as design examples are carried out. Based on the results obtained from experiments on 24 column samples, an attempt is made to understand the real behavior of these columns. In the third stage of the thesis, the suitability of using prestressed columns in greenhouse structures is extensively examined using a sample greenhouse structure. Moreover, the suitability of using these columns in the intended area is validated by modeling in the SAP2000 structural analysis program. During the design, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY-2018), TS EN 1991-1-3, TS EN 1991-1-4, and European Standards regulations such as EN 13031 and EN 10138-3 are taken into account.

When compared to greenhouse systems consisting of steel profiles as structural components, preliminary analyses suggest that considering the concrete quantity depending on the section, the number of prestressed steel tendons applied, formwork construction, and on-site application, the cost can be reduced by more than half. Therefore, developing a design proposal that includes the structural behavior of prestressed reinforced concrete columns will provide economic benefits for new greenhouse and covering systems.

KEYWORDS: Prestress, Prestressed Concrete Column, Greenhouse Systems, Design, Load Carrying Capacity

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Ferhat ERDAL

Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Prof. Dr. Serdar ÇARBAŞ

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, öncelik sera yapılarında olmak üzere park, bağ ve bahçe sahalarında kullanılan çelik kolonların, maliyetini oldukça düşürdüğü için, yerini alması düşünülen öngerilmeli beton kolonların tasarımı çalışmalarına katkıda bulunabilmesi amacı ile yapılmıştır.

Yüksek lisans eğitimimin her anında bana yardımlarını sunan, bilgi ve deneyimlerini paylaşan, tezimin tamamlanmasında emeğini esirgemeyen saygıdeğer danışmanım Doç. Dr. Ferhat ERDAL'a teşekkür ederim.

Aileme, koşulsuz sevgileri, verdiği emekleri, güvenleri ve her daim yanımda oldukları için teşekkür ederim. Başta Cenani YILMAZ olmak üzere, Fatih İNCİR'e, Fatma YILMAZ'a, Hasan ÇELİK'e, Deniz ÇOLAK'a, Ali YILMAZ'a, Koray KAHYA'ya ve tüm Tasarım Çelik Pro. İml. Mon. İnş. San. Tic. Ltd. Şti. çalışanlarına verdikleri emek, verdikleri bilgi ve samimiyetleri için ayrıca Sanan Gasımov'a yardımları için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	7
3. MATERYAL ve METOT	14
3.1. Materyal	14
3.2. Metot	22
3.2.1. Yapım metodu.....	22
3.2.2. Deney metodu	30
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	36
4.1. Öngerilmeli Beton Kolonların Taşıma Gücü Hesaplanması.....	40
4.2. Öngerilmeli Beton Kolonların Deneyi	60
4.2.1. Eğilme deneyi.....	62
4.2.2. Yatay çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi	71
4.2.3. Eğik çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi	79
4.3. Sera Yapısındaki Öngerilmeli Beton Kolonların SAP2000 Analizi	96
5. SONUÇ	103
6. KAYNAKLAR.....	105
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Sera Sistemlerinde Öngerilmeli Beton Kolonların Tasarımı ve Taşıma Kapasitelerinin Hesaplanması” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

..... / /

Seçkin SAYGIN



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A_g : Kolon kesitinin alanı

$A_{p1,2}$: Kolonların çekme veya basınç yüzeyindeki kablo alanları

a : Eşdeğer dikdörtgen basınç bloğu derinliği

b : Kolon kesit genişliği

C_m : Burkulma moment katsayısı

c : Tarafsız eksen derinliği

c_{peak} : Maksimum eğilme rijitliğini veren tarafsız eksen derinliği

d : Yararlı yükseklik

d' : Donatı merkezinden ölçülen beton örtüsü

E_c : Betonun elastisite modülü

E_s : Toronun elastisite modülü

E_{TC} : Betonun tanjant modülü

EI : Eğilme rijitliği

EI_{peak} : Maksimum eğilme rijitliği

EI_{tan} : Eş merkezli yükleme altında ince kolonun teğet eğilme sertliği

e : Eksantrisite

$e_{A,B}$: A veya B noktasındaki eksantriklik

e_{peak} : Eğilme rijitliğinin maksimum hale geldiği eksantriklik

F : Kuvvet, Yük

F_c : Betonda basınç kuvveti

f_c : Betonun basınç gerilmesi

f_{ck} : Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı

f_{ctk} : Betonun karakteristik silindir çekme dayanımı

f_{cu}	: Betonun karakteristik eşdeğer küp dayanımı
f_y	: Çeliğin karakteristik akma dayanımı
h	: Kolon kesit yüksekliği
I_g	: Kolon kesitinin atalet momenti
k	: Kolon mesnetlenme durumuna göre değişkenlik gösteren burkulma boyu katsayı
k_1	: Eşdeğer dikdörtgen basınç bloku derinlik katsayısı
l	: Kolon yüksekliği
l_u	: Kolon temiz yüksekliği
M_A	: A noktasındaki moment
$M_{A1,B1}$	: A veya B noktasındaki ölçeklendirilmiş moment
M_u	: Taşıma gücü momenti
M_n	: Nominal moment
$M_{1,2}$	: Kolon ucundaki küçük veya büyük moment
$M_{1,2ns}$	: Kayda değer yanal ötelenmeye neden olmayan yükler nedeniyle basınç elemanının ucundaki ölçeklendirilmiş uç momentler
$M_{1,2s}$	: Kayda değer yanal ötelenmeye neden olan yükler nedeniyle basınç elemanının ucundaki ölçeklendirilmiş uç momentler,
P	: Eksenel yük
$P_{A,B}$	: A veya B noktasındaki eksenel yük
P_u	: Taşıma gücü eksenel yük değeri
P_n	: Nominal eksenel yük
$P_{1,2}$	: Kolon iki yüzündeki toronların taşıdığı kuvvet
r	: Dönme yarıçapı, atalet yarıçapı
V	: Kesme kuvveti
Δ	: Deplasman, Yer değiştirme
$\Delta_{\epsilon 1,2}$	: 1 veya 2 numaralı toronlarda birim uzama değişimi

- δ : Moment büyütme katsayısı
- δ_s : Yanal ötelenmesi önlenmemiş sistemin moment büyütme katsayısı
- δ_{ns} : Yanal ötelenmesi önlenmiş sistemin moment büyütme katsayısı
- $\varnothing$: Dairesel kesit çapı
- Φ : Yük ölçeklendirme katsayısı
- ε : Kritik yüklemde birim uzama veya kısalma
- ε_0 : Betonun maksimum gerilmesindeki birim uzama veya kısalma
- ε_{cef} : Etkin gerilmede betonda birim kısalma
- ε_{cu} : Betonun ezilme birim kısalması
- ε_{pef} : Etkin gerilmede toronda birim uzama
- β_d : Sünme oranı

Kısaltmalar

ACI	: American Building Institute
EN 10138-3	: European Standard, Prestressing Steels - Part 3: Strand
KFPÖBD	: Karbon Fiber Takviyeli Polimer Öngerilmeli Beton Direk
MFÖBK	: Merkezi Yerleştirilmiş Fiber Takviyeli Öngerilmeli Beton Kolon
ÖBD	: Öngerilmeli Beton Direk
ÖBK	: Öngerilmeli Beton Kolon
PCC	: Prestressed Concrete Column
PCI	: Precast/Prestressed Concrete Institute
SAP2000	: Structural Analysis Program 2000
SDLGS	: Standarts For Design Loads In Greenhouse Structures
SEA	: Sonlu Elemanlar Analizi
TBDY-2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
TS EN 13031-1	: Seralar: Tasarım ve Yapım-Bölüm 1: Ticari Üretim Seraları
TS EN 1991-1-3	: Yapılar Üzerindeki Etkiler - Bölüm 1-3: Genel Etkiler - Kar Yükleri (Eurocode 1)
TS EN 1991-1-4	: Yapılar Üzerindeki Etkiler - Bölüm 1-4: Genel Etkiler - Rüzgâr Etkileri (Eurocode 1)
TS 3233	: Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
TS 500	: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Seraların boyutlarına göre sınıflandırılması; a) Büyük seralar; b) Orta büyüklükte seralar; c) Küçük seralar.....	2
Şekil 1.2. Çatı tiplerine göre seralar; a) Beşik çatılı seralar; b) Yay çatılı seralar; c) Gotik çatılı seralar; d) Venlo tipi çatılı seralar; e) Testere dişli çatılı seralar	3
Şekil 1.3. Spinazze Group'un ürettiği öngerilmeli beton kolon kesitleri	6
Şekil 2.1. T. Y. Lin ve R. Itaya (1957) çalışmasındaki öngerilmeli beton kolon	7
Şekil 2.2. R. Itaya (1965) çalışmasındaki birleşik eksenel yük ve moment altında nihai dayanım	8
Şekil 2.3. S. Aroni (1968) tarafından yapılan çalışmadaki eksantrik yüklü kolon detay görüntüsü	9
Şekil 2.4. A. B. Shuraim ve A. E. Naaman (2003) tarafından yapılan çalışmada ACI 318 ve PCI'nın önerdiği EI alınarak geliştirilen diyagramın SEA ile narinlik oranının = 104 olduğu ve öngerme toronu oranının = 0,22% olduğu test sonuçlarının karşılaştırılması	10
Şekil 2.5. Daniel A. Grijalba (2011) tarafından yapılan çalışmada test edilen kolonlar için deney düzeneği	11
Şekil 2.6. G. P. Terrasi, U. Meier ve C. Affolter (2014) tarafından yapılan çalışmada CFRP öngerilmeli direklerin kesiti ve eğilme kuvveti uygulaması	12
Şekil 3.1. 4 adet toronlu numunelerin enkesit görünümü	14
Şekil 3.2. 6 adet toronlu numunelerin enkesit görünümü	15
Şekil 3.3. 8 Adet toronlu numunelerin enkesit görünümü	15
Şekil 3.4. Numunelerde kullanılan C40/50 betonunun irsaliyesi	17
Şekil 3.5. Temin edilen öngerme toronun üstünde özellikleri gösterilen barkod	20
Şekil 3.6. Öngerme çekirdeği ve kovanı	21
Şekil 3.7. ÖBK'lerin üretim kalıbı ile öngerme çekirdek ve kovanı	21
Şekil 3.8. Öngerme krikosu	22
Şekil 3.9. Öngerme toronun ve kovanının kalıptaki yerleşimi	23
Şekil 3.10. Öngerilmeli beton kolon üretim kalıbı üstten görünüş	23
Şekil 3.11. Öngerilmeli beton kolon üretim kalıbı yandan görünüş	24

Şekil 3.12. Öngerme uygulanmış hazır haldeki kalıba beton dökümü	24
Şekil 3.13. Basınç deneyi için beton numune alınması	25
Şekil 3.14. Su dolu tankta bekletilen numuneler	25
Şekil 3.15. 7'nci gün 1'inci numuneye ait test sonuç görünümü.....	26
Şekil 3.16. 28'inci gün 1'inci numuneye ait test sonuç görünümü.....	27
Şekil 3.17. Kalıp vibratörü.....	27
Şekil 3.18. Beton test çekici.....	28
Şekil 3.19. Test çekici okumasından beton basınç dayanımına geçiş grafiği.....	29
Şekil 3.20. Öngerme toronlarının kesilmesi	29
Şekil 3.21. Öngerilmeli beton kolonların kalıptan çıkarılması	30
Şekil 3.22. 1,5 metre gömülü ankastre mesnet	31
Şekil 3.23. Deney yeri, numune ve malzeme yerleşimi; a) Eğilme deneyi veya yatay çekme kuvveti etkisinde kırılma deneyi için kurulan sistem; b) Eğik çekme kuvveti etkisinde kırılma deneyi için kurulan sistem.....	31
Şekil 3.24. Deney yeri, numune ve malzeme yerleşimi kesit görünümü; a) Eğilme deneyi veya yatay çekme kuvveti etkisinde kırılma deneyi için kurulan sistem; b) Eğik çekme kuvveti etkisinde kırılma deneyi için kurulan sistem.....	32
Şekil 3.25. Planlanan eğilme deneyi AutoCAD çizimi.....	32
Şekil 3.26. Gerçekleştirilen eğilme deneyi görüntüsü	33
Şekil 3.27. Planlanan yatay çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi AutoCAD çizimi.....	33
Şekil 3.28. Gerçekleştirilen yatay çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi görüntüsü.....	34
Şekil 3.29. Planlanan eğik çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi AutoCAD çizimi.....	34
Şekil 3.30. Gerçekleştirilen eğik çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi görüntüsü.....	35
Şekil 4.1. ÖBK'lerin kuvvet-moment etkileşim grafiği	37
Şekil 4.2. Beton kesit derinliği boyunca şekil değiştirme ve gerilme dağılımı (Nawy 2000)	38

Şekil 4.3. Narin olmayan, eksantrik yüklü kolonda gerilmeler ve kuvvetler (Nawy 2000)	38
Şekil 4.4. Narin kolonların tasarımı için akış şeması (Nawy 2000)	41
Şekil 4.5. Tipik mesnet durumları için k katsayısı değerleri (Nawy 2000)	42
Şekil 4.6. Eşit uç momentler altında narin bir kolon için önerilen akış şeması (Shuraim ve Naaman 2003)	43
Şekil 4.7. Narinliğin eksenel yük-moment etkileşimine etkisi (Shuraim ve Naaman 2003)	44
Şekil 4.8. ÖBK’lerde gerilmeler ve iç kuvvetler; a) 4 veya 6 toronlu ÖBK kesitinde gerilmeler ve iç kuvvetler; b) 8 toronlu ÖBK kesitinde gerilmeler ve iç kuvvetler	45
Şekil 4.9. 4 toronlu 6 ton öngerilmeye sahip öngerilmeli beton kolonun kesit eksenel yük-moment etkileşim grafiği	47
Şekil 4.10. 4 toronlu 8 ton öngerilmeye sahip öngerilmeli beton kolonun kesit eksenel yük-moment etkileşim grafiği	47
Şekil 4.11. 6 toronlu 12 ton öngerilmeye sahip öngerilmeli beton kolonun kesit eksenel yük-moment etkileşim grafiği	48
Şekil 4.12. 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip öngerilmeli beton kolonun kesit eksenel yük-moment etkileşim grafiği	48
Şekil 4.13. 4 toronlu 6 ton öngerilmeye sahip narin öngerilmeli beton kolonun eksenel yük-moment etkileşim grafiği	57
Şekil 4.14. 4 toronlu 8 ton öngerilmeye sahip narin öngerilmeli beton kolonun eksenel yük-moment etkileşim grafiği	58
Şekil 4.15. 6 toronlu 12 ton öngerilmeye sahip narin öngerilmeli beton kolonun eksenel yük-moment etkileşim grafiği	58
Şekil 4.16. 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip narin öngerilmeli beton kolonun eksenel yük-moment etkileşim grafiği	59
Şekil 4.17. 4 toronlu kolonların işaretlenmesi; a) 4 toronlu 6 ton öngerilmeye sahip ÖBK’lerin işaretlenmesi; b) 4 toronlu 8 ton öngerilmeye sahip ÖBK’lerin işaretlenmesi.....	60
Şekil 4.18. 6 ve 8 toronlu kolonların işaretlenmesi; a) 6 toronlu 12 ton öngerilmeye sahip ÖBK’lerin işaretlenmesi; b) 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip ÖBK’lerin işaretlenmesi.....	61
Şekil 4.19. Toronların yerleşimi; a) 8 adet toronun kalıpta yerleşimi; b) 4 ve 6 adet toronun kalıpta yerleşimi.....	61

Şekil 4.20. Deneylere tabii tutulan ÖBK'ler; a) 4 toronlu ÖBK; b) 6 toronlu ÖBK; c) 8 toronlu ÖBK.....	62
Şekil 4.21. Eğilme deneyi uygulanması.....	62
Şekil 4.22. Eğilme deneyi esnasında oluşan kolondaki deplasman görüntüsü.....	63
Şekil 4.23. 4 toronlu 6 ton ÖBK'de eğilme deneyi sonucu oluşan kırılma.....	65
Şekil 4.24. 4 toronlu 6 ton öngerilmeli beton kolonların eğilme deneyi deplasman-kuvvet ilişkisi	65
Şekil 4.25. 4 toronlu 8 ton öngerilmeli beton kolonların eğilme deneyi deplasman-kuvvet ilişkisi	67
Şekil 4.26. 6 toronlu 12 ton ÖBK'de eğilme deneyi sonucu oluşan kırılma ve çatlaklar	67
Şekil 4.27. 6 toronlu 12 ton öngerilmeli beton kolonların eğilme deneyi deplasman-kuvvet ilişkisi	69
Şekil 4.28. Eğilme deneyi deplasman ölçüm görüntüsü	69
Şekil 4.29. 8 toronlu 16 ton öngerilmeli beton kolonların eğilme deneyi deplasman-kuvvet ilişkisi	71
Şekil 4.30. Yatay çekme kuvveti etkisinde kırılmalar; a) 4 toronlu ÖBK'ye deneyin hasarı; b) 6 toronlu ÖBK'ye deneyin hasarı; c) 8 toronlu ÖBK'ye deneyin hasarı	71
Şekil 4.31. 4 toronlu 6 ton öngerilmeli beton kolonların yatay çekme kuvveti etkisinde deplasman-kuvvet ilişkisi	73
Şekil 4.32. Yatay çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi görüntüsü.....	73
Şekil 4.33. 4 toronlu 8 ton öngerilmeli beton kolonların yatay çekme kuvveti etkisinde deplasman-kuvvet ilişkisi	75
Şekil 4.34. Yatay çekme kuvveti etkisinde kırılma	75
Şekil 4.35. 6 toronlu 12 ton öngerilmeli beton kolonların yatay çekme kuvveti etkisinde deplasman-kuvvet ilişkisi	77
Şekil 4.36. Yatay çekme kuvvet etkisinde mesnet noktasında oluşan kırılma	77
Şekil 4.37. 8 toronlu 16 ton öngerilmeli beton kolonların yatay çekme kuvveti etkisinde deplasman-kuvvet ilişkisi	79
Şekil 4.38. 8 toronlu ÖBK eğik çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi görüntüsü	79

Şekil 4.39. 4 toronlu 6 ton öngerilmeli beton kolonların eğik çekme kuvveti etkisinde deplasman-kuvvet ilişkisi	81
Şekil 4.40. 4 toronlu 8 ton öngerilmeli ÖBK'nin eğik çekme kuvveti etkisinde kırılmış görüntüsü	81
Şekil 4.41. 4 toronlu 8 ton öngerilmeli beton kolonların eğik çekme kuvveti etkisinde deplasman-kuvvet ilişkisi	83
Şekil 4.42. Eğik çekme kuvveti etkisinin kolona uygulanması	83
Şekil 4.43. 6 toronlu 12 ton öngerilmeli beton kolonların eğik çekme kuvveti etkisinde deplasman-kuvvet ilişkisi	85
Şekil 4.44. Eğik çekme kuvveti etkisinde deplasman ölçüm görüntüsü.....	85
Şekil 4.45. 8 toronlu 16 ton öngerilmeli beton kolonların eğik çekme kuvveti etkisinde deplasman-kuvvet ilişkisi	87
Şekil 4.46. Kolonlarda P- Δ etkisi	87
Şekil 4.47. İncelenen tüm ÖBK'lerin kesit eksenel yük-moment etkileşimi karşılaştırması	88
Şekil 4.48. İncelenen tüm narin ÖBK'lerin eksenel yük-moment etkileşimi karşılaştırması	88
Şekil 4.49. İncelenen tüm ÖBK'lerin 1. test numunelerinin eğilme deneyi kuvvet-deplasman etkileşimi karşılaştırması	89
Şekil 4.50. İncelenen tüm ÖBK'lerin 2. test numunelerinin eğilme deneyi kuvvet-deplasman etkileşimi karşılaştırması	89
Şekil 4.51. İncelenen tüm ÖBK'lerin 1. test numunelerinin eğik çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi kuvvet-deplasman etkileşimi karşılaştırması.....	90
Şekil 4.52. İncelenen tüm ÖBK'lerin 2. test numunelerinin eğik çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi kuvvet-deplasman etkileşimi karşılaştırması.....	90
Şekil 4.53. İncelenen tüm ÖBK'lerin 1. test numunelerinin yatay çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi kuvvet-deplasman etkileşimi karşılaştırması.....	91
Şekil 4.54. İncelenen tüm ÖBK'lerin 2. test numunelerinin yatay çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi kuvvet-deplasman etkileşimi karşılaştırması.....	91
Şekil 4.55. 4, 6 ve 8 toronlu ÖBK enkesitinde toron yerleşim hattı çizgilerinin çekilmesi	93
Şekil 4.56. Planlanan sera yapısının SAP2000 programında görünümü	96
Şekil 4.57. Sera yapısının SAP2000'deki yük tanımlamaları	97

Şekil 4.58. Kolonlar arası dikey perdeye etkiyen rüzgâr yükü	97
Şekil 4.59. Kirişler arası yatay perdeye etkiyen rüzgâr ile kar yükü	98
Şekil 4.60. SAP2000 programından alınan maksimum moment değeri	98
Şekil 4.61. SAP2000 programından alınan maksimum eksenel yük değeri	99
Şekil 4.62. Çelik kutu profil kolon tanımlanması	100
Şekil 4.63. Tanımlanan çelik kolonun en olumsuz durum için uygunluk kontrolü	100
Şekil 4.64. Tanımlanan çelik kolonun sera yapısındaki uygunluğunun kontrolü	101



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. B. Kovacs ve T. N. Toader (2022) tarafından yapılan çalışmada incelenen dört kesitin plastik eğilme momenti için deneysel ve teorik olarak elde edilen değerlerin karşılaştırılması	13
Çizelge 3.1. TS 3233'e göre öngerilmeli beton yapılarında kullanılabilecek beton sınıfları	16
Çizelge 3.2. TS 3233'e göre öngerme toronlarının mekanik özellikleri	18
Çizelge 3.3. 2 ve 3 telli toronların özellikleri ve ölçüleri	19
Çizelge 3.4. Numunelerin basınç dayanım testi sonuçları	26
Çizelge 4.1. Beton sınıflarına göre k_1 değerleri (TS 500).....	46
Çizelge 4.2. 4 toronlu 6 ton öngerilmeye sahip öngerilmeli beton kolonun kesit eksenel yük-moment etkileşim verileri	49
Çizelge 4.3. 4 toronlu 8 ton öngerilmeye sahip öngerilmeli beton kolonun kesit eksenel yük-moment etkileşim verileri	49
Çizelge 4.4. 6 toronlu 12 ton öngerilmeye sahip öngerilmeli beton kolonun kesit eksenel yük-moment etkileşim verileri	50
Çizelge 4.5. 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip öngerilmeli beton kolonun kesit eksenel yük-moment etkileşim verileri	50
Çizelge 4.6. 4 toronlu 6 ton öngerilmeye sahip narin öngerilmeli beton kolonun eksenel yük-moment etkileşim verileri	55
Çizelge 4.7. 4 toronlu 8 ton öngerilmeye sahip narin öngerilmeli beton kolonun eksenel yük-moment etkileşim verileri	56
Çizelge 4.8. 6 toronlu 12 ton öngerilmeye sahip narin öngerilmeli beton kolonun eksenel yük-moment etkileşim verileri	56
Çizelge 4.9. 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip narin öngerilmeli beton kolonun eksenel yük-moment etkileşim verileri	57
Çizelge 4.10. 4 toronlu 6 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğilme deneyi deplasman-kuvvet verileri.....	64
Çizelge 4.11. 4 toronlu 8 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğilme deneyi deplasman-kuvvet verileri.....	66
Çizelge 4.12. 6 toronlu 12 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğilme deneyi deplasman-kuvvet verileri.....	68

Çizelge 4.13. 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğilme deneyi deplasman-kuvvet verileri	70
Çizelge 4.14. 4 toronlu 6 ton öngerilmeye sahip beton kolonların yatay çekme kuvveti etkisindeki deplasman-kuvvet verileri	72
Çizelge 4.15. 4 toronlu 8 ton öngerilmeye sahip beton kolonların yatay çekme kuvveti etkisindeki deplasman-kuvvet verileri	74
Çizelge 4.16. 6 toronlu 12 ton öngerilmeye sahip beton kolonların yatay çekme kuvveti etkisindeki deplasman-kuvvet verileri	76
Çizelge 4.17. 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip beton kolonların yatay çekme kuvveti etkisindeki deplasman-kuvvet verileri	78
Çizelge 4.18. 4 toronlu 6 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğik çekme kuvveti etkisindeki deplasman-kuvvet verileri	80
Çizelge 4.19. 4 toronlu 8 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğik çekme kuvveti etkisindeki deplasman-kuvvet verileri	82
Çizelge 4.20. 6 toronlu 12 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğik çekme kuvveti etkisindeki deplasman-kuvvet verileri	84
Çizelge 4.21. 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğik çekme kuvveti etkisindeki deplasman-kuvvet verileri	86
Çizelge 4.22. Eğilme deneyi sonuçlarının karşılaştırılması.....	92
Çizelge 4.23. Eğik çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi sonuçlarının karşılaştırılması	92
Çizelge 4.24. Yatay çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi sonuçlarının karşılaştırılması	92
Çizelge 4.25. ÖBK'lerin incelenen tüm hususlar çerçevesinde moment karşılaştırması	94
Çizelge 4.26. Serada kullanılan malzeme ve kesitleri	96
Çizelge 4.27. Kolonların maliyet karşılaştırılması	101
Çizelge 4.28. 146 metre boya 102 metre enine sahip sera yapısında ÖBK'li ve ÖBK'siz durumlar için maliyet karşılaştırılması.....	102

1. GİRİŞ

Bitkisel üretim yapıları belirli aralıklarla yerleştirilen profillerin üzerlerinin bir örtü ile kaplanmasıyla oluşturulan örtü altı yapılarıdır. Bitkisel üretim yapıları üç grupta incelenebilir. Bunlar; alçak tüneller, yüksek tüneller ve seralardır.

Seracılık, örtü altı yetiştiriciliği olarak da bilinir. Seracılık herhangi bir tarım ürününün mevsimsel değişikliklerden etkilenmemesi için üzerinin kapatılarak bilinçli şekilde yetiştirilmesi faaliyetidir. Bu seracılık faaliyetlerinin yapıldığı yere, sera yapıları veya sera sistemleri denilmektedir.

Seralar; iklimle ilgili çevre koşullarına bağlı kalmadan, bitki için gerekli olan sıcaklık, nem, ışık ve havalandırma gibi iklim faktörleri kontrol altında tutularak, bütün yıl boyunca çeşitli kültür bitkileri ile bunların tohum, fide ve fidanlarını üretmek veya sergilemek amacıyla planlanan ve üzeri cam, plastik vb. ışık geçirebilen maddelerle kaplanarak değişik şekillerde yapılan yüksek sistemde örtü altı yapılarıdır (Büyüktaş 2020).

Seralar, boyutlarına göre üç grupta incelenmektedir. 100 m²'den küçük taban alanına sahip tekil seralara küçük seralar denilmektedir. Şekil 1.1c'de görülen küçük seralar, genellikle çiçek ve sebze üretmek için kullanılmaktadır. Alanı 100 ile 1000 m² arasında olan genişlikleri 6 ile 12 metre ile uzunlukları 25 ile 50 metre arasında olan seralara orta büyüklükteki seralar denilmektedir. Şekil 1.1b'de görülen orta büyüklükteki seralar genellikle fide üretiminde ve yetiştiriciliğinde kullanılmaktadır. Taban alanı 1000 m²'den büyük olan seralara büyük seralar denilmektedir. Şekil 1.1a'da görülen büyük seralarda genellikle fide, meyve ve sebze üretimi gerçekleştirilmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 1.1. Seraların boyutlarına göre sınıflandırılması; **a)** Büyük seralar; **b)** Orta büyüklükte seralar; **c)** Küçük seralar

Seralar çatı tiplerine göre Şekil 1.2’de de görüldüğü gibi 5 gruba ayrılır. Bunlar;

- Beşik çatılı seralar (Şekil 1.2a)
- Yay çatılı seralar (Şekil 1.2b)
- Gotik çatılı seralar (Şekil 1.2c)
- Venlo (M) tipi çatılı seralar (Şekil 1.2d)
- Testere dişi çatılı seralardır (Şekil 1.2e).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 1.2. Çatı tiplerine göre seralar; **a)** Beşik çatılı seralar; **b)** Yay çatılı seralar; **c)** Gotik çatılı seralar; **d)** Venlo tipi çatılı seralar; **e)** Testere dişli çatılı seralar

Yukarıda boyutlarına ve çatı tiplerine göre sınıflandırılan sera sistemlerinin günümüzde en çok kullanılan iskelet malzemeleri; ahşap, çelik veya alüminyumdur. Bu üç malzemenin en çok tercih edilir olmasındaki başlıca sebepler; malzemelerin ucuz, sağlam ve hafif olması, seri üretime uygun olması ve kuruluş ile tamirinin kolay olmasıdır. Bu malzemeler arasından ise en çok kullanılan malzeme ise çeliktir. Çelik, güç ve dayanıklılık konusunda avantaj sunmasına karşın maliyetler, ısı iletkenliği ve korozyona uğraması gibi dezavantajlar sunmaktadır.

Betonun çelik donatı kullanılması ile güçlendirilen yapı elemanları betonarme yapı elemanlarıdır. Beton, yüksek basınç dayanımına sahip olmasına rağmen çekme dayanımı düşüktür. Bu sebeple betonun içerisine çelik malzemesi eklenerek betonun ve çeliğin birlikte çalıştığı yapı malzemesi elde edilir. Betonarme yapı elemanları, çelik malzemesindeki avantajlara sahip olması ile çelik malzemesinin dezavantajlarına sahip olmayan yapı elemanlarıdır.

Betonarme yapı elemanları, çeliğin dezavantajlarını ortadan kaldırmasından kaynaklı sera sistemlerinde tercih edilmesi ile ilgili düşüncelerin oluşması kaçınılmazdır. Lakin sera sistemlerinde kullanılacak olan malzemenin tercih edilebilirlik sebepleri incelendiğinde bunun pek de olası olmadığı görülmektedir. Betonarme yapı elemanlarının dezavantajlarından olan ağır olması, seri üretiminin olmaması ve tamirinin zor olması gibi sebepler betonarme yapı elemanlarının neden sera sistemlerinde kullanılmadığını açıklamaktadır.

Betonarme yapı elemanlarının sera sistemlerinde kullanılması düşünülüyor ise sera sistemlerinde tercih edilebilirlik kıstaslarına uygun olarak üretilmesi gerekmektedir. İşte tam bu noktada öngerilmeli beton kolonlar, sera sistemlerinde iskelet yapı elemanı olarak kullanılabilirlik açısından bir ışık olarak görülmektedir. Çünkü sera sistemlerinde tercih edilebilirlik kıstaslarına uymaktadırlar. Bu yapı elemanları; güçlü, dayanımlı, ucuz, hafif, seri üretime yatkın, kuruluşu kolay olan yapı elemanlarıdır.

Öngerilmeli beton kolonun tanımının yapılması gerekmektedir. Bunun için beton, yüksek dayanımlı beton, öngerilmeli beton ve öngerme çeliği kavramlarının ne olduğunun açıklanması şarttır.

Beton günümüzde en çok kullanılan yapı malzemesidir. Bunun sebepleri arasında istenilen bir şekle kalıplanabilir olması, bakım maliyetinin düşük olması, üretim maliyeti açısından ekonomik olması ve benzeri gösterilebilir. Beton, su, agrega, çimento ve istenildiği takdirde kimyasal veya mineral katkı maddelerinin uygun ölçülerde karıştırılması ile elde edilen yapı malzemesi olarak geçmektedir. Yüksek dayanımlı beton ise yüksek kalitede agrega, çimento ve silis dumanı kullanılarak üretilen, su/çimento oranı büyük oranda düşürülerek süperakışkanlaştırıcı katkı ile yüksek işlenebilirlik ve pompalanabilirlik ile elde edilebilen özel bir beton türüdür (Kocataşkın 1991).

Öngerilmeli beton, yüksek dayanımlı beton ile yüksek dayanımlı, haddelenmiş, yüksek elastik sınırlı çelik donatıların bir arada kullanılmasıyla elde edilen, çeliğe yapay olarak verilen gerilmenin aderans yoluyla betona iletilmesiyle kesitte oluşacak çekme gerilmelerinin yok edilmesi işlemidir (Topçu 2006).

Öngerme çeliği, yüksek elastik sınıra sahip olan çelik donatısıdır. Ayrıca öngerilmeli betonda kullanılan öngerme çeliği farklı türlerde bulunmaktadır. Bu çeliklere bakıldığında, tel, toron, çubuk ve kablo olarak karşımıza çıkmaktadırlar.

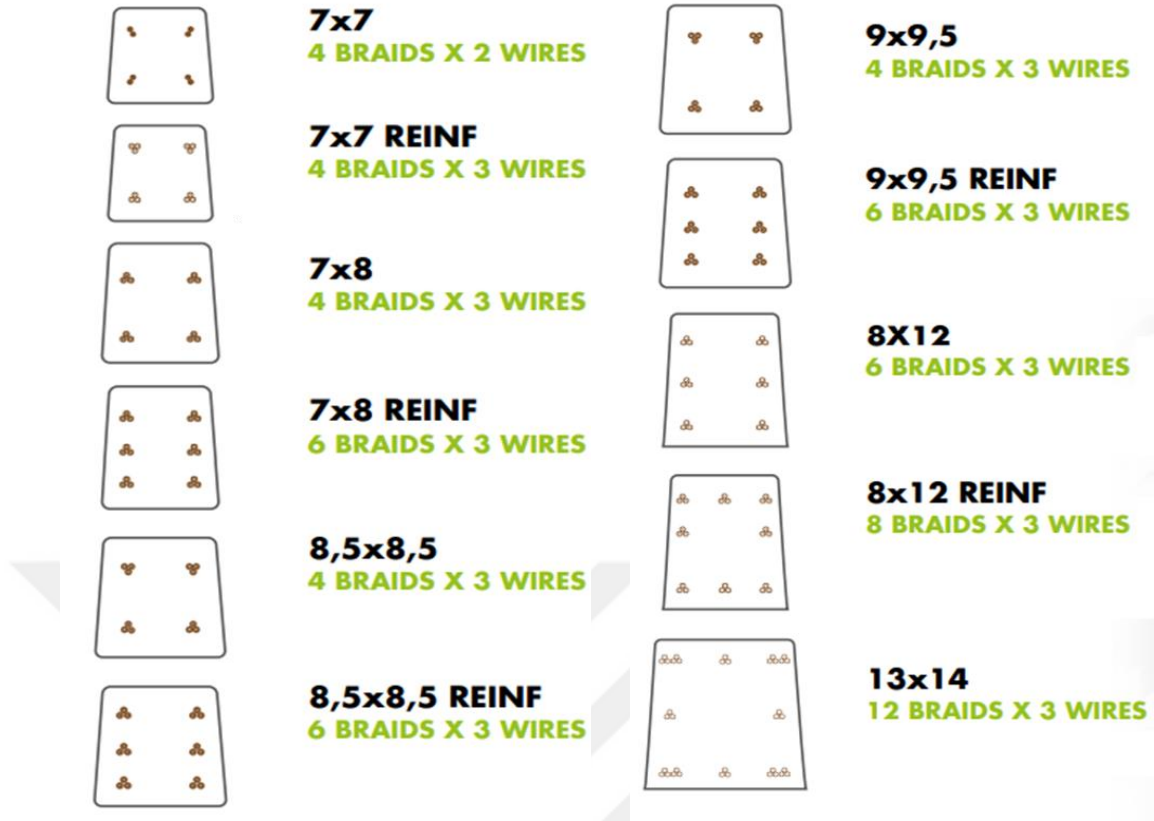
Bu tez çalışmalarında deneylere tabii tutulması için oluşturulan örnek numunelerde kullanılan öngerme çeliği, öngerme toronudur. Bu yüzden ki öngerme torunun ve öngerme telinin tanımının yapılması da şarttır.

Öngerme toronu, iki veya daha fazla öngerme telinin, bir telin etrafında veya birbirlerine sarılmasıyla oluşan örgü biçimindeki öngerme donatısıdır. Öngerme teli ise yüksek dayanımlı, farklı çaplarda çelik tellerdir.

Normal betonarme kolonların donatıları yerine öngerilme toronları yerleştirilmesi ile öngerilmeli beton kolonlar elde edilmektedir. Öngerilmeli beton kolonların normal beton kolonlara göre avantajları aşağıda listelenmiştir. Bunlar;

1. Daha az ağırlıkta ve kullanımı kolay olması,
2. Öngerilmeli beton kolonların açılan deliklere montajı daha kolay ve basit olması,
3. Daha az geçirgendirler ve özellikle sıcak hava bölgelerinde öngerilme toronunun korozyonuna karşı iyi bir direnç sağlıyor olması,
4. Normal donatılı beton kolonlara göre daha fazla rijitliğe sahip ve daha fazla yük taşıyabiliyor olması,
5. Farklı kesit tipli, düzgün ve temiz yüzeyli şekillerde üretilebiliyor olması,
6. İyi direnç özellikleri nedeniyle daha az bakım gerektirmesidir.

Öngerme, kolonun dayanıklılığını ve esnekliğini artırır ve bu da gerilmemiş beton kolonlara göre daha uzun ömürlü olmasını sağlar. Öngerilmeli beton kolonların farklı şekilli kesitleri mevcuttur ancak her türlü kolon kesiti, maksimum taşıma momenti gerekliliğinden maksimum kesit alanından oluşmalıdır. Dikdörtgen veya kare kesitli kolonlar 12 metreye kadar olan uzunluklar için uygundur. Öngerilmeli beton kolonlar, eşit eğilme momentlerine karşı koymaları gerektiğinden, eşit öngerilmeli kolonlar olarak tasarlanır ancak bu diğer öngerilmeli yapılar için geçerli değildir. Öngerilmeli beton kolonlar fabrikasyon ürünüdür ve daha sonra iş sahasına taşınırlar. Bu nedenle, öngerilmeli beton kolonları tasarlarken taşıma, nakliye ve montajı da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu kolonlar ankastre kolon yapısı olarak tasarlanır ve üzerine etki eden eksenel ve eğilme yüklerinin dikkate alınması gerekmektedir. Öngerilmeli beton kolonlarda eksenel yükler ve kesme kuvvetleriyle karşılaştırıldığında eğilme momenti baskındır.



Şekil 1.3. Spinazze Group'un ürettiği öngerilmeli beton kolon kesitleri

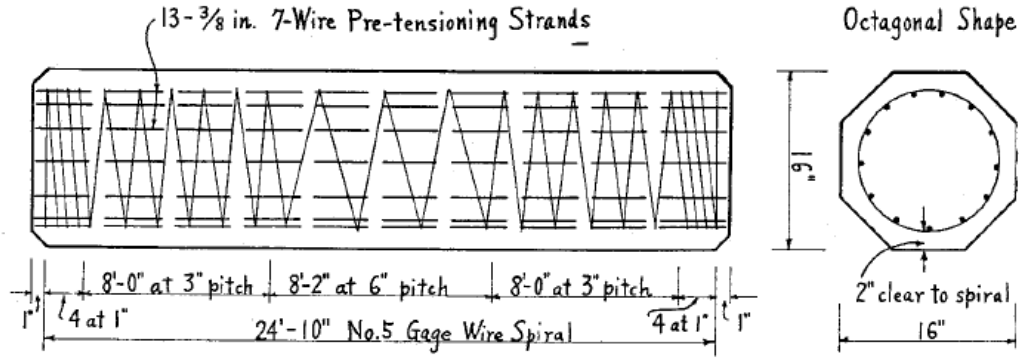
Yukarıda tanımlaması yapılan ve Şekil 1.3'te görüldüğü üzere Spinazze Group'un üretmiş olduğu öngerilmeli beton kolonlar, elektrik direklerinde, demiryolu güç ve sinyal direklerinde, bayrak direklerinde ve benzeri kullanım amaçlarında kullanılmasına karşın sera yapılarında ise Türkiye Cumhuriyeti ile diğer dünya ülkelerinde pek sık kullanılmamaktadır. Sera yapısında kullanılması öngörölmüş olan öngerilmeli beton kolonlar, günümüzde sık kullanılan çelik kolonların yerini alması planlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, öngerilmeli beton kolonun adım adım anlatılarak eksenel yük-moment etkileşimi verileri ve grafikleri oluşturulacaktır. Bu oluşturulan veriler ve grafikler ile taşıma kapasiteleri hakkında bilgi edinilecektir. Öngerilmeli beton kolonların üretim aşaması anlatılacaktır. Üretilen bu kolonlar deney ve testlere tabii tutularak yük altında gerçek davranışı hakkında bilgi edinilecektir. Bu kolonların örnek olarak tasarlanmış bir sera sisteminde kullanılması dahilinde uygunluğu incelenecektir.

2. KAYNAK TARAMASI

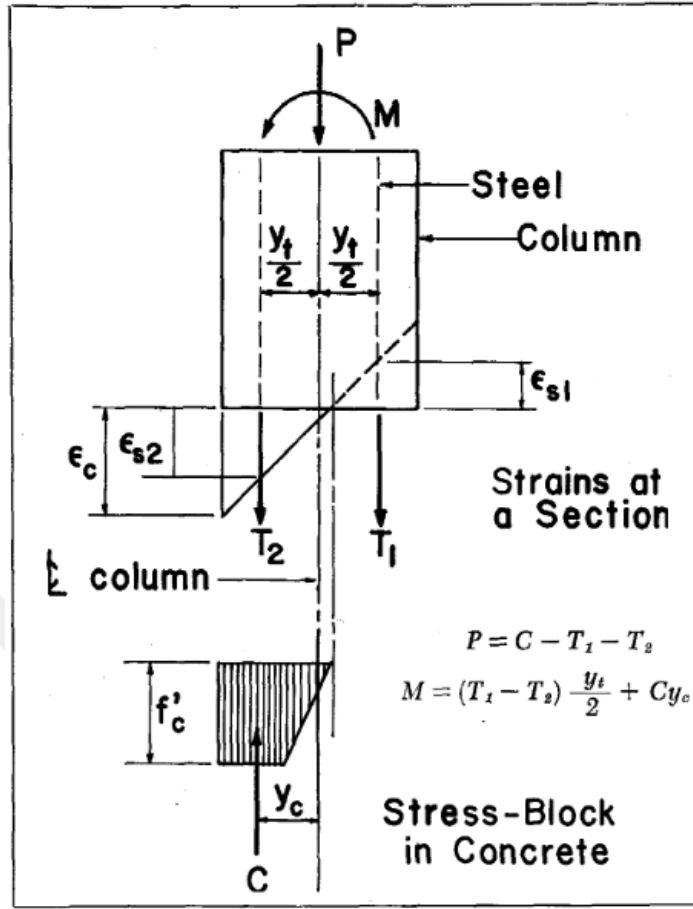
Öngerilmeli beton kolonlar ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar ve araştırmalar aşağıda liste halinde sunulmuştur.

1957 yılında T. Y. Lin ve R. Itaya tarafından hazırlanan çalışmada 406,4 mm genişliğe ve 762 cm uzunluğa sahip Şekil 2.1'de görülen öngerilmeli beton kolona eksantrik yük maruz bırakılmıştır. Kolonun elastik ve plastik davranışı hem deneysel hem de analitik olarak incelenmiştir. Deneysel metot, iki farklı analitik yaklaşım metodu ve elastik teori metodu ile incelenen kolonun verileri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan veriler birbirlerine yakın olduğu gözlenmiştir. Sadece bir direğin incelenmesi ile tam bir sonuca varılamayacağını vurgulanmıştır. Birden fazla direğin incelenmesi ve verilerinin elde edilip karşılaştırılması önerisinde bulunulmuştur.



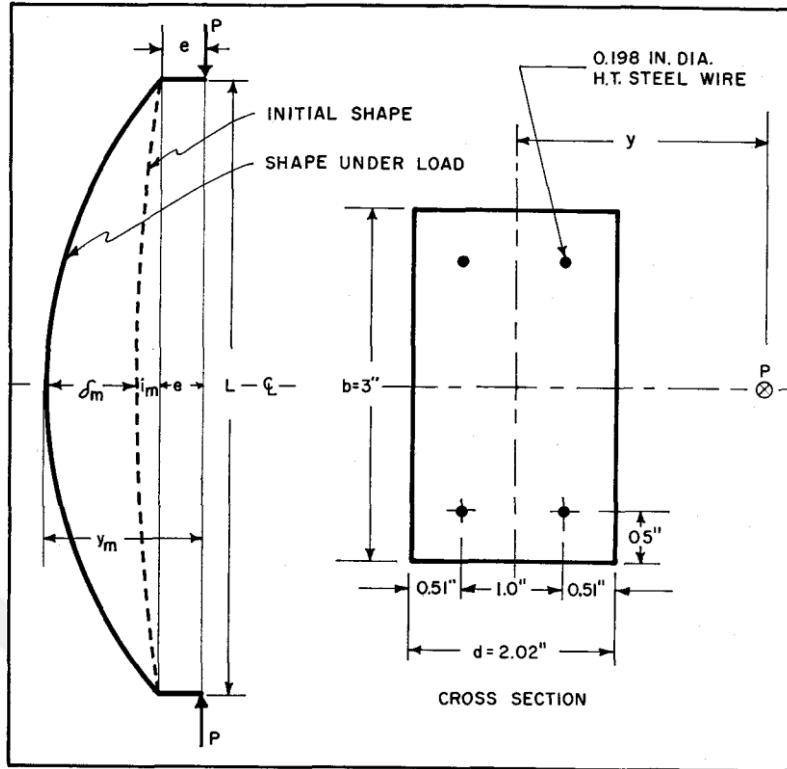
Şekil 2.1. T. Y. Lin ve R. Itaya (1957) çalışmasındaki öngerilmeli beton kolon

1965 yılında R. Itaya tarafından hazırlanan çalışmada (Şekil 2.2) PCI komitesinin öngerilmeli beton kolonların yaklaşık 2 yıldır incelemeye başladığı vurgulanıp PCI komitesi için yeni olan bu bilgileri özetleyerek ÖBK tasarımına yönelik üç adet yaklaşım önermiştir. Bunlar sırasıyla; rasyonel ve analitik yaklaşım, öngerilmeli beton kolonlar için özel olarak yeni bir tasarım yönetmeliği oluşturulması ve betonarme kolonlara ilişkin ACI yönetmeliğinin, öngerilmeli beton kolonlara da uygulanabilecek şekilde değiştirilmesi olarak bu çalışmada bahsedilmiştir. Birçok değişkenin bu kolonlar üzerindeki etkisinin hem teorik hem de deneysel çalışmalarının yapılması gerektiği vurgusu yapılmıştır. Dikkate alınması gereken değişkenleri; öngerme toronunun miktarı ve yeri, kolonun şekli, çelik ve beton sınıfı, eksantriklik oranı ile narinlik oranı olarak belirtmiştir.



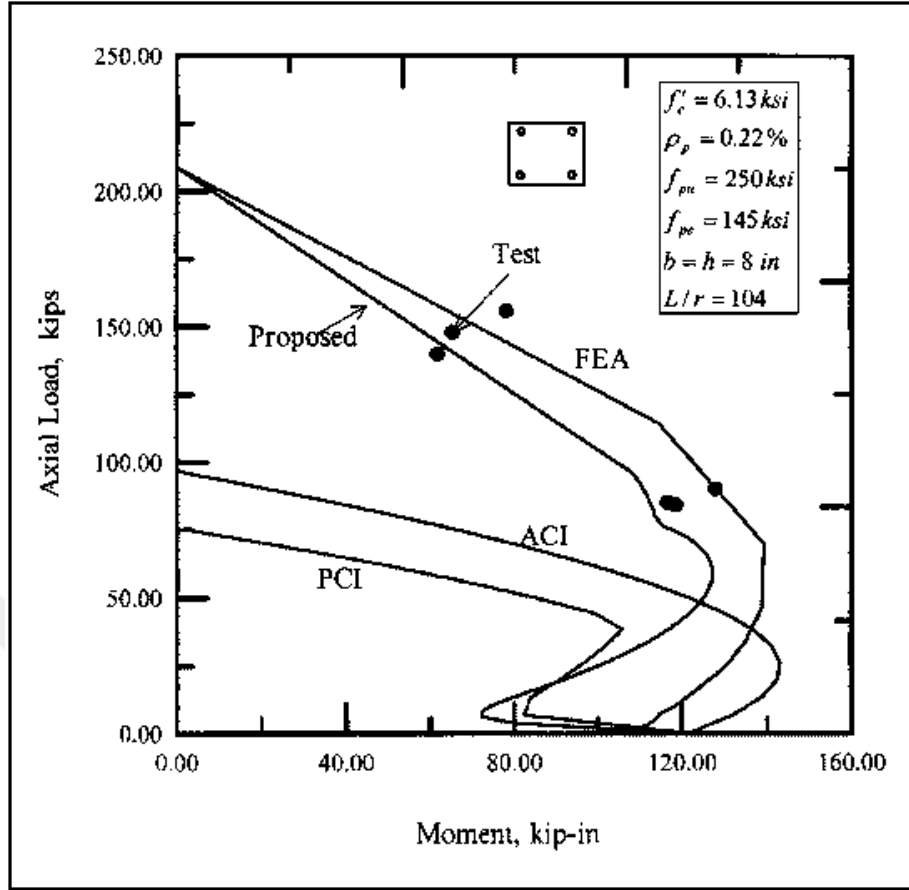
Şekil 2.2. R. Itaya (1965) çalışmasındaki birleşik eksenel yük ve moment altında nihai dayanım

1968 yılında S. Aroni tarafından yapılan çalışmada narin, eksenel olarak öngerilmeli, Şekil 2.3'te de görüldüğü gibi eksantrik olarak yüklenmiş kolonların mukavemetinin teorik bir araştırmasının sonuçları verilmiştir. Öngerme, eksantriklik, narinlik, beton basınç dayanımı, beton çekme dayanımı, ilk eğrilik ve çeliğin alanı gibi faktörlerin etkileri sunulmuştur. P_{cr} üzerindeki öngerilme etkisi, başlıca eksenel yük etkisine bağlı olduğu sonucuna varmıştır. Eksenel yükteki artış, P_{cr} 'de keskin bir azalmaya neden olduğunu ve en büyük etki daha kısa direklerde olduğunu söylemiştir. Kritik yükün narinliğin artmasıyla azaldığını vurgulamıştır. Beton basınç dayanımının artması, kritik yükü artırmak için etkili olduğu gösterilmiştir. Çelik toron alanındaki artış daha yüksek bir kritik yüke yol açtığı gözlemlenmiştir.



Şekil 2.3. S. Aroni (1968) tarafından yapılan çalışmadaki eksantrik yüklü kolon detay görüntüsü

2003 yılında Ahmed B. Shuraim ve Antoine E. Naaman tarafından yapılan çalışmada narin öngerilmeli beton kolonların eksenel kapasiteleri hakkındaki bu çalışmaya bakıldığında öngerilmeli beton kolonların eğilme rijitliğinin (EI), yükün eksantrikliği ve diğer malzeme ve beton dayanımı, öngerme seviyesi, donatı oranı ve narinlik oranı gibi parametreler ile büyük ölçüde değiştiğini göstermektedir. Öngerilmeli beton kolonların eğilme rijitliğini (EI) nihai kapasitelerini hesaplamak için yeni bir yöntem sunulmuştur. Büyütme formülünde kullanılan kritik burkulma yükünü değerlendirmek için eğilme rijitliğine ihtiyaç olduğu vurgulanmıştır. Eğilme rijitliği, bir dizi narin öngerilmeli beton kolon için moment-eksenel yük etkileşim diyagramlarını elde etmek amacıyla moment büyütme formülüyle birlikte kullanılmıştır. Diyagramlar sonlu elemanlar analizinden elde edilenlerle karşılaştırılmıştır (Şekil 2.4) ve uyum olduğu gözlenmiştir. Ayrıca mevcut deneysel test sonuçlarıyla da uyum olduğu gözlenmiştir. Mevcut yönetmelikler ve PCI önerileriyle karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda bu çalışma, ACI koduna ve PCI tavsiyelerine ek olarak yeni bir metodoloji sunulmuştur.



Şekil 2.4. A. B. Shuraim ve A. E. Naaman (2003) tarafından yapılan çalışmada ACI 318 ve PCI'nın önerdiği EI alınarak geliştirilen diyagramın SEA ile narinlik oranının = 104 olduğu ve öngerme toronu oranının = 0,22% olduğu test sonuçlarının karşılaştırılması

2008 yılında M. E. Kuebler tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde sarmal takviyeli öngerilmeli beton direklerde burulmayı incelemiştir. Amerika Birleşik Devletleri standardı ile Kanada standartları üzerinden önerilerde bulunulmuştur. Ayrıca bu çalışmada öngerilmeli beton direklerdeki betonda çatlama torkunun daha iyi anlaşılması, daha ekonomik ve güvenilir üretimlerin sağlanması amaç edinilmiştir.

2011 yılında Daniel A. Grijalba tarafından hazırlanan tezde (Şekil 2.5) merkezi yerleştirilmiş fiber takviyeli öngerilmeli beton kolonlar incelenmiştir. Bu tezde korozyon direncini arttırmak amacıyla MFÖBK'nin yenilikçi bir yaklaşım olduğu söylenmiştir. MFÖBK'nin nihai mukavemetini, süneklik özelliklerini ve göçme modelini geleneksel kolonlarla karşılaştırmıştır. MFÖBK, normal betonarme kolonlara benzer sünek davranışa ek olarak yeterli eksenel ve eğilme direnci göstermiştir.

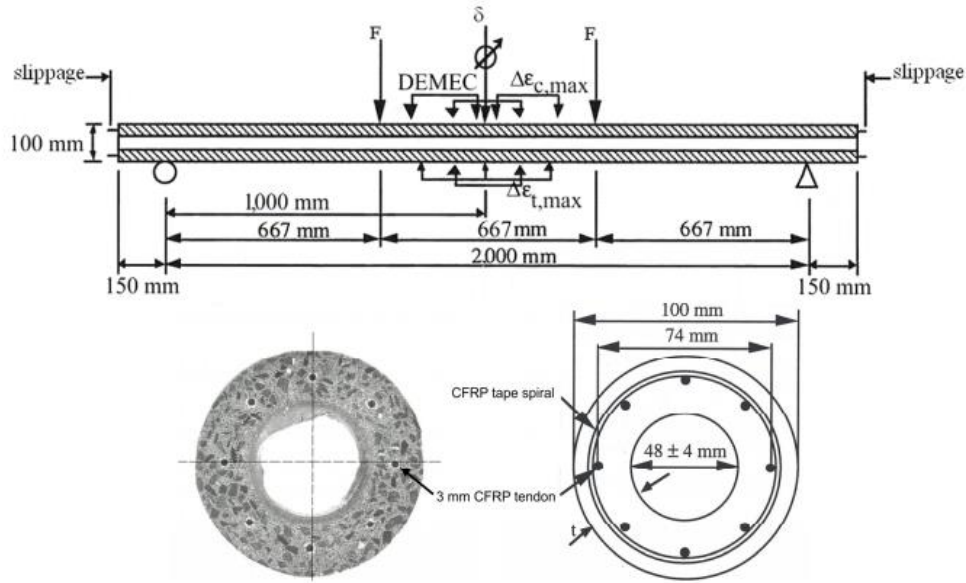


Şekil 2.5. Daniel A. Grijalba (2011) tarafından yapılan çalışmada test edilen kolonlar için deney düzeneği

2012 yılında Sofia L. Romero tarafından yapılan final yılı projesi olarak hazırlanmış tezinde yapı endüstrisi için prekast-öngerilmeli elemanların tasarımı, üretimi ve kabulüne ilişkin ilkeleri ortaya koymaktadır. Ayrıca özellikle İspanya olmak üzere Avrupa ülkelerini kapsayan bu konuda kapsamlı bir çalışma yapılmasını tavsiye etmektedir.

2012 yılında E. E. Roberts, J.M. Lees ve N. A. Hoult tarafından yapılan çalışmada yol kenarı aydınlatma direklerinde rüzgâr yükü baskın yük olacak şekilde incelenmiştir. Bu direklere araç çarpması sonucu oluşan hasar nedeniyle yorulma davranışının araştırılması önemli bulunmuştur. Yorgunluk davranışının ve yüklerin karbon fiber takviyeli polimer öngerilmeli beton direk üzerindeki araştırılması yapılmıştır. KFPÖBD'in en dışındaki tendonlarındaki nihai tendon gücünün 47-60%'ı kadar gerilim olduğu görülmüştür. Yorulma performansının tatmin edici olduğu bu çalışmada söylenmektedir.

2014 yılında G. P. Terrasi, U. Meier ve C. Affolter tarafından yapılan çalışmada Şekil 2.6'da da görülen karbon fiberle güçlendirilmiş öngerilmeli bir dizi yüksek yüklü, eğrilmiş beton direk numunesinin uzun vadeli davranışını incelemektedir. Sünme testlerinin uzun süreli izlenerek, betonun sünmesine dayalı, zaman içinde sehimlerin sınırlı süreye ve sıcaklığa bağlı olarak arttığını görülmüştür. Ayrıca bu çalışmada bu elemanlar, uzun vadeli yükler altında başarılı olmasını ve dayanıklı ankrajını kanıtlamaktadırlar.



Şekil 2.6. G. P. Terrasi, U. Meier ve C. Affolter (2014) tarafından yapılan çalışmada CFRP öngerilmeli direklerin kesiti ve eğilme kuvveti uygulaması

2019 yılında F. Alkam ve T. Lahmer tarafından yapılan çalışmada öngerilmeli beton direklerin parametrelerinin belirsizliğini deneysel ölçümler ve farklı optimizasyon yöntemleri kullanarak sayısallaştırmak istenmiştir. Bu yazıda deneysel ölçümlere ve sonlu elemanlar yöntemine dayanan olasılıksal ve deterministik yaklaşımlar ile eleman özelliklerini tanımlamışlardır. Ortalama bir kaba tahmin için kullanılan araç olarak deterministik yaklaşım önerilirken daha ayrıntılı ve doğru tahmin için Bayes yaklaşımı önerilmiştir.

2022 yılında B. Kovacs ve T. N. Toader tarafından yapılan çalışmada donatılı ve öngerilmeli beton kolonların kesit analizini yapan bir algoritma hayata geçirdikleri görülmektedir. Hesaplama algoritmasını doğrulamak için, sonuçlar laboratuvarında deneysel testlerden elde edilen sonuçlarla birlikte sonlu elemanlar yöntemine dayalı ticari hesaplama yazılımı kullanılarak yapılan sayısal simülasyonlarla karşılaştırmışlardır. 250 mm × 250 mm enkesite ve beton sınıfı C60/75 olan 4 farklı numune incelenmiştir. Bu çalışmada “S01” olarak adlandırılan numune donatılı beton kolon iken “S02”, “S03” ve “S04” olarak adlandırılan numuneler ise öngerilmeli beton kolonlardır. Bu numuneler ile bu numunelerden elde edilen veriler Çizelge 2.1’de gösterilmektedir. Bu öngerilmeli beton kolonlar arasındaki farklılık ise kesitsel farklılıklardır. Uygulanan öngerilme miktarı aynıdır. Bu çalışmada, algoritma ile elde edilen sonuçlar, deneysel olanlarla karşılaştırıldığında tutan sonuçlar göstermektedir.

Çizelge 2.1. B. Kovacs ve T. N. Toader (2022) tarafından yapılan çalışmada incelenen dört kesitin plastik eğilme momenti için deneysel ve teorik olarak elde edilen değerlerin karşılaştırılması

	Deneysel Veriler	Teorik Veriler		SAP2000	
	M_{pl}	M_{pl}	Sapma	M_{pl}	Sapma
	(kNm)	(kNm)	-	(kNm)	-
S01	106,27	68,20	-35%	71,42	-33%
S02	117,26	108,71	-7%	88,00	-25%
S03	113,07	97,75	-14%	84,35	-25%
S04	92,98	80,89	-13%	64,81	-30%

Bu tez kapsamında sera sistemlerinde kullanılması planlanan ÖBK'lerin tasarımı ve taşıma kapasiteleri hesabı incelenecektir. Yukarıda bahsedilen tüm çalışmalar sera alanlarında kullanılmak üzere düşünülen önerilmeli beton kolonlar için yeterli bilgi sağlayamamaktadır. Sera sistemlerinde kullanımı için özelleştirilmiş ÖBK'lerin materyal temininden başlayarak yapımını kapsayan ve taşıma kapasitelerinin hesaplanmasını da içeren bilgiler ve tecrübeler aşağıda sunulmuştur.

3. MATERYAL ve METOT

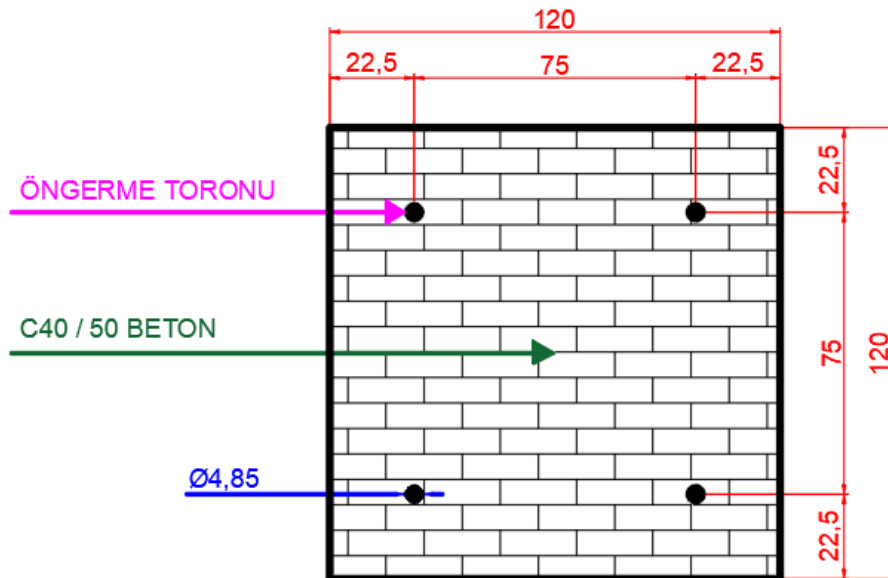
Çalışmanın bu bölümünde öngerilmeli beton kolonların imal edilirken kullanılan malzemeler, materyaller ve ekipmanlar tanıtılacaktır. Ayrıca ÖBK'lerin dayanımlarını test eden deney yöntemlerinin nasıl yapıldığı adım adım anlatılacaktır.

Öncelikle bu çalışmada işlenecek olan kolonların tanıtılması gerekmektedir. Her bir öngerilmeli beton kolon 12 cm × 12 cm genişlik ve yüksekliğe sahip kare en kesitli 9 metre uzunluğundadır. İncelenecek kolonları ayıran özellik ise farklı öngerilmeye sahip farklı adette öngerme toronuna sahip olmalarıdır. Toplamda 4 farklı ÖBK numunesi incelenecektir. Bunlardan iki tanesi 4 adet öngerme toronuna (Şekil 3.1), bir tanesi 6 adet öngerme toronuna (Şekil 3.2) ve sonuncusu ise 8 adet öngerme toronuna (Şekil 3.3) sahiptir. 4 adet öngerme toronuna sahip numunelerden birine 1,5'er tondan toplamda 6 ton öngerilme diğerine ise 2'şer tondan toplamda 8 ton öngerilme uygulanmıştır. 6 öngerme toronuna sahip numuneye 2'şer tondan toplamda 12 ton öngerilme uygulanmıştır. 8 öngerme toronuna sahip numuneye ise 2'şer tondan toplamda 16 ton öngerilme uygulanmıştır. Bu numunelerin özellikleri aşağıdaki bölümlerde daha ayrıntılı olarak sunulacaktır.

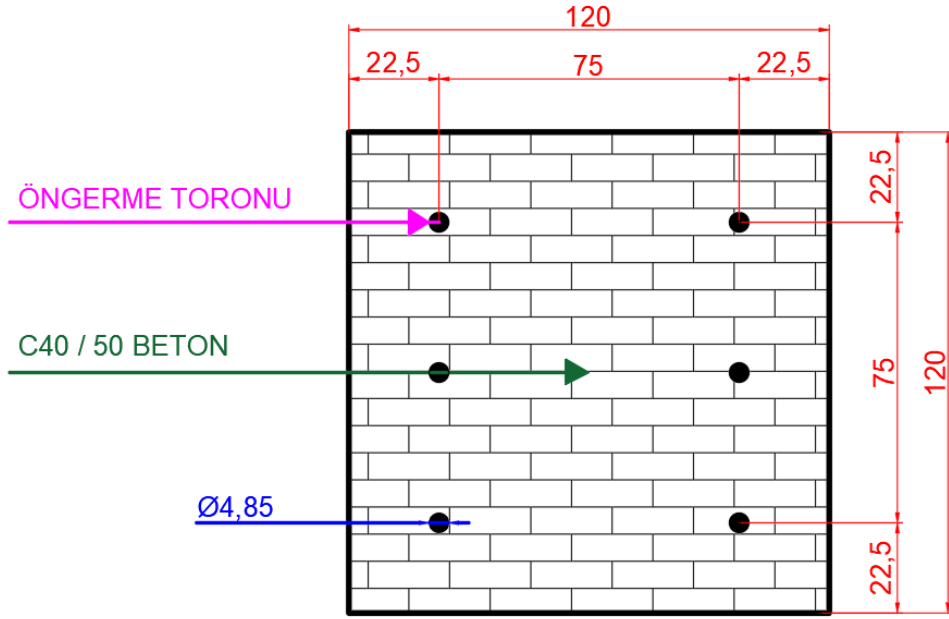
Bu bölüm iki alt başlıkta incelenecektir.

3.1. Materyal

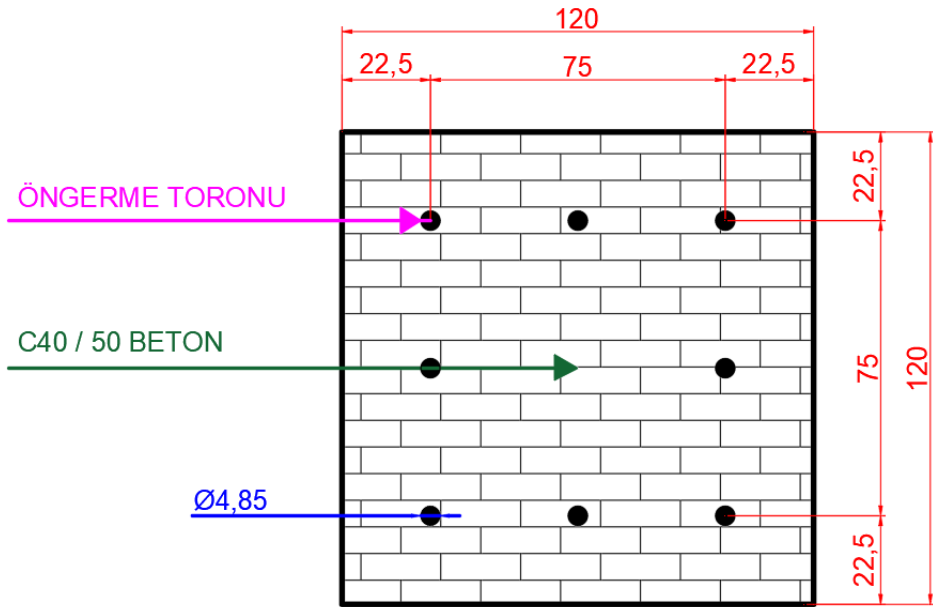
Öngerilmeli beton kolonların yapımında kullanılan iki ana yapı malzemeleri beton ve öngerme toronudur. Bu numunelerde beton olarak C40/50 sınıfı beton ve öngerme toronu olarak 4,85 mm çapa sahip toron seçilmiştir.



Şekil 3.1. 4 adet toronlu numunelerin enkesit görünümü



Şekil 3.2. 6 adet toronlu numunelerin enkesit görünümü



Şekil 3.3. 8 Adet toronlu numunelerin enkesit görünümü

Öngerilmeli beton elemanlarında kullanılacak betonun yapı taşı maddelerinin belirli standartları vardır. Bu standartlar, Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları (TS 3233 1979) adlı yönetmelikte belirtmiştir. Bu yönetmelikte öngerilmeli betonun yüksek dayanıma sahip olması gerektiği vurgulanmaktadır. Çizelge 3.1’de beton sınıfının en düşük C25/30 olması gerektiği belirtilmiştir.

İ. B. Topçu’nun yapmış olduğu çalışmada, öngerilmeli beton yapılarında kullanılması gereken beton sınıfının en düşük C30/37 olması gerektiğinden bahsetmiştir. Ayrıca bu çalışmayı yaparken araştırmalara ve incelenen verilere dayanarak kullanılan en düşük beton sınıfı C30/37 olduğu dünya çapında kabul gördüğü gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.1. TS 3233'e göre öngerilmeli beton yapılarında kullanılabilecek beton sınıfları

Beton Sınıfı	Karakteristik Silindir Dayanımı, f_{ck} Kgf/cm ² (N/mm ²)	Eşdeğer Küp Dayanımı, f_{cu} Kgf/cm ² (N/mm ²)	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı, f_{ctk} Kgf/cm ² (N/mm ²)
BS 25	250 (25)	300 (30)	17 (1,7)
BS 30	300 (30)	350 (35)	19 (1,9)
BS 35	350 (35)	400 (40)	21 (2,1)
BS 40	400 (40)	450 (45)	22 (2,2)
BS 45	450 (45)	500 (50)	23 (2,3)
BS 50	500 (50)	550 (55)	25 (2,5)
BS 55	550 (55)	600 (60)	26 (2,6)

Bu çalışmada test edilecek olan numunelerde kullanılan beton Şekil 3.4’te gösterilmiştir. Beton, Foraks İnşaat San. Tic. A.Ş.’den olmak üzere 0,36 su/çimento oranına sahip C40/50 brüt olarak temin edilmiştir.

FORAKS PREFABRİK YAPI ELEMANLARI SAN VE TİC. A.Ş.
 Antalya Organize Sanayi Böl. 3.Kısım Mah. 30.Cad No:20
 Döşemealtı/ANTALYA
 Tel:0 (242) 339 60 10
 Web Sitesi: www.foraksprefabrik.com
 E-Posta: info@foraksprefabrik.com
 Vergi Dairesi: Antalya Kurumlar
 VKN: 3880813391
 Mersis No: 0388081339100015

FORAKS

Matbu İrsaliye

EBİS

SAYIN
TASARIM ÇELİK

Tel:
 Vergi Dairesi:
 VKN:
 Teslim Yeri: ORGANIZE

Özelleştirme No:	TR1.2	İrsaliye Tarihi:	05-10-2021
Senaryo:	TEMEİRSALİYE	İrsaliye Zamanı:	15:16:12
İrsaliye Tipi:	SEVK	Sevk Tarihi:	05-10-2021
İrsaliye No:	MTB202100003157	Sevk Zamanı:	15:16:12

ETTN: b6a42dff-5378-4e53-805d-2f3cb3a34773

Taşıyıcı Bilgileri
 Araç plaka numarası: 07AKL343
 Şoför: MEHMET INCE, TCKN: 14000000006

Açıklamalar
 - İş bu irsaliye muhteviyatına 7 gün içerisinde itiraz edilmediği takdirde aynen kabul edilmiş sayılır.
 - Alıcı inşaat mahalinde imza karşılığı mal teslim alanın kendisini temsil ettiğini kabul eder.
 - Siparişe uygun teslim edilen beton, tüm özellikleri itibarıyla satıcının garantisine tabiidir.
 - Alıcının, betonun kalitesine herhangi bir müdahalesi garantiyi kaldırır.
 - Alıcı tarafından TS 500, TS 1247, TS 1248 Beton yapımı, döküm ve bakım kuralları (Normal ve Anormal hava koşullarında) titizlikle uygulanmalıdır.
 - Firmamızın sorumluluğu pompa ucundan veya mikser olduğundan standarda uygun beton teslimi ile sınırlıdır.
 - Müşterinin ilave su isteği halinde satıcının sorumluluğu sona erer.
 - Ürünlerimiz TS EN-206 ve TS 13515 standardına uygundur.
 - Not: Tarif edilmiş betonlar için G işareti ve hükümleri geçersizdir.

Teslim Eden **Teslim Alan**

Beton Sınıfı	Miktar	Teslim Şekli
C40/50 BRUT	5,3 m³	MIXERLİ

Hizmet 2
 Mikser Plaka: 07AKL343
 Sipariş Sefer / m³: 4603 / 36424,94m³
 Sı. Çimento Oranı: 0,36

Katkı Talepleri	
Katkı Miktarı	Verildiği Saat
.....kg	m³
Adı Soyadı	İmza
Operator	OPERATOR
Şantiye Varış Saati	
Döküm Başlangıç	
Döküm Bitiş Saati	

UYGUNLUK TEYİT SİSTEMİ 1+	
TASARLANMIŞ	TARİF EDİLMİŞ
X	

G
 008

FORAKS PREFABRİK YAPI ELEMANLARI SAN VE TİC. A.Ş.
 Antalya Organize Sanayi Böl. 3.Kısım Mah. 30.Cad No:20
 Döşemealtı/ANTALYA
 B699
 TS EN 206:2013+A1
 TS 13515

Dayanım Gelişimi (7/28)	0,80
Basınç Dayanım Sınıfı	C40/50 BRUT
Çevresel Etki Sınıfı	XC1
Klorür İçeriği	0,1
Kıvam Sınıfı	S2
Yoğunluk Sınıfı	N
Dmax	22,4
Çimento Tipi	CIM1
Kimyasal Katkı Tipi	GANTRE 156
Mineral Katkı Tipi	-
Agrega Ortalama Nem %	
Lifler	
Özel Nitelikleri:	

Şekil 3.4. Numunelerde kullanılan C40/50 betonunun irsaliyesi

Öngerilmeli beton elemanlarında kullanılacak öngerme toronunun TS 3233'e göre, öngerme telinden örülmesi gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca bu yönetmelikte öngerme toronunun mekanik özellikleri verilmiştir. Bu veriler Çizelge 3.2'de görülmektedir.

Çizelge 3.2. TS 3233'e göre öngerme toronlarının mekanik özellikleri

<u>Tel</u> <u>Çapı</u> (mm)	<u>Tel</u> <u>Sayısı</u>	<u>Minimum</u> <u>Kopma</u> <u>Dayanımı,</u> Kgf/cm ² (N/mm ²)	<u>Minimum</u> <u>Akma Limiti =</u> <u>1% Birim</u> <u>Uzama</u> <u>Karşılığı</u> <u>Gerilme</u>	<u>Kopmada</u> <u>Birim</u> <u>Uzama</u> % (min.)	<u>Elastisite Modülü,</u> Kgf/cm ² (N/mm ²)
2 ile 3	2 veya 3	16000 (1600)	Kopma Dayanımının 85%'i	3,5	1,8×10 ⁶ (1,8×10 ⁵)
2 ile 4	7	16000 (1600)			

Yukarıda Çizelge 3.2'den de anlaşılacağı üzere TS 3233, öngerme toronlarını sınırlandırmıştır. TS 3233 bize 2 ila 4 mm tel çapına sahip toronların tel sayısının 7 olması gerektiğini söylemektedir. Fakat günümüzde, bu çalışmada kullanılan toron gibi, farklı tel sayısına ve farklı çaplara sahip onlarca öngerme toronu bulunmaktadır. Buradan TS 3233'ün günü geçmiş bir standart olduğunu söylenilmesi mümkündür. Bu yüzden ki bu çalışma, Avrupa Standartlarından biri olan EN 10138-3'ten yardım alınarak hazırlanmıştır. Aşağıda Çizelge 3.3'te EN 10138-3'ten alınan 2 veya 3 telli toronların mekanik özellikleri ve ölçüleri verilmiştir.

Çizelge 3.3. 2 ve 3 telli toronların özellikleri ve ölçüleri

Seçilen Çelik		Ana Veriler				Belirlenmiş Veriler			
Çelik İsmi	Çelik Numarası	Çap	Çekme Dayanımı	Kesit Alanı	Ağırlık	Metre Başına Ağırlıkta İzin Verilen Sapma	Maksimum Kuvvetin Karakteristik Değeri	Maksimum Kuvvetin Maksimum Değeri	0,1% Mukavemet Kuvvetinin Karakteristik Değeri
		d	R _m	S _n	M		F _m	F _{m,max}	F _{p0,1}
		mm	Mpa	mm ²	g/m		kN	kN	kN
Y1770S2	1.1345	5,6	1770	9,7	75,8	±2	17,2	19,8	14,8
		6,0		15,1	117,9		26,7	30,7	23,0
Y1770S3	1.1359	7,5	1770	29,0	226,5	±2	51,3	59,0	44,1
Y1860S2	1.1346	4,5	1860	7,95	62,1	±2	14,8	17,0	12,7
Y1860S3	1.1360	4,85	1860	11,9	92,9	±2	22,1	25,4	19,0
		6,5		21,2	165,6		39,4	45,3	33,9
		6,9		23,4	182,8		43,5	50,0	37,4
		7,5		29,0	226,5		53,9	62,0	46,4
		8,6		37,4	292,1		69,6	80,0	59,9
Y1920S3	1.1357	6,3	1920	19,8	154,6	±2	38,0	43,7	32,7
		6,5		21,2	165,6		40,7	46,8	35,0
Y1960S3	1.1361	4,8	1960	12,0	93,7	±2	23,5	27,0	20,9
		5,2		13,6	106,2		26,7	30,7	23,8
		6,5		21,2	165,5		41,6	47,8	37,0
		6,85		23,6	184,3		46,3	53,2	41,2
Y2060S3	1.1362	5,2	2060	13,6	106,2	±2	28,0	32,2	24,9
Y2160S3	1.1363	5,2	2160	13,6	106,2	±2	29,4	33,8	26,2

Öngerme toronu ise Has Çelik ve Halat San. Tic. A.Ş.'nden $3 \times 2,25$ mm olarak imal edilen Şekil 3.5'te görüldüğü gibi toplam 4,85 mm çapa sahip olan toron temin edilmiştir.



Şekil 3.5. Temin edilen öngerme toronun üstünde özellikleri gösterilen barkod

Yukarıda üretilecek numunenin ana yapı malzemeleri tanıtılmıştır. Aşağıdaki kısımda ÖBK'lerin üretiminde kullanılan ekipmanların tanıtımı yapılacaktır.

Öngerilme uygulanmış toronların, kalıba beton dökülüp mukavemetini alıncaya kadar geçen süre boyunca toronlardaki gerginliğin sabit kalmasına yarayan ekipmanlar çekirdek ve kovandır (Şekil 3.6, 3.7).



Şekil 3.6. Öngerme çekirdeği ve kovanı



Şekil 3.7. ÖBK'lerin üretim kalıbı ile öngerme çekirdek ve kovanı

Şekil 3.8'de görülen makine öngermeyi uygulayan öngerme krikosudur. Bu makine ayarlanabilir olup istenilen basınçta ve tonda toronlara öngerme uygulamaktadır.



Şekil 3.8. Öngerme krikosu

Bu tez çalışmasında kullanılacak malzemeler, ekipmanlar ve hammaddeler yukarıda tanıtılmıştır. Aşağıdaki kısımda ÖBK'lerin yapım ve deney metotları incelenecektir.

3.2. Metot

Bu kısım iki alt başlıkta incelenecektir. Bunlar, ÖBK'lerin yapım metodu ve deney metodudur. Yapım metodu başlığı altında ÖBK'lerin adım adım üretim aşaması anlatılmaktadır. Deney metodu başlığı altında ise test mekanizması tanıtılmaktadır.

3.2.1. Yapım metodu

Öngermeli beton kolonların yapım aşamasında öncelik, öngerme toronlarını Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'de görülen kalıplara yerleştirilmesidir. Toronlar yerleştirildikten sonra öngerme çekirdek ve kovanları öngerme toronlarının öngerme uygulanırken kalıptan sıyrılmasını engellemek amacıyla yerleştirilir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Öngerme toronun ve kovanının kalıptaki yerleşimi

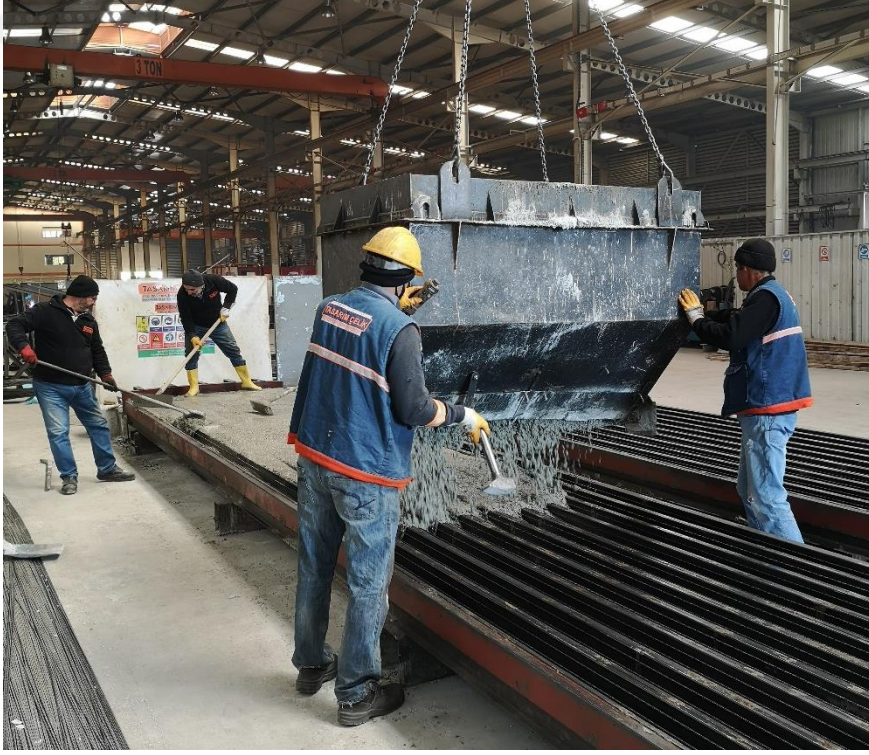
Kalıba yerleştirilen ve öngerme krikosu ile öngerme uygulanan toronların üzerine beton dökülür (Şekil 3.12).



Şekil 3.10. Öngerilmeli beton kolon üretim kalıbı üstten görünüş



Şekil 3.11. Öngerilmeli beton kolon üretim kalıbı yandan görünüş



Şekil 3.12. Öngerme uygulanmış hazır haldeki kalıba beton dökümü

Alınan betonun kalitesinin doğrulanması için beton kalıba dökülmeden önce numune alınmıştır. Silindir numunelerden 2 tanesi 7'nci günde ve 4 tanesi 28'inci günde basınç testinin yapılması için toplam 6 tane alınmıştır. Test günü gelene kadar bu numuneler suda bekletilmişlerdir. Bu işlemler Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Basınç deneyi için beton numune alınması



Şekil 3.14. Su dolu tankta bekletilen numuneler

Alınan numunelere basınç dayanım testi yapılmıştır. Dayanım testi sonuçları Çizelge 3.4’te tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 3.4. Numunelerin basınç dayanım testi sonuçları

<u>Basınç Dayanım Testi Sonuçları</u>		
<u>Gün</u>	<u>Numune</u>	<u>N/mm²</u>
7. Gün	1. Numune	45
	2. Numune	40
28. Gün	1. Numune	46
	2. Numune	46
	3. Numune	47
	4. Numune	51

Yukarıdaki alınan tüm numunelerin basınç dayanımı N/mm² cinsinden verilmiştir. Şekil 3.15 ve Şekil 3.16’da bu basınç deneyinin birkaç görseli bulunmaktadır.



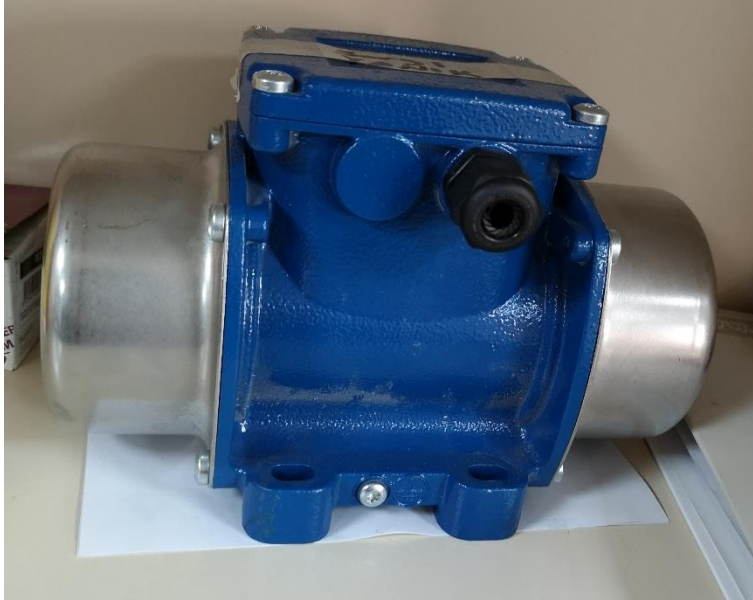
Şekil 3.15. 7’nci gün 1’inci numuneye ait test sonuç görünümü



Şekil 3.16. 28'inci gün 1'inci numuneye ait test sonuç görünümü

Yukarıda görüldüğü üzere yapılmış olan basınç dayanım testi ile temin edilen C40/50 betonun kalitesi doğrulanmıştır.

Kalıba dökülen bu betonun daha homojen olması için vibrasyona uğraması şarttır. Bu yüzden kalıbın altında kalıp vibratörleri bulunmaktadır. Şekil 3.17'de görülen vibratörler kalıbı titreştirerek oluşturulan öngerilmeli beton kolonların daha homojen ve yoğun betonu olmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.17. Kalıp vibratörü

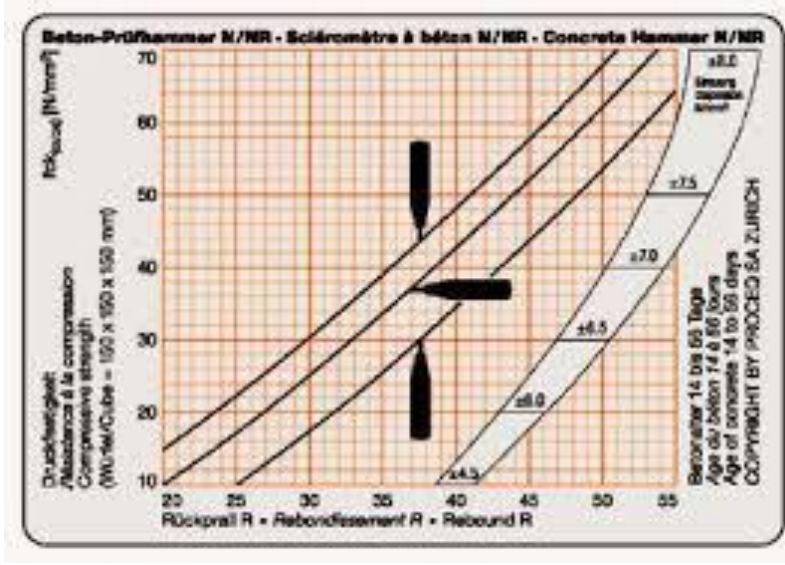
Öngerilmeli beton kolonların kalıptan çıkarılmadan önce bir şeyden emin olunması gerekmektedir. Öngerilmeye maruz bırakılan toronların öngerme uygulanan nokta ile olan bağlantısı kesilmeden önce betonun gerekli beton dayanımına ulaşması gerekmektedir. Eğer ki gerekli dayanıma ulaşmadan kalıptan sökülmeğe başlanırsa toronlar öngerilmeyi salarak beton içinde aksel sıyrılmalar gerçekleştirecektir.

Karakteristik beton dayanımın yaklaşık olarak 70%'i son priz dayanım değeri olarak görülebilmektedir (Sesigür 2017). Bu yüzden öngerilmeli beton kolonların kalıptan ne zaman çıkacağı son priz dayanım değerine bağlıdır. Eğer ki dayanım son priz dayanımına gelmemiş ise öngerilmeli beton kolonlar kalıptan çıkarılmamakta ve son priz dayanımına gelene kadar beklenilmektedir.

Kalıptaki betonun dayanım değerini beton test çekici kullanılarak okunmaktadır. Buna müteakiben öngerilmeli beton kolonların ne zaman kalıptan çıkacağı karar verilmektedir.



Şekil 3.18. Beton test çekici



Şekil 3.19. Test çekici okumasından beton basınç dayanımına geçiş grafiği

Şekil 3.18’de gösterilen beton test çekici ile yapılan testler ışığında Şekil 3.19’a bakılarak okuması yapılan öngerilmeli beton kolonların ne kadar dayanıma sahip olduğu anlaşılmaktadır. Eğer ki okunan dayanım son priz dayanımına yani karakteristik dayanımının 70%’ine geldiği taktirde öngerilmeli beton kolonların kalıptan çıkarılmasının zamanı gelmiş olmaktadır. Kalıptan çıkarılma zamanı geldiği taktirde Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’de görüldüğü üzere ÖBK’ler kalıptan çıkarılmaktadırlar.



Şekil 3.20. Öngerme toronlarının kesilmesi



Şekil 3.21. Öngerilmeli beton kolonların kalıptan çıkarılması

3.2.2. Deney metodu

Bu bölümde ÖBK'lerin deneye tabii tutulurken kullanılan deney mekanizmasına bakış yapılacaktır.

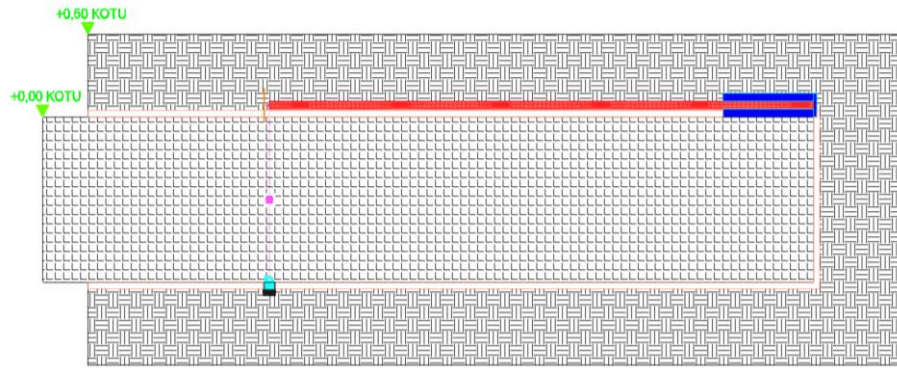
Öngerilmeli beton kolonların taşıma kapasitelerini yani dayanım kapasitelerini tayin edebileceğimiz 3 adet deney metodu bulunmaktadır. Bu üç deney metodu ÖBK'lerin kullanılması planlanan sera ve örtü altı yapılardaki davranışları göz önüne alınarak karar verilmiştir. Bunlar eğilme deneyi, yatay çekme kuvveti etkisinde kırılma ve eğik çekme kuvveti etkisinde kırılma deneyidir.

Burada önemli husus gerçeğe yakın bir davranışı sağlayabilmektir. Bu yüzden 9 metrelik kolonların 1,5 metresini toprağa gömülecektir. Bu 1,5 metrede ankastre mesnet olarak davranacaktır (Şekil 3.22). Toprağın üstünde kalan 7,5 metrelik kısmın uç noktası ise tercihen çelik profiller ile sabitlenmeli ve rijit diyafram oluşturulmalıdır.

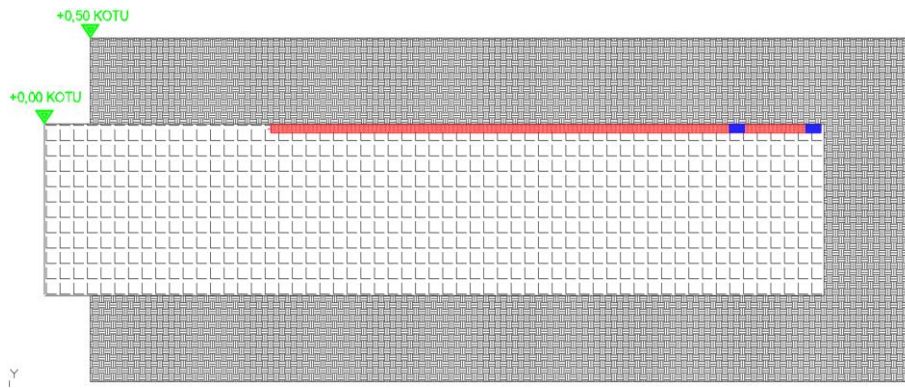


Şekil 3.22. 1,5 metre gömülü ankastre mesnet

Deney numunelerin yerleşimi aşağıdaki Şekil 3.23 ve Şekil 3.24’de görüldüğü şekilde olacaktır.

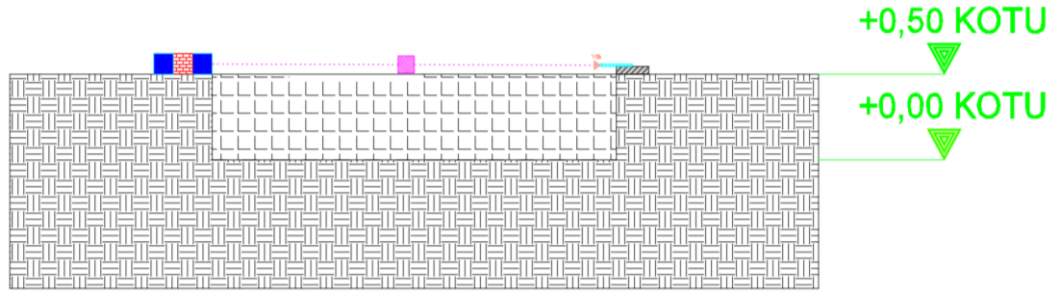


(a)

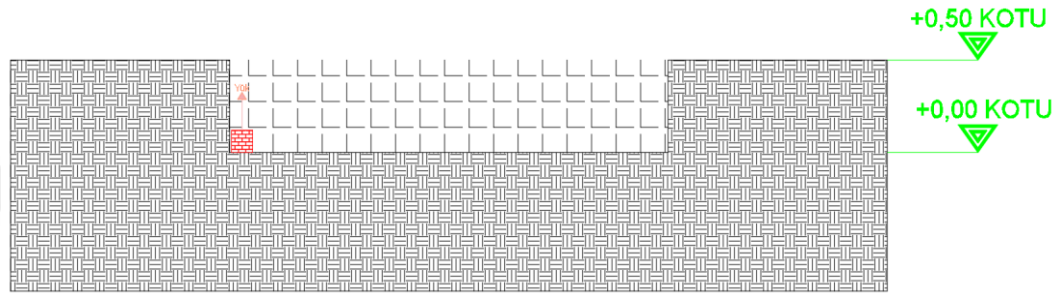


(b)

Şekil 3.23. Deney yeri, numune ve malzeme yerleşimi; **a)** Eğilme deneyi veya yatay çekme kuvveti etkisinde kırılma deneyi için kurulan sistem; **b)** Eğik çekme kuvveti etkisinde kırılma deneyi için kurulan sistem



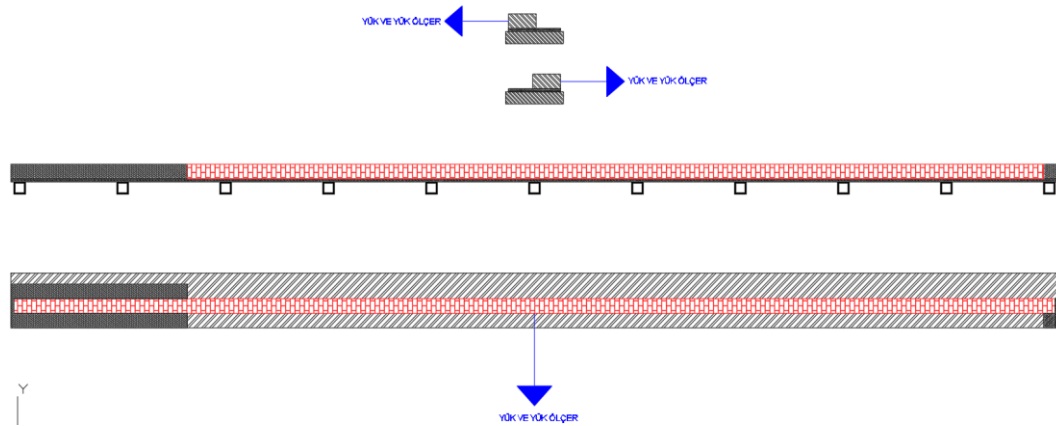
(a)



(b)

Şekil 3.24. Deney yeri, numune ve malzeme yerleşimi kesit görünümü; **a)** Eğilme deneyi veya yatay çekme kuvveti etkisinde kırılma deneyi için kurulan sistem; **b)** Eğik çekme kuvveti etkisinde kırılma deneyi için kurulan sistem

Gerçekleştirilecek ilk deney metodu eğilme deneyidir. 9 metrelik kolonun 1,5 metresi ankastre olarak sabitlenmiş olup toprağın üst kısmındaki tepe noktası olan ucunda sabit mesnet olarak teşkil edilmiştir. Kolonun orta noktasında yük uygulanmaktadır. Aşağıdaki Şekil 3.25'te deneyin nasıl uygulanacağı ve Şekil 3.26'da nasıl uygulandığı görülmektedir.

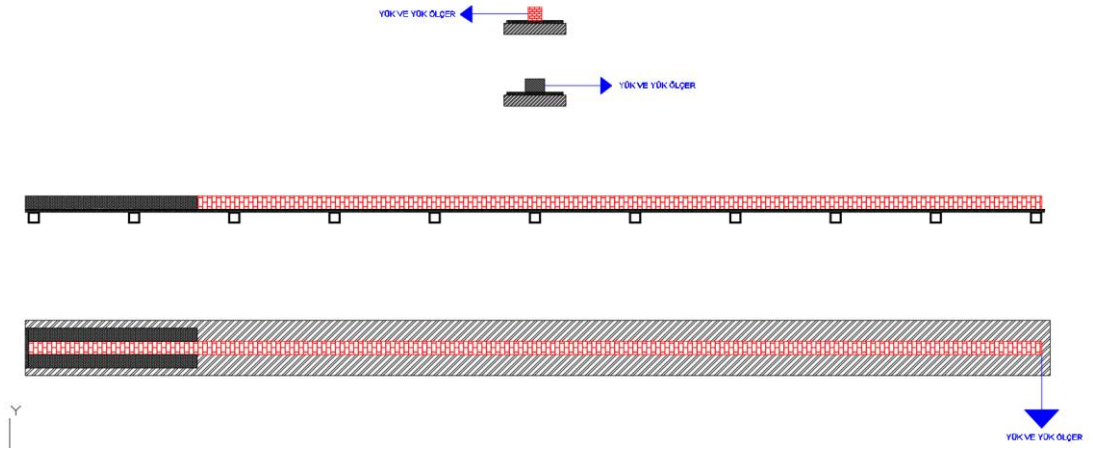


Şekil 3.25. Planlanan eğilme deneyi AutoCAD çizimi



Şekil 3.26. Gerçekleştirilen eğilme deneyi görüntüsü

Gerçekleştirilecek ikinci deney metodu ise yatay çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyidir. 9 metrelik kolonun 1,5 metresi ankastre olarak sabitlenmiş olup toprağın üst kısmındaki tepe noktasında mesnet olarak teşkil edilecek hiçbir şey bulunmamaktadır. Kolonun tepe noktasında yük uygulanmaktadır. Aşağıdaki Şekil 3.27’de deneyin nasıl uygulanacağı ve Şekil 3.28’de nasıl uygulandığı görülmektedir.

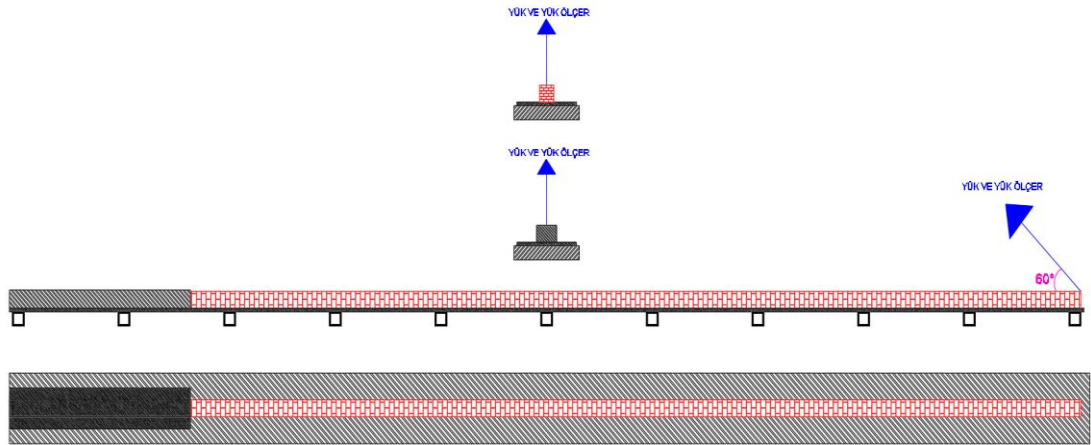


Şekil 3.27. Planlanan yatay çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi AutoCAD çizimi



Şekil 3.28. Gerçekleştirilen yatay çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi görüntüsü

Gerçekleştirilecek üçüncü deney metodu ise eğik çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyidir. 9 metrelik kolonun 1,5 metresi ankastre olarak sabitlenmiş olup toprağın üst kısmındaki tepe noktasında mesnet olarak teşkil edilecek hiçbir şey bulunmamaktadır. Kolonun tepe noktasında 60° eğik kuvvet uygulanmaktadır. Aşağıdaki Şekil 3.29'da deneyin nasıl uygulanacağı ve Şekil 3.30'da nasıl uygulandığı görülmektedir.



Şekil 3.29. Planlanan eğik çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi AutoCAD çizimi



Şekil 3.30. Gerçekleştirilen eğik çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi görüntüsü

Yapılan deneylerin mekanizması yukarıda Şekil 3.23, Şekil 3.24, Şekil 3.25, Şekil 3.26, Şekil 3.27, Şekil 3.28, Şekil 3.29 ve Şekil 3.30’da anlatılmıştır. Bundan sonraki Bulgular ve Tartışma ana başlığında, ÖBK’lerin tasarımı ve taşıma kapasitelerinin hesaplanması için gerekli adımlar üretilen ÖBK’ler üzerinden anlatılacaktır. Örnek ÖBK’lerin deney sonuçları ve hesaplanan dayanım kapasiteleri karşılaştırılarak incelenecektir. ÖBK’lerin, SAP2000 programında tasarlanan ve analizi yapılan bir sera yapısındaki uygunluğu incelenecektir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Öngerilmeli beton, çeşitli yükler etkisinde davranışını ve mukavemetini geliştirmek üzere bir yapı elemanına kalıcı gerilmeler verilmesidir. Ömrü boyunca etki edebilecek yükleri karşılayacak biçimde istenilen miktardaki gerilmelerin yapıya etki ettirilmesi ile meydana beton yapı elemanına öngerilmeli beton denilmektedir. Öngerilmeli beton, beton ve çeliğin aktif kombinasyonu ile elde edilmektedir (Oflozoğlu 2007).

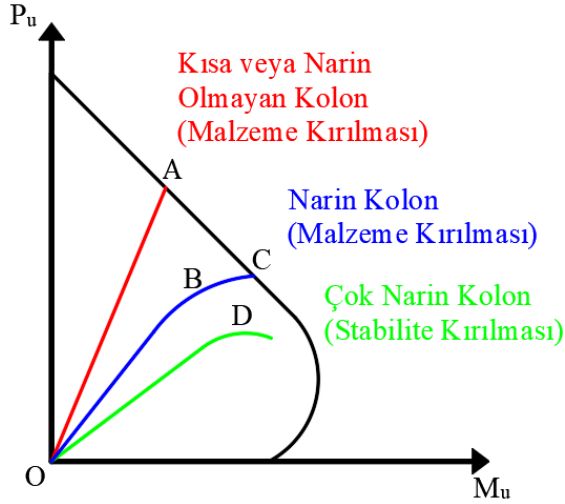
Öngerilmeli beton teknolojisi ile;

- Çok büyük açıklıklar kolaylıkla geçilebilmektedir.
- Malzeme tamamıyla elastik çalışır.
- Narin ve esnek elemanların olabilmesini sağlayarak kesit boyutlarında ekonomi sağlamaktadır.
- Fabrikada üretilen ürünler olmasından dolayı kalıp tasarrufu sağlamaktadırlar.
- Kullanılan çeliğin kalitesinin yüksek olması sebebiyle daha az donatı kullanılabilir.
- Yüksek mukavemetli beton kullanılması sayesinde dayanımı yüksek elemanlar oluşması sağlanmaktadır (Oflozoğlu 2007).

Bilinmelidir ki öngerilmeli beton kolonların analizi betonarme kolonlar ile benzerlikler bulunmaktadır. Öngerme toronundaki eksenel öngerilme kuvveti kolona rijitlik sağlamaktadır. Kolonlar eksenel yüklerle birlikte eğilmeye de maruz kalmaktadırlar. Kolonun orta noktasındaki eğilmeyi, eksenel öngerilme kuvveti etkisiz hale getirmektedir. Ayrıca bu kolonlar incelerken narinlik etki büyük önem taşımaktadır. Bu kolonlar taşıma kapasiteleri hesaplanırken narinlik etkisi sebebiyle narin olmayan öngerilmeli beton kolonlar ve narin öngerilmeli beton kolonlar olarak ikiye ayrılırlar.

Farklı eksantrisitede kolonların taşıma gücü momenti (M_u) değeri bulunması gerekiyor ise taşıma gücü eksenel yük (P_u) değeri ile farklı her eksantrisite değerinin çarpılması gerekmektedir. Bu durum aşağıdaki (4.1) formülünde gösterilmiştir.

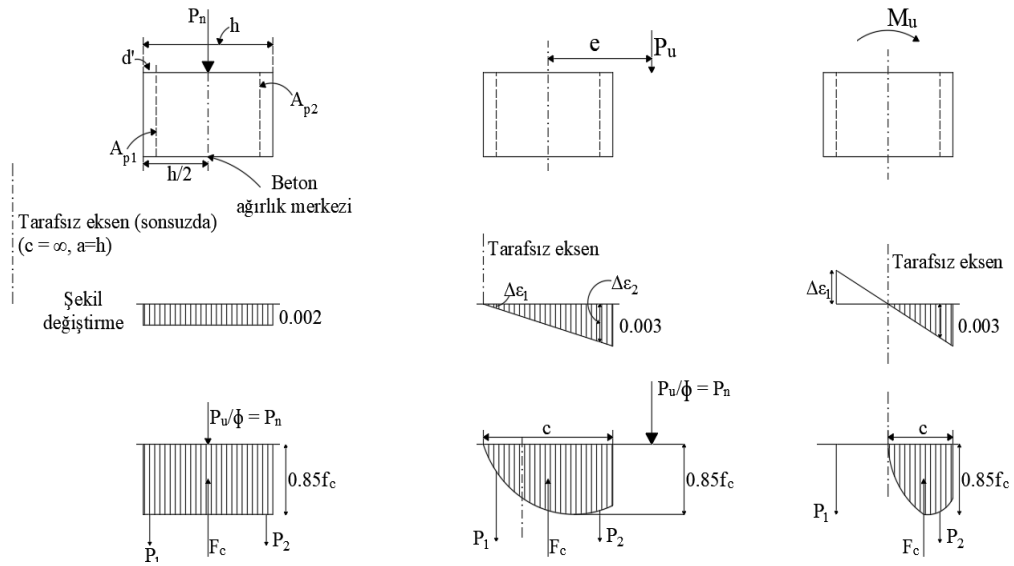
$$M_u = P_u \times e \quad (4.1)$$



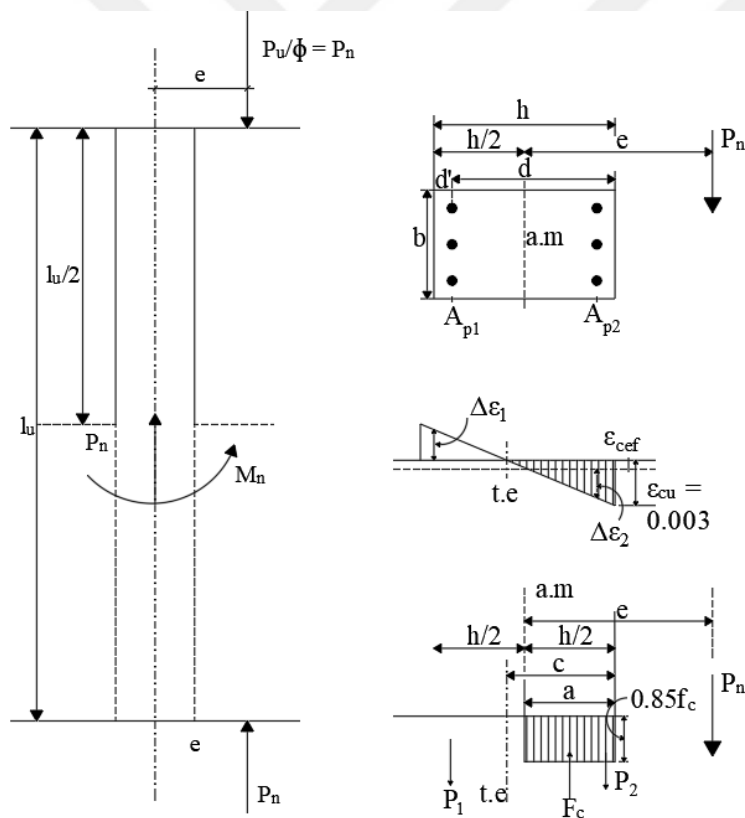
Şekil 4.1. ÖBK'lerin kuvvet-moment etkileşim grafiği

Şekil 4.1'e bakıldığında narin olmayan kolonlar ve narin kolonlar için, P_u taşıma gücü eksenel kuvveti ve M_u taşıma gücü momenti arasındaki etkileşim grafik olarak gösterilmiştir. Burada OA çizgisi kısa veya narin olmayan kolonları temsil etmektedir. Yük, A noktasına geldiğinde kırılma gerçekleşmektedir. OBC çizgisi ise narin kolonları temsil etmektedir. Yük, B noktasında iken maksimum değeri görmektedir. Ayrıca yük, C noktasına geldiğinde kırılma gerçekleşmektedir. OD çizgisi ise çok narin kolonları temsil etmektedir. Bu tür kolonların kırılmaları stabilite kırılması olacaktır.

Eksenel yük-moment etkileşim grafiğini oluşturan üç temel durum söz konusudur. Bunlar; tarafsız eksenin sonsuzda ($c = \infty$) olduğu durum, tarafsız eksenin yeri en dış çekme lifinin üzerinde ($c = h$) olduğu durum ve tarafsız eksenin yeri, kesitin içinde oluşacak her yer için deneme yanılma metodu ile hesaplanması durumudur. Bu üç durum Şekil 4.2'deki görsel ile açıklanmıştır. Ayrıca bu üç durumun hesaplanabilmesi için Şekil 4.3'te eksantrik yüklü kolonda gerilme kuvvetlerin nasıl oluşacağı gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Beton kesit derinliği boyunca şekil değiştirme ve gerilme dağılımı (Nawy 2000)



Şekil 4.3. Narin olmayan, eksantrik yüklü kolonda gerilmeler ve kuvvetler (Nawy 2000)

Kolonun narinlik oranı kısa kolonlar için belirtilen limit durumunu asarsa, basınç elemanı malzeme kırılması sınır değerine ulaşmadan kırılır. Betonda burkulma yük değerinde basınç yüzündeki şekil değiştirme, $\varepsilon_{cu} = 0.003$ değerinden az olmalıdır. Eğilme ve eksenel yüke maruz kalan narin kolon yanıl deformasyona uğrar ve kolonda P-Δ etkisinden dolayı ilave moment oluşur (Oflozoğlu 2007).

P_u eksenel yük etkisi altında ve e eksantrisitede narin bir kolonu ele alınırsa, burkulma etkisi $P_u-\Delta$ ilave momentini oluşturur. Bu moment Şekil 4.1'deki grafikte yükleme kapasitesinde AC arası bir noktadan C noktasına bir kayıp oluşturur.

Bir ÖBK genellikle ankastre yapı olarak hareket eder ve birleşik eksenel ve eğilme yükleri alan bir eleman olarak tasarlanmalı ve analiz edilmelidir. Kesme kuvvetleri eğilme momentlerine göre küçüktür, bu nedenle öngerilmeli beton kolonlar çok esnektir. Tasarımda her zaman işleme, taşıma ve montaj gibi etmenler göz önünde bulundurulmalıdır. Diğer donatılı beton yapılarının aksine, bir öngerilmeli beton kolon zıt yönlerde eşit eğilme momentlerine dayanmalıdır. Kolon, maksimum yükleme koşuluna dayanacak şekilde tasarlanmalı ve normal çalışma koşullarında kolonun çatlama anını aşmadan dayanacak şekilde tasarlanmalıdır. Dikkate alınması gereken yükler rüzgâr, buz, tel, armatürlerin ağırlığıdır.

Bu başlık altında öncelikle öngerilmeli beton kolonların nihai dayanımı hakkında bilgi verilip daha sonra deneye tabii tutulan ÖBK numunelerin deneyin sonunda hangi sonuçlar elde edildiğine bakılacaktır. SAP2000 programı yardımı ile tasarlanan ve planlanan bir sera yapısında ÖBK'lerin davranışları incelenecektir. Analitik ile elde edilen veriler, deney sonucu elde edilen veriler ile birlikte SAP2000 programından alınan değerler karşılaştırılarak ÖBK'lerin sera yapılarında kullanımı uygun olup olmadığına bakılacaktır. Ayrıca bu tez çalışmasında aşağıda testleri yapılan numunelerimizin hangi kategoriye ait olduğunu tespit edip bu kolonların kesit taşıma kapasiteleri incelenecektir.

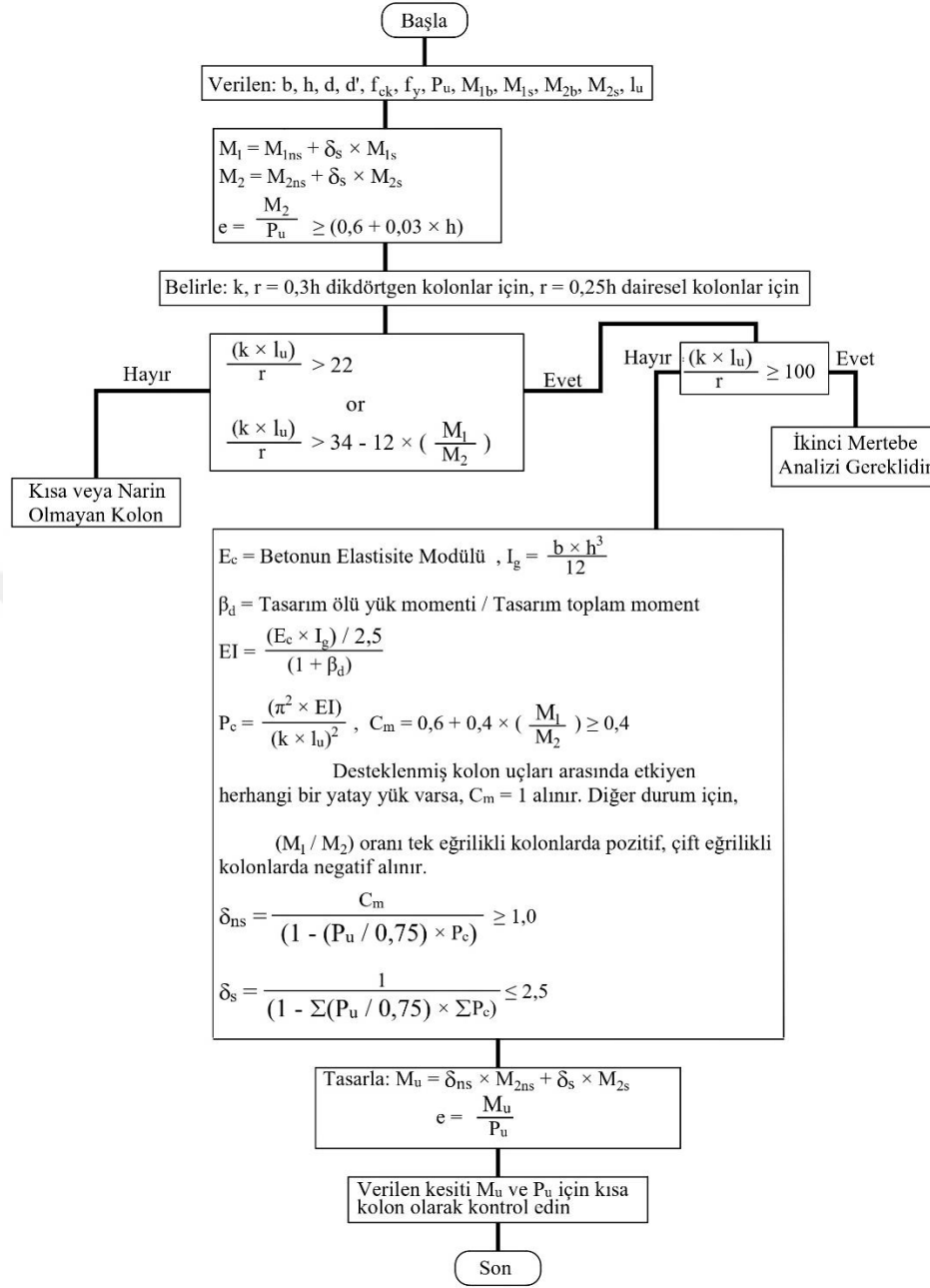
4.1. Öngerilmeli Beton Kolonların Taşıma Gücü Hesaplanması

Şekil 4.4'e göre kolonların narinliğinin anlaşılabilmesi için bazı eşik noktalarının olduğu açıkça görülmektedir. Denklem (4.2) veya (4.3)'ü sağlamayan kolonlar kısa veya narin olmayan kolonlar ya da kolonlardır. Bu tür kolonlar ve kolonlar için TS 500'e bakılarak gerekli formülasyonlar kullanılarak dayanımları hesaplanabilmektedir. Denklem (4.2) ve (4.3)'ü sağlıyor ancak denklem (4.4)'ü sağlamayan kolonları narin kolonlar olarak tanımlanmaktadır. Bu kolonlar moment büyütme metodu ve gerekli formülasyonlar ile dayanımları hesaplanabilmektedir. Denklem (4.2), (4.3) ve (4.4)'ü sağlayan kolonlar çok narin kolonlar olarak adlandırılmaktadır. Bu kolonların dayanımlarını hesaplarken ikinci merteye etkilerini unutmamak gerekmektedir.

$$\frac{kl_u}{r} > 22 \quad (4.2)$$

$$\frac{kl_u}{r} > 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \quad (4.3)$$

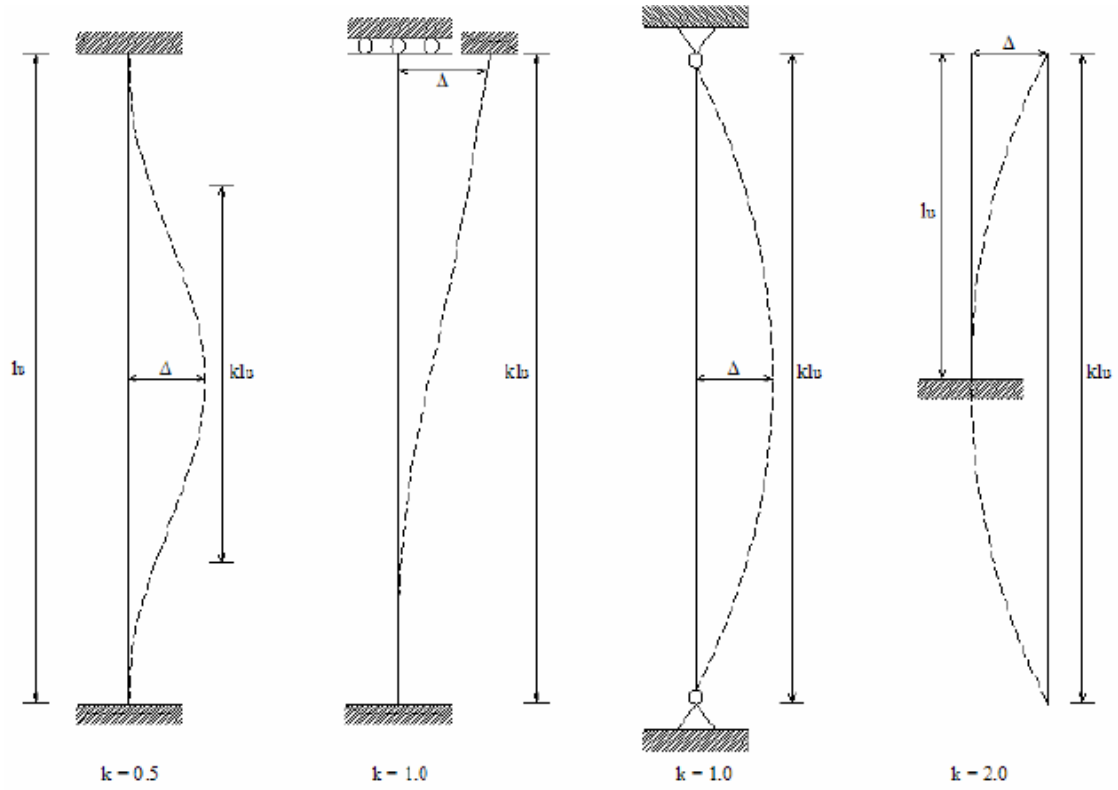
$$\frac{kl_u}{r} \geq 100 \quad (4.4)$$



Şekil 4.4. Narin kolonların tasarımı için akış şeması (Nawry 2000)

Bu tezde incelediğimiz ÖBK'lerin hangi narinlik sınıfında olduğunu tespit edilmesi gerekmektedir. Bunun için kolonların yapısal özelliklerini dikkate alınması gerekmektedir.

Şekil 3.22 ve Şekil 3.23'e bakıldığında 9 metrelik ÖBK'lerin 1,5 metresi toprak altında kalacağı için ankastre olarak tasarlanmış olması l_u değerini 7,5 metre olarak alınmasına sebep olmaktadır. Ayrıca Şekil 3.23, Şekil 3.24 ve Şekil 4.5'e bakıldığında $k = 1,0$ alınması kanaatine varılmaktadır.



Şekil 4.5. Tipik mesnet durumları için k katsayısı değerleri (Nawy 2000)

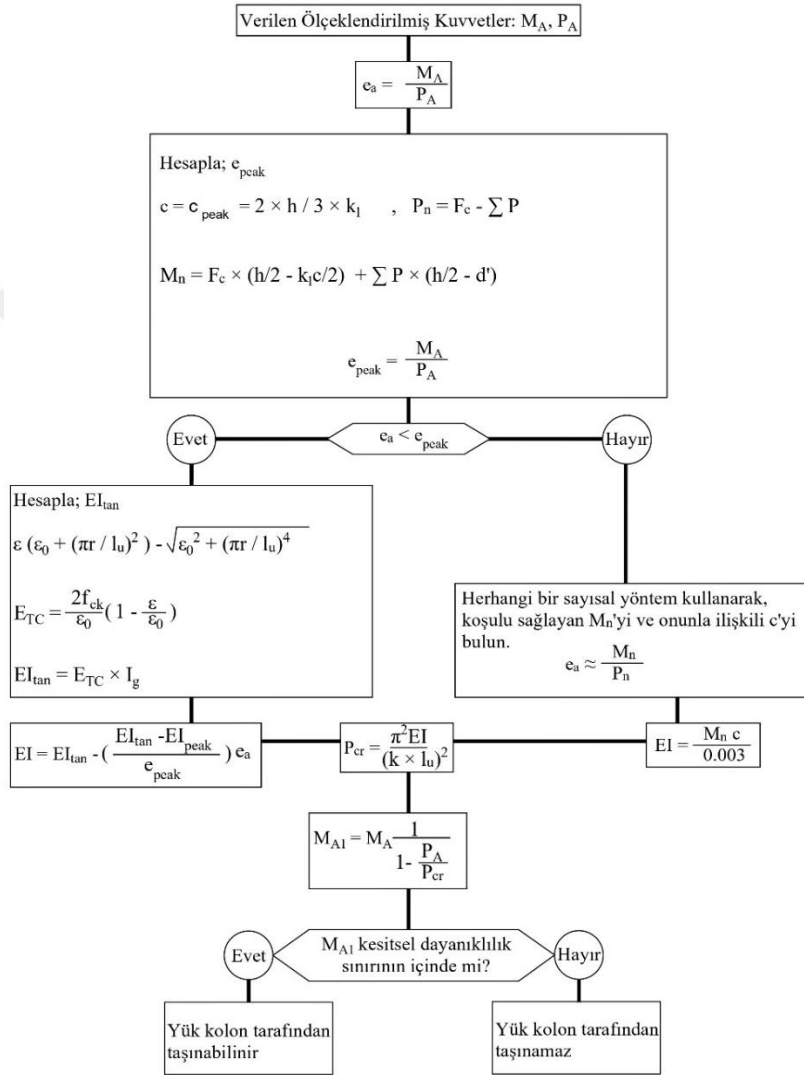
Narinlik oranının belirlenebilmesi için öncelikle atalet yarıçapını bulunması gerekmektedir. Atalet yarıçapı, (4.5) formülasyonu ile hesaplanmaktadır.

$$r = \sqrt{\frac{I_g}{A_g}} \quad (4.5)$$

Denklem (4.5)'de gerekli parametreler yerine yazıldığında $r = 3,46 \text{ cm}$ değeri elde edilmektedir. Bu r , l_u ve k değerleri denklem (4.3)'de yerine yazılırsa aşağıdaki narinlik değeri elde edilmektedir.

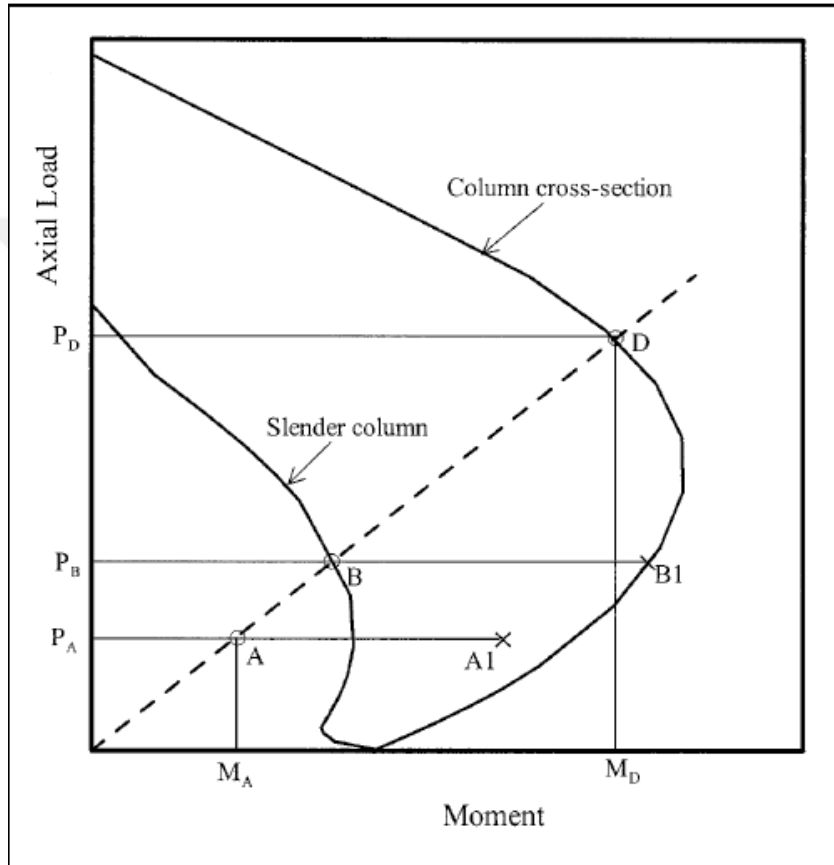
$$\frac{kl_u}{r} = 216,76 \geq 100$$

Yukarıda da bahsedildiği üzere kolonların çok narin kolonlar olarak adlandırılan narinlik sınıfına girmektedirler. Bu kolonlar, yeni bir yaklaşım olarak sunulan 2003 yılında Ahmed B. Shuraim ve Antoine E. Naaman tarafından yazılan çalışmada ışığında incelenecektir. Bu çalışmada önerilen yöntem aşağıdaki Şekil 4.6'da adım adım anlatılmıştır.



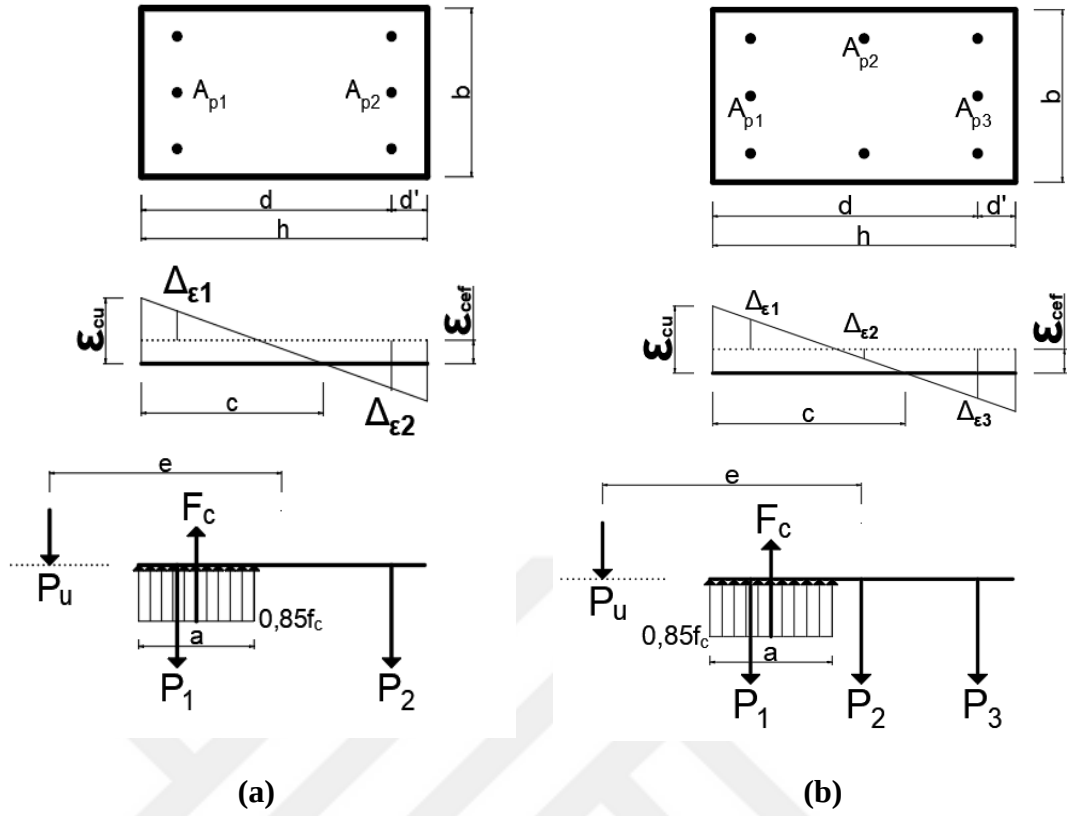
Şekil 4.6. Eşit uç momentler altında narin bir kolon için önerilen akış şeması (Shuraim ve Naaman 2003)

Şekil 4.6’da gösterilen akış şemasındaki adımlar uygulanmadan önce bir husus anlaşılmalıdır. Bu husus, örnek ÖBK’lerin ilk önce narinlik etkisini dikkate almaksızın kolonların kesit eksenel yük-moment etkileşimine bakılması gerektiğidir. Bulunan bu kesit eksenel yük-moment etkileşimi narin olmayan ÖBK’ler için nihai ve geçerli kapasite hesabıdır. Narinliğin etkisi ile oluşan eksenel yük-moment etkileşimi için kesit eksenel yük-moment etkileşimi bulunması gerekmektedir. Şekil 4.7’de bu durum gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Narinliğin eksenel yük-moment etkileşimine etkisi (Shuraim ve Naaman 2003)

Kesit analizinden elde edilecek olan eksenel yük-moment grafiği verileri aşağıda 4 toronlu 6 ton, 4 toronlu 8 ton, 6 toronlu 12 ton ve 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip ÖBK’ler için aşağıda sırasıyla açıklanmıştır. Bu grafiklerin elde edilmesi için kolonda oluşacak gerilme ve iç kuvvetler aşağıda Şekil 4.8a’da 4 veya 6 toronlu ÖBK’ler için ve Şekil 4.8b’de 8 toronlu ÖBK’ler için gösterilmiştir.



Şekil 4.8. ÖBK'lerde gerilmeler ve iç kuvvetler; **a)** 4 veya 6 toronlu ÖBK kesitinde gerilmeler ve iç kuvvetler; **b)** 8 toronlu ÖBK kesitinde gerilmeler ve iç kuvvetler

Eksenel yük-moment grafiği verileri için ilk olarak tarafsız eksen derinliği değeri seçilmelidir. Bu değer sıfır ile kolon kesitinin yüksekliği olan değer arasında olmalıdır. Yani deneye tabii tutulan ÖBK'ler için bu değer $0 \text{ mm} < h < 120 \text{ mm}$ arasında olmalıdır.

Tarafsız eksen derinliği belirlendikten sonra basınç bloğu derinliği bulunmalıdır.

$$a = k_1 \times c \quad (4.6)$$

$$k_1 = 0,85 - 0,0075(f_{ck} - 30) \quad (4.7)$$

Burada belirtilen k_1 değeri $f_{ck} = 40 > 30 \text{ MPa}$ olmasından dolayı denklem (4.7) ile bulunabilmektedir veya aşağıdaki Çizelge 4.1'deki tablodan bu değer alınabilmektedir.

Çizelge 4.1. Beton sınıflarına göre k_1 değerleri (TS 500)

Beton Sınıfı	C16	C18	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
k_1	0,85	0,85	0,85	0,85	0,82	0,79	0,76	0,73	0,70

Bu iki veriyi elde ettikten sonra basınç kuvvetinin bileşkesi bulunmalıdır. Basınç kuvvetinin bileşkesi, denklem (4.8) ile hesaplanmaktadır.

$$F_c = 0,85 \times \frac{f_{ck}}{1,5} \times a \times b \quad (4.8)$$

Toronların uyguladığı öngerme kuvvetinden doğan bileşkeler, sırasıyla P_1 ve P_2 olarak bulunmalıdır. Bu değerler, denklem (4.9)'daki ve denklem (4.11)'deki formüller ile hesaplanmaktadır.

$$P_1 = A_{p1} \times E_s \times (\varepsilon_{pef} - \Delta\varepsilon_1) \quad (4.9)$$

$$\Delta\varepsilon_1 = \varepsilon_{cu} \times \frac{c-d'}{c} - \varepsilon_{cef} \quad (4.10)$$

$$P_2 = A_{p2} \times E_s \times (\varepsilon_{pef} + \Delta\varepsilon_2) \quad (4.11)$$

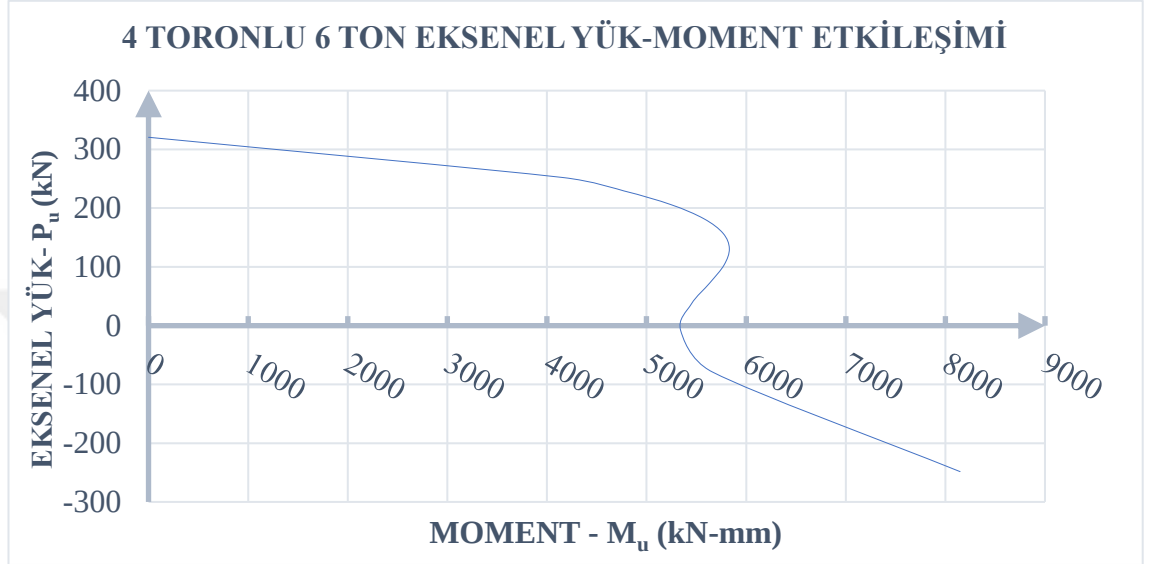
$$\Delta\varepsilon_2 = \varepsilon_{cu} \times \frac{d-c}{c} + \varepsilon_{cef} \quad (4.12)$$

Kesitteki bileşenler denge durumunda olduklarından dolayı şu ana kadar hesaplanan P_1 , P_2 ve F_c değerleri denge denklemlerinde yerine yazılmalıdır. Bu denge denklemlerinden elde edilen formüller (4.13) ve (4.14)'de verilmiştir.

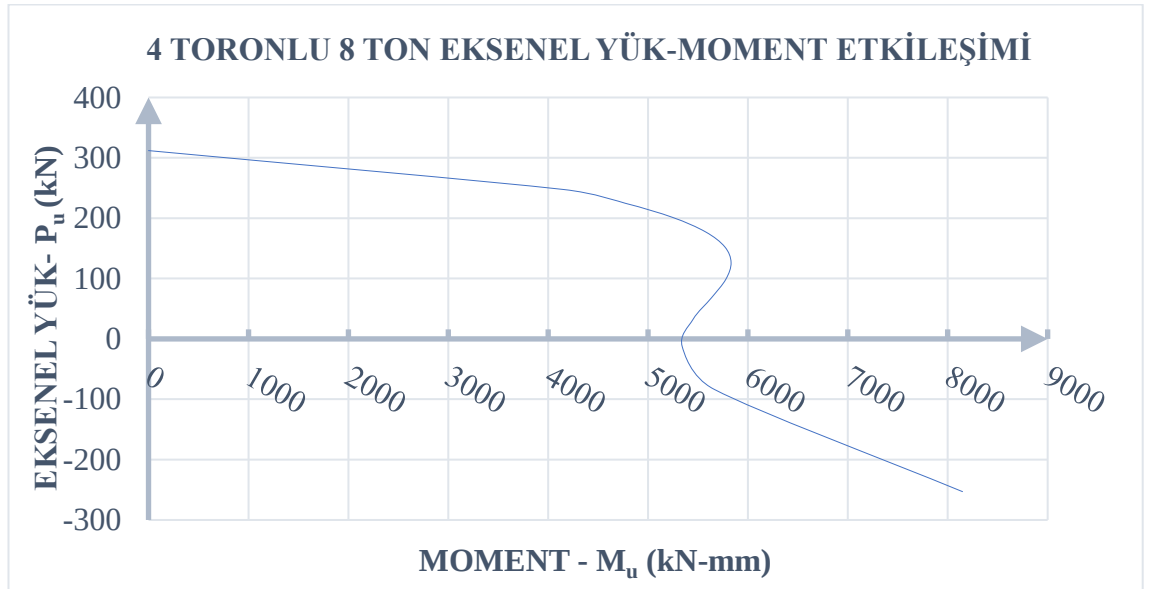
$$P_u = F_c - P_1 - P_2 \quad (4.13)$$

$$M_u = F_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) - P_1 \left(\frac{h}{2} - d' \right) + P_2 \left(d - \frac{h}{2} \right) \quad (4.14)$$

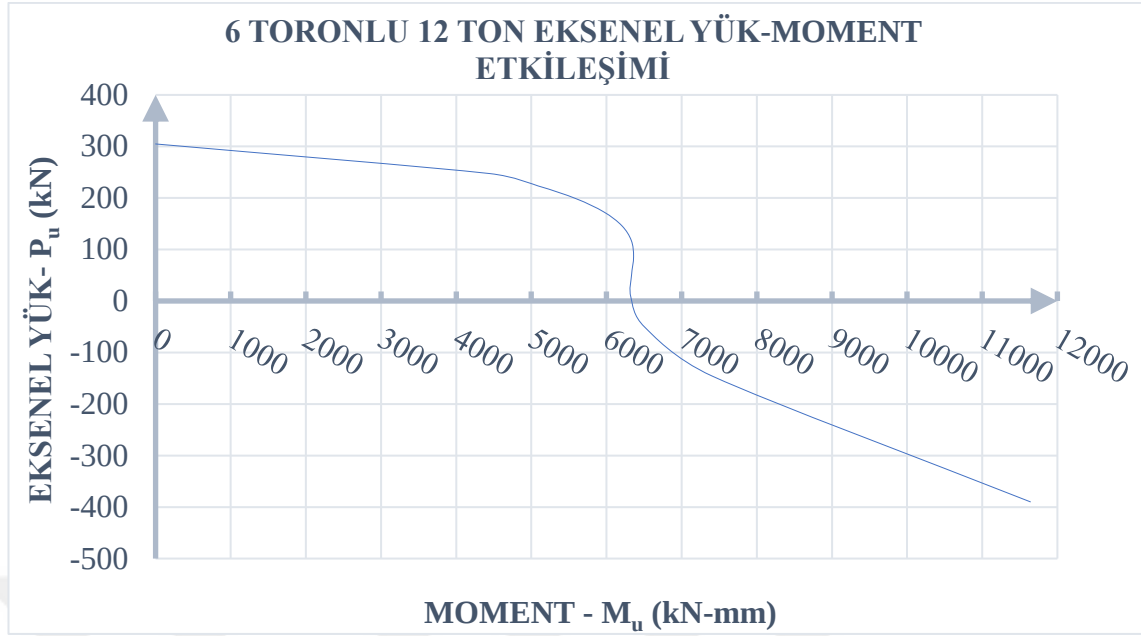
Tüm bu denklemler seçilen her c değeri için tekrar edilerek taşıma gücü-moment etkileşim grafiği elde edilmektedir. 4 toronlu 6 ton, 4 toronlu 8 ton, 6 toronlu 12 ton ve 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip ÖBK'lerin aşağıdaki Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de eksenel yük-moment etkileşimi görülmektedir. Bu etkileşimi veren veriler ise Çizelge 4.2, Çizelge 4.3, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.25'te gösterilmektedir.



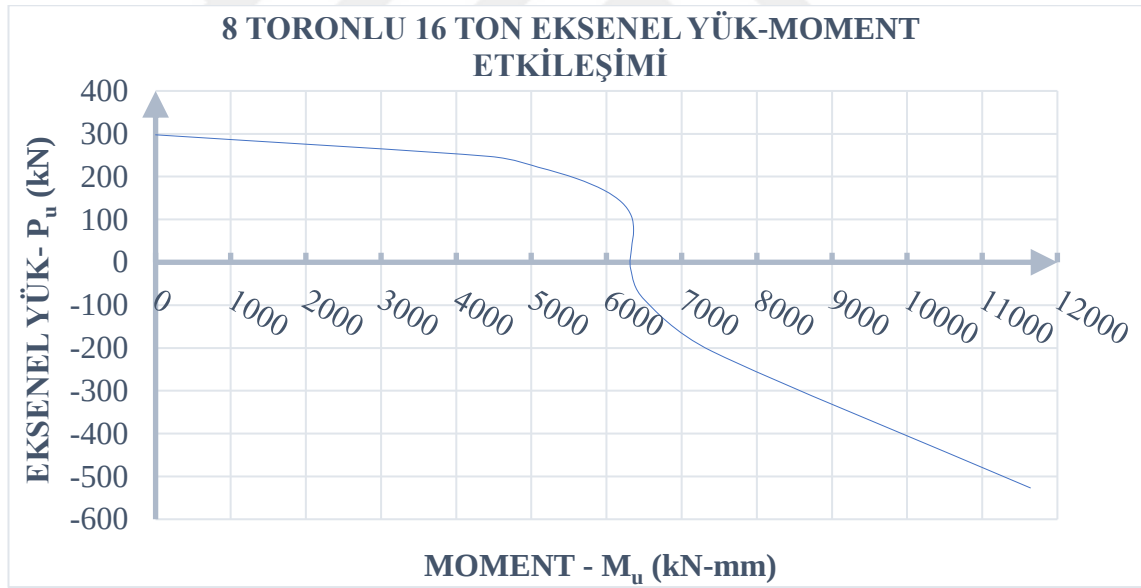
Şekil 4.9. 4 toronlu 6 ton öngerilmeye sahip öngerilmeli beton kolonun kesit eksenel yük-moment etkileşim grafiği



Şekil 4.10. 4 toronlu 8 ton öngerilmeye sahip öngerilmeli beton kolonun kesit eksenel yük-moment etkileşim grafiği



Şekil 4.11. 6 toronlu 12 ton öngerilmeye sahip öngerilmeli beton kolonun kesit eksenel yük-moment etkileşim grafiği



Şekil 4.12. 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip öngerilmeli beton kolonun kesit eksenel yük-moment etkileşim grafiği

Çizelge 4.2. 4 toronlu 6 ton öngerilmeye sahip öngerilmeli beton kolonun kesit eksenel yük-moment etkileşim verileri

$\underline{c}$ (mm)	$\underline{F}_c$ (N)	$\underline{P}_1$ (N)	$\underline{P}_2$ (N)	$\underline{P}_u$ (kN)	$\underline{M}_u$ (kNm)
10	20672,00	41398,5	227691,75	-248,42	8147,76
20	41344,00	13454,51	106601,14	-78,71	5659,42
30	62016,00	4139,85	66237,60	-8,36	5342,64
40	82688,00	-517,48	46055,83	37,15	5450,92
50	103360,00	-3311,88	33946,77	72,73	5634,96
60	124032,00	-5174,81	25874,06	103,33	5778,32
70	144704,00	-6505,47	20107,84	131,10	5831,11
80	165376,00	-7503,47	15783,18	157,10	5768,38
90	186048,00	-8279,7	12419,55	181,91	5576,26
100	206720,00	-8900,68	9728,65	205,89	5246,44
110	227392,00	-9408,75	7527,00	229,27	4773,63
120	248064,00	-9832,14	5692,29	252,20	4154,29
∞	326400,00	2897,90	2897,90	320,60	0,00

Çizelge 4.3. 4 toronlu 8 ton öngerilmeye sahip öngerilmeli beton kolonun kesit eksenel yük-moment etkileşim verileri

$\underline{c}$ (mm)	$\underline{F}_c$ (N)	$\underline{P}_1$ (N)	$\underline{P}_2$ (N)	$\underline{P}_u$ (kN)	$\underline{M}_u$ (kNm)
10	20672,00	43716,82	230010,07	-253,05	8147,76
20	41344,00	15772,83	108919,45	-83,35	5659,42
30	62016,00	6458,17	68555,92	-13,00	5342,64
40	82688,00	1800,83	48374,15	32,51	5450,92
50	103360,00	-993,56	36265,09	68,09	5634,96
60	124032,00	-2856,50	28192,38	98,70	5778,32
70	144704,00	-4187,16	22426,16	126,47	5831,11
80	165376,00	-5185,16	18101,49	152,46	5768,38
90	186048,00	-5961,38	14737,87	177,27	5576,26
100	206720,00	-6582,36	12046,96	201,26	5246,44
110	227392,00	-7090,43	9845,32	224,64	4773,63
120	248064,00	-7513,83	8010,61	247,57	4154,29
∞	326400,00	7203,34	7203,34	311,99	0,00

Çizelge 4.4. 6 toronlu 12 ton öngerilmeye sahip öngerilmeli beton kolonun kesit eksenel yük-moment etkileşim verileri

$\underline{c}$ (mm)	$\underline{F}_c$ (N)	$\underline{P}_1$ (N)	$\underline{P}_2$ (N)	$\underline{P}_u$ (kN)	$\underline{M}_u$ (kN-mm)
10	20672,00	65575,22	345015,10	-389,92	11640,76
20	41344,00	23659,24	163379,18	-145,69	7405,92
30	62016,00	9687,25	102833,87	-50,51	6506,98
40	82688,00	2701,25	72561,22	7,43	6324,17
50	103360,00	-1490,35	54397,63	50,45	6333,56
60	124032,00	-4284,74	42288,57	86,03	6360,49
70	144704,00	-6280,74	33639,24	117,35	6330,11
80	165376,00	-7777,74	27152,24	146,00	6205,00
90	186048,00	-8942,08	22106,80	172,88	5964,37
100	206720,00	-9873,54	18070,45	198,52	5595,74
110	227392,00	-10635,65	14767,97	223,26	5091,17
120	248064,00	-11270,74	12015,91	247,32	4445,37
∞	326400,00	10805,01	10805,01	304,79	0,00

Çizelge 4.5. 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip öngerilmeli beton kolonun kesit eksenel yük-moment etkileşim verileri

$\underline{c}$ (mm)	$\underline{F}_c$ (N)	$\underline{P}_1$ (N)	$\underline{P}_2$ (N)	$\underline{P}_3$ (N)	$\underline{P}_u$ (kN)	$\underline{M}_u$ (kN-mm)
10	20672,00	65575,22	136863,44	345015,10	-526,78	11640,76
20	41344,00	23659,24	62346,14	163379,18	-208,04	7405,92
30	62016,00	9687,25	37507,04	102833,87	-88,01	6506,98
40	82688,00	2701,25	25087,49	72561,22	-17,66	6324,17
50	103360,00	-1490,35	17635,76	54397,63	32,82	6333,56
60	124032,00	-4284,74	12667,94	42288,57	73,36	6360,49
70	144704,00	-6280,74	9119,50	33639,24	108,23	6330,11
80	165376,00	-7777,74	6458,17	27152,24	139,54	6205,00
90	186048,00	-8942,08	4388,24	22106,80	168,50	5964,37
100	206720,00	-9873,54	2732,30	18070,45	195,79	5595,74
110	227392,00	-10635,65	1377,44	14767,97	221,88	5091,17
120	248064,00	-11270,74	248,39	12015,91	247,07	4445,37
∞	326400,00	10805,01	7203,34	10805,01	297,59	0,00

Yukarıda ÖBK'lerin kesit eksenel yük-moment verileri hem tablolar aracılığı ile hem de grafikler aracılığı ile verilmiştir. Bu veriler ve grafikler narin olmayan ÖBK'ler için nihai taşıma gücü verileridir. Taşıma gücü kapasiteleri hesaplanan bu kolonlara gelen yükler nedeniyle oluşan eksenel yük ve moment ile kolonların mukavemet yeterliliklerinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Bunun için aşağıdaki adımlar izlenmelidir.

Mukavemet yeterliliklerine bakılması için ilk önce denklem (4.15)'de görülen maksimum eğilme rijitliğini veren tarafsız eksen derinliği (c_{peak}) değerinin bulunması gerekmektedir.

$$c_{peak} = \frac{2 \times h}{3 \times k_1} \quad (4.15)$$

Denklem (4.15)'de elde edilen değer ile eğilme rijitliğinin bulunması gerekmektedir. Eğilme rijitliğini veren denklem (4.16) aşağıda gösterilmiştir.

$$EI = \frac{M_n \times c}{0,003} \quad (4.16)$$

Maksimum eğilme rijitliğini elde edebilmek için denklem (4.16)'daki c değeri yerine denklem (4.15)'de elde edilen c_{peak} değeri, M_n değeri yerine ise c_{peak} değerine karşılık gelen moment değeri yazılmalıdır. Böylece EI_{peak} değeri bulunur.

$$e = \frac{M_n}{P_n} \quad (4.17)$$

e_{peak} değerini elde edebilmek için denklem (4.17)'de M_n ve P_n değerlerini yerine yazmak gerekmektedir. Bu değerler c_{peak} değerine karşılık gelen veya elde edilen moment ve eksenel yük değerlerdir.

c_{peak} , EI_{peak} ve e_{peak} değerleri sırasıyla denklem (4.15), (4.16) ve (4.17) ile bulunduktan sonra ÖBK'lerin mukavemet yeterliliğini kontrol etmek için varsayımsal metot kullanılması gerekecektir. Bunun için aşağıdaki adımlar izlenmesi gerekmektedir.

4 toronlu 6 ton önerilmeye sahip ÖBK'ye Şekil 4.7'deki A noktası gibi izafi bir noktanın Şekil 4.9'da da olduğunu ve bu noktanın $P_A = 25,25 \text{ kN}$ ve $M_A = 645 \text{ kNmm}$ değerlerinin kesişimi olduğu varsayılmıştır. İlk önce bu noktanın eksantrisitesinin bulunması gerekmektedir.

$$e_A = \frac{645}{25,25} = 25,48 \text{ mm}$$

Buradan $e_A > e_{peak}$ olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.6'ya bakılarak izlenecek yol aşağıda denklemler halinde açıklanarak anlatılmıştır.

Bu durum ile karşı karşıya kalındığı zaman Çizelge 4.2'ye bakarak ilerlemek gerekmektedir. Bahsedilen çizelgede bu ($e_A = 25,48 \text{ mm}$) eksantirisite oranını $M_u = 5246,44 \text{ kNmm}$ ve $P_u = 205,89 \text{ kN}$ değerlerinde görülmektedir. Bu değerler için tarafsız eksen derinliği $c = 100$ olduğu Çizelge 4.2'de anlaşılmaktadır. Bulunan bu değerler ile sırasıyla denklem (4.16), (4.23) ve (4.24) izlenecektir.

$$EI = \frac{5245,44 \times 100}{0,003} = 174848000 \text{ kNmm}^2$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times 174848000}{(1 \times 7500)^2} = 30,68 \text{ kN}$$

$$M_{A1} = 645 \times \frac{1}{1 - \frac{25,25}{30,68}} = 3644,31 \text{ kNmm}$$

Mukavemet kontrol yeterliliği için bu değerlerin kesişiminde elde edilen nokta Şekil 4.9'da grafik içinde kalıyor ise bu yükler altında bu kolonun mukavemeti yeterlidir denilmektedir. Elde edilen nokta Şekil 4.9'da grafik içinde kalmıyor ise bu yükler altında bu kolonun mukavemeti yetersizdir denilmektedir.

$P_A = 25,25 \text{ kN}$ için $M_{A1} = 3544,31 \text{ kNmm}$ sonucu elde edilmiştir. Bu değerlerin kesişiminden elde edilen nokta Şekil 4.9'daki grafik içinde kalmaktadır ve bu yükler altında bu kolonun mukavemeti yeterlidir.

Diğer durum, $e_A < e_{peak}$ olduğu durumdur. Bu durumda Şekil 4.6'ya bakılarak izlenecek yol aşağıda verilmiştir. Sırasıyla denklem (4.18), (4.19), (4.20), (4.21), (4.22), (4.23) ve (4.24) kullanılarak M_{A1} değeri bulunmalıdır. M_{A1} değeri bulunduktan sonra yukarıda anlatıldığı gibi elde edilen noktanın Şekil 4.9'daki grafiğin içinde olup olmadığına bakılarak mukavemet yeterlilik tespiti yapılacaktır.

$$\varepsilon_0 = 0,001648 + (0,000114 \times f_{ck}) \quad (4.18)$$

$$\varepsilon = \left(\varepsilon_0 + \left(\frac{\pi \times r}{L} \right)^2 \right) - \sqrt{\varepsilon_0^2 + \left(\frac{\pi \times r}{L} \right)^4} \quad (4.19)$$

$$E_{TC} = \frac{2 \times f_{ck}}{\varepsilon_0} \times \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right) \quad (4.20)$$

$$EI_{tan} = E_{TC} \times I_g \quad (4.21)$$

$$EI = EI_{tan} - \left(\frac{EI_{tan} - EI_{peak}}{e_{peak}} \right) \times e_A \quad (4.22)$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times EI}{(k \times l_u)^2} \quad (4.23)$$

$$M_{A1} = M_A \times \frac{1}{1 - \frac{P_A}{P_{cr}}} \quad (4.24)$$

Bu tezde taşıma gücü kapasitelerinin hesaplanması için üretilen ÖBK'ler, çok narin kolonlar olarak adlandırılan narinlik derecesine girmesinden dolayı Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ile Şekil 4.12'deki grafiklerde ve Çizelge 4.2, Çizelge 4.3, Çizelge 4.4 ile Çizelge 4.5'teki verilerde değişiklikler meydana geleceği yukarıda bahsedilmiştir. Bunun sebebini narinliğin eksenel yük-moment etkileşimindeki etkisidir. Bu grafiklerin ve verilerin oluşturulmasında aşağıda anlatılan yol izlenecektir.

Her bir tarafsız eksen derinliği değeri için EI ve P_{cr} değerleri bulunmalıdır. Bu EI ve P_{cr} değerleri, $e > e_{peak}$ ise sırasıyla denklem (4.16) ve (4.23) kullanarak bulunurken; $e < e_{peak}$ durumunda ise sırasıyla denklem (4.18), (4.19), (4.20), (4.21), (4.22) ve (4.23) kullanılarak bulunacaktır. Her bir c değeri için bulunan P_{cr} değeri ile her bir c değerine karşılık gelen ve eksenel yük-moment etkileşim verileri tablosundan alınan M_u ve e değerlerini aşağıdaki denklem (4.25)'te yerine yazılarak P_B değeri bulunacaktır.

P_B , Şekil 4.7'deki gibi çok narin ÖBK'lerin eksenel yük-moment etkileşimi grafiğini oluşturulmasına yarayan izafi B noktasının eksenel yük değeridir.

$$P_B = P_{cr} \times \frac{1}{1 + \frac{P_{cr} \times e}{M_u}} \quad (4.25)$$

P_B değeri denklem (4.25) ile bulunduktan sonra P_B değerine karşılık gelen yeni M_u değerini eksenel yük - moment etkileşim verileri tablosuna bakarak tayin edilmelidir. Bu yeni M_u değeri denklem (4.25)'te yerine yazılarak yeniden bir P_B değeri elde edilir. Bu işlem P_B değerinde benzerlik göstermeye başlayıncaya kadar devam edecektir. Yakınlaşan bu son P_B değeri, çok narin sınıfına giren ÖBK'nin P_u değeri olarak düşünülmelidir. Bu yeni P_u değeri ile eksantrisite değerinin çarpımı ise çok narin sınıfına giren ÖBK'nin M_u değerini verecektir. Aşağıda bu işlemler adım adım anlatılmaktadır.

$$M_u = P_u \times e \quad (4.26)$$

4 toronlu 6 ton öngermeye sahip ÖBK'nin tarafsız eksen derinliğinin 40 mm olduğu durumu incelenecektir. Çizelge 4.2'de $c = 40 \text{ mm}$ iken $P_u = 37,15 \text{ kN}$, $M_u = 5450,92 \text{ kNmm}$ ve $e = 146,73 \text{ mm}$ olduğu görülmektedir. Eksantrisite durumuna bakarsak $e > e_{peak}$ olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda sırasıyla denklem (4.16), (4.23), (4.25) ve (4.26) kullanılmalıdır.

$$EI = \frac{5450,92 \times 40}{0,003} = 72678933,33 \text{ kNmm}^2$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times 72678933,33}{(1 \times 7500)^2} = 12,75 \text{ kN}$$

$$P_B = 12,75 \times \frac{1}{1 + \frac{12,75 \times 146,73}{5450,92}} = 9,49 \text{ kN}$$

Çizelge 4.2'ye bakılarak $P_u = 9,49 \text{ kN}$ iken $M_u = 5359,34 \text{ kNmm}$ olduğu anlaşılmaktadır.

$$P_B = 12,75 \times \frac{1}{1 + \frac{12,75 \times 146,73}{5359,34}} = 9,45 \text{ kN}$$

Yakınsama olduğu görülerek yeni $P_u = 9,45 \text{ kN}$ olarak seçilmiştir. Buradan sonra denklem (4.26) kullanılarak M_u değerinin bulunması gerekmektedir.

$$M_u = 9,45 \times 146,73 = 1386,73 \text{ kNmm}$$

Çok narin ÖBK'nin eksenel yük-moment etkileşim grafiğini oluşturacak izafi B noktası, $P_u = 9,45 \text{ kN}$ ve $M_u = 1386,73 \text{ kNmm}$ değerlerinin kesişimi olarak bulunmuştur. Bu işlemler sonunda oluşturulan grafikler Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16 olarak ve tablolar ise Çizelge 4.6, Çizelge 4.7, Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9 olarak aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.6. 4 toronlu 6 ton öngerilmeye sahip narin öngerilmeli beton kolonun eksenel yük-moment etkileşim verileri

c (mm)	P_u (kN)	M_u (kNmm)
10	4,62	151,70
20	6,07	437,11
30	4,42	2825,31
40	9,45	1386,73
50	13,31	1031,51
60	16,74	936,10
70	19,93	886,91
80	22,80	837,27
90	25,16	771,18
100	26,80	682,86
110	28,11	585,25
120	29,86	491,85
∞	37,72	0,00

Çizelge 4.7. 4 toronlu 8 ton öngerilmeye sahip narin öngerilmeli beton kolonun eksenel yük-moment etkileşim verileri

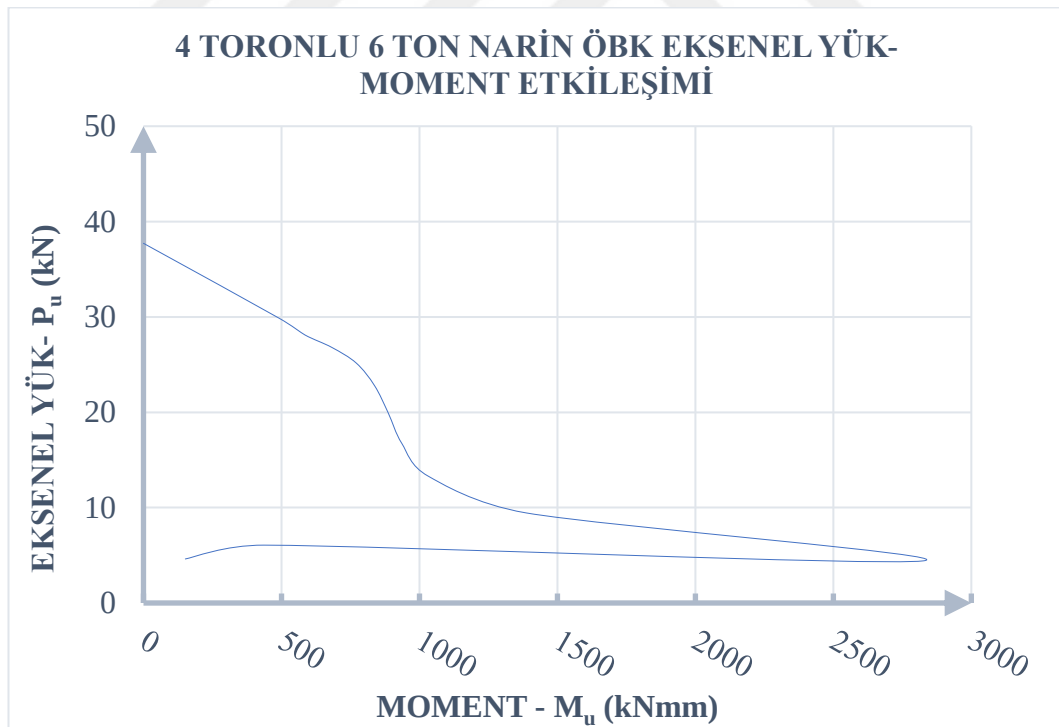
$\underline{c}$ (mm)	$\underline{P}_u$ (kN)	$\underline{M}_u$ (kN-mm)
10	4,62	148,97
20	6,10	414,73
30	5,45	2241,16
40	9,12	1528,84
50	13,14	1088,04
60	16,62	973,05
70	19,83	914,32
80	21,26	804,85
90	25,07	788,73
100	26,73	696,83
110	28,07	596,42
120	29,81	500,22
∞	37,72	0,00

Çizelge 4.8. 6 toronlu 12 ton öngerilmeye sahip narin öngerilmeli beton kolonun eksenel yük-moment etkileşim verileri

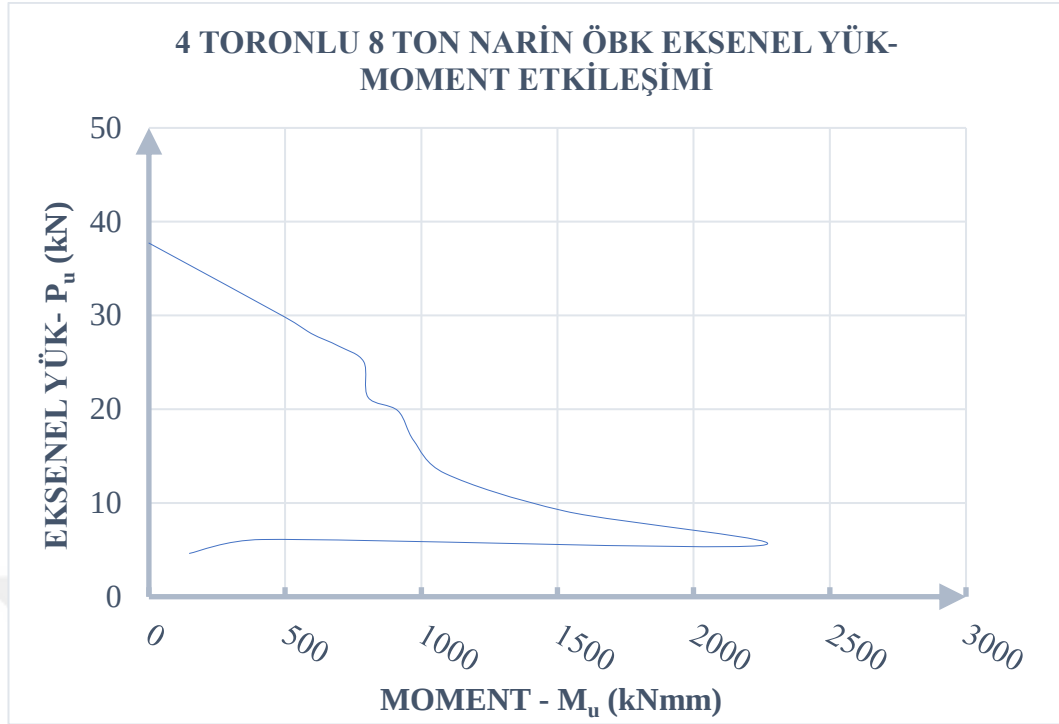
$\underline{c}$ (mm)	$\underline{P}_n$ (kN)	$\underline{M}_n$ (kN-mm)
10	6,60	197,01
20	8,10	411,72
30	9,26	1193,06
40	4,95	4212,41
50	13,54	1699,68
60	17,70	1308,56
70	21,22	1144,61
80	24,29	1032,20
90	26,80	924,60
100	28,56	805,11
110	29,81	679,55
120	31,27	561,92
∞	37,77	0,00

Çizelge 4.9. 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip narin öngerilmeli beton kolonun eksenel yük-moment etkileşim verileri

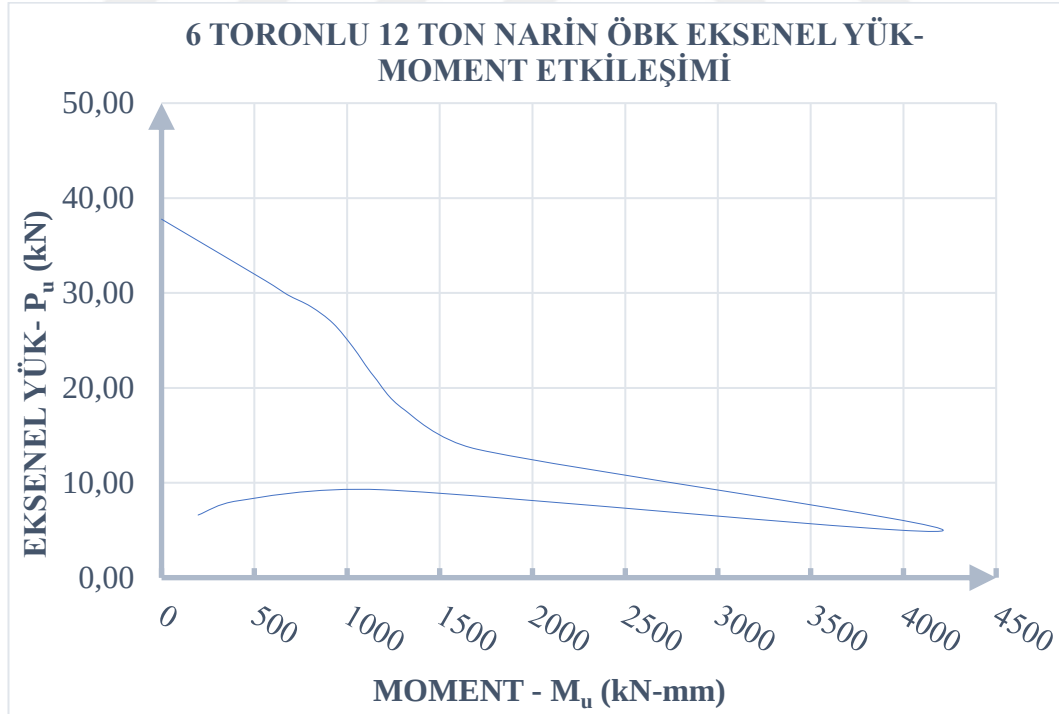
c (mm)	P_n (kN)	M_n (kN-mm)
10	6,65	173,23
20	8,25	293,95
30	10,07	744,61
40	8,04	2881,18
50	11,83	2283,07
60	17,09	1481,66
70	20,90	1222,89
80	24,11	1072,19
90	26,70	944,99
100	28,52	814,99
110	29,77	682,92
120	31,26	562,41
∞	37,72	0,00



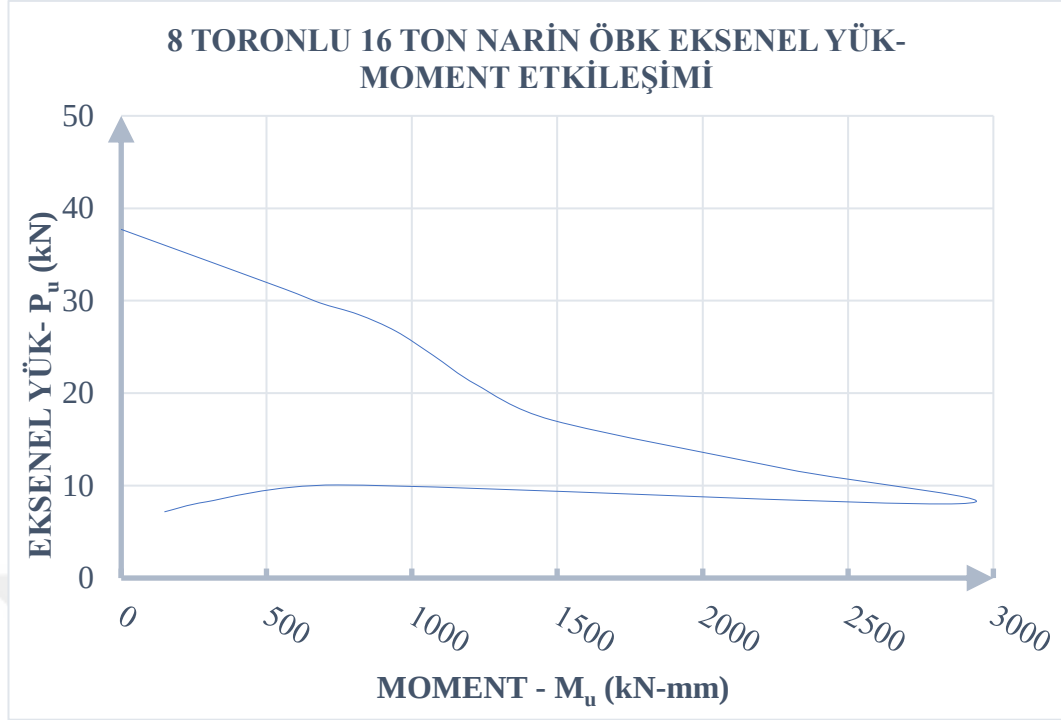
Şekil 4.13. 4 toronlu 6 ton öngerilmeye sahip narin öngerilmeli beton kolonun eksenel yük-moment etkileşim grafiği



Şekil 4.14. 4 toronlu 8 ton öngerilmeye sahip narin öngerilmeli beton kolonun eksenel yük-moment etkileşim grafiği



Şekil 4.15. 6 toronlu 12 ton öngerilmeye sahip narin öngerilmeli beton kolonun eksenel yük-moment etkileşim grafiği



Şekil 4.16. 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip narin öngerilmeli beton kolonun eksenel yük-moment etkileşim grafiği

Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'ye bakıldığında Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'ya göre oldukça farklı oldukları anlaşılmaktadır. Narinlik etkisinin kolonlara ne denli büyük etmen olduğu görülmektedir. Narin kolonların burkulması kaçınılmazdır. Narinliğin etkisi ile burkulan kolonların dayanım değerleri Çizelge 4.6, Çizelge 4.7, Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9'da verilmektedir. Narinliğin etkisi ile burkulan kolonların dayanımlarının düştüğü anlaşılmaktadır.

4.2. Öngerilmeli Beton Kolonların Deneyi

6 ton öngerilmeye sahip öngerilmeli beton kolonlardan 2 tanesi eğilme deneyi için, 2 tanesi yatay çekme kuvveti etkisinde kırılma deneyi için ve son 2 tanesi ise eğik çekme kuvveti etkisinde kırılma deneyi için kullanılmak üzere toplam 6 adet numune üretilmiştir. 8, 12, ve 16 ton öngerilmeye sahip öngerilmeli beton kolonlar için de her bir deney için aynı sayıda numuneler üretilmiştir. Toplamda 24 adet numune üretilmiştir. Bir önceki başlıkta anlatıldığı ve gösterildiği üzere deney mekanizmasına yerleştirilip test türünün değişkenliğine bağlı olarak yük uygulanmaktadır. Deney sırasında uygulanan yük ve bu yük altında yaptığı yer değiştirme kayıt altına alınmıştır.

Bu 24 numunenin ayrımı şu şekilde yapılmıştır. 4 toronlu 6 ton öngerilmeli beton kolonları düz çizgi işareti olarak mavi renkli spreyle (Şekil 4.17a), 4 toronlu 8 ton öngerilmeli beton kolonları çarpı işareti olarak sarı renkli spreyle (Şekil 4.17b), 6 toronlu 12 ton öngerilmeli beton kolonları daire işareti olarak yeşil renkli spreyle (Şekil 4.18a) ve 8 toronlu 16 ton öngerilmeli beton kolonları tik işareti olarak kırmızı renkli spreyle (Şekil 4.18b) ile işaretlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.17. 4 toronlu kolonların işaretlenmesi; **a)** 4 toronlu 6 ton öngerilmeye sahip ÖBK'lerin işaretlenmesi; **b)** 4 toronlu 8 ton öngerilmeye sahip ÖBK'lerin işaretlenmesi



(a)



(b)

Şekil 4.18. 6 ve 8 toronlu kolonların işaretlenmesi; **a)** 6 toronlu 12 ton öngerilmeye sahip ÖBK'lerin işaretlenmesi; **b)** 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip ÖBK'lerin işaretlenmesi



(a)



(b)

Şekil 4.19. Toronların yerleşimi; **a)** 8 adet toronun kalıpta yerleşimi; **b)** 4 ve 6 adet toronun kalıpta yerleşimi

Şekil 4.19a'da görülen toron yerleşimi ile aşağıdaki Şekil 4.20c'de görülen deneye tabii tutulan 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip ÖBK imal edilmiştir. Şekil 4.19b'de görülen toron yerleşimi ile aşağıdaki Şekil 4.20a'da görülen deneye tabii tutulan 4 toronlu 6 veya 8 ton öngerilmeye sahip ÖBK ve Şekil 4.20b'de görülen deneye tabii tutulan 6 toronlu 12 ton öngerilmeye sahip ÖBK imal edilmiştir.



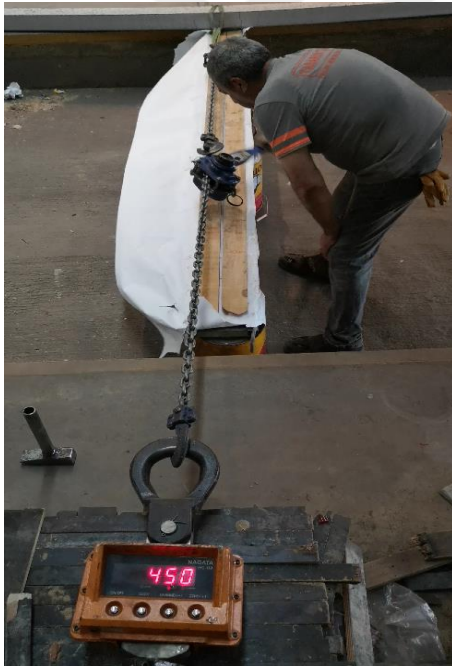
(a)

(b)

(c)

Şekil 4.20. Deneylere tabii tutulan ÖBK'ler; **a)** 4 toronlu ÖBK; **b)** 6 toronlu ÖBK; **c)** 8 toronlu ÖBK

4.2.1. Eğilme deneyi



Şekil 4.21. Eğilme deneyi uygulanması



Şekil 4.22. Eğilme deneyi esnasında oluşan kolondaki deplasman görüntüsü

Yukarıda Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de görülen eğilme deneyinde amaç ne kadar yükte ÖBK’nin ne kadar deplasman yaptığını ölçümlemek ve kırılma hemen öncesi dayanımını ile maksimum deplasmanını gözlemlemektir. Bu gözlemler rastgele zamanlardan alınan veriler halinde aşağıdaki Çizelge 4.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. 4 toronlu 6 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğilme deneyi deplasman-kuvvet verileri

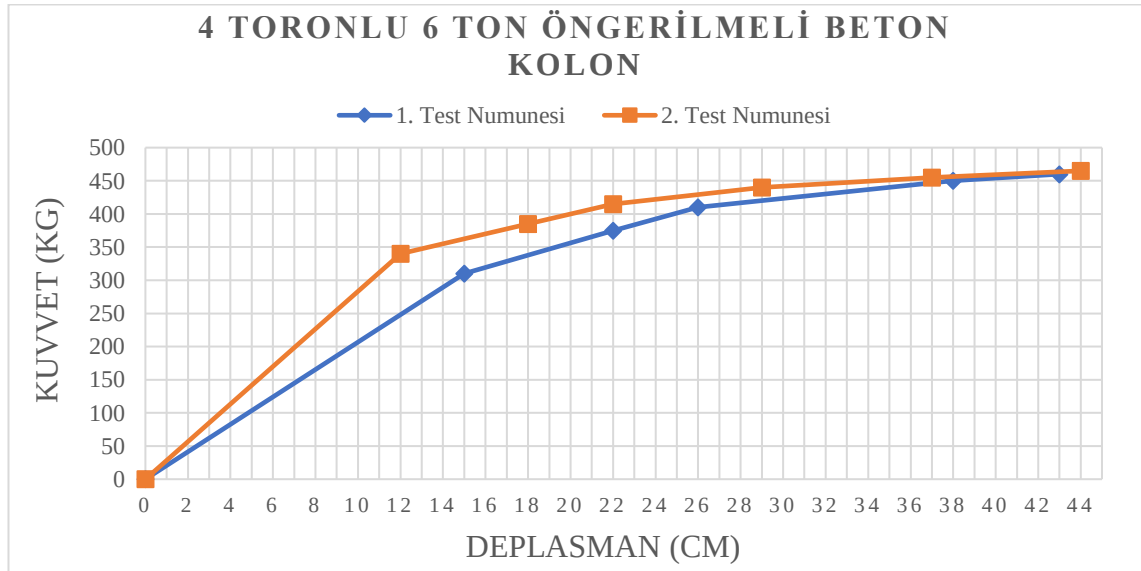
4 Toronlu 6 Ton Öngerilmeli Beton Kolon			
1. Test Numunesi		2. Test Numunesi	
Deplasman (cm)	Kuvvet (kg)	Deplasman (cm)	Kuvvet (kg)
0	0	0	0
6	-	6	-
7	-	7	-
8	-	8	-
9	-	9	-
12	-	12	340
15	310	15	-
16	-	16	-
17	-	17	-
18	-	18	385
21	-	21	-
22	375	22	415
26	410	26	-
27	-	27	-
29	-	29	440
32	-	32	-
34	-	34	-
37	-	37	455
38	450	38	-
43	460	43	-
44	-	44	465
45	-	45	-
50	-	50	-

Çizelge 4.10'daki verilerde 4 toronlu 6 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğilme deneyi esnasında maksimum ulaşacağı deplasman yaklaşık olarak 40-45 cm arasında olacağı ve bununla beraber maksimum deplasmanı sağlayacak kırılma öncesi maksimum kuvvet ise 450-500 kg arasında olacağı anlaşılmaktadır. Aşağıdaki Şekil 4.23'te 4 toronlu 6 ton öngerilmeli ÖBK'de eğilme deneyi sonucunda oluşan kırılma gösterilmiştir.



Şekil 4.23. 4 toronlu 6 ton ÖBK'de eğilme deneyi sonucu oluşan kırılma

Çizelge 4.10'daki veriler grafik haline getirilir ise aşağıdaki Şekil 4.24 oluşmaktadır.



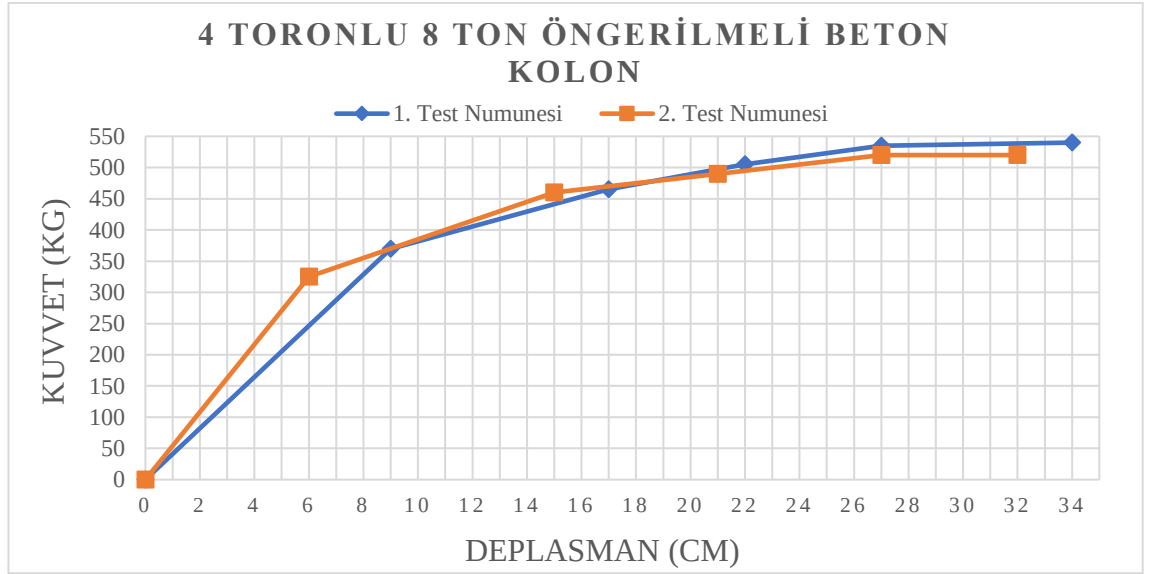
Şekil 4.24. 4 toronlu 6 ton öngerilmeli beton kolonların eğilme deneyi deplasman-kuvvet ilişkisi

Çizelge 4.11. 4 toronlu 8 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğilme deneyi deplasman-kuvvet verileri

<u>4 Toronlu 8 Ton Öngerilmeli Beton Kolon</u>			
<u>1. Test Numunesi</u>		<u>2. Test Numunesi</u>	
<u>Deplasman (cm)</u>	<u>Kuvvet (kg)</u>	<u>Deplasman (cm)</u>	<u>Kuvvet (kg)</u>
0	0	0	0
6	-	6	325
7	-	7	-
8	-	8	-
9	370	9	-
12	-	12	-
15	-	15	460
16	-	16	-
17	465	17	-
18	-	18	-
21	-	21	490
22	505	22	-
26	-	26	-
27	535	27	520
29	-	29	-
32	-	32	520
34	540	34	-
37	-	37	-
38	-	38	-
43	-	43	-
44	-	44	-
45	-	45	-
50	-	50	-

Çizelge 4.11'deki verilerde 4 toronlu 8 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğilme deneyi esnasında maksimum ulaşacağı deplasman yaklaşık olarak 30-35 cm arasında olacağı ve bununla beraber maksimum deplasmanı sağlayacak kırılma öncesi maksimum kuvvet ise 500-550 kg arasında olacağı anlaşılmaktadır. Şekil 4.26'da 6 toronlu 12 ton öngerilmeye sahip ÖBK'nin eğilme deneyi sonucunda oluşan kırılma gösterilmektedir.

Çizelge 4.11'deki veriler grafik haline getirilir ise aşağıdaki Şekil 4.25 oluşmaktadır.



Şekil 4.25. 4 toronlu 8 ton öngerilmeli beton kolonların eğilme deneyi deplasman-kuvvet ilişkisi



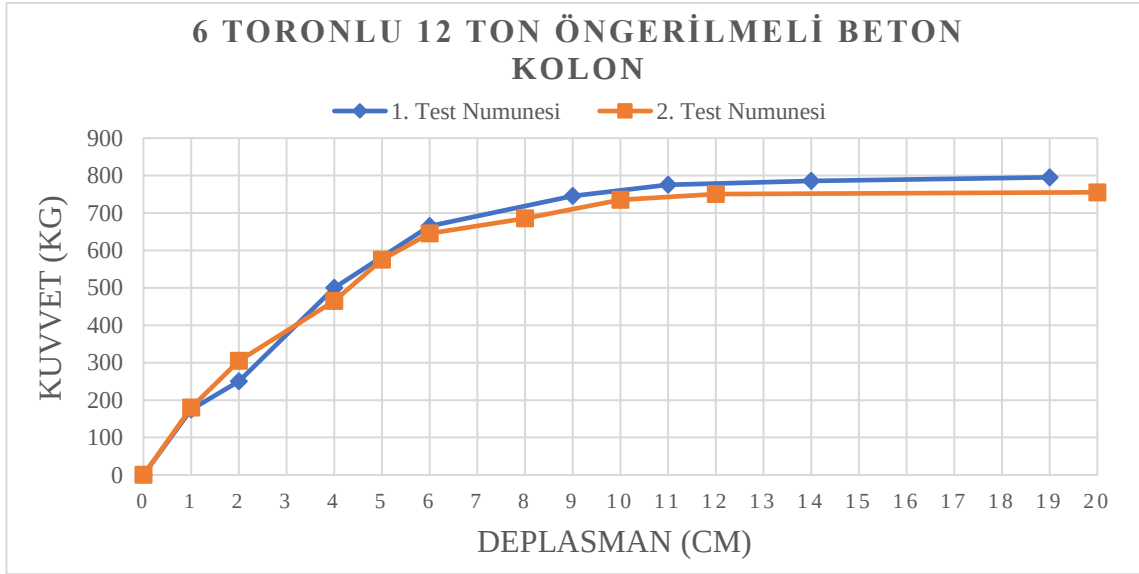
Şekil 4.26. 6 toronlu 12 ton ÖBK'de eğilme deneyi sonucu oluşan kırılma ve çatlaklar

Çizelge 4.12. 6 toronlu 12 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğilme deneyi deplasman-kuvvet verileri

<u>6 Toronlu 12 Ton Öngerilmeli Beton Kolon</u>			
<u>1. Test Numunesi</u>		<u>2. Test Numunesi</u>	
<u>Deplasman (cm)</u>	<u>Yük (kg)</u>	<u>Deplasman (cm)</u>	<u>Yük (kg)</u>
0	0	0	0
1	175	1	180
2	250	2	305
3	-	3	-
4	500	4	465
5	-	5	575
6	665	6	645
7	-	7	-
8	-	8	685
9	745	9	-
10	-	10	735
11	775	11	-
12	-	12	750
13	-	13	-
14	785	14	-
15	-	15	-
16	-	16	-
17	-	17	-
18	-	18	-
19	795	19	-
20	-	20	755

Çizelge 4.12'deki verilerde 6 toronlu 12 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğilme deneyi esnasında maksimum ulaşacağı deplasman yaklaşık olarak 20-25 cm arasında olacağı ve bununla beraber maksimum deplasmanı sağlayacak kırılma öncesi maksimum kuvvet ise 750-800 kg arasında olacağı anlaşılmaktadır. Şekil 4.28, eğilme deneyi esnasında deplasman verilerinin nasıl elde edildiğini göstermektedir.

Çizelge 4.12'deki veriler grafik haline getirilir ise aşağıdaki Şekil 4.27 oluşmaktadır.



Şekil 4.27. 6 toronlu 12 ton öngerilmeli beton kolonların eğilme deneyi deplasman-kuvvet ilişkisi



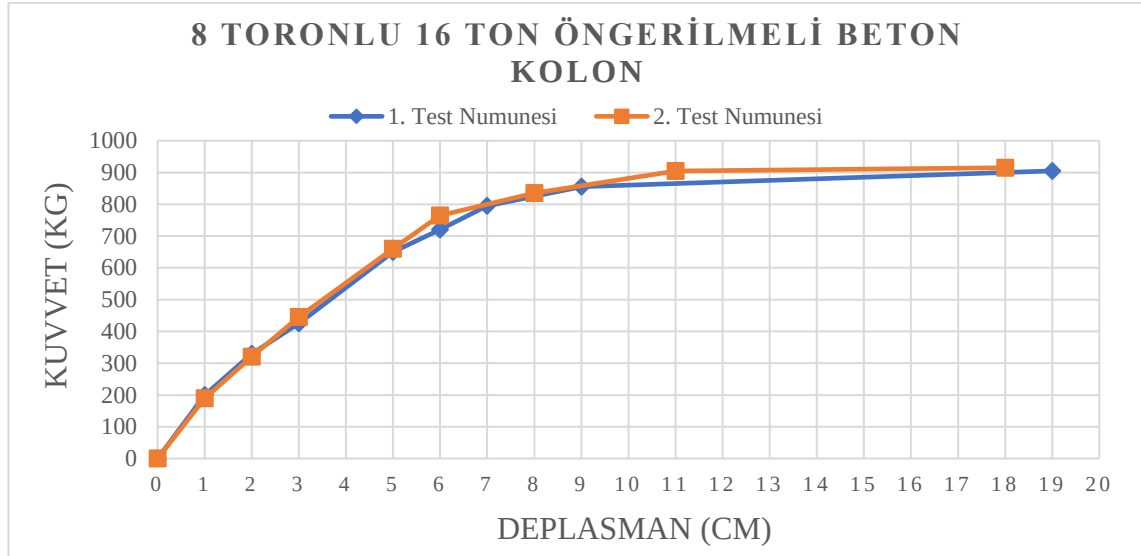
Şekil 4.28. Eğilme deneyi deplasman ölçüm görüntüsü

Çizelge 4.13. 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğilme deneyi deplasman-kuvvet verileri

<u>8 Toronlu 16 Ton Öngerilmeli Beton Kolon</u>			
<u>1. Test Numunesi</u>		<u>2. Test Numunesi</u>	
<u>Deplasman (cm)</u>	<u>Yük (kg)</u>	<u>Deplasman (cm)</u>	<u>Yük (kg)</u>
0	0	0	0
1	200	1	190
2	330	2	320
3	425	3	445
4	-	4	-
5	650	5	660
6	720	6	765
7	795	7	-
8	-	8	835
9	855	9	-
10	-	10	-
11	-	11	905
12	-	12	-
13	-	13	-
14	-	14	-
15	-	15	-
16	-	16	-
17	-	17	-
18	-	18	915
19	905	19	-
20	-	20	-

Çizelge 4.13'teki verilerde 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğilme deneyi esnasında maksimum ulaşacağı deplasman yaklaşık olarak 15-20 cm arasında olacağı ve bununla beraber maksimum deplasmanı sağlayacak kırılma öncesi maksimum kuvvet ise 900-950 kg arasında olacağı anlaşılmaktadır.

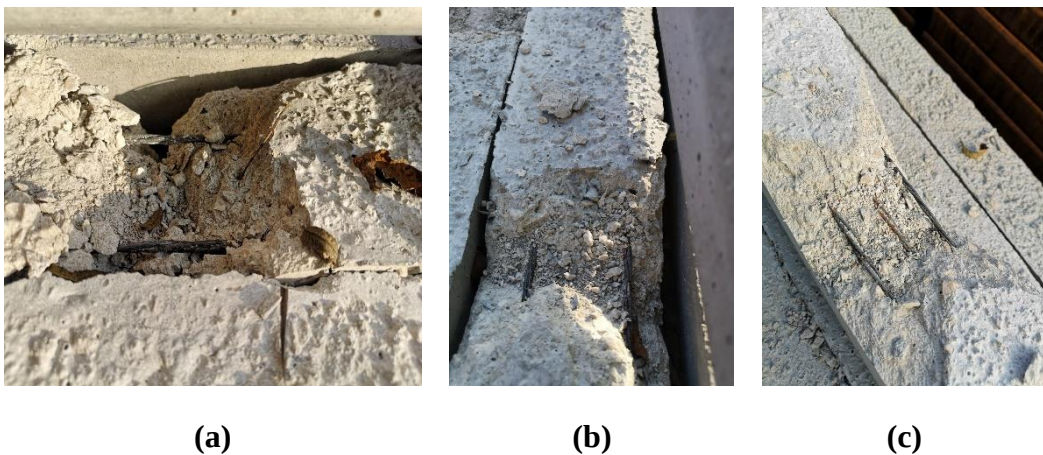
Çizelge 4.13'teki veriler grafik haline getirilir ise aşağıdaki Şekil 4.29 oluşmaktadır.



Şekil 4.29. 8 toronlu 16 ton öngerilmeli beton kolonların eğilme deneyi deplasman-kuvvet ilişkisi

Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.27 ve Şekil 4.29 incelendiğinde; kendilerine göre daha az öngerilme uygulanmış beton kolonlar, daha fazla öngerilme uygulanmış beton kolonlara kıyasla daha sünek davranış göstermiştir. Bu veriler ışığında, toron sayısı ve toronlara uygulanan öngerme miktarı arttıkça kolonların dayanımı artmakta olup deplasmanı yani yer değiştirmesi ise azaltmaktadır.

4.2.2. Yatay çekme kuvveti etkisinde kırılma deneyi



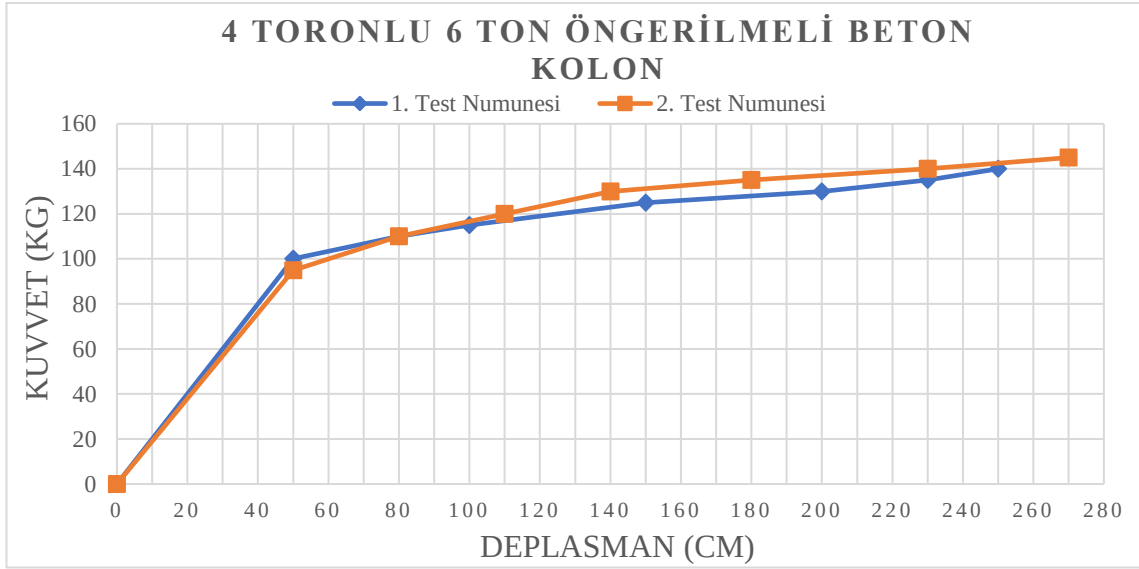
Şekil 4.30. Yatay çekme kuvveti etkisinde kırılmalar; **a)** 4 toronlu ÖBK'ye deneyin hasarı; **b)** 6 toronlu ÖBK'ye deneyin hasarı; **c)** 8 toronlu ÖBK'ye deneyin hasarı

Çizelge 4.14. 4 toronlu 6 ton öngerilmeye sahip beton kolonların yatay çekme kuvveti etkisindeki deplasman-kuvvet verileri

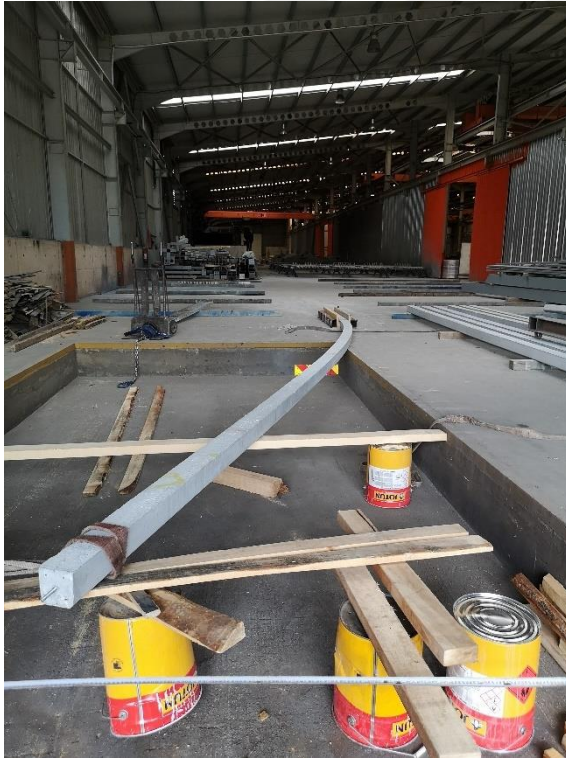
4 Toronlu 6 Ton Öngerilmeli Beton Kolon			
1. Test Numunesi		2. Test Numunesi	
Deplasman (cm)	Kuvvet (kg)	Deplasman (cm)	Kuvvet (kg)
0	0	0	0
50	100	50	95
80	110	80	110
90	-	90	-
100	115	100	-
110	-	110	120
120	-	120	-
140	-	140	130
150	125	150	-
170	-	170	-
180	-	180	135
190	-	190	-
200	130	200	-
210	-	210	-
230	135	230	140
240	-	240	-
250	140	250	-
270	-	270	145
300	-	300	-

Çizelge 4.14'teki verilerde 4 toronlu 6 ton öngerilmeye sahip beton kolonların yatay çekme kuvveti etkisinde maksimum ulaşacağı deplasman yaklaşık olarak 250-300 cm arasında olacağı ve bununla beraber maksimum deplasmanı sağlayacak kırılma öncesi maksimum kuvvet ise 125-150 kg arasında olacağı anlaşılmaktadır. Şekil 4.32'deki deney sisteminde 4 toronlu 6 ton öngerilmeye sahip ÖBK'de Şekil 4.30a'daki kırılma gözlenmiştir.

Çizelge 4.14'teki veriler grafik haline getirilir ise aşağıdaki Şekil 4.31 oluşmaktadır.



Şekil 4.31. 4 toronlu 6 ton öngerilmeli beton kolonların yatay çekme kuvveti etkisinde deplasman-kuvvet ilişkisi



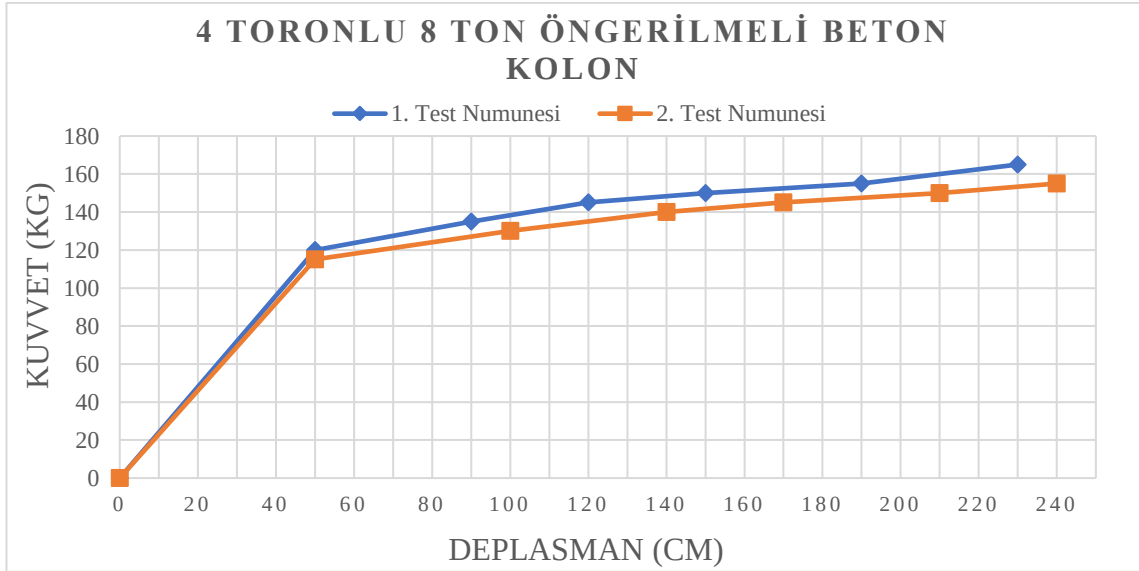
Şekil 4.32. Yatay çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi görüntüsü

Çizelge 4.15. 4 toronlu 8 ton öngerilmeye sahip beton kolonların yatay çekme kuvveti etkisindeki deplasman-kuvvet verileri

4 Toronlu 8 Ton Öngerilmeli Beton Kolon			
1. Test Numunesi		2. Test Numunesi	
Deplasman (cm)	Kuvvet (kg)	Deplasman (cm)	Kuvvet (kg)
0	0	0	0
50	120	50	115
80	-	80	-
90	135	90	-
100	-	100	130
110	-	110	-
120	145	120	-
140	-	140	140
150	150	150	-
170	-	170	145
180	-	180	-
190	155	190	-
200	-	200	-
210	-	210	150
230	165	230	-
240	-	240	155
250	-	250	-
270	-	270	-
300	-	300	-

Çizelge 4.15'teki verilerde 4 toronlu 8 ton öngerilmeye sahip beton kolonların yatay çekme kuvveti etkisinde maksimum ulaşacağı deplasman yaklaşık olarak 225-250 cm arasında olacağı ve bununla beraber maksimum deplasmanı sağlayacak kırılma öncesi maksimum kuvvet ise 150-175 kg arasında olacağı anlaşılmaktadır. Şekil 4.34'te ve Şekil 4.36'da deney sırasında mesnet noktasında meydana gelen kırılma gözükmemektedir.

Çizelge 4.15'teki veriler grafik haline getirilir ise aşağıdaki Şekil 4.33 oluşmaktadır.



Şekil 4.33. 4 toronlu 8 ton öngerilmeli beton kolonların yatay çekme kuvveti etkisinde deplasman-kuvvet ilişkisi



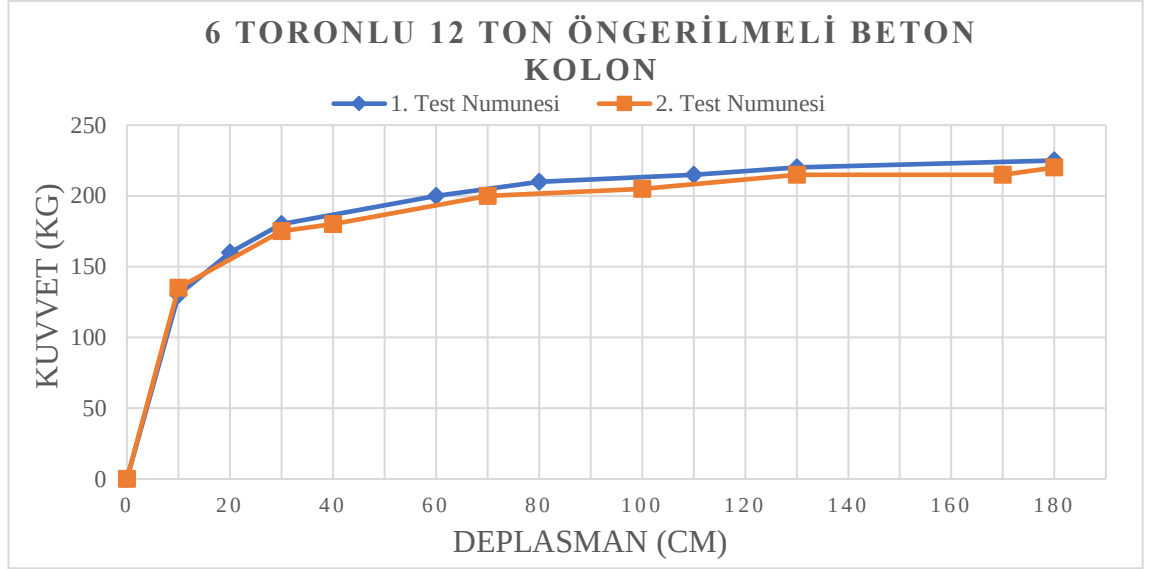
Şekil 4.34. Yatay çekme kuvveti etkisinde kırılma

Çizelge 4.16. 6 toronlu 12 ton öngerilmeye sahip beton kolonların yatay çekme kuvveti etkisindeki deplasman-kuvvet verileri

<u>6 Toronlu 12 Ton Öngerilmeli Beton Kolon</u>			
<u>1. Test Numunesi</u>		<u>2. Test Numunesi</u>	
<u>Deplasman (cm)</u>	<u>Kuvvet (kg)</u>	<u>Deplasman (cm)</u>	<u>Kuvvet (kg)</u>
0	0	0	0
10	130	10	135
20	160	20	-
30	180	30	175
40	-	40	180
50	-	50	-
60	200	60	-
70	-	70	200
80	210	80	-
90	-	90	-
100	-	100	205
110	215	110	-
120	-	120	-
130	220	130	215
140	-	140	-
150	-	150	-
160	-	160	-
170	-	170	215
180	225	180	220

Çizelge 4.16'daki verilerde 6 toronlu 12 ton öngerilmeye sahip beton kolonların yatay çekme kuvveti etkisinde maksimum ulaşacağı deplasman yaklaşık olarak 175-200 cm arasında olacağı ve bununla beraber maksimum deplasmanı sağlayacak kırılma öncesi maksimum kuvvet ise 200-225 kg arasında olacağı anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.16'daki veriler grafik haline getirilir ise aşağıdaki Şekil 4.35 oluşmaktadır.



Şekil 4.35. 6 toronlu 12 ton öngerilmeli beton kolonların yatay çekme kuvveti etkisinde deplasman-kuvvet ilişkisi



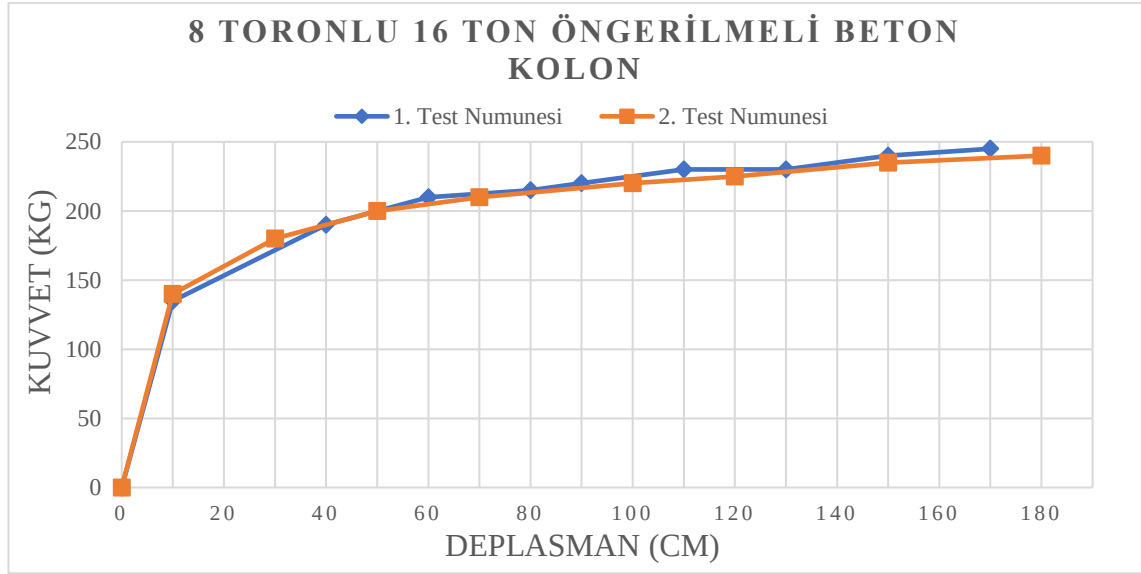
Şekil 4.36. Yatay çekme kuvvet etkisinde mesnet noktasında oluşan kırılma

Çizelge 4.17. 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip beton kolonların yatay çekme kuvveti etkisindeki deplasman-kuvvet verileri

8 Toronlu 16 Ton Öngermeli Beton Kolon			
1. Test Numunesi		2. Test Numunesi	
Deplasman (cm)	Kuvvet (kg)	Deplasman (cm)	Kuvvet (kg)
0	0	0	0
10	135	10	140
20	-	20	-
30	-	30	180
40	190	40	-
50	-	50	200
60	210	60	-
70	-	70	210
80	215	80	-
90	220	90	-
100	-	100	220
110	230	110	-
120	-	120	225
130	230	130	-
140	-	140	-
150	240	150	235
160	-	160	-
170	245	170	-
180	-	180	240

Çizelge 4.17’deki verilerde 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip beton kolonların yatay çekme kuvveti etkisinde maksimum ulaşacağı deplasman yaklaşık olarak 160-185 cm arasında olacağı ve bununla beraber maksimum deplasmanı sağlayacak kırılma öncesi maksimum kuvvet ise 225-250 kg arasında olacağı anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.17’deki veriler grafik haline getirilir ise aşağıdaki Şekil 4.37 oluşmaktadır.



Şekil 4.37. 8 toronlu 16 ton öngerilmeli beton kolonların yatay çekme kuvveti etkisinde deplasman-kuvvet ilişkisi

Şekil 4.31, Şekil 4.33, Şekil 4.35 ve Şekil 4.37 incelendiğinde bu kolonların sünek davranış gerçekleştirdiğini bu deneyde elde edilen veriler ile oluşturulan bu grafiklerden tekrar anlaşılmaktadır. Ayrıca öngerme miktarının artması ile kolona uygulanan yükün doğrusal orantılı olarak artması yukarıdaki Çizelge 4.14, Çizelge 4.15, Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17'ye bakıldığında anlaşılmaktadır. Öngerilmenin artması, ile kolon dayanımının artmasına neden olmaktadır.

4.2.3. Eğik çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi



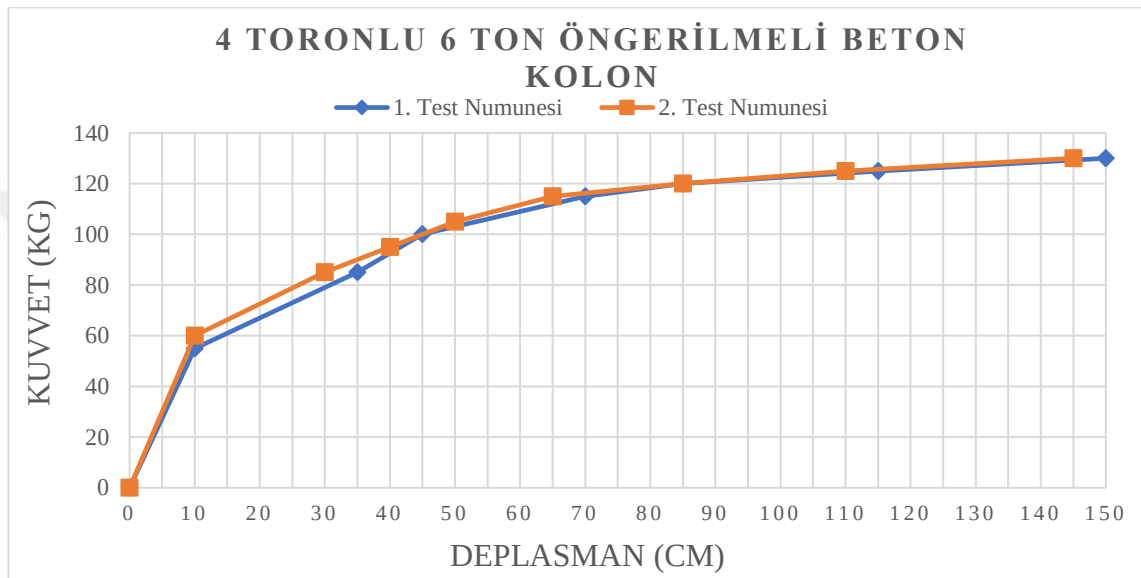
Şekil 4.38. 8 toronlu ÖBK eğik çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi görüntüsü

Çizelge 4.18. 4 toronlu 6 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğik çekme kuvveti etkisindeki deplasman-kuvvet verileri

4 Toronlu 6 Ton Öngerilmeli Beton Kolon			
1. Test Numunesi		2. Test Numunesi	
Deplasman (cm)	Kuvvet (kg)	Deplasman (cm)	Kuvvet (kg)
0	0	0	0
5	-	5	-
10	55	10	60
15	-	15	-
20	-	20	-
25	-	25	-
30	-	30	85
35	85	35	-
40	-	40	95
45	100	45	-
50	-	50	105
55	-	55	-
60	-	60	-
65	-	65	115
70	115	70	-
75	-	75	-
80	-	80	-
85	120	85	120
90	-	90	-
95	-	95	-
100	-	100	-
105	-	105	-
110	-	110	125
115	125	115	-
120	-	120	-
125	-	125	-
130	-	130	-
135	-	135	-
140	-	140	-
145	-	145	130
150	130	150	-

Çizelge 4.18'deki verilerde 4 toronlu 6 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğik çekme kuvveti etkisinde maksimum ulaşacağı deplasman yaklaşık olarak 140-175 cm arasında olacağı ve bununla beraber maksimum deplasmanı sağlayacak kırılma öncesi maksimum kuvvet ise 125-150 kg arasında olacağı anlaşılmaktadır. Veriler, Şekil 4.38'de görülen şekilde uygulanarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.18'deki veriler grafik haline getirilir ise aşağıdaki Şekil 4.39 oluşmaktadır.



Şekil 4.39. 4 toronlu 6 ton öngerilmeli beton kolonların eğik çekme kuvveti etkisinde deplasman-kuvvet ilişkisi



Şekil 4.40. 4 toronlu 8 ton öngerilmeli ÖBK'nin eğik çekme kuvveti etkisinde kırılmış görüntüsü

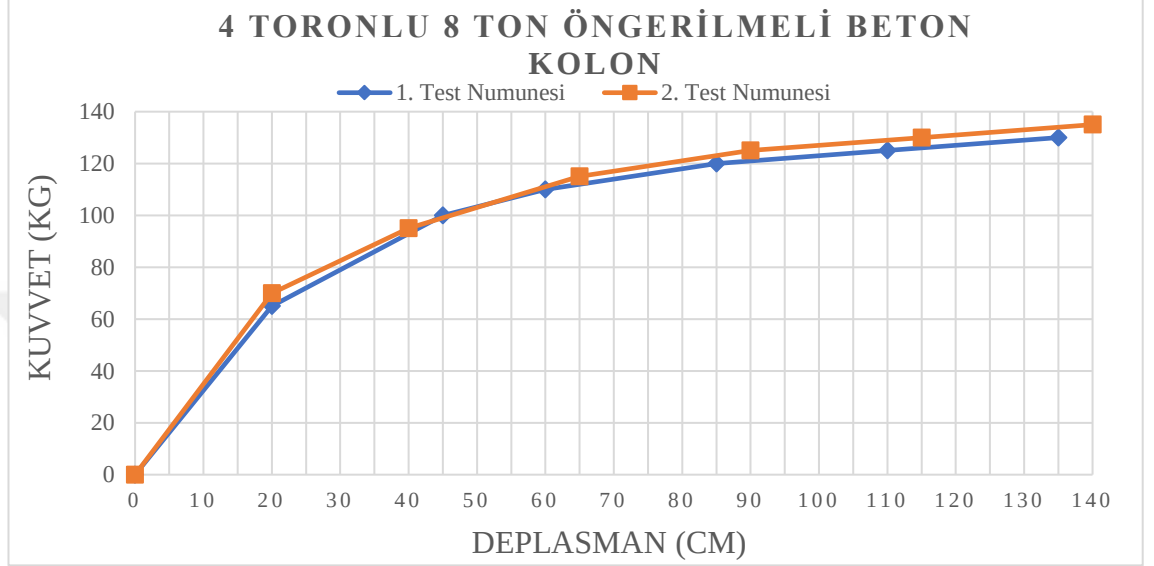
Çizelge 4.19. 4 toronlu 8 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğik çekme kuvveti etkisindeki deplasman-kuvvet verileri

4 Toronlu 8 Ton Öngerilmeli Beton Kolon			
1. Test Numunesi		2. Test Numunesi	
Deplasman (cm)	Kuvvet (kg)	Deplasman (cm)	Kuvvet (kg)
0	0	0	0
5	-	5	-
10	-	10	-
15	-	15	-
20	65	20	70
25	-	25	-
30	-	30	-
35	-	35	-
40	-	40	95
45	100	45	-
50	-	50	-
55	-	55	-
60	110	60	-
65	-	65	115
70	-	70	-
75	-	75	-
80	-	80	-
85	120	85	-
90	-	90	125
95	-	95	-
100	-	100	-
105	-	105	-
110	125	110	-
115	-	115	130
120	-	120	-
125	-	125	-
130	-	130	-
135	130	135	-
140	-	140	135
145	-	145	-
150	-	150	-

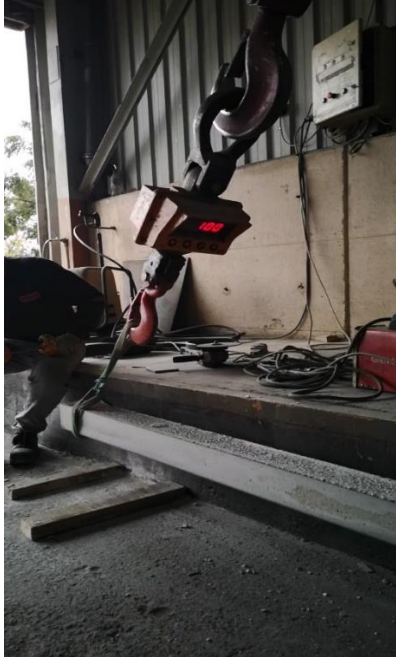
Çizelge 4.19'daki verilerde 4 toronlu 8 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğik çekme kuvveti etkisinde maksimum ulaşacağı deplasman yaklaşık olarak 125-150 cm arasında olacağı ve bununla beraber maksimum deplasmanı sağlayacak kırılma öncesi

maksimum kuvvet ise 125-150 kg arasında olacağı anlaşılmaktadır. 4 toronlu ÖBK'nin eğik çekme kuvveti altında kırılması Şekil 4.40'taki gibi gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.19'daki veriler grafik haline getirilir ise aşağıdaki Şekil 4.41 oluşmaktadır.



Şekil 4.41. 4 toronlu 8 ton öngerilmeli beton kolonların eğik çekme kuvveti etkisinde deplasman-kuvvet ilişkisi



Şekil 4.42. Eğik çekme kuvveti etkisinin kolona uygulanması

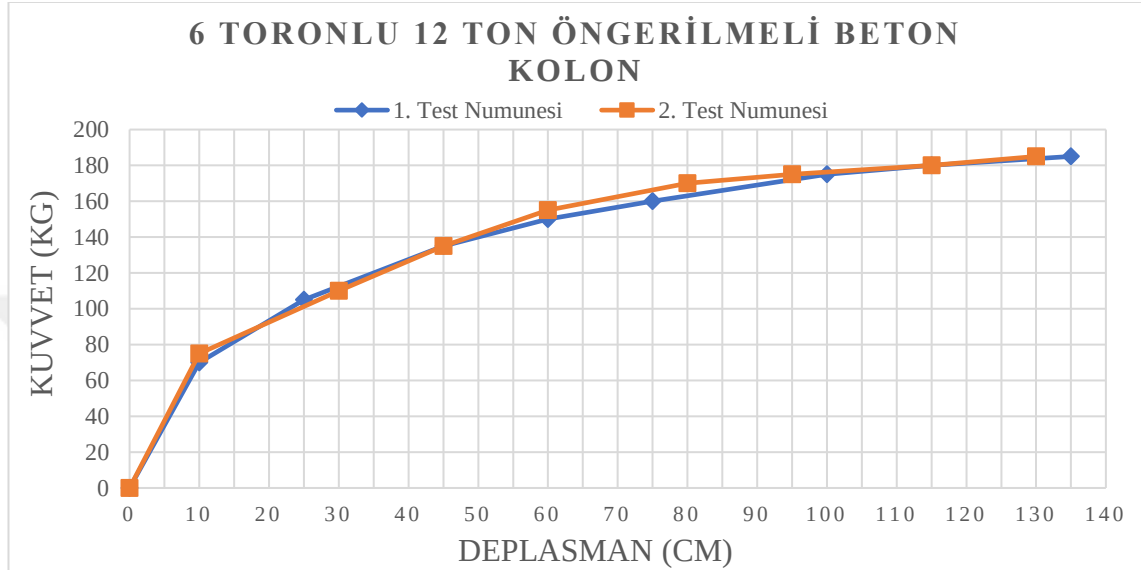
Çizelge 4.20. 6 toronlu 12 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğik çekme kuvveti etkisindeki deplasman-kuvvet verileri

6 Toronlu 12 Ton Öngerilmeli Beton Kolon			
1. Test Numunesi		2. Test Numunesi	
Deplasman (cm)	Kuvvet (kg)	Deplasman (cm)	Kuvvet (kg)
0	0	0	0
5	-	5	-
10	70	10	75
15	-	15	-
20	-	20	-
25	105	25	-
30	-	30	110
35	-	35	-
40	-	40	-
45	135	45	135
50	-	50	-
55	-	55	-
60	150	60	155
65	-	65	-
70	-	70	-
75	160	75	-
80	-	80	170
85	-	85	-
90	-	90	-
95	-	95	175
100	175	100	-
105	-	105	-
110	-	110	-
115	180	115	180
120	-	120	-
125	-	125	-
130	-	130	185
135	185	135	-
140	-	140	-
145	-	145	-
150	-	150	-

Çizelge 4.20'deki verilerde 6 toronlu 12 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğik çekme kuvveti etkisinde maksimum ulaşacağı deplasman yaklaşık olarak 125-150 cm arasında olacağı ve bununla beraber maksimum deplasmanı sağlayacak kırılma öncesi

maksimum kuvvet ise 175-200 kg arasında olacağı anlaşılmaktadır. Deney verileri Şekil 4.44'teki gösterildiği üzere elde edilmektedir.

Çizelge 4.20'deki veriler grafik haline getirilir ise aşağıdaki Şekil 4.43 oluşmaktadır.



Şekil 4.43. 6 toronlu 12 ton öngerilmeli beton kolonların eğik çekme kuvveti etkisinde deplasman-kuvvet ilişkisi



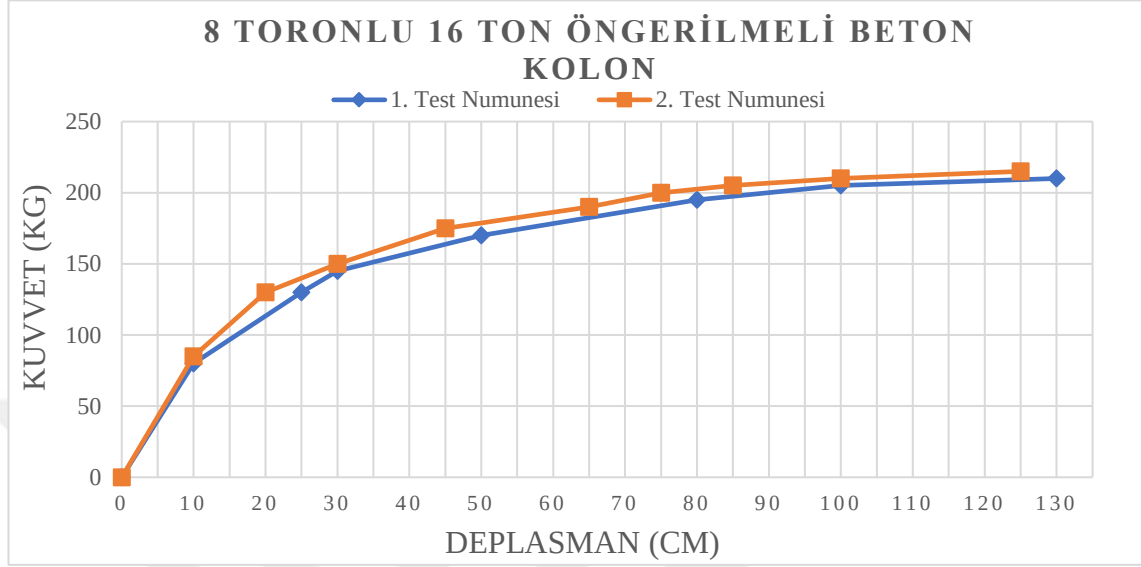
Şekil 4.44. Eğik çekme kuvveti etkisinde deplasman ölçüm görüntüsü

Çizelge 4.21. 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğik çekme kuvveti etkisindeki deplasman-kuvvet verileri

8 Toronlu 16 Ton Öngerilmeli Beton Kolon			
1. Test Numunesi		2. Test Numunesi	
Deplasman (cm)	Kuvvet (kg)	Deplasman (cm)	Kuvvet (kg)
0	0	0	0
5	-	5	-
10	80	10	85
15	-	15	-
20	-	20	130
25	130	25	-
30	145	30	150
35	-	35	-
40	-	40	-
45	-	45	175
50	170	50	-
55	-	55	-
60	-	60	-
65	-	65	190
70	-	70	-
75	-	75	200
80	195	80	-
85	-	85	205
90	-	90	-
95	-	95	-
100	205	100	210
105	-	105	-
110	-	110	-
115	-	115	-
120	-	120	-
125	-	125	215
130	210	130	-
135	-	135	-
140	-	140	-
145	-	145	-
150	-	150	-

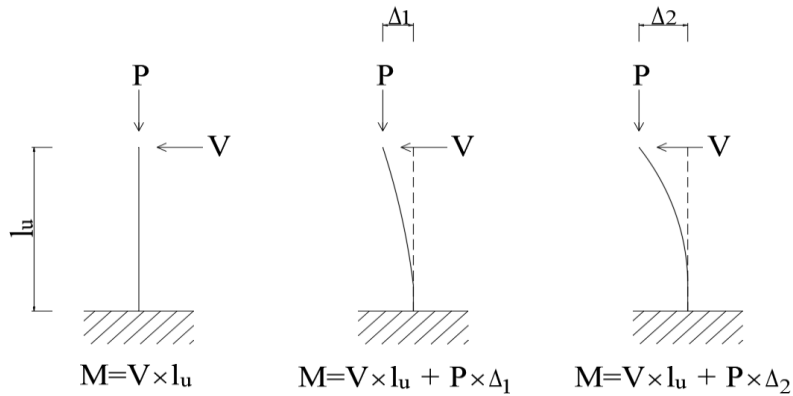
Çizelge 4.21'deki verilerde 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip beton kolonların eğik çekme kuvveti etkisinde maksimum ulaşacağı deplasman yaklaşık olarak 100-130 cm arasında olacağı ve bununla beraber maksimum deplasmanı sağlayacak kırılma öncesi maksimum kuvvet ise 200-225 kg arasında olacağı anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.21'deki veriler grafik haline getirilir ise aşağıdaki Şekil 4.45 oluşmaktadır.



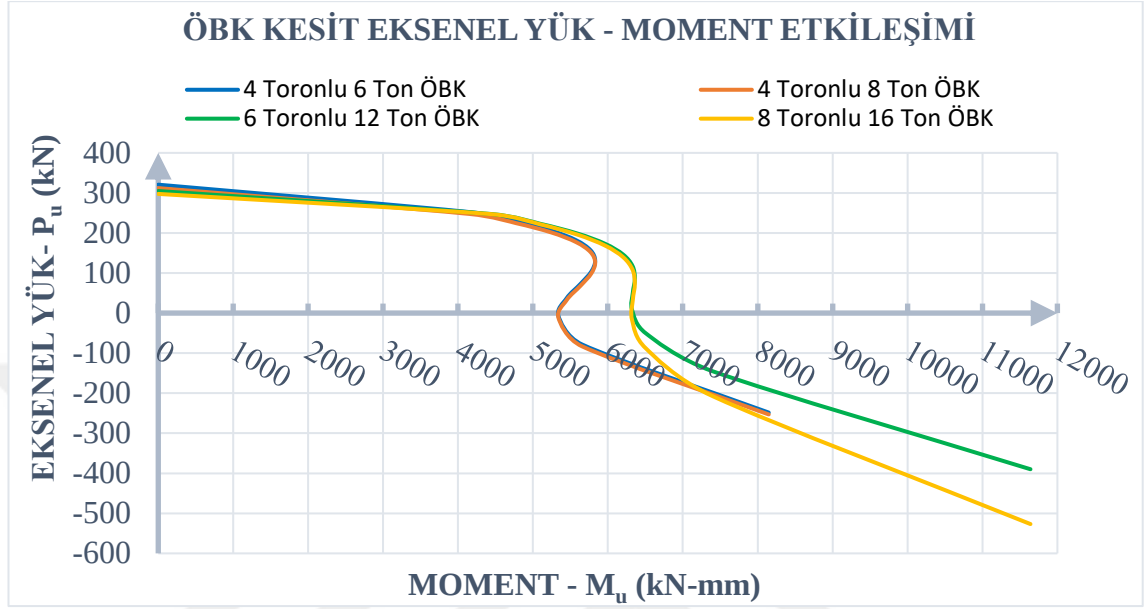
Şekil 4.45. 8 toronlu 16 ton öngerilmeli beton kolonların eğik çekme kuvveti etkisinde deplasman-kuvvet ilişkisi

Şekil 4.31, Şekil 4.33, Şekil 4.35 ve Şekil 4.37 ile Şekil 4.3., Şekil 4.41, Şekil 4.43 ve Şekil 4.45 incelendiğinde dayanım ve deplasmanda azalmaların olduğu görülmektedir. Buna sebep olan neden yükün nasıl etki ettirildiğidir. Yatay çekme kuvveti etkisinden eğik çekme kuvveti etkisine geçildiği anda P-Δ etkisi açıkça etkisini göstermektedir. P-Δ etkisi, Şekil 4.46'da özetlenerek gösterilmiştir. P-Δ etkisi ile Çizelge 4.18, Çizelge 4.19, Çizelge 4.20 ve Çizelge 4.21'deki veriler oluşmaktadır.

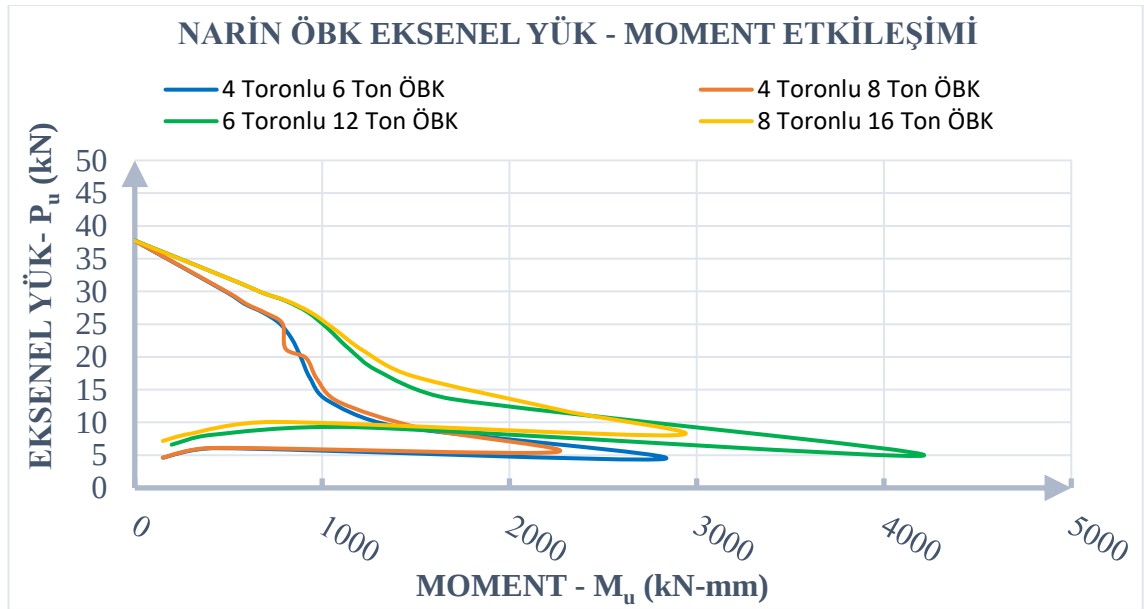


Şekil 4.46. Kolonlarda P-Δ etkisi

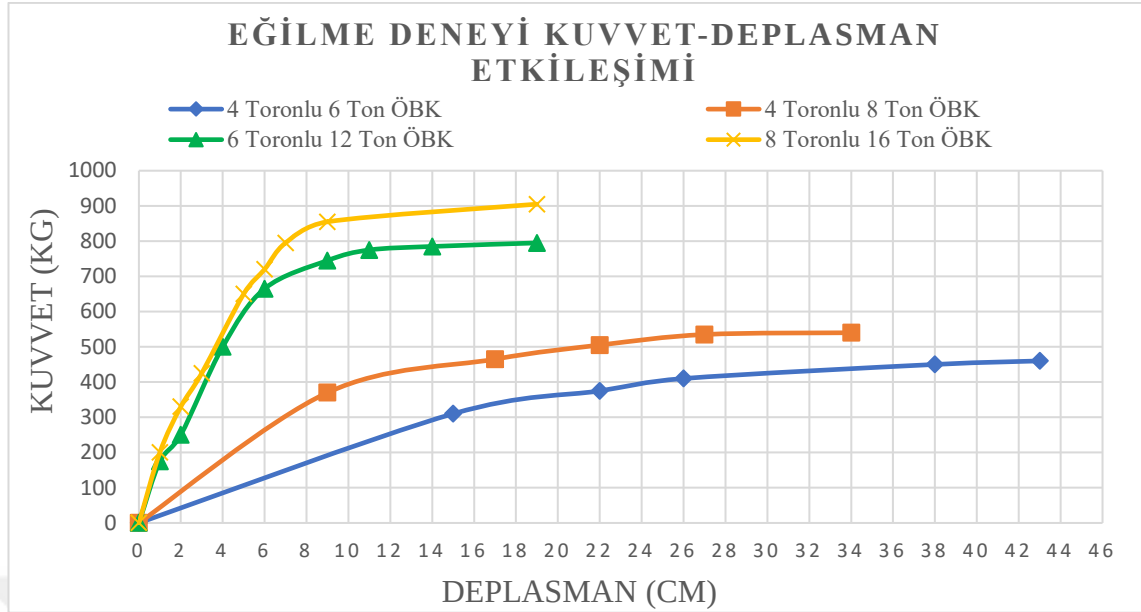
Aşağıdaki grafiklerde analitik hesap ile elde edilen eksenel yük-moment verileri ile deneyin sonucu olan kuvvet-deplasman verileri karşılaştırılarak Şekil 4.47, Şekil 4.48, Şekil 4.49, Şekil 4.50, Şekil 4.51, Şekil 4.52, Şekil 4.53 ve Şekil 4.54’te verilmiştir.



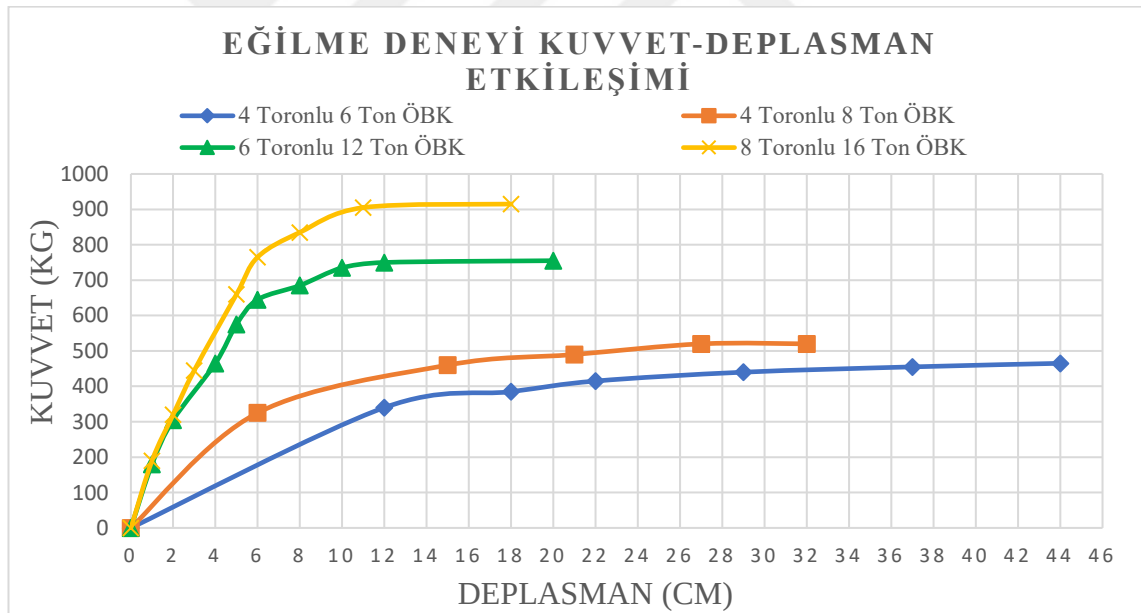
Şekil 4.47. İncelenen tüm ÖBK'lerin kesit eksenel yük-moment etkileşimi karşılaştırması



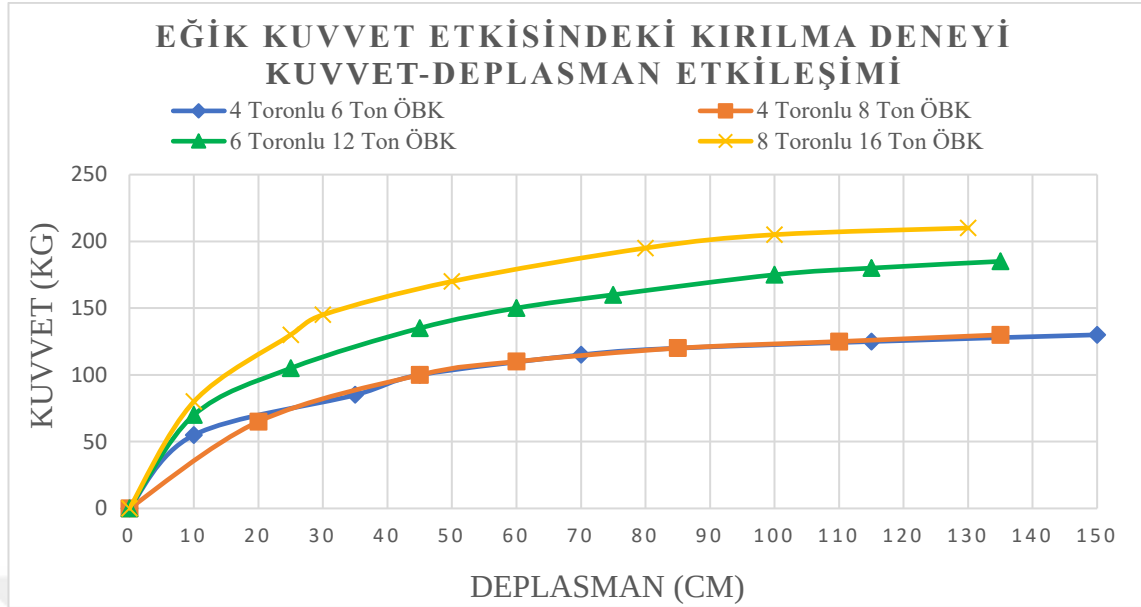
Şekil 4.48. İncelenen tüm narin ÖBK'lerin eksenel yük-moment etkileşimi karşılaştırması



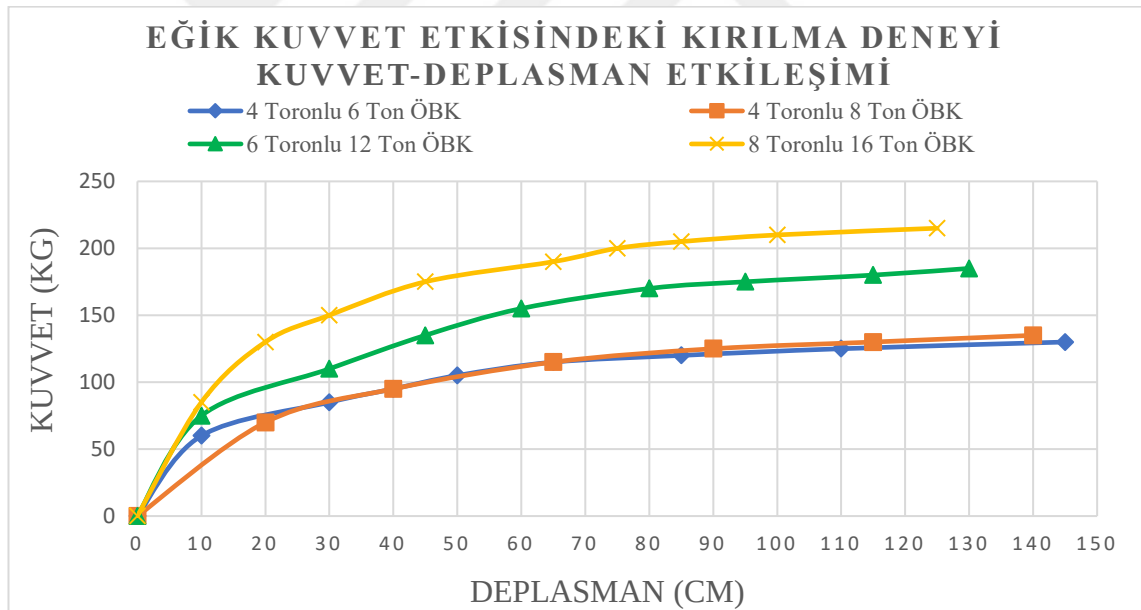
Şekil 4.49. İncelenen tüm ÖBK'lerin 1. test numunelerinin eğilme deneyi kuvvet-deplasman etkileşimi karşılaştırması



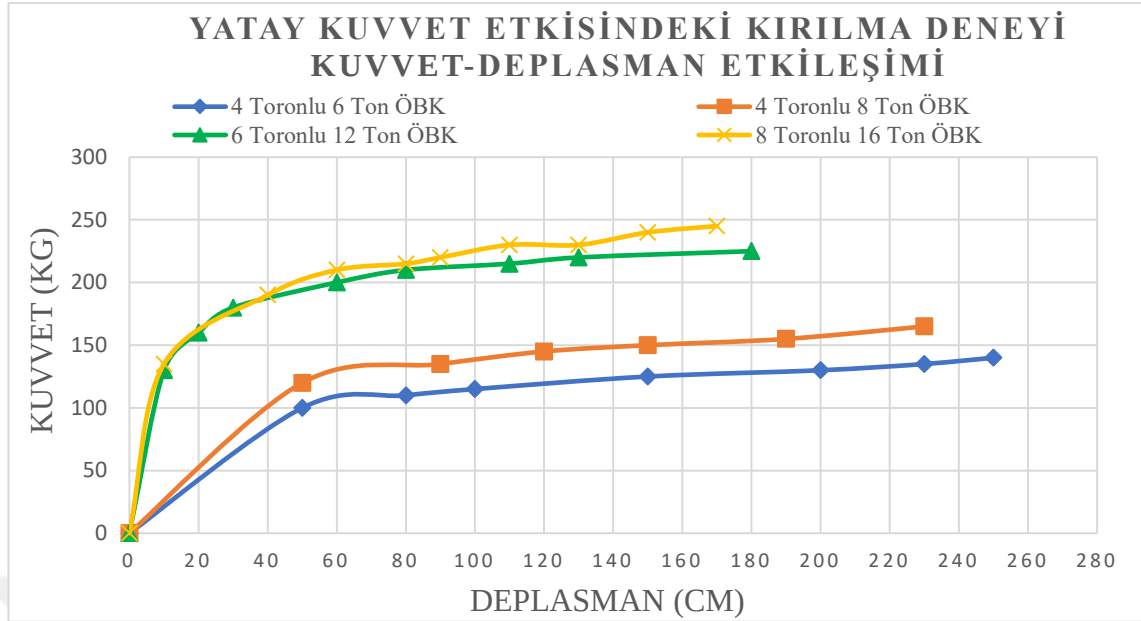
Şekil 4.50. İncelenen tüm ÖBK'lerin 2. test numunelerinin eğilme deneyi kuvvet-deplasman etkileşimi karşılaştırması



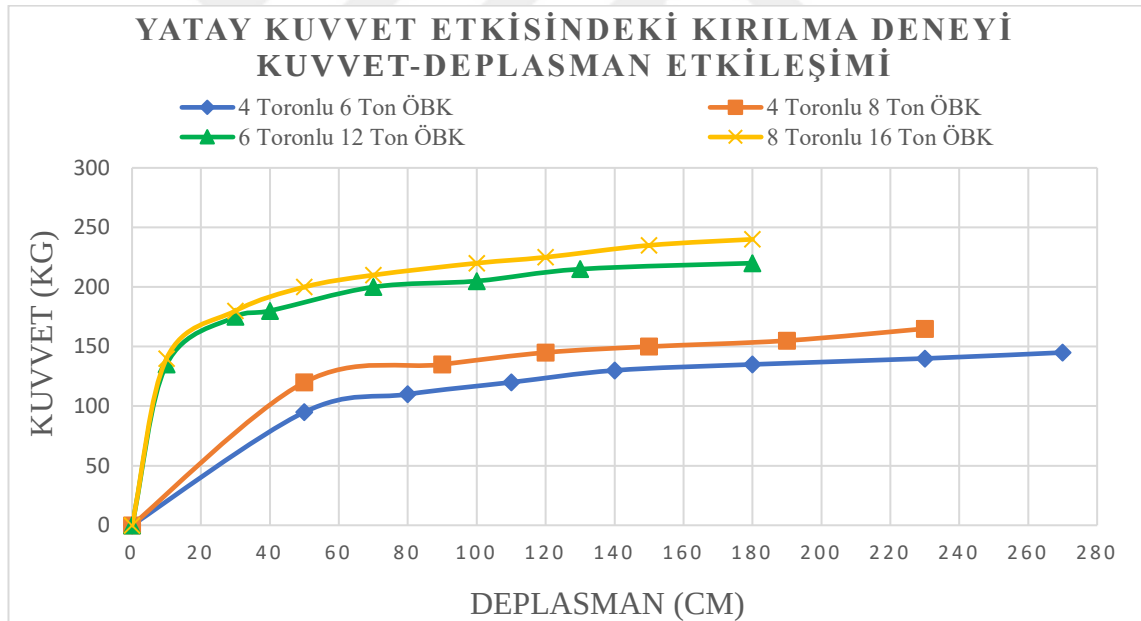
Şekil 4.51. İncelenen tüm ÖBK'lerin 1. test numunelerinin eğik çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi kuvvet-deplasman etkileşimi karşılaştırması



Şekil 4.52. İncelenen tüm ÖBK'lerin 2. test numunelerinin eğik çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi kuvvet-deplasman etkileşimi karşılaştırması



Şekil 4.53. İncelenen tüm ÖBK'lerin 1. test numunelerinin yatay çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi kuvvet-deplasman etkileşimi karşılaştırması



Şekil 4.54. İncelenen tüm ÖBK'lerin 2. test numunelerinin yatay çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi kuvvet-deplasman etkileşimi karşılaştırması

Çizelge 4.22. Eğilme deneyi sonuçlarının karşılaştırılması

EĞİLME DENEYİ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI			
<u>Toron Sayısı</u> (Adet)	<u>Öngerilme Miktarı</u> (Ton)	<u>Maksimum Kuvvet</u> (Kg)	<u>Maksimum Kuvvet Artım Miktarı</u> (%)
4	6	465	-
	8	540	16,13
6	12	795	70,97
8	16	915	96,77

Çizelge 4.23. Eğik çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi sonuçlarının karşılaştırılması

EĞİK KUVVET ETKİSİNDE KIRILMA DENEYİ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI			
<u>Toron Sayısı</u> (Adet)	<u>Öngerilme Miktarı</u> (Ton)	<u>Maksimum Kuvvet</u> (Kg)	<u>Maksimum Kuvvet Artım Miktarı</u> (%)
4	6	130	-
	8	135	3,85
6	12	185	42,31
8	16	215	65,38

Çizelge 4.24. Yatay çekme kuvveti etkisindeki kırılma deneyi sonuçlarının karşılaştırılması

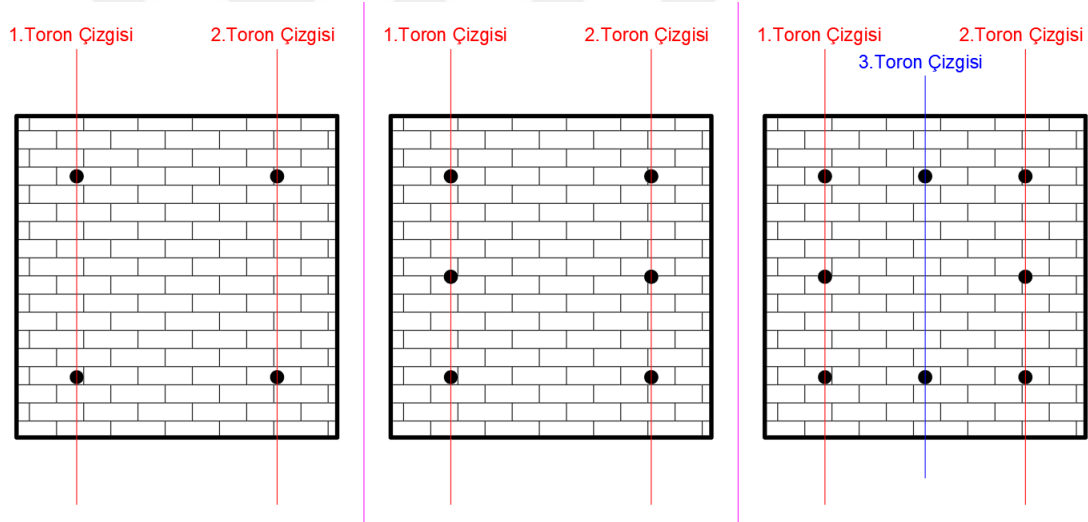
YATAY KUVVET ETKİSİNDE KIRILMA DENEYİ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI			
<u>Toron Sayısı</u> (Adet)	<u>Öngerilme Miktarı</u> (Ton)	<u>Maksimum Kuvvet</u> (Kg)	<u>Maksimum Kuvvet Artım Miktarı</u> (%)
4	6	145	-
	8	165	13,79
6	12	225	55,17
8	16	245	68,97

Deney verileri (Çizelge 4.22) değerlendirildiğinde 4 toronlu 6 ton öngermeli ÖBK eğilme deneyine tabii tutulduğunda 465 kg dayanım görülmektedir. Bu veri baz alındığında 4 toronlu 8 ton öngerilmeli ÖBK’de 16,13% artışla 540 kg’a geldiği tespit edilmiştir. Aynı eleman 6 toronlu 12 ton öngerilmeli ÖBK’de 70,97% artışla 795 kg’a geldiği görülmüştür. Aynı şekilde 8 toronlu 16 ton öngerilmeli ÖBK’nin ise 96,77% artışla dayanımı 915 kg’a çıkmıştır.

Deneyisel çalışmanın 2. aşaması olan eğik çekme kuvveti altında kırılma deneyi verileri (Çizelge 4.23) değerlendirildiğinde 4 toronlu 6 ton öngermeli ÖBK’de 130 kg dayanım görülmektedir. Bu veri baz alındığında 4 toronlu 8 ton öngermeli ÖBK’de 3,85% artışla 135 kg’a geldiği tespit edilmiştir. Aynı eleman 6 toronlu 12 ton öngermeli ÖBK’de 42,31% artışla 185 kg’a geldiği görülmüştür. Aynı şekilde 8 toronlu 16 ton öngermeli ÖBK’nin ise 65,38% artışla dayanımı 215 kg’a çıkmıştır.

Deneyisel çalışmanın 3. aşaması olan yatay çekme kuvveti altında kırılma deneyi verileri (Çizelge 4.24) değerlendirildiğinde 4 toronlu 6 ton öngermeli ÖBK’de 145 kg dayanım görülmektedir. Bu veri baz alındığında 4 toronlu 8 ton öngermeli ÖBK’de 13,79% artışla 165 kg’a geldiği tespit edilmiştir. Aynı eleman 6 toronlu 12 ton öngermeli ÖBK’de 55,17% artışla 225 kg’a geldiği görülmüştür. Aynı şekilde 8 toronlu 16 ton öngermeli ÖBK’nin ise 68,96% artışla dayanımı 245 kg’a çıkmıştır.

4 toron yerine 6 toron kullanıldığı taktirdeki artım miktarının fazla olduğu görülmüştür. Bu artım miktarı 6 torondan 8 torona geçişte görülmemektedir. Bunun sebebi aşağıdaki Şekil 4.55’te anlaşılmaktadır.



Şekil 4.55. 4, 6 ve 8 toronlu ÖBK enkesitinde toron yerleşim hattı çizgilerinin çekilmesi

Yukarıdaki Şekil 4.55’e bakıldığında 4 toronlu ÖBK’den 6 toronlu ÖBK’ye geçişte 1. ve 2. toron hattı çizgisinde artış olduğu görülmektedir. Bu hatlar enkesit merkezinden kaçık olduğu için momente etkisi fazla olacaktır. Yani bu hatta yapılacak toron sayısındaki değişiklikler, ÖBK’lerde pozitif etki veya negatif bir etki olarak fazlaca yansiyacaktır. 6 toronlu ÖBK’den 8 toronlu ÖBK’ye geçişte 1. ve 2. toron hattı çizgisinde bir değişiklik yoktur. Bunun yerine 3. bir toron hattı çizgisi oluşmuştur. Bu oluşan toron hattı çizgisi en kesit merkezinde olduğundan dolayı bu hatta oluşacak değişiklikler, ÖBK’lerde pozitif veya negatif bir etki olarak az yansiyacaktır.

9 metrelik ÖBK'lerin temiz yüksekliği 7,5 metre olan sera sisteminde kullanılacağı düşünüldüğünde üzerine gelen rüzgâr yükünün fazla olacağı aşıkardır. Bu nedenle sera sisteminin kullanım amacına bağlı olarak yüksek yapılacak ise 6 veya 8 tonlu 12 veya 16 ton öngerilmeye sahip ÖBK'lerin kullanılmasının uygunluğu yukarıdaki karşılaştırma grafiklerinden ve çizelgelerden anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.14, Çizelge 4.15, Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17'ye bakıldığı zaman 6, 8, 12 ve 16 ton ÖBK'de sırasıyla maksimum yatay kuvvetler 1,42 kN, 1,62 kN, 2,21 kN ve 2,40 kN olduğu görülmüştür. Verilen 9 metrelik ÖBK'nin 1,5 metresinin gömülü olduğu göz önüne alındığı zaman mesnet noktasındaki kesitte oluşacak momentler, denklem (4.27) ile hesaplanarak bulunmuştur. Hesaplanan bu veriler aşağıdaki Çizelge 4.25'te tablo halinde narin olmayan ÖBK'ler ve narin olan ÖBK'ler ile karşılaştırılarak gösterilmiştir.

$$M_U = P_U \times l_U \quad (4.27)$$

$$M_U = 1,42 \times 7500 = 10650 \text{ kNmm}$$

$$M_U = 1,62 \times 7500 = 12150 \text{ kNmm}$$

$$M_U = 2,21 \times 7500 = 16575 \text{ kNmm}$$

$$M_U = 2,40 \times 7500 = 18000 \text{ kNmm}$$

Çizelge 4.25. ÖBK'lerin incelenen tüm hususlar çerçevesinde moment karşılaştırması

Narin Olmayan ÖBK'lerin Hesaplanan Maksimum Taşıma Gücü Momenti, M_u (kNmm)				Narin Olan ÖBK'lerin Hesaplanan Maksimum Taşıma Gücü Momenti, M_u (kNmm)				Deney Sonucu ÖBK'lerin Mesnet Noktasındaki Kesitte Oluşan Maksimum Moment, M (kNmm)			
6 Ton	8 Ton	12 Ton	16 Ton	6 Ton	8 Ton	12 Ton	16 Ton	6 Ton	8 Ton	12 Ton	16 Ton
8147,76	8147,76	11640,8	11640,8	2825,31	2241,16	4212,41	2881,18	10650	12150	16575	18000

Deney metodu incelendiğinde, yere yatırılmış ve 1,5 metreden mesnetlenmiş kolonlara yatay çekme kuvveti etki ettirilmesi kolonlara narin olmayan ÖBK davranışı sergilemesi kaçınılmazdır. Bundan sebep deney sonucu elde edilen moment değeri ile narin olmayan ÖBK'lerin maksimum taşıma gücü moment değeri az bir farkla benzerlik göstermektedir. Oluşan bu farklı benzerlik, hesaplar yapılırken ki 28 günlük beton dayanım değeri ile sahaya gelen betonun 28 günlük beton dayanım değerinin farklılığından kaynaklıdır. Sahaya gelen 28 günlük beton dayanım değerleri Çizelge 3.4'te görülmektedir. Ayrıca narinlik etkisiyle oluşacak burkulmanın ne denli büyük farklar yarattığı görülmektedir.

Bu çalışmada görüldüğü üzere narinliğin artması dayanımın azalttığı görülmektedir. Eğer ki ÖBK narin olarak tasarımı yapılması gerekmekte ise ve dayanımın yüksek olması isteniyorsa uygulanan öngerilmelinin artırılması gerekmektedir. Bu durum analitik hesapta tam olarak anlaşılmasa da deney verilerinden anlaşılmaktadır. ÖBK'lerin dayanımı arttıracak çözümler sünekliliği azaltacaklardır. Sünekliliğin azalması ile kolon ucundaki deplasman da azalacaktır. Bu azalma, eksenel kuvvet ve deplasman etkisiyle oluşan $P-\Delta$ etkisinde de azalmaya neden olacaktır. $P-\Delta$ etkisiyle oluşan momentin azalması direğin taşıma gücü dayanımında olumlu sonuçlar verecektir.

Eğer ki uygulanan öngerilme belirli sebeplerden arttırılamıyor ise ÖBK içindeki toron miktarının arttırılması gerektiği düşünülmektedir. Bu düşüncenin olumlu sonuçlanacağı kanaati denklem (4.13) ve (4.14) incelendiğinde oluşmaktadır. Bu çıkarım 6 veya 8 toronlu ÖBK'lerin verileri ile sabitlemiştir. Toron sayısının arttırılması taşıma gücü momentini arttırdığı deneyler ile kanıtlanmıştır. Aynı şekilde beton sınıfının arttırılması dayanımı arttıracak sebepler arasında görülmektedir. Bu çıkarım ise denklem (4.6), (4.7), (4.8), (4.13) ve (4.14) incelendiğinde oluşmaktadır. Tüm bu çıkarımlar ilerdeki çalışmalardan elde edilecek veriler ile sabitlenmelidir.

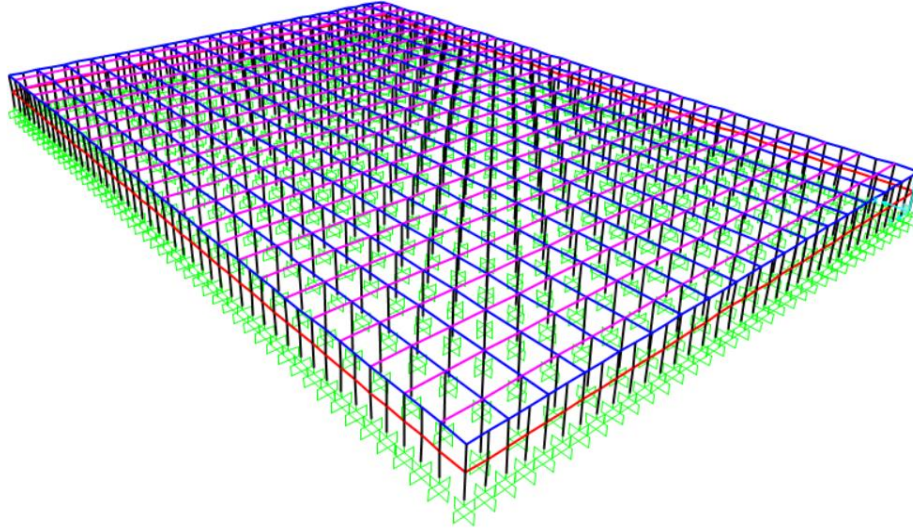
4.3. Sera Yapısındaki Öngerilmeli Beton Kolonların SAP2000 Analizi

Öngerilmeli beton kolonların kullanılması planlanan sera yapısı SAP2000 programı yardımıyla tasarlanmıştır. Aşağıda bu programdan alınan veriler gösterilecektir.

Bu sera yapısı Antalya'nın Serik ilçesinde yapılması düşünülmüş olup boyu 146 metre ve eni 102 metredir. Tüm yüklemeler, TS EN 1991-1-3 ve TS EN 1991-1-4 standartlarınca kar veya dolu yükü ve rüzgâr yükü olarak etki ettirilmiştir. Bu modeldeki kombinasyonlar SDLGS standardına uygun olarak kullanılmıştır. Ayrıca bu yapı TS EN 13031-1 yönetmeliğince tasarlanmıştır. Kullanılan malzemeler ve kesitler aşağıdaki Çizelge 4.26'da görülmektedir.

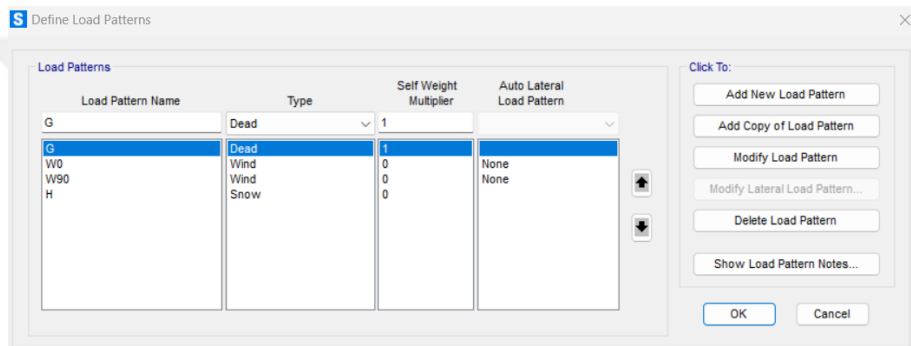
Çizelge 4.26. Serada kullanılan malzeme ve kesitleri

Kullanılan Malzeme	Kesit Tipi
Çelik	120 mm × 80 mm × 4 mm
	120 mm × 60 mm × 3 mm
	80 mm × 80 mm × 3 mm
Beton	C40/50 (120 mm × 120 mm ÖBK)

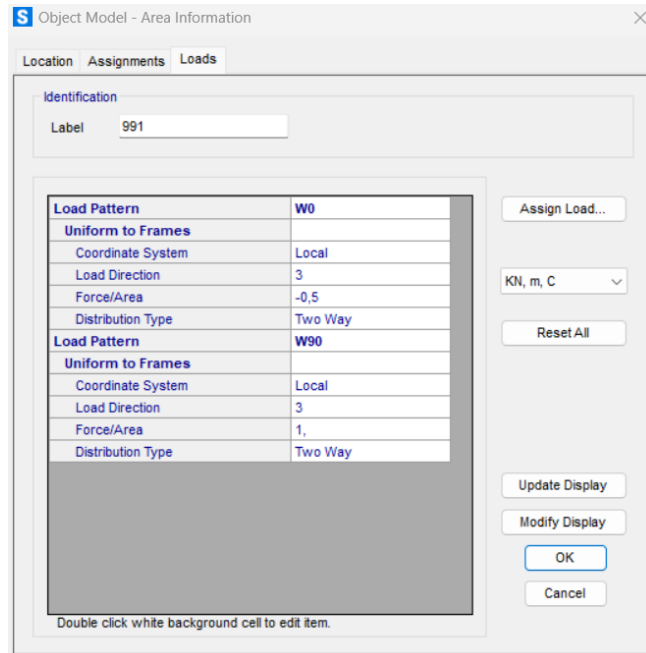


Şekil 4.56. Planlanan sera yapısının SAP2000 programında görünümü

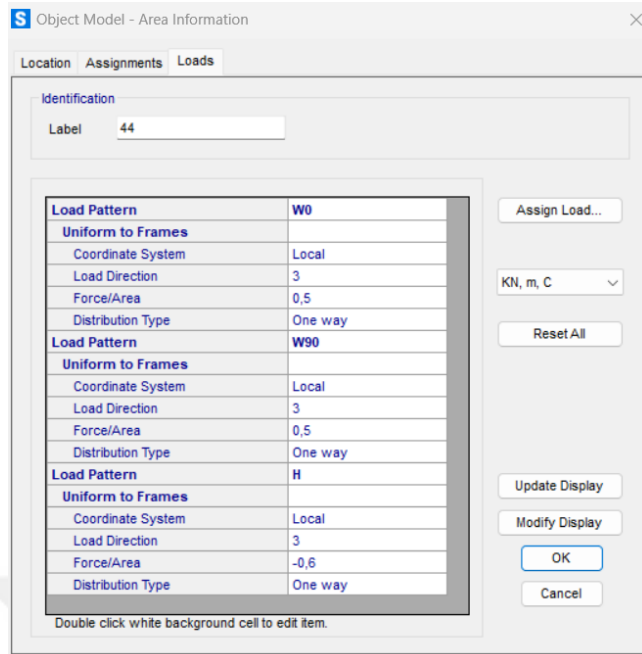
Şekil 4.56’da sera yapısı gözükmemektedir. Bu yapıda ÖBK’ler x yönünde en dış kontür, ilk aralık 4 metre başlayarak sonraki aralıklar 3 metre ile devam etmekte iken y yönünde 3’er metre aralıklar devam etmektedir. İç taraftaki kolonlar ise x ve y yönünde 6’şar metre ara ile devam etmektedir. En dış kontürde orta noktalarında $120 \text{ mm} \times 60 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ kesit malzeme ve kolon uç noktalarında $120 \text{ mm} \times 80 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ kesit malzeme kullanılmıştır. İç kontürdeki kolonların uç noktalarında x yönünde $120 \text{ mm} \times 80 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ kesit malzeme ve y yönünde $80 \text{ mm} \times 80 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ kesit malzeme kullanılmıştır. Yük tanımlamaları aşağıdaki Şekil 4.57’de gösterilmiştir. Kolonlar arası dikey perdeye etkiyecek rüzgâr yükü Şekil 4.58’de ve kirişler arası yatay perdeye etkiyecek rüzgâr ile kar yükü Şekil 4.59’da gösterilmiştir. Bu seradaki önerilmeli beton kolonlar içerisinde maksimum moment ve aksenal kuvvet aşağıdaki Şekil 4.60 ve Şekil 4.61’de görülmektedir.



Şekil 4.57. Sera yapısının SAP2000'deki yük tanımlamaları



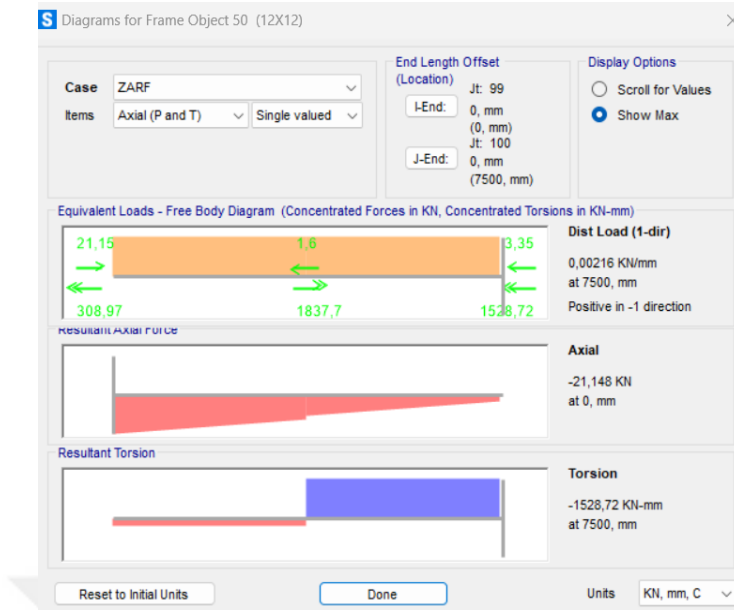
Şekil 4.58. Kolonlar arası dikey perdeye etkiyen rüzgâr yükü



Şekil 4.59. Kirişler arası yatay perdeye etkiyen rüzgâr ile kar yükü



Şekil 4.60. SAP2000 programından alınan maksimum moment değeri



Şekil 4.61. SAP2000 programından alınan maksimum eksenel yük değeri

Şekil 4.60'ta görüldüğü üzere mesnet noktasındaki maksimum moment 13713,74 kNmm'dir. Çizelge 4.25'e bakıldığında 6 toronlu veya 8 toronlu ÖBK'lerin deney sonuçları ile elde edilen mesnet noktasındaki moment değerleri 13713,74 kNmm değerinin üzerinde olduğu anlaşılmaktadır. Tüm bunlara bakarak, 120 mm × 120 mm ve 4 adet çapı 4,85 mm olan toron kullanarak tasarımı yapılan 6 ton ve 8 ton öngerilmeye sahip ÖBK'lerin, tasarımı yapılan bu sera sisteminde kullanılması uygun olmadığı görülmüştür. Tasarımı yapılarak incelenen bu sera sistemi için 6 toronlu 12 ton öngerilmeye sahip ÖBK ile 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip ÖBK'nin kullanımı uygundur. Eğer ki 4 toronlu ÖBK'lerin incelenen bu sera sisteminde kullanılması düşünülüyor ise bu kolonların hasar görmeden durması mümkün değildir.

Bu ÖBK'lerin ne kadar ekonomiklik sağladığı incelenecek olursa imal edilen 9 metrelik 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip ÖBK'nin maliyeti hesaplanmalıdır. Hesaplanan bu ÖBK maliyeti, aynı sera sisteminde yerini alabilecek çelik malzeme seçilerek, çelik kolon maliyeti ile karşılaştırılmalıdır. Şekil 4.56'daki sera sisteminde 8 toronlu ÖBK'nin yerini alabilecek çelik kolon aşağıdaki Şekil 4.62, Şekil 4.63 ve Şekil 4.64'te verilmiştir.

Box/Tube Section

Section Name: KP 120 X 120 X 5 Display Color: [Black]

Section Notes: [Modify/Show Notes...]

Dimensions

Outside depth (t3): 0,12

Outside width (t2): 0,12

Flange thickness (tf): 5,000E-03

Web thickness (tw): 5,000E-03

Material

+ S235

Property Modifiers

[Set Modifiers...]

Section

[Diagram of a square box section with dimensions t3, t2, tf, tw]

Properties

[Section Properties...]

[Time Dependent Properties...]

[OK] [Cancel]

Şekil 4.62. Çelik kutu profil kolon tanımlanması

Steel Stress Check Information (AISC 360-16)

Frame ID: 2 Analysis Section: KP 120 X 120 X 5

Design Code: AISC 360-16 Design Section: KP 120 X 120 X 5

COMBO ID	STATION LOC	MOMENT RATIO	INTERACTION CHECK	MAJ-SHR RATIO	MIN-SHR RATIO
1,0G	3,75	0,007 (C)	= 0,004 + 0, + 0,002	0,	0,
1,0G	7,5	0,011 (C)	= 0,002 + 0,002 + 0,007	0,	0,
1,0G+1,0W	0,	0,591 (T)	= 0,003 + 0,016 + 0,572	0,	0,046
1,0G+1,0W	3,75	0,229 (T)	= 0,004 + 0,007 + 0,218	0,	0,01
1,0G+1,0W	3,75	0,229 (T)	= 0,004 + 0,007 + 0,218	0,	0,011
1,0G+1,0W	7,5	0,073 (T)	= 0,005 + 0,01 + 0,058	0,	0,025
1,0G+1,0W	0,	0,921 (T)	= 0,004 + 0,062 + 0,855	0,003	0,078

Modify/Show Overwrites [Overwrites]

Display Details for Selected Item [Details]

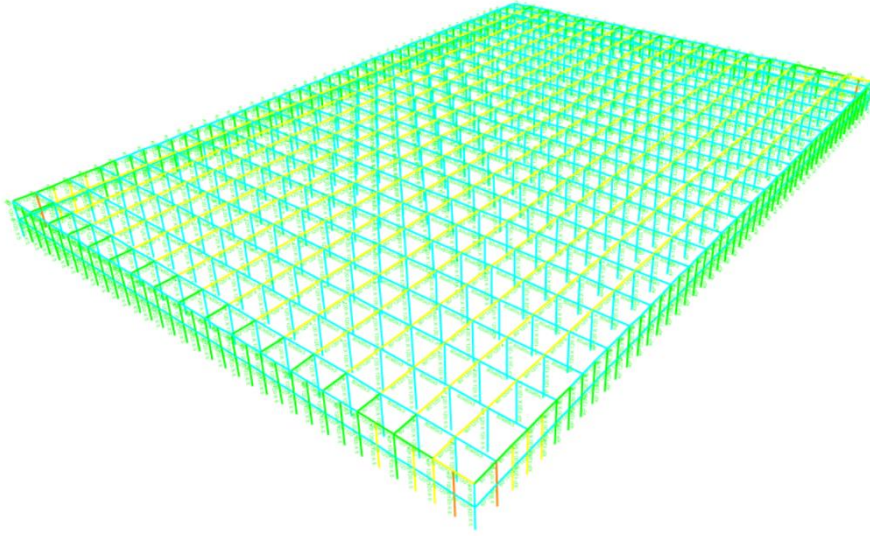
Display Complete Details [Tabular Data]

☒ Strength ☐ Deflection

[OK] [Cancel]

Stylesheet: Default [Table Format File]

Şekil 4.63. Tanımlanan çelik kolonun en olumsuz durum için uygunluk kontrolü



Şekil 4.64. Tanımlanan çelik kolonun sera yapısındaki uygunluğunun kontrolü

Şekil 4.63'te görüldüğü üzere Çizelge 4.26 ve Şekil 4.56'da tanımlanan sera sistemi için kullanılacak çelik kolon kesiti 120 mm × 120 mm × 5 mm olan kutu profildir. 9 metre uzunluğa sahip bu çelik kutu profil kolonun hesaplanan şu anki piyasada maliyeti yaklaşık olarak 3560 TL+KDV olacaktır. Bu tez çalışmasında incelenen sera yapısı için önerilen 9 metre uzunluğa sahip 8 toronlu ÖBK'nin hesaplanan maliyeti ise 1280 TL+KDV olacaktır. Çizelge 4.27'ye bakıldığında ÖBK'ler en az 60% oranında ekonomiklik sağlamaktadır.

Çizelge 4.27. Kolonların maliyet karşılaştırılması

<u>Kolon Sınıfı</u>	<u>Kolon Tipi</u>	<u>Maliyet</u>
Çelik	9 Metre 120mm × 120mm × 5mm Kutu Profil	3560 TL+KDV
Beton + Çelik	9 Metre 8 Toronlu Öngerilmeli Beton Kolon	1280 TL+KDV
<u>Maliyet Uygunluk Yüzdesi</u>		64%

Çizelge 4.28. 146 metre boya 102 metre ene sahip sera yapısında ÖBK'li ve ÖBK'siz durumlar için maliyet karşılaştırılması

<u>Sera Yapısı (146m ×102m)</u>	<u>Kullanılan Elemanlar</u>	<u>Maliyet</u>
Çelik Profiller	120mm × 120mm × 5mm	2865000 TL+KDV
	120 mm × 80 mm × 4 mm	
	120 mm × 60 mm × 3 mm	
	80 mm × 80 mm × 3 mm	
ÖBK + Çelik Profiller	120 mm × 80 mm × 4 mm	1935000 TL+KDV
	120 mm × 60 mm × 3 mm	
	80 mm × 80 mm × 3 mm	
	8 Toronlu 16 Ton Öngerilmeli Beton Kolon	
<u>Maliyet Uygunluk Yüzdesi</u>		32%

Çizelge 4.28'e bakıldığında 146 metre boya ve 102 metre ene sahip sera yapısında maliyet araştırması yapıldığı gösterilmektedir. Bu araştırma sonucunda tüm yapıda elde edilen maliyet uygunluk yüzdesi 32% olarak görülmektedir. Bu oran, sera sistemleri için büyük bir ekonomiklik sağlayacaktır.

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasının asıl amacı, öngerilmeli beton kolonların tasarımı ve taşıma kapasitelerinin hesaplanmasıdır. Bu amaç doğrultusunda öngerilmeli betonarme kolonlar analitik hesaplar, deneysel sonuçlar ve SAP2000 analizinin verileri kullanılarak çalışma yapılmıştır. Analitik hesaplar ve deney sonuçları için 120 mm × 120 mm en kesitli 4 toronlu 6 ton, 4 toronlu 8 ton, 6 toronlu 12 ton ve 8 toronlu 16 ton öngerilmeye sahip öngerilmeli beton kolonlar seçilmiştir. Ayrıca SAP2000 programında belirlenen kesite sahip beton kolonlar ile sistem bazında sera yapısı analize tabii tutulmuştur. Analitik hesaplar ile kolonların eksenel kuvvet-moment etkileşim grafiği elde edilerek bu kolonlara gelecek olan yüklerin etkisiyle oluşacak kuvvete ve momente dayanıp dayanamayacağı anlaşılır hale getirilmiştir. Bu kolonlar eğik, yatay çekme ve eğilme testlerine tabii tutularak davranışı ve taşıma gücü momentleri hakkında detaylı bilgi edinilmiştir. SAP2000 programı ile tasarımı yapılmış öngerilmeli kolonların sera yapılarında kullanılabilir olup olmadıkları anlaşılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında deneyler sonucu elde edilen veriler ile analitik verilerin narin olmayan durumda az bir farkla yakın oldukları görülmüştür. Narinlik etkisinin ne denli önemli ve büyük bir etmen olduğu anlaşılmıştır.

Yapılan bu çalışmada anlaşılmaktadır ki 1,5 metresi zemin altında kalacak şekilde düşünülen 9 metrelik kolonların bu enkesit boyutlarında, bu beton sınıfında ve bu öngerilme miktarında olması halinde uygunluğu sera yapısının tasarımına bağlıdır. Eğer ki yatay perdelerin hava giriş çıkışı engellenmez ve kar ve yağmur birikintilerinin drenajı hemen sağlanacak şekilde sera tasarlanır ise bu kolonlarda narinlik etkisiyle oluşan burkulma gözlenmeyecektir. Kolon sadece cepheden gelen yüke maruz kalarak narin olmayan kolon gibi davranacaktır. Bu tür durumda 4 toronlu kolonu, öngerilme miktarının 8 tondan fazla olması dahilinde drenajı sağlanan sera yapısında kullanabilir denebilmektedir. Eğer ki analizi yapılmış sera yapısı, yatay perdede drenajı hemen sağlanmayan ve hava giriş çıkışı engellenen şekilde tasarlanırsa bu tezde örnek olarak incelenen kolonlar olan 6 veya 8 adet torona sahip 12 tondan fazla öngerilmiş öngerilmeli beton kolonların sistem için daha uygun olacağı düşünülmektedir.

Yukarıda detayları verilen şekilde tasarlanmayan sera yapılarında örnek olarak verilmiş 120 mm × 120 mm en kesitte sahip ve 4 adet torona sahip olan kolonlar kullanılmak isteniyor ise başka çözüm yolları aranmalıdır. Bunlardan bazıları; kullanılan beton sınıfının değiştirilmesi, en kesitte büyümeye gidilmesi veya öngerilme miktarının arttırılmasıdır. Bu tür değişimler seralarda maddi ve manevi zararların önüne geçmek için çözüm olarak sunulmuştur.

Bu veriler bize, öngerilmeli beton kolonların kendisine gelecek olan yükleri güvenle taşıyabilmesi için tasarımının iyi yapılmış olması gerektiğini göstermiştir. Tasarımı yapılmış kolonların taşıma gücü dayanımları, özellikle sera yapılarında kullanılacak öngerilmeli kolonlar için yeterli olacaktır.

Ayrıca incelenen öngerilmeli beton kolonların maliyetleri kabaca hesaplanarak ekonomik uygunluğuna bakılmıştır. Tasarlanan sera sisteminde taşıyıcı eleman olarak çelik kolon yerine öngerilmeli kolon kullanılması durumunda yaklaşık olarak 60% oranında maliyet düşüklüğü olacağı kanaatine varılmıştır. Bu yüzden, öngerilmeli betonarme kolonların yapısal davranışlarını içeren bir tasarım önerisinin geliştirilmesi yeni yapılacak sera ve örtü sistemleri için ekonomik fayda sağlayacaktır.

Son olarak bu tez çalışması, öngerilmeli beton kolonların sera sistemlerinde kullanımının artması ülkemiz tarımının geleceği için önemli olduğu gerçeği ile konunun burada kalmayarak daha da ilerletip geliştirilmesinde fayda sağlayacağı düşünülmektedir.



6. KAYNAKLAR

- Alkam, F. and Lahmer, T. 2019. Quantifying the Uncertainty of Identified Parameters of Prestressed Concrete Poles Using the Experimental Measurements and Different Optimization Methods. *Engineering and Applied Sciences*. 4 (4): 84.
- Arani, S. 1968. The Strength Of Slender Prestressed Concrete Columns. *PCI Journal*. 13(2): 19–33.
- Bayındır, T. B. 2020. Süneklik, Gevreklik ve Titanik! . Retrieved from <https://www.ceyrekmuhendis.com/suneklik-gevreklik-ve-titanik/> [Son erişim tarihi: 11.06.2023].
- Büyüktaş, K. 2020. Seralarda Planlama ve Otomasyon, ss. 349, 28 Eylül-02 Ekim, Antalya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, Antalya.
- Grijalba, D.A. 2011. Centrally Prestressed Fiber Reinforced Concrete Columns. Yüksek Lisans tezi, Florida Atlantic University, Florida, 92 s.
- Itaya, R. 1965. Design and Uses of Prestressed Concrete Columns. *PCI Journal*, 10 (3): 69-76.
- Kocataşkın, F. 1991. Yüksek Dayanımlı Betonun Bileşimi. 2.Ulusal Beton Kongresi Yüksek Dayanımlı Beton (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası). 211-226.
- Kovacs, B. And Toader, T. N. 2022 An Automated Algorithm For The Sectional Analysis Of Reinforced And Prestressed Concrete Columns. *Journal Of Applied Engineering Sciences*. 12(25):61-70.
- Kuebler, M.E. 2008. Torsion in Helically Reinforced Prestressed Concrete Poles. Yüksek Lisans tezi, Waterloo University, Canada, 252 s.
- Lin, T.Y. and Itaya, R. 1957. A Prestressed Concrete Column Under Eccentric Loading. *PCI Journal*. 2(3): 5–17.
- Nawy, E.G. 2000. Prestressed Concrete A Fundamental Approach. 3rd ed. Prentice Hall Inc., New Jersey, 480-524 s.
- Oflazoğlu, M. Z. 2007. Öngerilmeli Beton Kolonların Analiz ve Tasarımı. Yüksek Lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 117 s.
- Roberts, E.E., Lees J.M. and Hoult, N.A. 2012. Flexural Fatigue Performance of CFRP Prestressed Concrete. *Advances in Structural Engineering*. 15 (4): 575-588.
- Romera, S.L. 2012. Precast Prestressed Concrete. Final Year Project, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 108 p.
- SAP2000 V22.0.0 Ultimate, 2020. Computers and Structures Inc. California.
- Sesigür, H. 2017. Reinforced Concrete Structures MIM 232E. Retrieved from https://web.itu.edu.tr/haluk/rc/RCS week1_HS.pdf [Son erişim tarihi: 01.06.2023].
- Shuraim, A.B. and Naaman, A.E. 2003. A New Design Methodology for the Ultimate Capacity of Slender Prestressed Concrete Columns. *PCI Journal*, 48 (1): 64-81.

- Sıddık, Ş. 2006. Öngerilmeli Beton. Alp Yayınevi: 33, Ankara, 275 s.
- Standarts For Design Loads In Greenhouse Structures, 1996. National Greenhouse Manufacturers Association. Pensilvanya.
- Terrasi, G.P., Meier, U. and Affolter, C. 2014. Long-Term Bending Creep Behavior of Thin-Walled CFRP Tendon Pretensioned Spun Concrete Poles. Polymers. 6(7): 2065-2081.
- Topçu, İ.B. 2006. “Beton Teknolojisi”, Uğur Ofset A.Ş., Eskişehir.
- TS EN 13031-1, 2020. Seralar: Tasarım ve Yapım-Bölüm 1: Ticari Üretim Seraları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1991-1-3, 2007. Yapılar Üzerindeki Etkiler - Bölüm 1-3: Genel Etkiler - Kar Yükleri (Eurocode 1). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1991-1-4, 2007. Yapılar Üzerindeki Etkiler - Bölüm 1-4: Genel Etkiler - Rüzgâr Etkileri (Eurocode 1). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3233, 1979. Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Seçkin SAYGIN

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Derece	Alan	Üniversite	Yıl
Yüksek Lisans	Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD	Akdeniz Üniversitesi	2020 - 2023
Lisans	Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü	Akdeniz Üniversitesi	2015 - 2019

MESLEKİ VEYA İDARİ GÖREVLER

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Yıl
Mühendis	Tasarım Çelik Proje İmalat Montaj İnşaat San. Tic. Ltd. Şti.	2023