

**PREFABRİKE BETONARME VE ÖNGERİLMELİ BETON DÖŞEME
SİSTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI, HESAP ESASLARI VE
KONVANSİYONEL DÖŞEMELERLE KARŞILAŞTIRILMASI**

TC YÜKSEK ÖĞRETİM BAKANLIĞI
DOKÜMAN YASALARI MÜHÜRÜ

107078

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Ülkü Hülya ÇALIK
F0198Y056

101078

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Haziran 2000

Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Haziran 2000

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Metin AYDOĞAN

18.07.2000

[Signature]

Diğer Jüri Üyeler

Prof. Dr. Melike ALTAN (İ.T.Ü.)

18.07.2000

[Signature]

Prof. Zekeriya POLAT (Y.T.Ü.)

19.07.2000

[Signature]

HAZİRAN 2000

Bana araştırmalarım ve çalışmalarım süresince büyük bir hoşgörü ve sabırla yardım eden ve destek olan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Metin AYDOĞAN’a saygılarımla en içten teşekkürlerimi sunarım.

Haziran, 2000

Ülkü Hülya ÇALIK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1.GİRİŞ	1
1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2.PREFABRİKE ÜRETİM	3
2.1. Prefabrike Üretimin Avantajları	4
2.2. Prefabrike Üretimin Dezavantajları	4
2.3 Önyapım Betonarme Elemanlarda, Çeşitli Evrelerde Gözönünde Tutulması Gereken Bazı Statik Sorunlar	4
3.PREFABRİKE DÖŞEME SİSTEMLERİ	6
3.1 Prefabrike Döşeme Kirişleri	6
3.1.1. Prefabrike Döşeme Kirişleri İle Döşeme Teşkili	6
3.1.2. Hesap Esasları	8
3.2. Preslab (Filigran)Döşeme Elemanları	9
3.3. Nervürlü Döşemeler	10
3.4. Dolu ve Boşluklu Döşemeler	10
3.5. Diyafram (Yatay Perde)ve Diyafram Gibi Çalışan Döşemeler	12
3.5.1. Bağ Hatılları	13
3.5.2. Bağ Çubukları	14
3.6. Döşemelerde Mesnet Genişlikleri	14
3.7. Döşemelerin Hesap ve Yapım Kuralları	14
4. ÖNGERME	15
4.1. Öngerilmeli Beton	15
5.GERME TELLERİ VE BETON	17
5.1. Öngerme Telleri	17
5.2. Öngerilmeli Beton Kalitesi	18
6. ÖN ÇEKME YÖNTEMİ	18
6.1. Transferden Hemen Sonra	18
6.2. Hizmet Yükleri Altında	18
7. ARD ÇEKME YÖNTEMİ	19
7.1. Transferden Hemen Sonra	19
7.2. Hizmet Yükleri Altında	19

8. DONATI ALT VE ÜST SINIRLARI	20
8.1. Ard Çekmede Minimum Donatı	20
9. ÖNGERİLME KAYIPLARI	20
9.1. Betonun Büzülmesinden Doğan Kayıplar	20
9.2. Betonun Sünmesinden Doğan Kayıplar	21
9.3. Betonun Elastik Kısalmāsından Doğan Kayıplar	21
9.4. Çeliğın Gevşemesinden Doğan Kayıplar	21
9.5. Beton ile Donatı Arasındaki Sürtünme Kayıpları	22
9.6. Ankrajlama Sırasındaki Kayıplar	22
10. EĞİLME VE ÇATLAMA MOMENTİ KAPASİTELERİ	22
10.1. Eğilme Momenti Kapasitesi	22
10.2. Çatlama Momenti	23
11. KAYMA GERİLMESİ TAHKİKLERİ	23
11.1. En Büyük Kayma Gerilmesi	23
12. EĞRİLİK VE SEHİM	24
12.1. Başlangıç Sehimı	25
12.2. Elastik Sehimler	25
12.3. Bilineer Davranış	26
12.4. Etkin Atalet Momenti	26
12.5. Uzun Süreli Sehim	27
13. EĞİLME DAYANIMI HESABI	28
13.1. Öngerilmeli Kiriş Taşıma Gücü Hesabı İçin Bilgisayar Programı	30
13.2. K_u Katsayıları İçin Bilgisayar Programları	32
13.3. K_u Katsayıları İçin Oluşturulan Program Çıktısı	33
14. TAŞIMA GÜCÜ, KAYMA VE SEHİM TAHKİKLERİNE İLİŞKİN ÖRNEKLER	35
14.1. Öngerilmeli Π Plak Döşeme	35
14.1.1. Taşıma Gücü Kontrolü	38
14.1.2. Kayma Hesabı	38
14.1.3. Sehim Tahkikleri	40
14.2. Betonarme Π Plak Döşeme	41
14.2.1 Taşıma Gücü Kontrolü	42
14.2.2. Kayma Hesabı	43
14.2.3. Sehim Tahkikleri	44
14.3. Kompozit Olarak Çalışan Ön gerilmeli Π Plak Döşeme	45
14.3.1 Taşıma Gücü Kontrolü	46
14.3.2. Sehim Tahkikleri	48
14.4. Öngerilmeli Boşluklu Döşeme	49
14.4.1. Taşıma Gücü Kontrolü	50
14.4.2. Kayma Hesabı	53
14.4.3. Sehim Tahkikleri	54
14.5. Kompozit Olarak Çalışan Öngerilmeli Boşluklu Döşeme	55
14.5.1. Taşıma Gücü Kontrolü	56
14.5.2. Kayma Hesabı	58
14.5.3. Sehim Tahkikleri	60
14.6. Donatı Çizimleri	61
14.6.1. Öngerilmeli Π Plak Döşeme Donatı Çizimi	61

14.6.2. Betonarme II Plak Döşeme Donatı Çizimi	61
14.6.3. Kompozit Olarak Çalışan Öngerilmeli II Plak Döşeme Donatı Çizimi	62
14.6.4. Öngerilmeli Boşluklu Döşeme Donatı Çizimi	62
14.6.5. Kompozit Olarak Çalışan Öngerilmeli Boşluklu Döşeme Donatı Çizimi	62
15. DÖŞEME HESABINDA İZLENEN YOL	63
15.1. Öngerilmeli Döşeme	63
15.2. Betonarme Döşeme	64
16. SONUÇ	65
16.1. Sonuçların Teknik Açıdan Karşılaştırılması	65
16.2. Sonuçların Ekonomik Açıdan Karşılaştırılması	65
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	71



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 :Boşluklu Döşeme Minimum Boyutları	10
Tablo 3.2 : $f_{ak(0.05)}$ Değerleri	11
Tablo 5.1 :Kaplamasız Öngerme Donatıları	17
Tablo 9.1 :Büzülme Deformasyonları (ϵ_{sh})	21
Tablo 12.1 :Kabul Edilebilir Hesaplanmış Maksimum Sehimler	25
Tablo 12.2 :Tipik Elemanlar İçin Uzun Süreli Eğrilik ve Sehim Tahminlerinde Kullanılan Önerilmiş Çarpanlar	28
Tablo 13.1 :TS3233 ile CPCI Kanada Şartnamesi Arasındaki Bazı Farklılıklar	28
Tablo 13.2 :Normal ve Öngerilme Donatısı Olan Kirişlerde Eğilme Dayanımı Katsayıları (K_u)	33
Tablo 13.3 :Sadece Öngerilme Donatısı Olan Kirişlerde Eğilme Dayanımı Katsayıları (K_u)	34
Tablo 16.1 :Prefabrike Döşeme Panelleri Maliyet Tablosu	66

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1 :Prefabrike Döşeme Kirişleri	8
Şekil 3.2 :Preslab (Filigran)Tipi Döşemeler	9
Şekil 3.3 :Boşluklu Döşeme Kesiti	10
Şekil 3.4 :Boşluklu Döşemeler	11
Şekil 3.5 :Diyafram Gibi Çalışan Döşemeler	12
Şekil 3.6 :Diyafram Gibi Çalışan Döşemeler	12
Şekil 4.1 :Öngerme Yöntemleri	16
Şekil 13.1 :Taşıma Gücü Hesabı İçin Akış Diyagramı	29
Şekil 16.1 :Üretim Maliyetleri	69



SEMBOL LİSTESİ

A_i	:Efektif enkesit alanı
A_g	:Brüt enkesit alanı
A_{ps}	:Öngerme donatısı alanı
A_s'	:Basınç donatısı
A_s	:Çekme donatısı
d	:Normal çekme donatısı faydalı yüksekliği
d_1	:Normal çekme donatısı pas payı
d_2	:Normal basınç donatısı pas payı
d_p	:Öngerme donatısı faydalı yüksekliği
E_c	:Betonun Elastisite Modülü
E_{ci}	:Betonun (i)'nci gündeki Elastisite Modülü
E_s	:Germe donatısı Elastisite Modülü
e_n	:Net alanın ağırlık merkezi mesafesi
f_b	:Kesitin alt liflerindeki gerilme
f_c'	:Betonun ilk basınç mukavemeti
f_{ci}'	:Betonun (i)'nci gündeki basınç mukavemeti
f_l	:Hareketli yükten doğan gerilme
f_{pc}	:Hizmet yükleri altında, efektif ağırlık merkezindeki maksimum basınç gerilmesi
f_{ps}	:Germe donatısındaki çekme gerilmesi
f_{pu}	:Germe donatısının karakteristik akma dayanımı
f_{py}	:Germe donatısının, $\epsilon_s = 0.01$ uzamaya tekabül eden karakteristik akma dayanımı
f_r	:Betonun kırılma modülü
f_{se}	:Germe donatısında kayıplardan sonraki gerilme
f_l	:Kesitin üst liflerindeki gerilme
f_{tl}	:Elemandaki en son hesaplanan toplam gerilme
f_y'	:Betonarme çekme donatısının akma dayanımı
f_y'	:Betonarme basınç donatısının akma dayanımı
I_{cr}	:Betonun kırılmış kesitinin atalet momenti
I_e	:Etkin atalet momenti
I_g	:Büyük kesitin atalet momenti
K_u	:Eğilme dayanımı katsayısı
L	:Germe donatısı hesap uzunluğu
M_a	:Kesitteki toplam moment
M_{cr}	:Birleşik yükleme altındaki çatlama momenti
M_d	:Katsayı ile çarpılmış proje momenti
M_u	:Yük faktörlü enkesit kesme momenti
M_{max}	:Katsayılarla çarpılmamış toplam moment
n	:Donatı çubuğu sayısı
N_c	:Yük faktörleri kullanılmadan, zati yükler ve servis yükleri altında, çekme bölgesinde betonda meydana gelen toplam çekme kuvveti

P_i	:İlk öngerme kuvveti
P_f	:Kayıplardan sonraki öngerme kuvveti
S_t	:En üst lifler için kesit modülü
S_b	:En alt lifler için kesit modülü
V_d	:Katsayı ile çarpılmış proje kesme kuvveti
V_u	:Yük faktörlü enkesit kesme kuvveti
ϵ_a	:Kayma oranı
ϵ_{sh}	:Betonun yükten bağımsız olarak, su kaybıyla oluşan büzülme (shrinkage) deformasyonları
α	:Eğrilik dış merkez açısı
λ	:Büzülmeden kaynaklanan büyütme katsayısı
μ	:Sürtünme katsayısı
Δ	:Sehim miktarı
ρ	:Çekme donatısı oranı
ρ_p	:Öngerilmeli donatı oranı
ρ	:Basınç donatısı oranı
ϕ	:Dayanım katsayısı



PREFABRİKE BETONARME VE ÖNGERİLMELİ BETON DÖŞEME SİSTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI, HESAP ESASLARI VE KONVANSİYONEL DÖŞEMELERLE KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, prefabrike betonarme ve öngerilmeli beton döşeme sistemlerini sınıflandırmak, hesap esaslarını ayrıntılı olarak irdelemek ve elde edilen sonuçları teknik ve ekonomik açıdan karşılaştırmaktır.

Tezde öncelikle prefabrikasyon üzerine genel bilgiler verilmiştir. Bunlar, prefabrike üretim, prefabrike üretimin üstünlük ve sakıncaları, prefabrike döşeme sistemleri ve bunlara ait çeşitli şekil ve tablolardan oluşmaktadır. Prefabrike döşemeler kapladıkları hacimlerin plandaki boyutları ve taşıyıcı sisteme bağlı olarak çeşitli sınıflara ayrılırlar. Bunlardan en çok kullanılanları Π plak döşemeler ve boşluklu döşemelerdir. Bu döşemelerden boşluklu döşemeler yalnız öngerilmeli olarak imal edilirler. Π plak döşemeler ise hem öngerilmeli ve hem de betonarme olarak imal edilmektedirler.

Müteakip bölümlerde öngerme donatısı, öngerme sistemleri ve öngerilme kayıplarından bahsedilmiştir.

Çalışmanın 10. ve 11. bölümlerinde taşıma gücüne göre eğilme ve kayma hesabı, 12. bölümde ise sehim hesapları verilmiştir. 13. bölümde taşıma gücü tahkikiyle ilgili olarak bir akış diyagramı verilmiş ve bu amaçla Fortran 77 dilinde bir bilgisayar programı kodlanmıştır. Keza normal ve öngerilme donatısı olan kirişlerde ve sadece öngerilme donatısı olan kirişlerde eğilme dayanımı katsayılarını belirlemek üzere ayrıca bir başka program daha kodlanmış ve elde edilen çıktılarla K_u katsayılarını veren tablolar oluşturulmuştur.

14. bölümde beş örnek döşeme kesitinde ayrı ayrı taşıma gücü, kayma ve sehim tahkikleri yapılmıştır. Döşeme kesitleri için bulunan donatılar şematik olarak çizilmiştir. Son bölümde, elde edilen sonuçlar teknik ve ekonomik açılarından karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Öngerilmeli döşeme plakları maliyet açısından betonarme plaklardan daha avantajlı bulunmuştur.
- Yapılan karşılaştırmalı maliyet hesaplarından en uygun döşeme teşkilinin öngerilmeli Π plakla temin edildiği görülmüştür.
- Döşemeleri kompozit olarak çalıştırmanın, gerek donatı miktarı ve gerekse sehim bakımından daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır.

CLASSIFICATION AND DESIGN PROCESS OF PRECAST NON- PRESTRESSED AND PRESTRESSED CONCRETE FLOOR PANELS AND THEIR COMPARISON WITH CONVENTIONAL FLOORS

SUMMARY

The aim of this study is to classify the precast prestressed and non-prestressed concrete floor panels, to study on their design process and to make a technical and an economical conclusion by comparing the provided results with one another.

Firstly a general information is given about precasting in the study. This information is composed of precast production, the advantages and the disadvantages of the precast production, the classification of precast floor panels and some figures and tables about them.

In the following sections of the study; the prestressing wires, pretensioning and post-tensioning, the prestressing limits and the prestressing losses are mentioned about.

The 10th and the 11th sections are on flexural resistance and shear controls. The deflection controls are in the 12th section. In the 13th section, a flow chart is given on flexural resistance and a computer program is coded in Fortran 77 language.

Flexural resistance, shear and deflection controls are made in five examples in the 14th section. In the last section, the provided results are technically and economically compared with one another. The results are as follows:

- The production cost of prestressed concrete floor panels are lesser than the production cost of non-prestressed concrete floor panels.
- According to the results, prestressed concrete T panels are found out to be the most convenient sections.
- The panels which behave as composite sections have the least deflection and also the amount of the prestressing bars needed are the least when they are compared with the others.

1. GİRİŞ

1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı

Son yıllarda bina maliyetlerinin artış hızı, diğer birçok endüstri ürünlerindeki artıştan fazla olmuştur. Bunun en önemli sebepleri klasik şantiye anlayışı ile yapımda maliyeti etkileyen fazla sayıda şantiye işçisi bulundurulması, iskele ve kalıp maliyetleri, yetersiz kalite denetimi olarak sayılabilir. Bu olumsuz durum, yapı sektöründe endüstrileşme ile çözümlenmeye çalışılmıştır.

İhtiyaca çözüm olarak, Prefabrike (önyapım) Betonarme yapılar hızla gelişmiştir.

Prefabrikasyon, betonarme yapımın endüstrileşmesinde atılan önemli bir adımdır.

Bu çalışmanın amacı; prefabrike betonarme ve öngerilmeli beton döşeme sistemlerini sınıflandırmak, özelliklerini belirtmek ve çeşitli karşılaştırmalar yapmak suretiyle mevcut prefabrike döşeme sistemlerini değerlendirmektir.

Öncelikle; prefabrikasyon ve prefabrike üretimin üstünlük ve sakıncaları hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Prefabrike üretimin, işçiliğin azalması, yapım süresinin kısılması, fabrika koşullarında daha iyi kalite kontrolü ve daha yüksek beton mukavemetine ulaşılması, hava koşullarından bağımsız inşaat yapılabilmesi gibi çeşitli avantajlarının yanı sıra çeşitli evrelerde göz önünde tutulması gereken bazı statik sorunlar ve deprem davranışı açısından duyulan kuşku gibi sakıncaları bulunmaktadır.

Prefabrike döşeme sistemleri, kapladıkları hacimlerin plandaki boyutları ve taşıyıcı sisteme bağlı olarak sınıflandırılmıştır. Bunlar;

1. Bir hacmi tümüyle kaplayan döşeme panolarının kenarlarından kiriş veya duvar gibi taşıyıcı elemanlara oturtulmasıyla,
2. Bir doğrultuda çalışan, TT, II, T ya da kaset veya benzeri bir biçimdeki nervürlü döşeme panolarının yan yana oturtulması ve birleştirilmesiyle,
3. Bir doğrultuda çalışan sabit kalınlıklı, dolu veya boşluklu döşeme panolarının yan yana oturtulması ve birleştirilmesiyle,

4. Genişliği en fazla 150 cm olan prefabrike ince döşeme (fligran) panolarının üzerine yerinde beton dőkőlmesiyle,
5. Prefabrike kirişlerin üzerine yerinde beton dőkőlmesiyle,
6. Veya yukarıda 2. ve 3. maddelerdeki döşeme elemanları üzerine yerinde beton dőkőlmesiyle oluşturulan döşemelerdir.

Bunlardan boşluklu döşemeler ile nervőrlő döşemeler için ilerideki bőlőmlerde çeşitli hesaplar ve mukayeseler yapılmıştır. Prefabrike döşemeler betonarme ve öngerilmeli beton döşemeler olmak őzere de iki ayrı biçimde incelenmiştir. Bu incelemeye geçilmeden önce öngerme ile ilgili kısa bilgiler verilmiştir. öngerilmeli beton, ön gerilmeli beton kalitesi, öngerme telleri, ön çekme ve ard çekme yöntemleri ile öngerilme kayıpları őzerinde durulmuştur.

Prefabrike döşeme sistemlerinin taşıma gőcő kapasiteleri, kayma tahkikleri ve sehim hesaplarına ilişkin bilgiler verilmiştir. Prefabrike betonarme ve öngerilmeli beton döşeme sistemlerinin eğilme taşıma gőcő hesabı için bir akış diyagramı oluşturulmuş ve TS3233'e uygun olarak kısmi ve tamamen öngerilmeli kirişlerin eğilme taşıma gőlerini hesaplayan bir bilgisayar programı Fortran 77 dilinde kodlanmıştır.

Taşıma gőcő, kayma ve sehim hesapları için verilen bilgiler yardımıyla şu örnekler yapılmıştır:

- Betonarme II Plak döşeme
- öngerilmeli II Plak döşeme
- Kompozit Olarak alışan öngerilmeli II Plak döşeme
- öngerilmeli Boşluklu Döşeme
- Kompozit Olarak alışan öngerilmeli Boşluklu Döşeme

Bu beş hal için yapılan hesaplarda CPCİ Kanada şartnamesi esas alınmıştır. Ancak hesaplarda TS3233 ile CPCİ arasındaki farklılıklar da ayrıca belirtilmiştir.

Sonuçta; hesaplanan kesit ve donatılar esas alınarak teknik ve ekonomik açılardan karşılaştırmalar yapılmıştır.

2. PREFABRİKE ÜRETİM

Herhangi bir inşaat malzemesi, yapı elemanı, yapı bileşeni, makine veya teçhizatının, şantiye, atölye veya fabrikalarda seri olarak imal edildikten sonra, her türlü yapı inşaatının şantiyesinde, sadece yerleştirme ve montaj işlerine tabi tutulmasına “Prefabrikasyon” denir.

Görülüyor ki, bu genel tarifi içine,

- Her türlü inşaat malzemesi ve yapı bileşeni,
(Beton, betonarme, çelik, ahşap, alçı, perlit veya benzeri tüm ana inşaat malzemeleri ve bunların bileşenleri)
- Her türlü tesisat makine ve teçhizatı,
(Elektrik, Sıhhi tesisat ve ısıtma havalandırma)
- Her türlü yapı tipi
(Ticari, Endüstriyel, Konut, Eğitim, Sağlık, Alt yapı)
girmektedir.

Geçen 50 yıla yakın zamanda bina maliyetlerinin artış hızı diğer birçok endüstri ürünlerindeki artıştan fazla olmuştur. Bunun en önemli sebeplerinden biri klasik şantiye anlayışı ile yapımda maliyeti etkileyen fazla sayıda şantiye işçisi bulundurulmasıdır. Bu olumsuz durum, yapı sektöründe daha büyük endüstrileşme ile çözümlenmeye çalışılmıştır.

İhtiyaca çözüm olarak, Prefabrike (önyapım) Betonarme yapılar hızla gelişmiştir. Endüstrileşme, standart kolon, kiriş, döşeme ve tavan elemanları, duvar panelleri gibi çok sayıda ünitelerin üretilmesiyle sağlanmıştır. Bunlar, üretim yerinde fabrika koşullarında üretilmiştir. Çok büyük işlerde prefabrike üretim inşaat sahasında veya yakınında yapılmıştır. Çoğunlukla üretim sahaları bölgesel olarak ve üretilenlerin taşınabileceği mesafelerde kurulmuştur.

2.1. Prefabrike Üretimin Üstünlükleri

Prefabrikasyon, betonarme yapının endüstrileşmesinde atılan önemli bir adımdır. Prefabrike üretim sayesinde ünite başına işçilik azalmıştır. İnşaat yapım süresi kısalmıştır. Döşeme için kalıp ve iskele yapımı yoktur, kalıp yatırımından ve işçiliğinden tasarruf sağlanmıştır. Fabrika koşullarında daha iyi kalite kontrolü ve daha yüksek beton mukavemetine ulaşılabilmiştir. Hava koşullarından ve mevsimden etkilenmeden daha bağımsız inşaat yapımı sürdürülebilmiştir.

2.2. Prefabrike Üretimin Sakıncaları

Dezavantaj olarak hazır ünitelerin fabrikadan inşaat sahasına taşınması ve klasik malzeme nakliyesine oranla daha fazla olması, ilave teknik problemler ve inşaat sahasında hazır elemanların birleştirilip monte edilmesi maliyetleri sayılabilir. Prefabrik yapılar için duyulan en büyük kuşku, deprem dayanımı ile ilgilidir. Deprem davranışı açısından sorun, tıpkı çelik yapılarda olduğu gibi, bağlantı noktalarında yoğunlaşmaktadır. Bağlantılardaki zayıflıklar, yapının deprem davranışını olumsuz yönde etkilemektedir.

Yapılan deneylerde, iyi tasarlanıp detaylandırılan bağlantılara sahip prefabrike çerçevelerin, depremi benzeştiren yükler altında iyi bir davranış sergiledikleri gözlenmiştir.

2.3. Önyapım Betonarme Elemanlarda, Çeşitli Evrelerde Gözönünde Tutulması Gereken Bazı Statik Sorunlar

Bu tür sorunlar elemanlarda , üretim , nakliye , montaj ve montaj sonrası evrelerinde ortaya çıkmaktadır.

Betonarme elemanlara , üretimden , nihai yerlerine yerleştirilinceye kadar etki yapan kuvvetler:

- Kalıp içinde , ısı tatbik edilirken (kür), betonda , erken sertleşmeden doğan gerilmeler;
- Kalıptan çıkarılırken doğan aderans kuvvetleri;
- Kalıptan kaldırma , devrilme veya sürmeden doğan dinamik kuvvetler;
- Öngerme kuvvetlerinin uygulanması,
- Depolama yerine taşınırken,

- Depolama yerinde , üst üste istiflemeye öz ağırlık , konsol etki , betonun rötresi gibi nedenlerle doğan kuvvetler şeklinde sıralanabilir.

Nakliye sırasında , kullanılma şeklinden farklı taşınma , çarpma vb. nedenlerle bazı dinamik kuvvetler oluşabilir.

Montaj evresinde:

- Kaldırma sırasında,
- Elemanın sallanması veya çarpmasından,
- İndirme ve yerleştirme sırasında bazı kritik gerilmeler doğabilir;
- İnce , uzun elemanlar flambaja maruz kalabilir;
- Henüz bağlantısı tamamlanmayan elemanın devrilme tehlikesi (çarpma , rüzgar gibi etkilerle) söz konusu olabilir.

Bağlantı yapıldıktan sonra:

- Eğik yerleşmeden doğabilecek stabilite kuvvetleri;
- Tam aksenal oturtulmamanın getirdiği ek gerilmeler;
- Zamanla ve devamlı yük altındaki betonda , “sünme”den doğan deformasyonlar oluşabilir.

Bütün bu hususların , elemanların hesaplanmasında ; tasarımında ve üretim sırasında düşünülmüş olması gerekir(Örneğin kaldırma noktalarının yerlerinin önceden saptanmış olması gibi...).

Nakliye ve montaj organizasyonu , çıkabilecek sorunlar göz önünde tutularak , büyük bir dikkatle yapılmalı, gereken önlemler vaktinde alınmalıdır(Örneğin, detaylandırmayı , montaj sırasında devrilme tehlikesi olmayacak ve elemanın tam yerine oturtulmasını sağlayacak şekilde yapmak;montaj sırasında bazı geçici destek elemanları kullanmak gibi...).

Prefabrike yapı; belli başlı Endüstri yapılarda, konut ve ofis yapılarında, geniş açıklıklı salon ve köprü gibi bütün yapı tiplerinde kullanılmaktadır.

3. PREFABRİKE DÖŞEME SİSTEMLERİ

Prefabrike binalarda döşemeler, kapadıkları hacimlerin plandaki boyutları ve taşıyıcı sisteme bağlı olarak ,

1. Bir hacmi tümüyle kaplayan döşeme panolarının kenarlarından kiriş veya duvar gibi taşıyıcı elemanlara oturtulmasıyla,
2. Bir doğrultuda çalışan, TT, II, T ya da kaset veya benzeri bir biçimdeki nervürlü döşeme panolarının yan yana oturtulması ve birleştirilmesiyle,
3. Bir doğrultuda çalışan sabit kalınlıklı, dolu veya boşluklu döşeme panolarının yan yana oturtulması ve birleştirilmesiyle,
4. Genişliği en fazla 150 cm olan prefabrike ince döşeme (filigran) panolarının üzerine yerinde beton dökülmesiyle,
5. Prefabrike kirişlerin üzerine yerinde beton dökülmesiyle,
6. Veya yukarıda 2. ve 3. maddelerdeki döşeme elemanları üzerine yerinde beton dökülmesiyle oluşturulabilir.

3.1. Prefabrike Döşeme Kirişleri (PDK)

Dünyada prefabrike döşeme kirişleri kullanımı yılda 70 milyon metreye ulaşmıştır. Bu 42 milyon m² döşeme demektir. Bir konutun 100 m² olduğu varsayımıyla senede 420000 adet konutun döşemeleri bu tür yapı elemanları ile inşa edilmektedir. Bu kadar yaygın kullanımın % 60'ının gerçekleştiği Fransa'da konu ile ilgili teknik çalışmalar, araştırma ve geliştirmeler uzun yıllar devam etmiş, tasarım, üretim ve uygulamalarda yol göstermek amacıyla geniş kapsamlı bir yönetmelik hazırlanmıştır. Yürürlüğe 1980 yılında giren bu yönetmeliğin adı CPT (Planchers)'dır. Bu yönetmelikte deprem bölgeleri de dahil olmak üzere prefabrike kirişlerle oluşturulan döşemelerin tüm yapım kuralları ve yöntemleri verilmiştir(Şekil 3.1).

3.1.1. Prefabrike Döşeme Kirişleri ile Döşeme Teşkili

Döşemeleri prefabrike kirişlerinden yapılacak konvansiyonel sistemin önce kolon-kiriş kalıpları kurulur fakat döşeme kalıpları yapılmaz. Projeye göre uygun boylarda

üretmiş prefabrike döşeme kirişleri kiriş kalıplarına 60 cm aksiyel ara ile mesnetlenir. Özel üretilmiş asmolon blokları PDK'ların arasına dizilir. Üzerine hasır çelik donatı yerleştirilip projeye göre gereken yükseklikte beton dökülür. Yerinde dökme beton prizini aldığı anda döşeme kompozit kesit olarak çalışır.

Avantajları:

Ekonomi:

- Döşeme için kalıp ve iskele yapımı yoktur, kalıp yatırımından ve işçiliğinden tasarruf sağlanır.
- Klasik döşemeye göre demir kullanımı ve demir işçiliği yaklaşık % 80 azalır.
- Beton kullanımı yaklaşık olarak % 50 azalır.

Hız:

Montaj, insan gücüyle kısa zamanda tamamlanır. Öyle ki 4 işçi 1 günde 100-150 m² döşeme montajı yapabilir.

Kalite:

PDK' leri fabrikada yüksek mukavemetli betonla üretilir, kalite kontrolü yapılır. Şantiyede kereste, demir ve beton kullanımı azalırken, dal döşemeye göre daha pahalı olan asmolon döşemenin avantajları bu uygulamayla sağlanır.

Döşeme Öz Ağırlığında Azalma:

Bu döşeme sistemi klasik döşemeye göre daha hafiftir. Örneğin 12 cm kalınlığında 290 kg/m² olan klasik döşeme ağırlığına karşılık aynı açıklık için kullanılan 17 cm kalınlığındaki PDK döşeme ağırlığı 230 kg/m² 'dir. Böylece döşeme öz ağırlığında % 20 azalma olmaktadır. Bu döşeme, 3 ana elemandan oluşur:

Öngerilmeli Prefabrike Döşeme Kirişi:

PDK' nin alt başlığı 10 cm , yüksekliği 13 cm olan ters T şeklinde bir kesiti vardır. Donatı olarak genellikle 5 mm çapında düşük gevşemeli öngerilme telleri kullanılarak tam öngerilmeli eleman olarak üretimi yapılmaktadır.

Dolgu Bloğu:

20 cm eninde, 53 cm uzunluğunda, yükseklikleri 12, 16, 20, 25 cm olan boşluklu tuğla veya hafif ağırlıklı beton bloklardır.

Topping Betonu (Yerinde döküm beton) :

Dolgu bloğu üzerine minimum 4 cm' den başlayarak ve 10 cm kalınlığa kadar dökülen topping betonu deprem bölgelerinde minimum 5-7 cm olarak uygulanmaktadır. Donatı olarak Q106 tipi hasır çelik kullanıldığı gibi Φ 8/25 inşaat

çeliği de kullanılabilir. Topping betonu kompozit kesitin bir parçası olarak kesitin üst bölgesinde oluşacak basınç gerilmelerini karşılar ve noktasal yüklerin nervürlere aktarılmasını sağlar. Ayrıca, yapıya gelen yatay deprem tesirlerinin karşılanması sırasında döşemenin düzlemi içinde rijit davranmasını gerçekleştirir.

3.1.2. Hesap Esasları

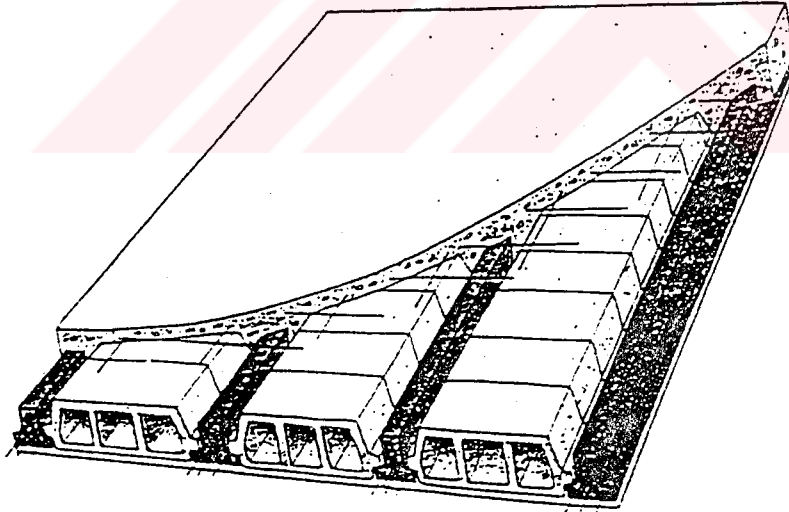
Döşeme kirişleri için yapılan hesaplar, aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir:

- Ön hesap
- Eğilmeye göre hesap

Basit ve kompozit kesitte ön gerilmeli hesap

- Kesme hesabı
- Sehim hesabı

Bu hesaplar yapılarak seçilen döşeme kirişleri sisteme adapte edilir. Bu aşamada özel olarak döşeme kirişleri için yapılmış bilgisayar programlarından yararlanılmaktadır.



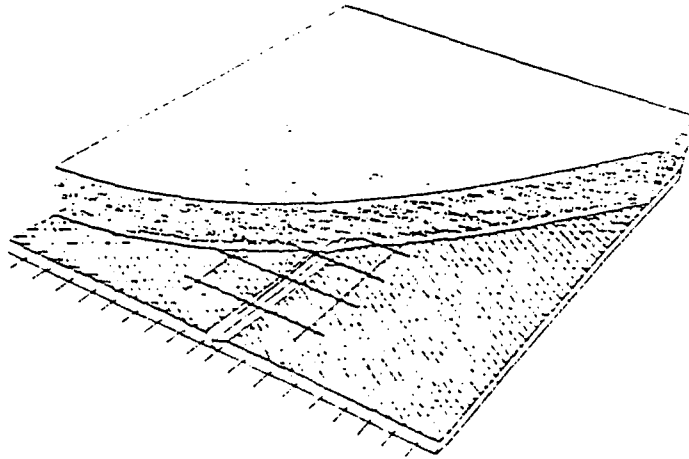
Şekil 3.1 Prefabrike Döşeme Kirişleri

3.2. Filigran (Preslab) Döşeme Elemanları

Özellikle çok katlı konut inşaatlarında kullanılan preslab elemanlar son yıllarda prefabrik döşeme kirişlerinden daha yaygın kullanılmaya başlanmıştır. 2.40 m eninde 5-8 cm kalınlığında tam ön gerilmeli olarak endüstriyel tesislerde üretilen bu döşeme elemanları prefabrike döşeme kirişlerinin ekonomik ve teknolojik avantajlarının yanı sıra diğer avantajlarını şöyle sıralayabiliriz:

- Tek tip eleman ile döşeme teşkil edilmektedir (Asmolenler yoktur).
- Yerinde dökme betonla aderansın sağlanması için üretim esnasında yüzü pürüzlendirilir.
- Elektrik ve tesisat kablolarının kolaylıkla döşenmesine izin verir.
- Elemanın alt tarafı boyaya hazırdır.
- Herhangi bir sıraya gerek yoktur. İstenildiği yerde boşluk bırakılabilir.
- Yangın ve ısıya dayanıklı, sese karşı geçirimsiz üretilebilir.
- Büyük açıklıklarda nervürlü döşeme gibi teşkil edilebilir.
- Çok çeşitli şekillerde üretilebilir.
- Stok edilebilir elemanlardır.

Döşeme teşkili aynen PDK uygulamasında olduğu gibidir. Kolon-kiriş kalıpları kurulduktan sonra elemanlar vinç ile kaldırılır ve kiriş kalıplarına mesnetlendirilerek montajı yapılır. Eleman ek yerlerine ve mesnetlerine gerekli hasır çelik donatılar yerleştirilir. Projede hesaplanan kalınlıkta yerinde dökme beton döşeme elemanı üzerine dökülerek döşemenin yapımı tamamlanır (Şekil 3.2).



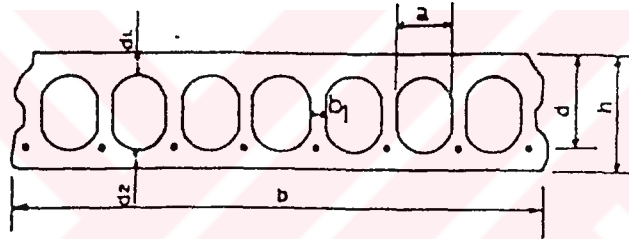
Şekil 3.2 Filigran (Preslab) Tipi Döşemeler

3.3. Nervürlü Döşemeler

Bu tip döşemeler, bir doğrultuda çalışan, TT, II, T ya da kaset veya benzeri bir biçimdeki nervürlü döşeme panolarının yan yana oturtulması ve birleştirilmesiyle yapılan döşemelerdir. Panoların plak kalınlığı en az 4 cm olmalıdır. Ancak üzerlerine yalnız temizlik amacı ile çıkılan kasetli döşemelerin teçhizatsız plaklarının kalınlığı, nervür aralığı bir doğrultuda en fazla 65 cm, diğer doğrultuda en fazla 100 cm ise, 3 cm olarak yapılabilir [2].

3.4. Dolu ve Boşluklu Döşemeler

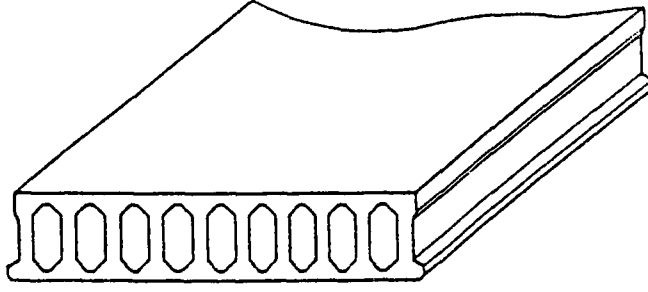
Bir doğrultuda çalışan sabit kalınlıklı, dolu veya boşluklu döşeme panolarının yan yana oturtulması ve birleştirilmesiyle yapılan döşemelerdir (Şekil 3.3). Enkesiti Şekil 3.3’de gösterilen, boyutları Tablo 3.1’de verilen şartları sağlamalıdır.



Şekil 3.3. Boşluklu Döşeme Kesiti

Tablo 3.1. Boşluklu Döşeme Minimum Boyutları [2]

Boyutlar	Betonarme Döşemelerde	Öngörilmeli Beton Döşemelerde
h kalınlığı		
Kat döşemelerinde $\geq$	6 cm	8 cm
Üzerlerine onarım ve temizlik için çıkılan çatı döşemelerinde $\geq$		
d_1 kalınlığı $\geq$	5 cm	8 cm
d_2 kalınlığı $\geq$	$h/4$	1.8 cm
b_w ($b_w = b - \sum a$) $\geq$	$h/5$	2 cm
	$b/3$	$b/4$



Şekil 3.4 Boşluklu Döşemeler

Bu tip döşemelerde kayma güvenliğinin tahkiki için $b_w = b - \sum a$ gövde kalınlığı gibi alınır. Burada “a” kesitteki tek boşluk genişliğini göstermektedir. Etriye kullanılmayabilir. Zorunlu durumlarda elemanın kesme mukavemetini arttırmak için boşluklardan bir kısmı, ya o kısımdaki maça çıkartılmak suretiyle komple, ya da kısmi olarak beton plastik kıvamda iken doldurulur. Elemanın kesme mukavemetini tespit için, betonun taşıyabileceği kesme kuvveti aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanır [2].

$$V_d < V_{res} \text{ olmalıdır.} \quad (3.1)$$

$$V_{res} = (0.043 \sqrt{f_{ck}} + 4.25 V_d d / M_d) b_w d \quad (3.2)$$

$$V_{res}, V_d \text{ (N); } f_{ck} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

$$M_d \text{ (Nmm); } b_w, d \text{ (mm)}$$

$$b_w = b - \sum a \text{ dır.} \quad (3.3)$$

$$V_d d / M_d < 1.0 \text{ ve,} \quad (3.4)$$

$$0.17 \sqrt{f_{ck}} b_w d < V_{res} < 0.4 \sqrt{f_{ck}} b_w d \text{ şartları sağlanmalıdır.} \quad (3.5)$$

Tekil yük etkileyen panonun altında enine yöndeki çekme gerilmesinin,

$$\sigma_{af} \leq f_{ck(0.05)} / 1.5 \quad (3.6)$$

olması halinde, altta enine teçhizat gerekmez. Aksi halde enine teçhizat gerektirmeyecek düzenleme yapılmalıdır. $f_{ck(0.05)}$ değerleri Tablo 3.4.2 'de verilmiştir.

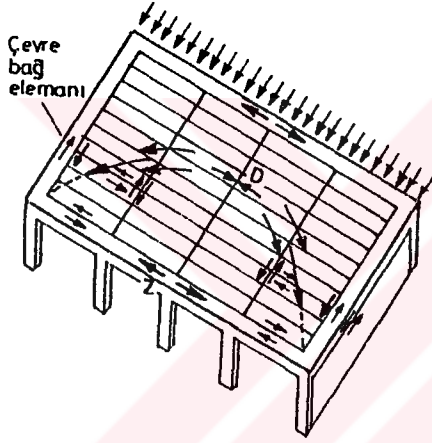
$f_{ck(0.05)}$: Karakteristik çekme mukavemeti alt değeridir (MPa).

Tablo3.2 $f_{ck(0.05)}$ Değerleri [2]

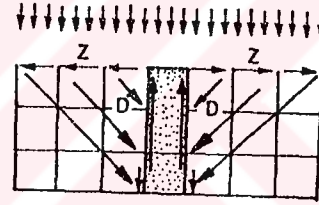
f_{ck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$f_{ck(0.05)}$	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8

3.5. Diyafram (Yatay Perde) ve Diyafram Gibi Çalışan Döşemeler

Esas görevi yatay yükleri düşey çerçeve, perde ve duvarlara aktarmak olan yatay düzlemsel taşıyıcı elemanlara yatay perde veya kısaca diyafram denir. Başka bir deyişle diyafram etkisi bir döşemeyi teşkil eden bir veya daha fazla elemanın yatayda bir derin kiriş gibi çalışarak kendisine etkiyen yatay kuvvetleri düşey elemanlara aktarmasıdır. Panelli döşemelerde, rüzgar ve özellikle deprem kuvvetlerine karşı bütünlük açısından diyafram etkisi daha da önem kazanmaktadır. Bu nedenle paneller, döşeme düzlemi içinde eğilme, kesme, çekme gibi etkilerden dolayı oluşan çekme kuvvetlerine karşı koyan bir bağ sistemi ile donatılırlar. Bağ sistemi temelde bağ hatılı ve bağ çubuklarından oluşur. Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da döşeme içinde kuvvetlerin yayılış ve mahiyetleri hakkında kabuller gösterilmiştir.



Şekil 3.5



Şekil 3.6

Taşıyıcı sistemin yatay yüklere göre hesabında diyafram, düşey doğrultuda sonsuz derecede fleksibl, yatay doğrultuda ise sonsuz rijit kabul edilebilir. Ancak düşey perdeleri bağlayan kat döşemelerinin yatay yükler nedeni ile etkilenecekleri ek momentlerin de hesabı gereklidir [9].

Prefabrike döşeme panolarından oluşan bir döşemenin yatay yüklere göre diyafram gibi kabul edilebilmesi için aşağıdaki şartların yerine getirilmiş olması gereklidir [9].

- Döşeme panoları bir düzlem meydana getirmiş ve panolar arasındaki derzler basınç aktaracak şekilde birbiri ile sıkıca bağlanmış olmalıdır.
- Yatay yüklere karşı kat döşemesi ya gergili bir kemer veya bir kafes kiriş gibi çalışabilmelidir. Bunun için de kat döşemesinin çevresinde çekme kuvvetleri alabilen çevre çekme elemanları (çevre bağ elemanları) ve döşemenin içinde gereken

yerlerde panolar arasındaki derzlere donatı çubukları konmuş ve bunların çevre bağ elemanları ile ankrajını sağlayarak döşeme içi bağ elemanları (çubukları) oluşturulmuş olmalıdır. Gerek çevre bağ elemanlarının ve gerekse döşeme içi bağ çubuklarının donatısı hesapla belirlenmelidir.

Bu donatı daima ikisi üstte ve ikisi altta olmak üzere 4 çubukla teşkil edilmelidir. Hesabın gerektirdiği donatı miktarının küçük olması durumunda, kat çevre bağ elemanlarını en az 45kN' luk ve döşeme içi bağ çubuklarını en az 30 kN' luk bir çekme kuvveti alacak şekilde teşkil etmelidir. Önemli olan bir husus da, bağ eleman ve çubuk donatılarının ankrajının mükemmel olmasıdır.

Taşıyıcı duvarları büyük panolarla yapılmış yapılarda döşemelerde ara taşıyıcı duvarlarla rijitlik duvarları üstlerinde mutlaka bağ elemanları teşkil etmelidir. Bunların donatısı, en az 45kN' luk kuvveti taşıyabilmelidir.

- Kafes kiriş veya gergili kemer olarak çalışan döşemenin mesnet elemanları ile (perdeler, çerçeveler, duvarlar gibi) birleşimleri yatay kayma kuvvetlerini güvenle aktaracak şekilde olmalı ve gereken donatıyı bulundurmmalıdır.

Bir katlı binalarda eğer döşeme kısa kenarı 10 m den ve uzun kenarı da 15m den fazla değilse ve döşeme çevresine betonarme çevre bağ elemanı (çevre çekme çubuğu) oluşturulmuş ise, döşeme içinde bağ çubukları konulmasından vazgeçilebilir. Çevre bağ elemanlarının donatısı en az 45 kN' luk bir çekme kuvveti alacak kadar olmalıdır.

3.5.1. Bağ Hatılları

Genellikle kiriş, duvar, perde gibi taşıyıcı sistem ile döşeme panel kenarları boyunca yerinde dökülerek oluşturulan elemanlardır. Bağ hatılları döşemede oluşan çekme kuvvetlerini, stabilizeyi sağlayacak taşıyıcı sisteme aktarmaya yarar. Ankastre bağ çubukları ile beraber kullanılmak kaydıyla yerinde dökme veya prefabrike kirişler bağ hatıllı olarak kullanılabilir. Bağ hatıllı donatısı uç taşıyıcılara aderans boyu kadar saplanmalı ve arada kesinti olmamalıdır. Bağ hatıllı genişliği donatı yerleştirilecek hallerde en az 40 mm genişlikte yapılmalıdır. Taşıyıcı ve rijitlik duvarları üzerindeki bağ hatıllarının genişliği 60 mm' den, alanı 100 cm² 'den ve donatısı 2 adet 10 mm çaplı çubuktan daha az olmamalıdır [2].

3.5.2. Bağ Çubukları

Döşeme elemanlarını mesnetlere bağlamak için, çekme kuvvetlerini doğrudan, kesme kuvvetlerini ise kesme sürtünmesi ile mesnede aktaran yatay bağ çubukları oluşturulmalıdır.

Yatay bağ çubuğu teçhizatı, pano arası boşluklara veya boşluklu döşemelerde boşluk içine yerleştirebilir. Bağ çubuğu teçhizatının hesabında çeliğin kopma mukavemeti kullanılır. Kenetleme boyu mesnet dışından ölçülmelidir. Sünekliği arttırmak için sıcak haddelenmiş çelik kullanılmalıdır [2].

3.6. Döşemelerde Mesnet Genişlikleri [2]

Prefabrike döşemelerin mesnet genişlikleri, hiçbir önlem almadan doğrudan oturtulmaları durumunda en az,

- tuğla duvarlara oturmada 100 mm
 - çelik ve beton mesnetlere oturmada 75 mm
- olmalıdır.

Ancak prefabrike döşemelerin mesnetlerinde yerinde dökme beton ile bir bağ çubuğunun (yatay hatılın) oluşturulduğu durumlarda ve döşeme serbest açıklığı

$l_n \leq 6.00$ m ise, oturma genişliği en az ,

- sürekli mesnetlerde 30 mm
- karşılıklı iki kenarından serbestçe oturmada 50 mm
- 3 veya 4 kenarından serbestçe oturmada 40 mm olmalıdır.

$l_n > 6.00$ m ise, yukarıda verilen değerler($l_n/6$) katsayısıyla arttırılmalıdır. Burada l_n , metre cinsinden alınmalıdır.

Döşeme elemanlarından, yerinde dökme taşıyıcı elemanlara filiz bırakılmışsa, döşemeleri montaj sırasında taşıyacak mesnetler kullanılarak, mesnet genişliği sıfır alınabilir.

3.7. Döşemelerin Hesap ve Yapım Kuralları [2]

Döşeme elemanlarının hesap ve yapımı TS500, TS3233 ve TS4065'e uygun olmalıdır. Döşemeler, gerekli dayanım ve diyafram özelliğini taşımaktan başka TS500 ve TS3233' deki "kullanılabilirlik" şartlarını sağlamalıdır.

Döşeme elemanlarının birbirleriyle ve yatay yük taşıyan kiriş, perde ve kolonlarla birleşimleri, mesnetlendirme esasları ve yukarıda sözü edilen standartlarda belirtilmeyen veya farklı olan hususlarda, bu standarda uyulmalıdır. Döşeme panosu mesnetlerinde teçhizatların kenetlenme boyu pano içinde sağlanır.

- Bir Hacmi Tümüyle Kaplayan Dolu kesitli Pano Döşemeler:

Bu tip döşemeler için özel bir şart yoktur.

- Tekil Panoların Yan yana Oturtulması ve Birleştirilmesi ile Oluşturulan Döşemeler:

Bu döşemelerde üzerlerine yerinde dökme bir beton tabaka atılmadıkça,

- 1-) Dinamik etkili düşey yük bulunmamalı,
- 2-) Tekerlek yükü 7.5 kN / m^2 ' yi geçmemeli,
- 3-) Varsa, çizgisel veya tekil yüke karşı önlem alınmalıdır.

Deprem etkilerinin, döşeme panoları tarafından mesnetlere diyafram gibi taşındıkları hesaplara gösterilirse, beton tabakaya gerek yoktur.

Panolardan bir tanesi üzerindeki tekil veya çizgisel yükün komşu panolara dağılımı, daha kesin bir hesap yapılmadıkça, panolar arası bağlantı mafsallı olarak alınıp, panoların kırılma rijitliği göz önüne alınarak hesaplanabilir.

4. ÖNGERME

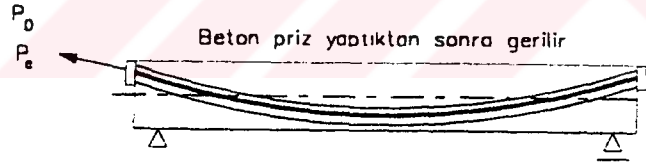
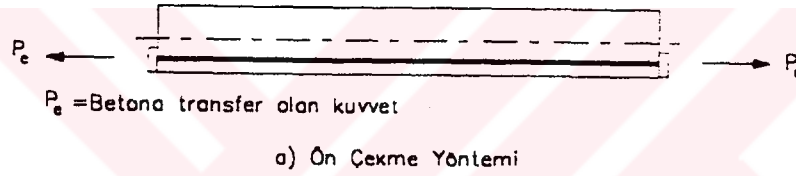
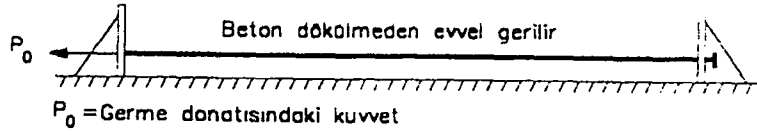
4.1. Öngerilmeli Beton [6]

Normal betonarme ile öngerilmeli beton arasındaki tek fark ön gerilmeli betonda betonarme kesitin çekme bölgesinin, servis yüklerinin uygulanmasından evvel, yüksek mukavemetli özel tellerle basınca maruz bırakılmasıdır. Ayrıca, kullanılan betonun kalitesi de en az C30 ila C50 arasında değişir.

Normal betonarme donatısının akma mukavemeti yumuşak çelikte $f_y = 220 \text{ MPa}$, tor çelikte $f_y = 420 \text{ MPa}$ iken, öngerme çeliğinin kopma mukavemeti $f_{su} = 1500 \text{ MPa}$ ila $f_{su} = 1900 \text{ MPa}$ arasındadır. Görülüyor ki, çok büyük açıklıkları, çok narin kesitlerle geçebilmeyi başaran öngerilmeli kirişlerin en büyük sırrı, hem betonun ve hem de

çeliğin normale nazaran çok yüksek kaliteli oluşlarıdır. Şüphesiz , yüksek kalitenin yanı sıra en önemli bir husus , servis yükleri altında normal olarak betonun çekmeye maruz kalacak bölgesinin , servis yüklerinin gelmesinden evvel basınca maruz bırakılmasıdır. Böylece, kesitin pratik olarak hemen hemen hiçbir bölgesinde izin verilen çekme gerilmeleri aşılmaz. Kesitin büyük bir bölgesi basınca çalışır ve dolayısıyla kesit etkin bir şekilde kullanılır.

İki türlü öngerilmeli beton imalatı vardır. Eğer beton dökülmeden evvel donatı çeliği gerdirilirse buna “ön çekme” , eğer beton döküldükten ve bir miktar sertleştikten sonra (mesela 8 ila 28 gün) donatı çeliği gerdirilirse buna “ard çekme” yöntemi denir. Ön çekme ve ard çekme yöntemleri şematik olarak Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Öngerme Yöntemleri [6]

Ön çekme yönteminde , germe donatısı beton ile aderans halindedir. Donatıdaki çekme kuvveti bu aderans sayesinde ana kiriş gövdesine transfer olur. Ard çekme yönteminde ise , germe donatısı için beton içinde genelde parabolik bir eksen boyunca , içi boş bir kılıf bırakılır. Paslanmaz çelik saç veya plastikten imal edilen bu kılıfın içine su veya çimento şerbeti kaçması istenmez. Beton belli bir süre priz yaptıktan ve yeterli bir dayanım kazandıktan sonra , kirişin bir başında sabit ankraja bağlı germe donatısı kamalarla betona kilitlenir ve bu esnada tüm germe kuvveti kirişe basınç olarak aktarılmış olur.

5. GERME TELLERİ VE BETON

5.1 Öngerme Telleri [6]

Öngerilmeli beton imalatında başlıca dört çeşit germe donatısı kullanılmaktadır:

- 1) Öngerme teli (wire)
- 2) Öngerme çubuğu (bar)
- 3) Öngerme toronu veya demeti (strand)
- 4) Öngerme kablo (cable) Tel , çubuk veya toron grubu (Groups of wire , bar or strands)

Öngerme tellerine ait genel bilgiler topluca Tablo 5.1 'de özetlenmiştir. Öngerme teli daima yüksek mukavemetlidir, ancak kopma uzamaları normal betonarme donatısı kopma uzamasının beşte biridir. Öngerme çeliğinin akma sınırı, gerilme-deformasyon eğrisinin $\epsilon = 0.001$ kalıcı uzama deformasyonu bırakan gerilme değeridir.

Tablo 5.1 Kaplamasız Öngerme Donatıları (MPa) [6]

CİNSİ	ÖZELLİĞİ	STANDARTLAR		ÇAPI	KOPMA	AKMA SINIRI
		TS	ABD		SINIRI	
Tel	Normal veya düşük	TS 3233	ASTM	1.5 mm	f_{pu}	f_{py}
	Gevşemeli	TS 3721	A 421	7.0 mm	1500 ila 1800	0.8 f_{pu}
Demet (Toron)	Helezoni teller	TS 3233	ASTM	2 telli = 6 mm	1700 ila 1900	0.85 f_{pu}
		TS 3721	A 416	3 telli = 10 mm 7 telli = 18 mm		
Çubuk	Sıcakta	TS 3233	ASTM	7 mm	1050 ila	0.8 f_{pu}
	Çekilmiş	TS 3721	A 722	40 mm	1250	
Kablo	Tel , demet veya çubuk grupları	İmalatçı belirtir				

5.2. Öngerilmeli Beton Kalitesi [6]

Betonun 28 günlük silindir basınç dayanımı normal betonlarda genellikle 15 MPa ile 30MPa arasındadır(C15 ile C30 betonu).Halbuki , öngerilmeli betonlarda , yukarıda da bahsedildiği gibi , daha yüksek kaliteli beton kullanılır ve genellikle C30 ile C60 arasında bir dayanım aranır. Pratik tecrübeler, ön gerilmeli betonda en ekonomik dayanımların C30 ile C40 mertebesinde olduğunu göstermiştir. Dayanım bakımından C40 beton C20'nin iki katı olduğu halde, maliyeti sadece yüzde 15 veya 20 kadar daha fazladır. Bu maliyet artışı öngerilmeli beton için çok gerekli olan yüksek kaliteli betonun hizmete sokulması için rahatlıkla göğüslenmelidir. Ancak, daha yüksek kaliteli betonlara gidildiğinde, ekonomik olmayan maliyet artışları ile karşılaşılabilir.

6. ÖN ÇEKME YÖNTEMİ

Bir atölyede veya fabrikada, iki sabit başlık arasında gerilmiş donatılar üzerine beton dökmek sureti ile elde edilen basit mesnetli bir eğilme elemanın (kiriş veya döşeme paneli) her kesitinde sağlaması gereken limit gerilme durumları aşağıda özetlenmiştir.

6.1. Transferden Hemen Sonra [6]

Bu yükleme durumunda ankraj kaymaları gibi transfer anında oluşan ani kayıplardan hemen sonra fakat, uzun süreli diğer bütün kayıplardan evvel, germe telinde bulunan veren kuvveti P_i kullanılır. Şüphesiz, bu veren yükü P_i ' nin doğuracağı eğilme gerilmelerine, kirişin zati ağırlığı w_g ' den kaynaklanan eğilme momenti M_g 'nin doğuracağı gerilmeleri de eklemelidir. Gerilme hesaplarında kullanılacak olan formüller yapılan örneklerde belirtilmiştir.

6.2.Hizmet Yükleri Altında [6]

Ön çekme kuvveti P_i ' den uzun vadeli olanlar da dahil olmak üzere tüm kayıplar düşülür. Kesitte, hizmet yükleri altında uzun süre sabit olarak etkiyecek fakat P_i ' den yaklaşık %26 daha düşük olan P_f germe kuvveti hakimdir. Zati yüke ilave olarak,

tüm hareketli düşey yükler, kar, rüzgar ve deprem yükleri “ hizmet yükleri ” olarak isimlendirilir. Kullanılan formüller örneklerde belirtilmiştir.

7. ARD ÇEKME YÖNTEMİ

Genelde ard çekme yöntemi, yerinde beton döküldükten sonra uygulanır. Germe işlemi beton döküldükten sonra (i) 'nci günde yapılacağından, germe kuvvetinin betona transfer olacağı gündeki karakteristik basınç dayanımı f_c' değerini güvenilir bir şekilde tayin etmek gerekir.

7.1. Transferden Hemen Sonra [6]

Betonun belli bir sertliğe ulaşmasından sonra boşluklu kablo içindeki germe telleri verenlerle gerilir. Germe işlemindeki ani kayıplardan hemen sonra, fakat uzun süreli kayıplardan evvel, germe telinde bulunan P_i germe kuvvetinin her iki uçtaki kamalar ve özel beton başlıklarla ana giriş gövdesine transfer edildiği andaki gerilme tahkikleri örneklerde belirtilmiştir.

7.2. Hizmet Yükleri Altında [6]

Betona öngerilme verilmesinden hemen sonra, kablonun içine basınçlı çimento veya çimento-kum şerbeti enjekte edilerek, germe demetlerinin ana betona aderansla bağlantısı sağlanır. Genellikle, beton 28 günlük dayanımını elde ettikten sonra, hizmet yükleri altında eğilme gerilmelerinin üst sınır tahkikleri yapılır.

8. DONATI ALT VE ÜST SINIRLARI

8.1. Ard Çekmede Minimum Donatı

Ard çekmeli yöntemde germe donatısına ek olarak , çekme bölgesinde daima normal donatı kullanılmalıdır [6].

$$A_s \geq 0.004 A_t \quad (8.1)$$

A_t : Betonun efektif ağırlık merkezinin altında kalan çekme bölgesinin toplam alanıdır. Ancak, hizmet yükleri altında, çekme gerilmeleri $0.16\sqrt{f_{ck}}$ değerinin altında ise, aderanslı normal donatı koymaya gerek yoktur. Ancak, çekme gerilmeleri $0.16\sqrt{f_{ck}}$ değerini aşarsa, kesitin çekme bölgesine üniform dağılacak şekilde aşağıdaki minimum aderanslı normal donatıyı yerleştirmek gerekir [6]:

$$A_s = N_c / 0.5 f_y \quad (8.2)$$

9. ÖNGERİLME KAYIPLARI [6]

Donatıya uygulanan germe kuvvetleri zaman içinde çeşitli nedenlerle kayıplara uğrarlar. Bu kayıplar aşağıda özetlenmiştir:

9.1. Betonun Büzülmesinden Doğan Kayıplar

Betonun yükten bağımsız olarak, su kaybıyla oluşan büzülme (shrinkage) deformasyonları ϵ_{sh} değerleri çeşitli nem ortamları için Tablo 9.1’de verilmiştir.

Tablo 9.1 Öngerme Kaybına Neden Olan Büzülme Deformasyonları $\epsilon_{sh}(10^{-6})$

TİPİ	Kuru	Normal	Nemli
Ön çekmeli	500	300	100
Ard çekmeli	350	200	70

9.2. Betonun Sünmesinden Doğan Kayıplar

Betonun sünmesinden doğan gerilme kayıpları

$$f_s = (\epsilon_1 f_c') E_s \quad (9.1)$$

formülünden hesaplanır.

$$\epsilon_1 = 48Q \text{ ön çekme hali} \quad (9.1a)$$

$$\epsilon_1 = 36Q \text{ ard çekme hali} \quad (9.1b)$$

$$Q = \alpha (35 / f_{ci}') 10^{-7} \quad (9.1c)$$

$$\alpha = 1.00 (f_c / f_c') \leq 0.38 \quad (9.1d)$$

f_c =Aktarma anındaki betondaki basınç gerilmesi

9.3. Betonun Elastik Kısalmasından Doğan Kayıplar

Betonun elastik kısalmasından doğan germe donatısı gerilme kaybı - f_s

$$f_s = \epsilon_e E_s \quad (9.2)$$

formülünden hesaplanır.

$$\epsilon_e = f_c' / E_{ci} \quad (9.2a)$$

9.4. Çeliğin Gevşemesinden Doğan Kayıplar

Öngerme çeliğinin gevşeme kayıpları , genelde imalatçı firma tarafından verilir. Yaklaşık olarak , gevşeme kayıpları donatıdaki maksimum gerilme f_s 'nin farklı değerleri için

$$\text{Kayıp} = 0.08 P_i \quad f_{ps} \geq 0.7 f_{pu} \text{ için} \quad (9.3a)$$

$$\text{Kayıp} = 0.06 P_i \quad f_{ps} \geq 0.5 f_{pu} \text{ için} \quad (9.3b)$$

alınabilir. Ara değerler için doğrusal interpolasyon yapılabilir.

9.5. Beton ile Donatı Arasındaki Sürtünme Kayıpları

Özellikle, ard çekme halinde, eğrisel germe donatı kablosu ile, beton arasındaki sürtünmelerden ve donatının düzensizliklerinden kaynaklanan kayıplar için

$$P_i = P_f e^{(KL + \mu u)} \quad (9.4)$$

formülünden verilmektedir.

9.6. Ankrajlama Sırasındaki Kayıplar

Krikodaki kuvvetin ankraja aktarılması sırasında, ankrajda bazı kaymalar olabilir. Bu kayıpların hesabı

$$f_s = \epsilon_a E_s \quad (9.5)$$

formülünden hesaplanabilir.

$$\epsilon_a = \Delta L / L \quad (9.5a)$$

$\Delta L = 0.25 \text{ cm}$ (kayma tipi başlıklarda)

$\Delta L = 0.07 \text{ cm}$ (yaslanma tipi başlıklarda)

10. EĞİLME VE ÇATLAMA MOMENTİ KAPASİTELERİ [6]

10.1. Eğilme Momenti Kapasitesi

Öngerilmeli bir kesitin eğilme momenti kapasitesini hesaplarırken demirin akma sınırı f_y yerine, germe donatısının çekme gerilmesi f_{ps} kullanılır. Eğer varsa, çekme bölgesindeki normal çekme donatısının katkısı da eklenir. Germe donatısı gerilmesi f_{ps} için deformasyon uygunluk kriterleri aranmıyorsa, yaklaşık olarak MPa cinsinden aşağıdaki formüller kullanılabilir.

a) Ön çekmeli yöntemde :

$$f_{ps} = [1 - (\gamma_p / \beta_1)Q] f_{pu} \quad (10.1)$$

b) Ard çekmeli yöntemde :

$$f_{ps} = [f_{se} + (f'_c / 100\rho_p) + 70] \leq (f_{se} + 420) \quad (L/h < 35) \quad (10.2a)$$

$$f_{ps} = [f_{se} + (f'_c / 300\rho_p) + 70] \leq (f_{se} + 210) \quad (L/h > 35) \quad (10.2b)$$

$$f_{py} \geq 0.90 \text{ için } \gamma_p = 0.28$$

$$f_{py} \geq 0.85 \text{ için } \gamma_p = 0.40$$

$$f_{py} \geq 0.80 \text{ için } \gamma_p = 0.55$$

$$Q = \omega_p + d(\omega - \omega') / d_p \geq 0.17 \quad (10.3)$$

$$\omega_p = \rho_p f_{ps} / f_c' \quad (10.3a)$$

f_{ps} hiçbir zaman f_{py} 'den daha büyük alınamaz.

10.2. Çatlama Momenti

Betonun çatlaması için gerekli en büyük moment M_{cr} için

$$M_{cr} = I_g f_r / y_t \quad (10.4)$$

verilir.

I_g = Brüt beton en kesitin atalet momenti (m^4)

$$f_r = 0.625 \sqrt{f_c'} \quad (\text{MPa}) \quad (10.4a)$$

y_t = Brüt beton en kesitin ağırlık merkezinden çekme bölgesindeki en uzak life olan mesafe (m)

Genelde eğilme momenti kapasitesi M_{ca} için , aşağıdaki şart aranır :

$$M_{ca} \geq 1.2 M_{cr} \quad (10.5)$$

11.KAYMA GERİLMESİ TAHKİKLERİ

- Kayma hesabı taşıma gücü ilkelerine göre yapılacaktır [1].
- Hesap kesme kuvveti, V_d , öngerilmeli betonun kesme taşıma gücü, V_c ve kayma donatısının kesme taşıma gücü ile karşılanacaktır [1].

11.1. En Büyük Kayma Gerilmesi

Yük faktörleri ile çarpılmış olarak ,bir kesite gelen en büyük hesap kesme kuvveti

V_d ' nin oluşturacağı kayma gerilmesi :

$$\sigma_d = V_d / (b_w d) \leq 0.80 \sqrt{f_c'} \quad (11.1)$$

değerini aşmamalıdır [6].

Betonun taşıyabileceği maksimum kesme kapasitesi V_c [6]:

$$V_c \geq (0.05 \sqrt{f_c'} + 4.9 r) b_w d \leq 0.42 \sqrt{f_c'} b_w d \quad (11.2)$$

$$r = V_u d_p / M_u \leq 1 \quad (11.2a)$$

V_u :Yük faktörlü enkesit kesme kuvveti (kN)

M_u :Yük faktörlü enkesit kesme momenti (kNm)

Ön çekmeli döşeme elemanlarında ve maksimum hesap kesme kuvveti V_d 'nin 0.5 V_c değerini aşmadığı hallerde enine donatı kullanılmayabilir. Diğer hallerde, usulüne uygun enine donatı yerleştirilmelidir. Betonun taşıyabileceği kesme kuvvetini, asal gerilmelerin çekme olması hali için de hesaplamak gerekir. Bu takdirde [6];

$$V_{cw} = (0.30 \sqrt{f'_c} + 0.30 f_{pc}) b_w d_p + V_p \quad (11.3)$$

$f_{pc} = P / A$ Hizmet yükleri altında , ağırlık merkezindeki efektif maksimum basınç gerilmesi (MPa)

12. EĞRİLİK VE SEHİM [4]

Faydalı yükü taşıyan betonarme ve öngerilmeli beton prefabrike elemanların sehimi, tasarım için gözönüne alınması gereken önemli bir faktördür. Döşeme ve çatı elemanlarındaki fazla sehim, iç teçhizatla olası zarara neden olabilir: çatı elemanlarındaki fazla sehim ayrıca su birikmesi problemine de sebep olabilir.

Bu bölümde öngerilmeli döşeme ve çatı elemanları için vurgulanan ilkeler betonarme eleman ve duvar panelleri için de uygulanabilir niteliktedir. Çoğu prefabrike öngerilmeli beton elemanlar öngerme kuvvetinin egzantrikliğinden kaynaklanan net bir pozitif (yukarı doğru) eğriliğe sahip olurlar. Bu eğrilik, sürekli yükler altındaki elemanın dağılışına bağlı olarak zamanla artabilir ya da azalabilir.

Betonun karışımı, depolanma şekli, öngerilmenin kaldırılma süresi, montaj süresi ve taşıyıcı yüklerin yerleşimi, bağıl nemlilik gibi eğrilik ve sehimi etkileyen birçok değişken vardır. Bundan dolayı uzun süre için hesaplanmış değerlerin tahminlerden daha iyi olduğu düşünülmemelidir. Eğrilik değişikliklerinden etkilenen elemanlara bağlı yapısal olmayan bileşenler, kabul edilir hata paylarıyla yerleştirilmelidir. Yerinde dökme topping betonunun miktarının hesabında eğrilik hesaplarındaki noksanlıklar göz önüne alınmalıdır.

Prefabrike ve öngerilmeli elemanların eğriliği, tasarım momentleri ve servis yüklerinin gerilmelerini karşılamak için gerekli kabloların yerleşiminin bir sonucudur. İdeal bir eğrilik elde etmek için elemanların formlarını değiştirmek uygulanabilir bir yöntem değildir.

Ani sehim ve zamana bağlı eğrilikler ve sehimlerdeki kısıtlar şartnamede belirtilmiştir ve referans için Tablo 12.1’de gösterilmiştir.

Tablo 12.1 Kabul Edilebilir Hesaplanmış Maksimum Sehimler [4]

Elemanın Cinsi	Beklenen Sehim	Sehim Limitleri
Büyük sehimlerden zarar görmesi beklenen, yapısal olmayan elemanlara bağlı ya da destekli olmayan düz çatılar	Hareketli yükten kaynaklanan ani sehim	1/180
Büyük sehimlerden zarar görmesi beklenen, yapısal olmayan elemanlara bağlı ya da destekli olmayan döşemeler	Hareketli yükten kaynaklanan ani sehim	1 / 360
Büyük sehimlerden zarar görmesi beklenen, yapısal olmayan elemanlara bağlı ya da destekli olan çatı veya döşeme yapıları	Yapısal olmayan elemanların bağlantısından sonra oluşan toplam sehimin bir bölümü, sürekli yüklerden kaynaklanan uzun	1 / 480
Büyük sehimlerden zarar görmesi beklenmeyen yapısal olmayan elemanlara bağlı ya da destekli olan çatı veya döşeme yapıları	sürekli sehimlerin toplamı ve herhangi ek hareketli yüklerden kaynaklanan ani sehim	1 / 240

12.1.Başlangıç Sehimi

Başlangıç sehim, konvansiyonel moment-alan denklemleri kullanılarak hesaplanabilir.

12.2. Elastik Sehimler

Servis yükleri altında oluşan ani sehimlerin hesabında mekaniğin klasik metodları kullanılır. Eğer basit açıklıklı bir elemandaki alt gerilme kırılma modülünü geçmezse sehim, kırılmamış kesitin atalet momenti kullanılarak hesaplanır. Betonun kırılma modülü şöyle tanımlanır [4] :

$$f_r = 0,6 \cdot \lambda \sqrt{f_c'} \quad (12.1)$$

12.3. Bilineer Davranış

Alt gerilme $0,5\sqrt{f_c'}$ değerini aştığı zaman ani sehim hesaplamak için “bilineer moment-sehim bağlantıları” kullanılabilir. Elemanın kırılmadan önceki sehimini hesaplamak için en büyük atalet momenti I_g , kırılmadan sonraki ek sehimini hesaplamak için de kırılmış kesitin atalet momenti olan I_{cr} kullanılır.

Daha kesin bir analiz için kırılmış kesitin atalet momenti şu ampirik bağıntı kullanılarak belirlenebilir [4]:

$$I_{cr} = n A_{ps} d^2 (1 - \sqrt{\rho_p}) \quad (12.2)$$

I_{cr} : betonun kırılmış kesitinin atalet momenti

n : donatı çubuğu sayısı

A_{ps} : öngerilmeli donatı alanı

d : faydalı yükseklik

$\rho_p = A_{ps} / bd$: öngerilmeli donatı oranı (12.2a)

12.4. Etkin Atalet Momenti

Etkin atalet momentinin denklemi [4] :

$$I_e = (M_{cr} / M_a)^3 \cdot I_g + [1 - (M_{cr} / M_a)^3] \cdot I_{cr} \quad (12.3)$$

M_{cr} : Birleşik yükleme altındaki çatlama momenti

M_a : Kesitteki toplam moment

I_g : Büyük kesitin atalet momenti

I_e 'nin öngerilmeli beton elemanlarda kullanımı Branson tarafından açıklanmıştır.

Hareketli yük sehimlerinin belirlenmesinde kullanılan M_{cr} / M_a değeri şu şekilde ifade edilebilir [4] :

$$M_{cr} / M_a = 1 - (f_{tl} - f_r) / f_l \quad (12.3a)$$

f_{tl} : Elemandaki en son hesaplanan toplam gerilme

f_l : Hareketli yükten doğan hesaplanmış gerilme

f_r : Betonun kırılma modülü

12.5. Uzun Süreli Sehim

CPCI Kanada Şartnamesi, betonarme elemanların uzun süreli ek sehimlerinin tahmini için şu çarpanı verir [4] :

$$[2-1,2 (A_s' / A_s)] \geq 0,6 \quad (12.4)$$

A_s' = basınç donatısı

A_s = çekme donatısı

Öngerilmeli beton için böyle uygun bir çarpan yoktur.

Prefabrike ve öngerilmeli elemanların uzun süreli eğrilik ve sehimlerinin belirlenmesi;

- öngerilme etkisi ve zamanla öngerilme kaybı
- öngerilmenin kaldırılmasından sonra betonun mukavemet kazanması ve
- eğrilik veya sehimin sadece başlangıç safhasında ve son safhada değil, genellikle prefabrikasyondan 30 ila 60 gün sonraki bazı ara aşamalarda yapılan montajda önemi nedeniyle daha karmaşıktır.

Bir elemanın bir süre sonraki eğriliği, başlangıç eğriliği tasarımcının deneyimine dayanarak belirlenen bir çarpanla çarpılarak belirlenebilir.

Bu çarpanları doğru olarak bulabilmek için hesaplanan başlangıç sehiminin üst ve alt bileşenleri, sadece üst bileşeni etkileyen öngerme kayıplarının etkilerinin hesaba katılması gereği nedeniyle birbirinden ayrılmalıdır.

Tablo 12.2 Tipik Elemanlar İçin Uzun Süreli Eğrilik ve Sehim Tahminlerinde Kullanılan Çarpanlar [4]

	Kompozit Topping betonu Olmadan	Kompozit topping betonuyla
Montaj Aşamasında:		
(1) Sehim bileşeni-öngerilmesi kaldırılmış olan elemanın kütlelerinden kaynaklanan elastik sehime uygulanır.	1,85	1,85
(2)Eğrilik bileşeni-öngerilmenin kaldırılma anındaki öngerilmeden kaynaklanan elastik eğriliğe uygulanır.	1,80	1,80
Finalde:		
(3)Sehim bileşeni- =(1)	2,70	2,40
(4) = (2)	2,45	2,20
(5)Sehim-Sadece etkiilen ölü yükten kaynaklanan elastik sehime uygulanır.	3,00	3,00
(6)Sehim-Kompozit topping betonu sebebiyle ortaya çıkan elastik sehime uygulanır.	-	2,30

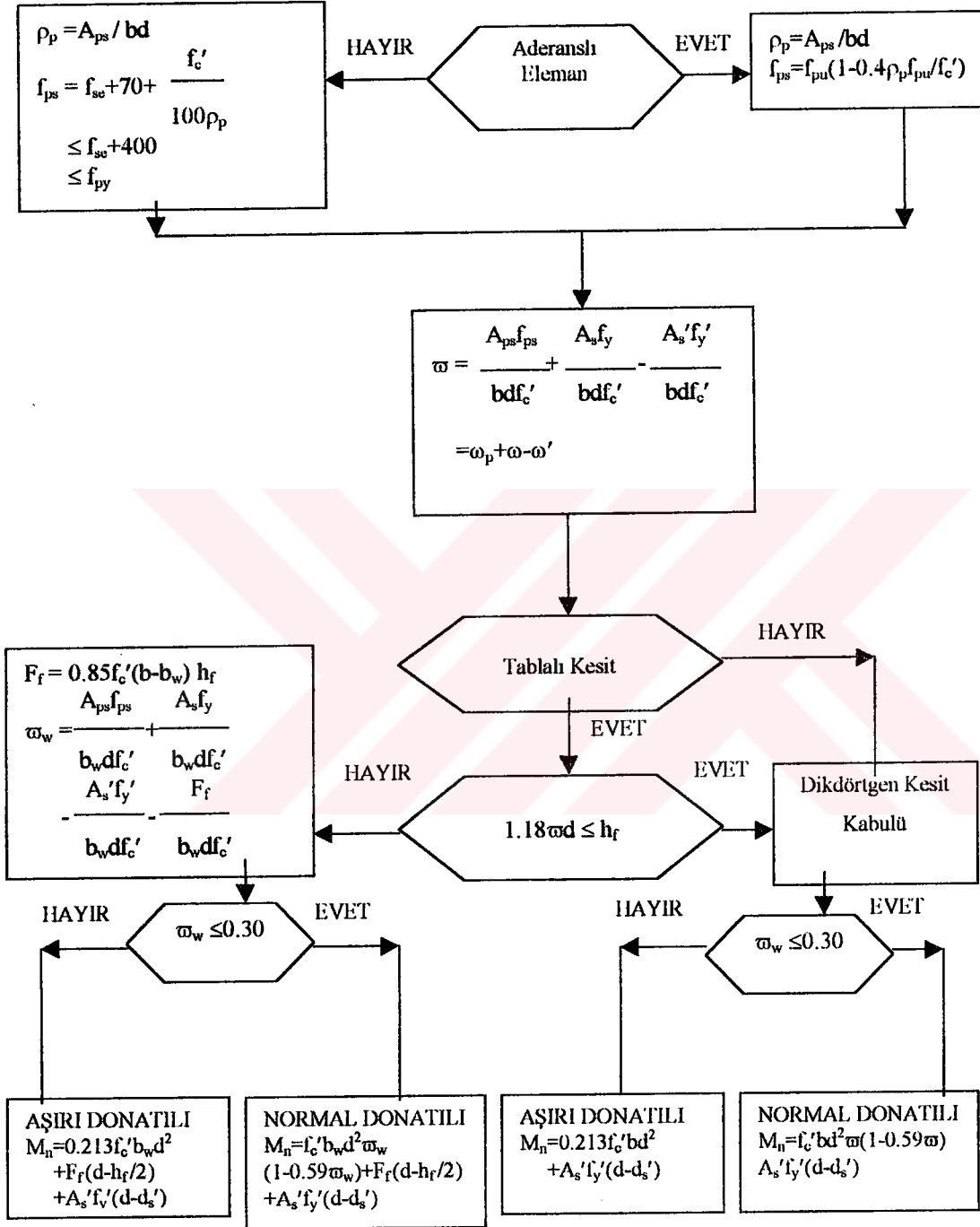
13. EĞİLME DAYANIMI HESABI

Betonarme ve öngerilmeli kesitlerin taşıma güçleri Şekil 13.1'deki akış diyagramı kullanılarak kolayca hesaplanabilir. Diyagram TS3233'te verilen değerlere göre hazırlanmıştır.TS3233 ile CPCI Kanada Şartnamesi arasındaki bazı farklılıklar Tablo 13.1'de belirtilmiştir. Ayrıca TS3233'te donatı yüzdesi 0,25 iken CPCI'da 0,30'dur.

Tablo 13.1 TS3233 ile CPCI Kanada Şartnamesi Arasındaki Bazı Farklılıklar

TS3233	CPCI
M_u	M_u/ϕ
$f_{cd} (= f_c'/1,5)$	f_c'
$f_{yd} (= f_y'/1,15)$	f_y'
$f_{pd} (= f_{pu}/1,15)$	f_{pu}

Şekil 13.1 Taşıma Gücü Hesabı İçin Akış Diyagramı



13.1 Öngerilmeli Kiriş Taşıma Gücü Hesabı İçin Bilgisayar Programı

```
C      ** Ongerilmeli kiris tasima gucu hesabi **
C
C      fpd: öngerilme donatisi hesap kopma dayanimi fpu/1.15
C      fps: öngerilme donatisi hizasindaki azaltilmis gerilme
C      fcd: beton silindirik basinc hesap dayanimi fck/1.4~1.5
C      b : tabla genisligi      bw: gövde genisligi
C      t : tabla kalinligi
C      Aps : öngerme donatisi alanı
C      As  : çekme donatisi(varsa) alanı
C      As' : basinc donatisi(varsa) alanı
C      dp  : öngerme donatisi bileşkesinin derinligi
C      ds  : çekme donatisi bileşkesinin derinligi
C      ds' : basinc donatisi bileşkesinin derinligi(pas payı)
C      a   : esdeger dikdörtgen blok yüksekligi
C      wc  : mekanik donati orani (toplam donati için)
C      wp  : mekanik donati orani (öngerme donatisi için)
C      w   : mekanik donati orani (çekme donatisi için)
C      wu  : mekanik donati orani (basinc donatisi için)
C      rop : Aps/(bd)
C
      read(5,100) b,bw,dp,ds,dsu,t
      read(5,101) As,Asu,Aps
      read(5,102) fpd,fcd,fyd
100  format(6f5.0)
101  format(3f10.0)
102  format(3f10.0)
C
      dd=(Aps*fpd*dp+As*fyd*ds)/(Aps*fpd+As*fyd)
      rop=Aps/b/dd
      fps=fpa*(1-0.4*rop*fpd/fcd)
      write(6,800) dd,rop,fps
800  format(2x,'dd=',f10.3/2x,'rop=',f10.6,/2x,'fps=',f15.6)
      d=(Aps*fps*dp+As*fyd*ds)/(Aps*fps+As*fyd)
      rop=Aps/b/d
      fps=fpd*(1-0.4*rop*fpd/fcd)
      write(6,801) d,rop,fps
801  format(2x,'d=',f10.3/2x,'rop=',f10.6,/2x,'fps=',f15.6)
C
      wp=Aps*fps/(b*d*fcd)
      w =As*fyd/(b*d*fcd)
      wu=Asu*fyd/(b*d*fcd)
      wc=wp+w-wu
      write(6,703) wp,w,wu,wc
703  format(3x,4f10.3//)
      write(6,705) wc
705  format(5x,'wc = ',f10.5)
C
```

```

C      if(t.lt.0.01.or.(1.18*wc*d).le.t) go to 500
C      tablalî kesit hali
      write(6,90)
90     format(2x,'Kesit tablalî çalışmaktadır !..')
      dd=(Aps*fpd*dp+As*fyd*ds)/(Aps*fpd+As*fyd)
      rop=Aps/bw/dd
      fps=fpd*(1-0.4*rop*fpd/fcd)
      write(6,808) dd,rop,fps
808    format(2x,'dd=',f10.3/2x,'rop=',f10.6,/2x,'fps=',f15.6)
      d=(Aps*fps*dp+As*fyd*ds)/(Aps*fps+As*fyd)
      rop=Aps/bw/d
      fps=fpd*(1-0.4*rop*fpd/fcd)
      Ft=0.85*fcd*(b-bw)*t
      wwc=Aps*fps/(bw*d*fcd)+As*fyd/(bw*d*fcd)-Asu*fyd/(bw*d*fcd)-
1     Ft/(bw*d*fcd)
      write(6,708) wwc
708    format(5x,'wwc = ',f10.5)
      if(wwc.le.0.25) go to 601
      em=0.2131*fcd*bw*d**2+Ft*(d-t/2.)+Asu*fyd*(d-dsu)
      go to 602
601    em=fcd*bw*d**2*wwc*(1.-0.59*wwc)+Ft*(d-t/2.)+Asu*fyd*(d-dsu)
602    em=em/1000000.
      write(6,400) em
      go to 610
C      dikdörtgen kesit hali
500    write(6,91)
91     format(2x,'Kesit dikdörtgen çalışmaktadır !..')
      if(t.gt.0.01) bw=b
      if(wc.le.0.25) go to 501
      em=0.2131*fcd*bw*d**2+Asu*fyd*(d-dsu)
      go to 502
501    em=fcd*bw*d**2*wc*(1.-0.59*wc)+Asu*fyd*(d-dsu)
502    em=em/1000000.
      write(6,400) em
400    format(5x,'Mu (kNm) = ',f15.3)
610    stop
      end

```

13.2 K_u Katsayıları İçin Bilgisayar Programları

```
:      Ku katsayilari (Normal ve ön gerilme donatîsi olan kesitler için)
dimension cku(10)
ai=0.000
aj=0.000
200 continue
aj=ai
do 10 j=1,10
cku(j)=aj*(1-0.59*aj)
10 aj=aj+0.001
write(6,101) ai,(cku(j),j=1,10)
ai=ai+0.01
if(ai.gt.0.26) go to 600
go to 200
101 format(2x,f4.2,10(1x,f5.4))
600 stop
end
```

→

:

```
C      Ku katsayilari (Yalnızca ön germe donatîsi olan kesitler için)
dimension cku(10)
ai=0.000
aj=0.000
200 continue
aj=ai
do 10 j=1,10
cku(j)=aj*(1.-0.4*aj)*(1-0.59*aj*(1.-0.4*aj))
10 aj=aj+0.001
write(6,101) ai,(cku(j),j=1,10)
ai=ai+0.01
if(ai.gt.0.26) go to 600
go to 200
101 format(2x,f4.2,10(1x,f5.4))
600 stop
end
```

→

13.3. K_u Katsayıları İçin Oluşturulan Program Çıktısı

BOYUTLANDIRMA [4] :

ANALİZ [4]:

$$1- K_u = \frac{M_u(10^6) - A_s' f_y' (d - d_s')}{f_c' b d^2}$$

$$1- \omega = \frac{A_{ps} f_{ps} + A_s f_y - A_s' f_y'}{b d f_c'}$$

2- Tablodan ω bulunur.

2- Tablodan K_u bulunur.

3- Öngerme donatısı için

f_{ps} değeri tahmin edilir.

$$3- M_n = K_u f_c' b d^2 + A_s' f_y' (d - d_s') / 10^6$$

4- A_{ps} , A_s ve A_s' aşağıdaki formülden seçilir.

$$A_{ps} f_{ps} + A_s f_y - A_s' f_y' = \omega b d f_c'$$

5- f_{ps} ' nin varsayılan değeri kontrol edilir.

$K_u = \omega(1 - 0.59\omega)$ formülü esas alınarak yapılan programla Tablo 13.3 oluşturulmuştur.

Tablo 13.2 Normal ve Öngerilme Donatısı Olan Kirişlerde Eğilme Dayanımı Katsayıları (K_u)

ω	.000	.001	.002	.003	.004	.005	.006	.007	.008	.009
.00	.0000	.0010	.0020	.0030	.0040	.0050	.0060	.0070	.0080	.0090
.01	.0099	.0109	.0119	.0129	.0139	.0149	.0158	.0168	.0178	.0188
.02	.0198	.0207	.0217	.0227	.0237	.0246	.0256	.0266	.0275	.0285
.03	.0295	.0304	.0314	.0324	.0333	.0343	.0352	.0362	.0371	.0381
.04	.0391	.0400	.0410	.0419	.0429	.0438	.0448	.0457	.0466	.0476
.05	.0485	.0495	.0504	.0513	.0523	.0532	.0541	.0551	.0560	.0569
.06	.0579	.0588	.0597	.0607	.0616	.0625	.0634	.0644	.0653	.0662
.07	.0671	.0680	.0689	.0699	.0708	.0717	.0726	.0735	.0744	.0753
.08	.0762	.0771	.0780	.0789	.0798	.0807	.0816	.0825	.0834	.0843
.09	.0852	.0861	.0870	.0879	.0888	.0897	.0906	.0914	.0923	.0932
.10	.0941	.0950	.0959	.0967	.0976	.0985	.0994	.1002	.1011	.1020
.11	.1029	.1037	.1046	.1055	.1063	.1072	.1081	.1089	.1098	.1106
.12	.1115	.1124	.1132	.1141	.1149	.1158	.1166	.1175	.1183	.1192
.13	.1200	.1209	.1217	.1226	.1234	.1242	.1251	.1259	.1268	.1276
.14	.1284	.1293	.1301	.1309	.1318	.1326	.1334	.1343	.1351	.1359
.15	.1367	.1375	.1384	.1392	.1400	.1408	.1416	.1425	.1433	.1441
.16	.1449	.1457	.1465	.1473	.1481	.1489	.1497	.1505	.1513	.1521
.17	.1529	.1537	.1545	.1553	.1561	.1569	.1577	.1585	.1593	.1601
.18	.1609	.1617	.1625	.1632	.1640	.1648	.1656	.1664	.1671	.1679
.19	.1687	.1695	.1703	.1710	.1718	.1726	.1733	.1741	.1749	.1756
.20	.1764	.1772	.1779	.1787	.1794	.1802	.1810	.1817	.1825	.1832
.21	.1840	.1847	.1855	.1862	.1870	.1877	.1885	.1892	.1900	.1907
.22	.1914	.1922	.1929	.1937	.1944	.1951	.1959	.1966	.1973	.1981
.23	.1988	.1995	.2002	.2010	.2017	.2024	.2031	.2039	.2046	.2053
.24	.2060	.2067	.2074	.2082	.2089	.2096	.2103	.2110	.2117	.2124
.25	.2131									

BOYUTLANDIRMA [4] :

$$1- K_u = \frac{M_u(10^6)}{f_c'bd^2}$$

2- Tablodan ω_{pu} bulunur.

$$3- A_{ps} = \frac{\omega_{pu}bdf_c'}{f_{pu}}$$

ANALİZ [4] :

$$1- \omega_{pu} = \frac{A_{ps}f_{pu}}{bd f_c'}$$

2- Tablodan K_u bulunur.

$$3- M_n = K_u f_c'bd^2/10^6$$

$K_u = \omega_{pu}(1-0.4\omega_{pu}) [1-0.59\omega_{pu}(1-0.4\omega_{pu})]$ formülü esas alınarak yapılan programla

Tablo 13.3 oluşturulmuştur.

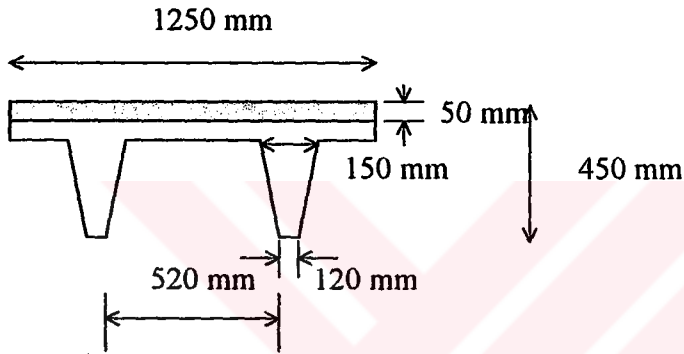
Tablo 13.3 Sadece Öngerilme Donatısı Olan Kirişlerde Eğilme Dayanımı Katsayıları (K_u)

ω_{pu}	.000	.001	.002	.003	.004	.005	.006	.007	.008	.009
.00	.0000	.0010	.0020	.0030	.0040	.0050	.0060	.0070	.0079	.0089
.01	.0099	.0109	.0119	.0128	.0138	.0148	.0157	.0167	.0177	.0186
.02	.0196	.0206	.0215	.0225	.0234	.0244	.0253	.0263	.0272	.0282
.03	.0291	.0301	.0310	.0319	.0329	.0338	.0347	.0357	.0366	.0375
.04	.0384	.0394	.0403	.0412	.0421	.0430	.0440	.0449	.0458	.0467
.05	.0476	.0485	.0494	.0503	.0512	.0521	.0530	.0539	.0548	.0556
.06	.0565	.0574	.0583	.0592	.0601	.0609	.0618	.0627	.0636	.0644
.07	.0653	.0662	.0670	.0679	.0688	.0696	.0705	.0713	.0722	.0731
.08	.0739	.0748	.0756	.0764	.0773	.0781	.0790	.0798	.0806	.0815
.09	.0823	.0832	.0840	.0848	.0856	.0865	.0873	.0881	.0889	.0897
.10	.0906	.0914	.0922	.0930	.0938	.0946	.0954	.0962	.0970	.0978
.11	.0986	.0994	.1002	.1010	.1018	.1026	.1034	.1042	.1050	.1058
.12	.1065	.1073	.1081	.1089	.1097	.1104	.1112	.1120	.1127	.1135
.13	.1143	.1150	.1158	.1166	.1173	.1181	.1188	.1196	.1204	.1211
.14	.1219	.1226	.1234	.1241	.1248	.1256	.1263	.1271	.1278	.1285
.15	.1293	.1300	.1307	.1315	.1322	.1329	.1336	.1344	.1351	.1358
.16	.1365	.1372	.1380	.1387	.1394	.1401	.1408	.1415	.1422	.1429
.17	.1436	.1443	.1450	.1457	.1464	.1471	.1478	.1485	.1492	.1499
.18	.1506	.1513	.1519	.1526	.1533	.1540	.1547	.1554	.1560	.1567
.19	.1574	.1580	.1587	.1594	.1601	.1607	.1614	.1620	.1627	.1634
.20	.1640	.1647	.1653	.1660	.1666	.1673	.1679	.1686	.1692	.1699
.21	.1705	.1712	.1718	.1725	.1731	.1737	.1744	.1750	.1756	.1763
.22	.1769	.1775	.1781	.1788	.1794	.1800	.1806	.1813	.1819	.1825
.23	.1831	.1837	.1843	.1849	.1856	.1862	.1868	.1874	.1880	.1886
.24	.1892	.1898	.1904	.1910	.1916	.1922	.1928	.1934	.1940	.1945
.25	.1951	.1957	.1963	.1969	.1975	.1981	.1986	.1992	.1998	.2004
.26	.2009	.2015	.2021	.2027	.2032	.2038	.2044	.2049	.2055	.2061
.27	.2066	.2072	.2077	.2083	.2089	.2094	.2100	.2105	.2111	.2116
.28	.2122	.2127	.2133							

14.TAŞIMA GÜCÜ, KAYMA VE SEHİM TAHKİKLERİNE İLİŞKİN ÖRNEKLER

14.1. Öngerilmeli T Plak Döşeme

Kesit ve beton özellikleri verilen öngerilmeli T plak döşemenin taşıma gücü, kayma ve sehım tahkikleri:



$$l = 10000 \text{ mm}$$

Beton Özellikleri:

$$f_c' = 35 \text{ MPa}$$

$$f_{ci}' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$$

Öngerme Donatısı Özellikleri:

$$f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$$

Kesit Özellikleri:

$$A = 170500 \text{ mm}^2$$

$$e = 232.5 \text{ mm}$$

$$y_b = 282.5 \text{ mm}$$

$$y_t = 167.5 \text{ mm}$$

$$I = 3457 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$S_b = 12238 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$S_t = 20640 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Yük Analizi:

$$w_d = 4.263 \text{ kN/m}$$

$$w_{ds} = 1.25 \text{ kN/m}^2 \times 1.25 \text{ m} = 1.563 \text{ kN/m}$$

$$w_{da} = 0.75 \text{ kN/m}^2 \times 1.25 \text{ m} = 0.938 \text{ kN/m}$$

$$w_l = 5 \text{ kN/m}^2 \times 1.25 \text{ m} = 6.25 \text{ kN/m}$$

Kritik kesit açıklık ortasındadır.

Açıklık ortasındaki servis yükü momentleri:

$$M_d = 4.263 \times 10^2 / 8 = 53.288 \text{ kNm}$$

$$M_{sd} = 2.5 \times 10^2 / 8 = 31.25 \text{ kNm}$$

$$M_l = 6.25 \times 10^2 / 8 = 78.125 \text{ kNm}$$

$$M_g = M_d + M_{sd} = 84.538 \text{ kNm}$$

$$M_q = M_l = 78.125 \text{ kNm}$$

$$M_u = 1.4M_g + 1.7M_q = 251.166 \text{ kNm} \quad (14.1)$$

$$M_{\max} = M_g + M_q = 162.663 \text{ kNm} \quad (14.2)$$

$$P_f \geq \frac{M_{\max} - S_b f_b}{e + k_t} \quad (14.3)$$

$$f_b = 0.5 \lambda \sqrt{f'_c} = 2.96 \text{ MPa} \quad (14.3a)$$

$$k_t = S_b / A = 71.78 \text{ mm} \quad (14.3b)$$

$$e + k_t = 304.28 \text{ mm} \quad (14.3c)$$

$$P_f \geq \frac{162.663 \times 10^6 - 12238 \times 10^3 \times 2.96}{304.28} = 415.53 \text{ kN}$$

$$f_{pf} = 1080 \text{ Mpa}$$

$$A_{ps} \geq \frac{415.53 \times 10^3}{1080} = 384.75 \text{ mm}^2$$

$$\phi M_n = \phi (A_{ps} \times 0.95 f_{pu} + A_s f_y) \times 0.9 h \quad (14.4)$$

$$\phi M_n = 0.77 \times A_{ps} \times 1860 \times 450$$

$$A_{ps} \geq \frac{251.166 \times 10^6}{0.77 \times 1860 \times 450} = 384.75 \text{ mm}^2$$

Seçilen Donatı: 6 tane 11 mm' lik kablo

$$A_{ps} = 6 \times 99 = 444 \text{ mm}^2$$

Öngerme Kuvvetleri:

$$P_i = A_{ps} \times 0.70 \times f_{pu} = 578.09 \text{ kN} \quad (14.5)$$

$$P_0 = 0.90 \times P_i = 520.28 \text{ kN} \quad (14.6)$$

$$P_f = 0.76 \times P_i = 439.35 \text{ kN} \quad (14.7)$$

$$e \leq k_b + \left(\frac{M_{\min} + S_t f_t}{P_i} \right) \quad (14.8)$$

$$M_{\min} = M_d = 53.288 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$k_b = S_t / A = 121.06 \text{ mm} \quad (14.8a)$$

$$f_t = 0.5 \sqrt{f_{ci}'} = 2.5 \text{ MPa} \quad (14.8b)$$

$$e \leq 257.14 \text{ mm}$$

Gerilme Kontrolleri:

$$M_{\max} = 162.663 \text{ kNm}$$

$$M_{\min} = 53.288 \text{ kNm}$$

Başlangıçta:

$$f_t = \frac{P_i}{A} - \frac{P_i e}{S_t} + \frac{M_{\min}}{S_t} \quad (14.9)$$

$$f_t = \frac{578.09 \times 10^3}{170500} - \frac{578.09 \times 10^3 \times 232.5}{20640 \times 10^3} + \frac{53.288 \times 10^6}{20640 \times 10^3} = -0.54 \text{ MPa}$$

$$f_b = \frac{P_i}{A} + \frac{P_i e}{S_b} - \frac{M_{\min}}{S_b} \quad (14.10)$$

$$f_b = \frac{578.09 \times 10^3}{170500} + \frac{578.09 \times 10^3 \times 232.5}{12238 \times 10^3} - \frac{53.288 \times 10^6}{12238 \times 10^3} = 10.019 \text{ MPa}$$

Finalde:

$$f_t = \frac{P_f}{A} - \frac{P_f e}{S_t} + \frac{M_{\max}}{S_t} \quad (14.11)$$

$$f_t = \frac{439.35 \times 10^3}{170500} - \frac{439.35 \times 10^3 \times 232.5}{20640 \times 10^3} + \frac{162.663 \times 10^6}{20640 \times 10^3} = 5.509 \text{ MPa}$$

$$f_b = \frac{P_f}{A} + \frac{P_f e}{S_b} - \frac{M_{\max}}{S_b} \quad (14.12)$$

$$f_b = \frac{439.35 \times 10^3}{170500} + \frac{439.35 \times 10^3 \times 232.5}{12238 \times 10^3} - \frac{162.663 \times 10^6}{12238 \times 10^3} = -2.368 \text{ MPa}$$

14.1.1. Taşıma Gücü Kontrolü

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - 0.5 \rho_p \frac{f_{pu}}{f_c'} \right) \quad (14.13)$$

$$f_{ps} = 1860 \left(1 - 0.5 \frac{444 \times 1860}{1250 \times 400 \times 35} \right) = 1816.11 \text{ MPa}$$

$$a = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps}}{0.85 f_c' b} = \frac{444 \times 1816.11}{0.85 \times 35 \times 1250} = 21.68 \text{ mm} \quad (14.14)$$

$$\phi M_n = \phi A_{ps} f_{ps} (d_p - a / 2) = 282.42 \text{ kNm} > M_u = 251,166 \text{ kNm} \quad (14.15)$$

Çatlamadan Sonraki Dayanım:

$$f_r = 0.6 \sqrt{f_c'} = 3.55 \text{ MPa} \quad (14.16)$$

$$f_b = 2.368 \text{ MPa (Çekme)}$$

$$3.55 - 2.368 = 1.182 \text{ MPa gerekli}$$

Bu gerilme $S_b \times 1.182 \text{ kNm'}$ lik moment ile oluşur.

$$S_b \times 1.182 = 12238 \times 10^3 \times 1.182 = 14.465 \text{ kNm}$$

$$162.663 + 14.465 = 177.128 \text{ kNm}$$

$$\frac{\phi M_n}{M_{cr}} = \frac{282.42}{177.128} = 1.59 > 1.20$$

Çatlamadan sonra kesitte dayanım devam etmektedir.

14.1.2. Kayma Hesabı

$$W_u = 1.4 (4.263 + 2.50) + 1.7 \times (6.25) = 20.093 \text{ kNm}$$

$$V_u = 20.093 \times 10 / 2 = 100.465 \text{ kN}$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{100.465}{0.85} = 118.194 \text{ kN} \quad (14.17)$$

$$V_c = (0.05\sqrt{f'_c} + 5 \frac{V_u}{M_u} d) b_w d \quad (14.18)$$

$$V_c = (0.05\sqrt{35} + 5 \times \frac{100.465 \times 10^3}{251.166 \times 10^6} \times 400) \times \frac{270 \times 400}{10^3} = 118.346 \text{ kN}$$

$$0.17\sqrt{f'_c} b_w d \leq V_c \leq 0.4 \sqrt{f'_c} b_w d \quad (14.19)$$

$$108.619 \text{ kN} \leq V_c \leq 255.575 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = 118.194 - 118.346 = 0 \Rightarrow \text{Minimum donatı} \quad (14.20)$$

$$f_{ys} = 400 \text{ MPa}$$

$$s \leq 4 b_w \text{ olmalı} \quad (14.21a)$$

$$4 b_w = 4 \times 270 = 1080 \text{ mm}$$

$$s \leq 0.75 h = 337.5 \text{ mm} \Rightarrow s = 300 \text{ mm seçilirse} \quad (14.21b)$$

$$A_v \geq 0.35 \frac{b_w s}{f_y} = 0.35 \times \frac{270 \times 300}{400} = 70.88 \text{ mm}^2 \quad (14.22a)$$

$$A_v \geq \frac{A_{ps}}{80} \times \frac{f_{pu}}{f_y} \times \frac{s}{d} \times \sqrt{\frac{d}{b_w}} = 31.41 \text{ mm}^2 \quad (14.22b)$$

$$\text{Seçilen etriye : } \Phi 10 / 30 (A_v = 4 \times 100 = 400 \text{ mm}^2)$$

Yatay kesme , ön gerilmeli beton yüzeyinin pürüzlendirilmesiyle karşılanmıştır.

Diyagonal çatlağa sebep olan üniform yayılı yükün büyüklüğünü bulmak için kirişin değişik kesitlerinde gövdede ve eğilmeden kaynaklanan kesme kuvvetlerini bulmak gerekir.

a)Gövdede Asal Çekme Çatlağı Olması Durumundaki Kesme Taşıma Gücü:

$$V_{cw} = (0.30\sqrt{f'_c} + 0.3f_{pc})b_w d + V_p \quad (14.23)$$

$$f_{pc} = \frac{P}{A} = \frac{439.35 \times 10^3}{170500} = 2.577 \text{ MPa} \quad (14.23a)$$

$$d = y_t + e_e = 167.5 + 232.5 = 400 \text{ mm} > 0.8h = 360 \text{ mm} \quad (14.23b)$$

$$\text{Dik bileşen : } V_p = 0$$

$$V_{cw} = (0.30\sqrt{35} + 0.30 \times 2.577) \times 270 \times 400$$

$$V_{cw} = 275.18 \text{ N}$$

Merkezden 4.7 m mesafede gerekli üniform yayılı yük :

$$w = \frac{275.18}{4.7} = 58.55 \text{ kN/m}$$

b) Eğilme Çatlağı Olması Durumundaki Kesme Taşıma Gücü:

$$V_{ci} = 0.05 \sqrt{f'_c} b_w d + \frac{V}{M} M_{cr} \quad (14.24)$$

Mesnetten 0.53 m mesafedeki moment-kesme kuvveti oranı:

$$\frac{M}{V} = \frac{5000w - 530 - wx530^2/2}{5000w - 530w} = 561.4 \text{ mm} \quad (14.24a)$$

Öngerme , kirişin alt liflerinde şu basınç gerilmesine sebep olur :

$$\frac{P}{A} + \frac{P e y_b}{I_c} = \frac{439.35 \times 10^3}{170500} + \frac{439.35 \times 10^3 \times 232.5 \times 282.5}{3457 \times 10^6} = 10.924 \text{ MPa}$$

Alt liflerdeki gerilmenin $0.5 \sqrt{f'_c} = 2.96 \text{ MPa}$ olduğu zaman eğilme çatlağının oluştuğu varsayılırsa :

$$M_{cr} = (10.924 + 2.96) \times \frac{3457 \times 10^6}{282.5} = 169.90 \text{ kNm}$$

$$V_{ci} = 0.05 \sqrt{35} \times 270 \times 400 + \frac{169.90 \times 10^6}{561.4} = 334.58 \text{ kN}$$

$$w = \frac{334.58}{4.7} = 71.187 \text{ kN/m}$$

14.1.3. Sehîm Kontrolleri

Hareketli yükten kaynaklanan ani sehîm: (Kısa süreli)

$$E_c = W_c^{1.5} \cdot 0.043 \sqrt{f'_c} = (2400)^{1.5} (0.043) \sqrt{35} = 29900 \text{ MPa} \quad (14.25)$$

$$\Delta_l = \frac{5 w_l l^4}{384 E_c I_c} = \frac{5 \times 6.25 \times 10000^4}{384 \times 29900 \times 3457 \times 10^6} = 7.873 \text{ mm} \quad (14.26)$$

$$l/360 = 10000/360 = 27.78 \text{ mm} > 7.873 \text{ mm}$$

Zati ağırlıktan kaynaklanan elastik sehîm:

$$\Delta_d = \frac{5 W_d l^4}{384 E_{ci} I_c} \quad (14.27)$$

$$E_{ci} = W_c^{1.5} \times 0.043 \times \sqrt{f_{ci}'} = (2400)^{1.5} \times 0.043 \times \sqrt{25} = 25300 \text{ MPa} \quad (14.28)$$

$$\Delta_d = \frac{5 \times 4.263 \times 10000^4}{384 \times 25300 \times 3457 \times 10^6} = 6.346 \text{ mm} \downarrow$$

Öngermeden kaynaklanan başlangıç eğriliği:

$$\Delta = \frac{P_o \cdot e_e \cdot l^2}{8 E_{ci} \cdot I_c} = \frac{520.28 \times 232.5 \times 10000^2 \times 10^3}{8 \times 25300 \times 3457 \times 10^6} = 17.29 \text{ mm} \uparrow \quad (14.29)$$

Montaj aşamasındaki net sehim:

$$\Delta = \frac{5 w l^4}{384 \cdot E_{ci} \cdot I_c} = \frac{5(2.50 + 0.30 \times 6.25) \times 10000^4}{384 \times 25300 \times 3457 \times 10^6} = 6.513 \text{ mm} \downarrow$$

Uzun Süreli Toplam Sehim:

$$\Delta = 2.70 \times 6.346 - 2.45 \times 19.38 + 3.00 \times 6.513 = -10.808 \text{ mm}$$

$$-10.808 - (-19.38) = 8.572 \text{ mm} \downarrow$$

Hareketli yükten kaynaklanan ani sehim:

$$\Delta = 0.70 \times 7.873 = 5.511 \text{ mm} \downarrow$$

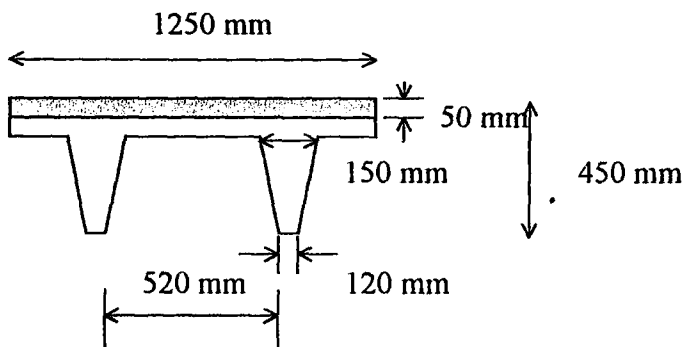
Toplam Sehim:

$$\Delta = 8.572 + 5.511 = 14.083 \text{ mm} \downarrow$$

$$\frac{l}{480} = 20.83 \text{ mm} > 14.083 \text{ mm}$$

14.2. Betonarme Π Plak Döşeme

Kesit ve beton özellikleri verilen betonarme Π plak döşemenin taşıma gücü, kayma ve sehim tahkikleri:



$$l = 10000 \text{ mm}$$

Beton Özellikleri:

$$f_c' = 35 \text{ MPa}$$

Donatı Özellikleri:

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

Kesit Özellikleri:

$$A = 170500 \text{ mm}^2$$

$$e = 232.5 \text{ mm}$$

$$y_b = 282.5 \text{ mm}$$

$$y_t = 167.5 \text{ mm}$$

$$I = 3457 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$S_b = 12238 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$S_t = 20640 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Yük Analizi:

$$w_d = 4.263 \text{ kN/m}$$

$$w_{ds} = 1.25 \text{ kN/m}^2 \times 1.25 \text{ m} = 1.563 \text{ kN/m}$$

$$w_{da} = 0.75 \text{ kN/m}^2 \times 1.25 \text{ m} = 0.938 \text{ kN/m}$$

$$w_l = 5 \text{ kN/m}^2 \times 1.25 \text{ m} = 6.25 \text{ kN/m}$$

Kritik kesit açıklık ortasıdır.

Açıklık ortasındaki servis yükü momentleri:

$$M_d = 4.263 \times 10^2 / 8 = 53.288 \text{ kNm}$$

$$M_{sd} = 2.5 \times 10^2 / 8 = 31.25 \text{ kNm}$$

$$M_l = 6.25 \times 10^2 / 8 = 78.125 \text{ kNm}$$

$$M_g = M_d + M_{sd} = 84.538 \text{ kNm}$$

$$M_q = M_l = 78.125 \text{ kNm}$$

$$M_u = 1.4M_g + 1.7M_q = 251.166 \text{ kNm}$$

$$M_{max} = 1.4M_g + M_q = 162.663 \text{ kNm}$$

14.2.1. Taşıma Gücü Kontrolü

$$K_u = \frac{M_u}{\phi f_c' b d^2} = \frac{162.663 \times 10^6}{0.9 \times 35 \times 1250 \times 400^2} = 0.0258 \quad (14.30)$$

$$\omega = 0.026$$

$$A_s = \omega b d \frac{f'_c}{f_y} = \frac{0.026 \times 1250 \times 400 \times 35}{400} = 1137.5 \text{ mm}^2 \quad (14.31)$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = 3.5 \times 10^{-3} \quad (14.31)$$

Seçilen donatı: 4 Φ 20 ($A_s = 1200 \text{ mm}^2$)

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{1200}{270 \times 400} = 0.011 > \rho_{\min} \quad (14.32)$$

$$\omega = \frac{1200 \times 400}{1250 \times 400 \times 35} = 0.0274$$

$$K_u = 0.028$$

$$\phi M_n = \frac{0.9 \times 0.028 \times 35 \times 1250 \times 400^2}{10^6} = 176.40 \text{ kNm} < M_u = 251.166 \text{ kNm olduğu için}$$

hesap, taşıma gücüne göre tekrarlanır.

$$K_u = \frac{251.166 \times 10^6}{0.9 \times 35 \times 1250 \times 400^2} = 0.0399$$

$$\omega = 0.041$$

$$A_s = 0.041 \times 1250 \times 400 \times \frac{35}{400} = 1794 \text{ mm}^2$$

Seçilen donatı: 6 Φ 20 ($A_s = 1800 \text{ mm}^2$)

14.2.2. Kayma Hesabı

$$V_c = 0.17 \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$V_c = 0.17 \sqrt{35} \times 270 \times 400 = 108.62 \text{ kN}$$

$$w_u = 20.093 \text{ kN/m}$$

$$V_u = 20.093 \times 10/2 = 100.465 \text{ kN}$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{100.465}{0.85} = 118.194 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = 9.574 \text{ kN}$$

$$A_v \geq 0.35 \frac{b_w s}{f_{yv}} = \frac{0.35 \times 270 \times 300}{300} = 94.5 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{minimum etriye}$$

Seçilen etriye: $\Phi 10 / 30$ ($A_v = 4 \times 100 = 400 \text{ mm}^2$)

14.2.3. Sehim Tahkikleri

$$E_c = 29900 \text{ MPa}$$

Zati Ağırlıktan Kaynaklanan Sehim:

$$\Delta_d = \frac{5 w_d \cdot l^4}{384 E_c I_c}$$

$$\Delta_d = \frac{5 \times 4.263 \times 10000^4}{384 \times 29900 \times 3457 \times 10^6} = 5.37 \text{ mm} \downarrow$$

Ölü Yüklerden Kaynaklanan Sehim:

$$\Delta_d = \frac{5 w_d \cdot l^4}{384 E_c I_c}$$

$$\Delta_d = \frac{5 \times 2.5 \times 10000^4}{384 \times 29900 \times 3457 \times 10^6} = 3.149 \text{ mm} \downarrow$$

Hareketli Yükten Kaynaklanan Sehim:

$$\Delta_l = \frac{5 w_l \cdot l^4}{384 E_c I_c} = \frac{5 \times 6.25 \times 10000^4}{384 \times 29900 \times 3457 \times 10^6} = 7.873 \text{ mm} \downarrow$$

Toplam Sehim:

$$\Delta_t = 7.873 + 5.37 + 3.149 = 16.392 \text{ mm} \downarrow$$

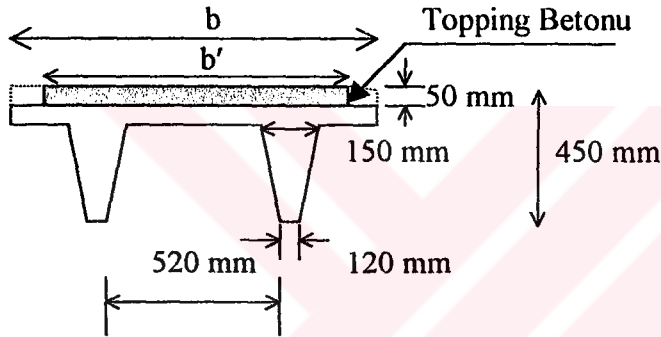
$$\frac{l}{480} = 20.83 \text{ mm} > 16.392 \text{ mm}$$

14.3. Kompozit Olarak Çalışan Öngerilmeli T Plak Döşeme

Öngerilmeli beton elemanlar sonradan dökülmüş betonla beraber çalışabilirler. Bu durumda yatay kesme için kayma donatısı kullanılması veya öngerilmeli beton yüzeyinin pürüzlendirilmesi gerekir. Üzerine normal beton dökülecek ayrı döküm birleşimli elemanın yüzeyi en az 6 mm yükseklikte taraklanırsa bu yüzey pürüzlü sayılabilir [1].

Bu örnekte; öngerilmeli T plak döşeme kesitinin yüzeyi pürüzlendirilerek yerinde döküm topping betonuyla kompozit olarak çalışması sağlanmıştır.

Kesit ve beton özellikleri verilen topping betonu ile kompozit olarak çalışan öngerilmeli T plak döşemenin taşıma gücü, kayma ve sehim tahkikleri:



$$l = 10000 \text{ mm}$$

Beton Özellikleri:

$$f_c' = 35 \text{ MPa}$$

$$f_{ci}' = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{c(\text{topping})} = 25 \text{ MPa}$$

Öngerme Donatısının Özellikleri:

$$f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$$

Kesit Özellikleri:

$$A = 170500 \text{ mm}^2$$

$$b' = \frac{E_{ci}}{E_c} b = \frac{25300}{29900} \times 1250 = 1057.7 \text{ mm}$$

$$e = 288.27 \text{ mm}$$

$$y_b = 288.27 \text{ mm}$$

$$y_t = 211.73 \text{ mm}$$

$$I_c' = 5317.97 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$S_{bc} = 18448 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$S_{tc} = 25117 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$b_w = 270 \text{ mm}$$

Yük Analizi:

$$w_{dg} = 4.263 \text{ kN/m}$$

$$w_{ds} = 1.25 \text{ kN/m}^2 \times 1.06 \text{ m} = 1.325 \text{ kN/m}$$

$$w_{da} = 0.75 \text{ kN/m}^2 \times 1.25 \text{ m} = 0.938 \text{ kN/m}$$

$$w_l = 5 \text{ kN/m}^2 \times 1.25 \text{ m} = 6.25 \text{ kN/m}$$

Kritik kesit açıklık ortasındadır.

Açıklık ortasındaki servis yükü momentleri:

$$M_{dg} = 4.263 \times 10^2 / 8 = 53.288 \text{ kNm}$$

$$M_{ds} = 1.325 \times 10^2 / 8 = 16.563 \text{ kNm}$$

$$M_{da} = 0.938 \times 10^2 / 8 = 11.725 \text{ kNm}$$

$$M_l = 6.25 \times 10^2 / 8 = 78.125 \text{ kNm}$$

14.3.1. Taşıma Gücü Kontrolü

Öngerme Kuvvetinin Bulunması:

$$f_b = 0.5 \sqrt{f_c} = 2.96 \text{ MPa}$$

$$\frac{P_f}{A_g} + \frac{P_f e_g}{S_{bg}} - \frac{(M_{dg} + M_{ds})}{S_{bg}} - \frac{(M_{da} + M_l)}{S_{bc}} \leq -2.96 \text{ MPa}$$

$$\frac{P_f}{170500} + \frac{P_f \times 232.5}{12238 \times 10^3} - \frac{(53.288 + 16.563) \times 10^6}{12238 \times 10^3} - \frac{(11.725 + 78.125) \times 10^6}{18448 \times 10^3} \leq -2.96 \text{ MPa}$$

$$P_f = 306.44 \text{ kN}$$

$$P_i = 403.22 \text{ kN}$$

$$A_{ps} = \frac{P_i}{0.70 f_{pu}} = 309.7 \text{ mm}^2$$

Seçilen Donatı: 4 tane 13 mm' lik kablo

$$A_{ps} = 4 \times 99 = 396 \text{ mm}^2$$

Başlangıç Durumu:

$$f_t = \frac{P_i}{A_g} - \frac{P_i e_g}{S_{tg}} + \frac{M_{dg}}{S_{tg}}$$

$$f_t = \frac{403.22 \times 10^3}{170500} - \frac{403.22 \times 10^3 \times 232.5}{20640 \times 10^3} + \frac{53.288 \times 10^6}{20640 \times 10^3} = 0.405 \text{ MPa}$$

$$f_b = \frac{P_i}{A_g} + \frac{P_i e_g}{S_{bg}} - \frac{M_{dg}}{S_{bg}}$$

$$f_b = \frac{403.22 \times 10^3}{170500} + \frac{403.22 \times 10^3 \times 232.5}{12238 \times 10^3} - \frac{53.288 \times 10^6}{12238 \times 10^3} = 5.671 \text{ MPa}$$

Topping Betonü Döküldükten Sonraki Durum:

$$f_t = \frac{P_f}{A_g} - \frac{P_f e_g}{S_{tg}} + \frac{(M_{dg} + M_{ds})}{S_{tg}} \quad (14.33)$$

$$f_t = \frac{306.44 \times 10^3}{170500} + \frac{306.44 \times 10^3 \times 232.5}{20640 \times 10^3} - \frac{(53.288 + 16.563) \times 10^6}{20640 \times 10^3} = 1.730 \text{ MPa}$$

$$f_b = \frac{P_f}{A_g} - \frac{P_f e_g}{S_{bg}} + \frac{(M_{dg} + M_{ds})}{S_{bg}} \quad (14.34)$$

$$f_b = \frac{306.44 \times 10^3}{170500} + \frac{306.44 \times 10^3 \times 232.5}{12238 \times 10^3} - \frac{(53.288 + 16.563) \times 10^6}{12238 \times 10^3} = 1.911 \text{ MPa}$$

Final Durumu:

$$f_{ts} = \frac{(M_{da} + M_l)}{S_{tc}} \times \frac{E_{cs}}{E_{cg}} \quad (14.35)$$

$$S_{tc} = \frac{5317.97 \times 10^6}{211.73} = 25117 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$f_{ts} = \frac{(11.725 + 78.125) \times 10^6}{25117 \times 10^3} \times \frac{25300}{29900} = 3.027 \text{ MPa}$$

$$f_{tg} = \frac{P_f}{A_g} - \frac{P_f e_g}{S_{tg}} + \frac{(M_{dg} + M_{ds})}{S_{tg}} + \frac{(M_{da} + M_l)}{S_{ic}} \quad (14.36)$$

$$S_{ic} = \frac{5317.97 \times 10^6}{161.73} = 32882 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$f_{tg} = \frac{306.44 \times 10^3}{170500} - \frac{306.44 \times 10^3 \times 232.5}{20640 \times 10^3} + \frac{(53.288 + 16.563) \times 10^6}{20640 \times 10^3} + \frac{(11.725 + 78.125) \times 10^6}{32882 \times 10^3}$$

$$f_{tg} = 4.462 \text{ MPa}$$

$$f_{bg} = \frac{P_f}{A_g} + \frac{P_f e_g}{S_{bg}} - \frac{(M_{dg} + M_{ds})}{S_{bg}} - \frac{(M_{da} + M_{li})}{S_{bc}} \quad (14.37)$$

$$S_{bc} = \frac{5317.97 \times 10^6}{288.27} = 18448 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$f_{bg} = \frac{306.44 \times 10^3}{170500} + \frac{306.44 \times 10^3 \times 232.5}{12238 \times 10^3} - \frac{(53.288 + 16.563) \times 10^6}{12238 \times 10^3} - \frac{(11.725 + 78.125) \times 10^6}{18448 \times 10^3}$$

$$f_{bg} = -2.96 \text{ MPa}$$

Çatlamadan Sonraki Dayanım:

$$f_r = 0.6 \sqrt{f'_c} = 3.55 \text{ MPa}$$

$$f_b = -2.96 \text{ MPa}$$

$$3.55 - 2.96 = 0.59 \text{ MPa gerekli}$$

Bu gerilme $S_{bc} \times 0.59$ kNm 'lik moment ile oluşur.

$$S_{bc} \times 0.59 = 10.884 \text{ MPa}$$

$$M_{max} = 162.663 \text{ kNm}$$

$$162.663 + 10.884 = 173.547 \text{ MPa}$$

$$\frac{\phi M_n}{M_{cr}} = \frac{282.42}{173.547} = 1.63 > 1.20$$

14.3.2. Sehim Tahkikleri

Zati Ağırlıktan Kaynaklanan Elastik Sehim:

$$\Delta_d = \frac{5 w_{dg} l^4}{384 E_{ci} I_c}$$

$$\Delta_d = \frac{5 \times 4.263 \times 10000^4}{384 \times 25300 \times 3457 \times 10^6} = 6.346 \text{ mm} \downarrow$$

Hareketli Yükten Kaynaklanan Ani Sehim:

$$\Delta_l = \frac{5 w_l l^4}{384 E_c I_c} = \frac{5 \times 6.25 \times 10000^4}{384 \times 29900 \times 3457 \times 10^6} = 7.873 \text{ mm} \downarrow$$

Öngermeden kaynaklanan başlangıç eğriligi:

$$\Delta = \frac{P_f e l^2}{8 E_{ci} I_c} = \frac{306.44 \times 232.5 \times 10000^2 \times 10^3}{8 \times 25300 \times 3457 \times 10^6} = 10.183 \text{ mm } \uparrow$$

Serbest Haldeki Sehim:

$$10.183 - 6.346 = 3.837 \text{ mm } \uparrow$$

Topping Betonunun Ağırlığından Kaynaklanan Elastik Sehim:

$$\Delta = \frac{5 w_{ds} l^4}{384 E_c I_c} = \frac{5 \times 1.325 \times 10000^4}{384 \times 29900 \times 3457 \times 10^6} = 1.669 \text{ mm } \downarrow$$

Kaplama Ağırlığından Kaynaklanan Elastik Sehim:

$$\Delta = \frac{5 w_{da} l^4}{384 E_c I_c'} = \frac{5 \times 0.938 \times 10000^4}{384 \times 29900 \times 5317.97 \times 10^6} = 0.768 \text{ mm } \downarrow$$

Topping Betonu Döküldükten Sonraki Sonraki Net Sehim:

$$\Delta_{net} = 1.80 \times (-10.183) + 1.85 \times 6.346 = 6.589 \text{ mm } \uparrow$$

Uzun Süreli Toplam Sehim:

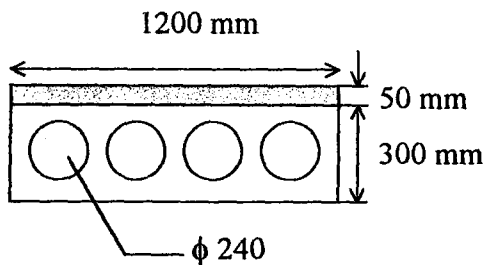
$$\Delta_t = 2.40 \times 6.346 + 2.20 \times (-10.183) + 2.30 \times 1.669 + 3.00 \times 0.768 = 1.03 \text{ mm } \uparrow$$

$$\text{Net Sehim: } 6.589 - 1.03 = 5.559 \text{ mm } \downarrow$$

$$\frac{l}{480} = 20.83 \text{ mm} > 5.559 \text{ mm}$$

14.4. Öngerilmeli Boşluklu Döşeme

Kesit ve beton özellikleri verilen öngerilmeli boşluklu döşemenin taşıma gücü, kayma ve sehim tahkikleri:



$$l = 10000 \text{ mm}$$

Beton Özellikleri:

$$f_c' = 35 \text{ MPa}$$

$$f_{ci}' = 25 \text{ MPa}$$

Öngerme Donatısı Özellikleri:

$$f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$$

Kesit Özellikleri:

$$A = 179000 \text{ mm}^2$$

$$I = 2049 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$y_b = 150 \text{ mm}$$

$$y_t = 150 \text{ mm}$$

$$S_b = 13657 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$S_t = 13657 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$b_w = 240 \text{ mm}$$

Yük Analizi:

$$w_d = 3.57 \text{ kN/m}^2 \times 1.20 \text{ m} = 4.28 \text{ kN/m}$$

$$w_{ds} = 1.25 \text{ kN/m}^2 \times 1.20 \text{ m} = 1.50 \text{ kN/m}$$

$$w_{da} = 0.75 \text{ kN/m}^2 \times 1.20 \text{ m} = 0.90 \text{ kN/m}$$

$$w_l = 5 \text{ kN/m}^2 \times 1.20 \text{ m} = 6.00 \text{ kN/m}$$

14.4.1. Taşıma Gücü Kontrolü

Kritik kesit açıklık ortasındadır.

Açıklık ortasındaki servis yükü momentleri:

$$M_d = 4.28 \times 10^2 / 8 = 53.50 \text{ kNm}$$

$$M_{sd} = 2.40 \times 10^2 / 8 = 30.00 \text{ kNm}$$

$$M_l = 6.00 \times 10^2 / 8 = 75.00 \text{ kNm}$$

$$M_g = M_d + M_{sd} = 83.50 \text{ kNm}$$

$$M_q = M_l = 75.00 \text{ kNm}$$

$$M_n = 1.4M_g + 1.7M_q = 244.40 \text{ kNm}$$

$$M_{max} = M_g + M_q = 158.50 \text{ kNm}$$

$$P_f \geq \frac{M_{max} - S_b f_b}{e + k_t}$$

$$f_b = 0.5\lambda \sqrt{f'_c} = 2.96 \text{ MPa}$$

$$k_t = S_b / A = 71.78 \text{ mm}$$

$$e + k_t = 186.30 \text{ mm}$$

$$P_f \geq \frac{158.50 \times 10^6 - 13657 \times 10^3 \times 2.96}{186.30} = 633.804 \text{ kN}$$

$$f_{pf} = 1080 \text{ Mpa}$$

$$A_{ps} \geq \frac{633.804 \times 10^3}{1080} = 586.86 \text{ mm}^2$$

$$\phi M_n = \phi (A_{ps} \times 0.95 f_{pu} + A_s f_y) \times 0.9 h$$

$$\phi M_n = 0.77 \times A_{ps} \times 1860 \times 300$$

$$A_{ps} \geq \frac{244.40 \times 10^6}{0.77 \times 1860 \times 300} = 568.82 \text{ mm}^2$$

Seçilen Donatı: 8 tane 13 mm' lik kablo

$$A_{ps} = 8 \times 99 = 792 \text{ mm}^2$$

Öngerme Kuvvetleri:

$$P_i = A_{ps} \times 0.70 \times f_{pu} = 1031.18 \text{ kN}$$

$$P_0 = 0.90 \times P_i = 928.07 \text{ kN}$$

$$P_f = 0.76 \times P_i = 783.70 \text{ kN}$$

$$e \leq k_b + \left(\frac{M_{min} + S_t \cdot f_t}{P_i} \right)$$

$$M_{min} = M_d = 53.50 \times 10^6 \text{ kNm}$$

$$k_b = S_t / A = 76.296 \text{ mm}$$

$$f_t = 0.5 \sqrt{f_{ci}} = 2.5 \text{ MPa}$$

$$e \leq 161.29 \text{ mm}$$

Gerilme Kontrolleri:

$$M_{max} = 158.50 \text{ kNm}$$

$$M_{min} = 53.50 \text{ kNm}$$

Başlangıçta:

$$f_t = \frac{P_i}{A} - \frac{P_i \cdot e}{S_t} + \frac{M_{min}}{S_t}$$

$$f_t = \frac{1031.18 \times 10^3}{179000} - \frac{1031.18 \times 10^3 \times 110}{13657 \times 10^3} + \frac{53.50 \times 10^6}{13657 \times 10^3} = 1.373 \text{ MPa}$$

$$f_b = \frac{P_i}{A} + \frac{P_i \cdot e}{S_b} - \frac{M_{min}}{S_b}$$

$$f_b = \frac{1031.18 \times 10^3}{179000} + \frac{1031.18 \times 10^3 \times 110}{13657 \times 10^3} - \frac{53.50 \times 10^6}{13657 \times 10^3} = 10.149 \text{ MPa}$$

Finalde:

$$f_t = \frac{P_f}{A} - \frac{P_f e}{S_t} + \frac{M_{\max}}{S_t}$$

$$f_t = \frac{783.70 \times 10^3}{179000} - \frac{783.70 \times 10^3 \times 110}{13657 \times 10^3} + \frac{158.50 \times 10^6}{13657 \times 10^3} = 9.672 \text{ MPa}$$

$$f_b = \frac{P_f}{A} + \frac{P_f e}{S_b} - \frac{M_{\max}}{S_b}$$

$$f_b = \frac{783.70 \times 10^3}{179000} + \frac{783.70 \times 10^3 \times 110}{13657 \times 10^3} - \frac{158.50 \times 10^6}{13657 \times 10^3} = -0.915 \text{ MPa}$$

Taşıma Kapasitesi Kontrolü:

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - 0.5 \rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} \right)$$

$$f_{ps} = 1860 \left(1 - 0.5 \frac{792 \times 1860}{1200 \times 260 \times 35} \right) = 1734.54 \text{ MPa}$$

$$a = \frac{A_{ps} f_{ps}}{0.85 f'_c b} = \frac{792 \times 1734.54}{0.85 \times 35 \times 1200} = 38.48 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi A_{ps} f_{ps} (d_p - a/2) = 297.67 \text{ kNm} > 244.40 \text{ kNm}$$

Çatlamadan Sonraki Dayanım:

$$f_r = 0.6 \sqrt{f'_c} = 3.55 \text{ Mpa}$$

$$f_b = 0.915 \text{ Mpa (Çekme)}$$

$$3.55 - 0.915 = 2.635 \text{ MPa gereklidir.}$$

Bu gerilme $S_b \times 2.635 \text{ kNm}$ 'lik moment ile oluşur.

$$S_b \times 2.635 = 35.986 \text{ kNm}$$

$$M_{cr} = 158.50 + 35.986 = 194.486 \text{ kNm}$$

$$\frac{\phi M_n}{M_{cr}} = \frac{297.67}{194.486} = 1.53 > 1.20$$

Çatlamadan sonra kesitte dayanım devam etmektedir.

14.4.2. Kayma Hesabı

Kayma hesabı taşıma gücüne göre yapılır [1].

$$w_u = 1.4 (4.28+2.40)+1.7 \times 6.00 = 19.552 \text{ kN/m}$$

$$V_u = 19.552 \times 10 / 2 = 97.76 \text{ kN}$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{97.76}{0.85} = 115.01 \text{ kN}$$

$$V_n = V_c + V_s$$

Boşluklu döşemelerde kesme kuvveti beton tarafından karşılanır. Bu yüzden;

$$V_c \geq V_n \text{ olmalıdır.}$$

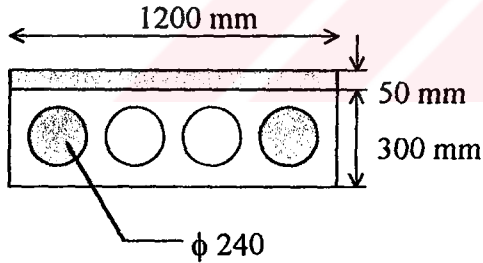
$$V_c = \left(0.05 \sqrt{f'_c} + 5 \frac{V_u}{M_u} d \right) b_w d$$
$$V_c = \left(0.05 \sqrt{35} + 5 \times \frac{97.76 \times 10^3}{244.40 \times 10^6} \times 260 \right) \times \frac{240 \times 260}{10^3} = 50.91 \text{ kN}$$

$$0.17 \sqrt{f'_c} b_w d \leq V_c \leq 0.4 \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$62.76 \text{ kN} \leq V_c \leq 147.67 \text{ kN}$$

$$V_c < 115.01 \text{ kN}$$

Bu durumda $b_w d = A_c$ ve boşlukların ikisi dolu kabul edilip hesap tekrarlanır.



$$b_w = 720 \text{ mm}$$

$$A_c = 179000 + \pi \times 240^2 / 2 = 269480 \text{ mm}^2$$

$$w_d = 269480 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \times 25 \text{ kN/m}^3 = 6.74 \text{ kN/m}$$

$$w_u = 1.4 (6.74+2.40)+1.7 \times 6.00 = 22.996 \text{ kN/m}$$

$$V_u = 22.996 \times 10 / 2 = 114.98 \text{ kN}$$

$$M_d = 6.74 \times 10^2 / 8 = 84.25 \text{ kNm}$$

$$M_{sd} = 2.40 \times 10^2 / 8 = 30.00 \text{ kNm}$$

$$M_l = 6.00 \times 10^2 / 8 = 75.00 \text{ kNm}$$

$$M_g = M_d + M_{sd} = 83.50 \text{ kNm}$$

$$M_q = M_l = 75.00 \text{ kNm}$$

$$M_u = 1.4M_g + 1.7M_q = 287.45 \text{ kNm}$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{114.98}{0.85} = 135.27 \text{ kN}$$

$$V_c = (0.05\sqrt{f'_c} + 5 \frac{V_u}{M_u} d) b_w d$$

$$V_c = (0.05\sqrt{35} + 5 \times \frac{114.98 \times 10^3}{287.45 \times 10^6} \times 260) \times 269480 \times 10^{-3} = 219.84 \text{ kN}$$

$$0.17\sqrt{f'_c} b_w d \leq V_c \leq 0.4 \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$188.27 \text{ kN} \leq V_c \leq 443 \text{ kN}$$

$$V_c = 219.84 > 135.27 \text{ kN}$$

14.4.3. Sehim Tahkikleri

Hareketli yükten kaynaklanan ani sehim (Kısa süreli)

$$E_c = W_c^{1.5} \cdot 0.043 \sqrt{f'_c} = (2400)^{1.5} (0.043) \sqrt{35} = 29900 \text{ MPa}$$

$$\Delta_l = \frac{5w_l l^4}{384 E_c I_c} = \frac{5 \times 6.00 \times 10000^4}{384 \times 29900 \times 2049 \times 10^6} = 12.752 \text{ mm} \downarrow$$

$$\frac{l}{360} = 27.78 \text{ mm} > 12.752 \text{ mm}$$

Zati ağırlıktan kaynaklanan elastik sehim :

$$\Delta_d = \frac{5w_d l^4}{384 E_{ci} I_c}$$

$$E_{ci} = W_c^{1.5} \times 0.043 \sqrt{f_{ci}} = (2400)^{1.5} \times 0.043 \sqrt{25} = 25300 \text{ MPa}$$

$$\Delta_d = \frac{5 \times 4.28 \times 10000^4}{384 \times 25300 \times 2049 \times 10^6} = 10.75 \text{ mm} \downarrow$$

Öngermeden kaynaklanan başlangıç eğriligi:

$$\Delta_p = \frac{P_o e l^2}{8 E_{ci} I_c} = \frac{928.07 \times 110 \times 10000^2 \times 10^3}{8 \times 25300 \times 2049 \times 10^6} = 24.62 \text{ mm} \uparrow$$

Montaj aşamasındaki net sehim:

$$\Delta = 1.85 \times 10.75 - 1.80 \times 24.62 = 24.43 \uparrow$$

Ölü ve Hareketli Yüklerden Kaynaklanan Elastik Sehim:

$$\Delta = \frac{5w l^4}{384 E_{ci} I_c} = \frac{5(2.40+0.30 \times 6.00) \times 10000^4}{384 \times 25300 \times 2049 \times 10^6} = 10.55 \text{ mm} \downarrow$$

Uzun Süreli Toplam Sehim:

$$\Delta = 2.70 \times 10.75 - 2.45 \times 24.43 + 3.00 \times 10.55 = 0.822 \text{ mm} \downarrow$$

$$0.822 - (-24.43) = 25.25 \text{ mm} \downarrow$$

Hareketli yükten kaynaklanan ani sehim:

$$\Delta = 0.70 \times 12.752 = 8.926 \text{ mm} \downarrow$$

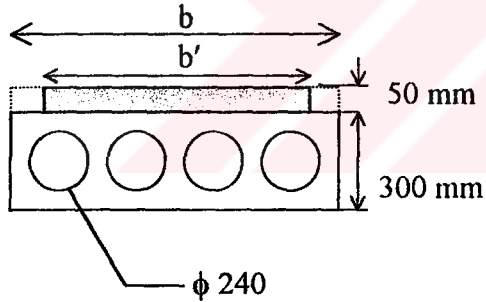
$$\Delta = 25.25 + 8.926 = 34.176 \text{ mm} \downarrow$$

$$\frac{l}{240} = 41.67 \text{ mm} > 34.176 \text{ mm}$$

14.5. Kompozit Olarak Çalışan Öngerilmeli Boşluklu Döşeme

Öngerilmeli beton yüzeyi pürüzlendirilmiş ve kesit kompozit olarak çalıştırılmıştır.

Kesit ve beton özellikleri verilen ve topping betonu ile kompozit olarak çalışan öngerilmeli boşluklu döşemenin taşıma gücü, kayma ve sehim tahkikleri:



$$l = 10000 \text{ mm}$$

Beton Özellikleri:

$$f_c' = 35 \text{ MPa}$$

$$f_{ci}' = 25 \text{ MPa}$$

Öngerme Donatısı Özellikleri:

$$f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$$

Kesit Özellikleri:

$$A = 179000 \text{ mm}^2$$

$$I_c' = 3421 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$y_{bc} = 194 \text{ mm}$$

$$y_{tc} = 156 \text{ mm}$$

$$S_{bc} = 17635 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$S_{tc} = 21931 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$b_w = 240 \text{ mm}$$

Yük Analizi:

$$w_{dg} = 3.57 \text{ kN/m}^2 \times 1.20 \text{ m} = 4.28 \text{ kN/m}$$

$$w_{ds} = 1.25 \text{ kN/m}^2 \times 1.015 \text{ m} = 1.269 \text{ kN/m}$$

$$w_{da} = 0.75 \text{ kN/m}^2 \times 1.20 \text{ m} = 0.90 \text{ kN/m}$$

$$w_l = 5 \text{ kN/m}^2 \times 1.20 \text{ m} = 6.00 \text{ kN/m}$$

14.5.1. Taşıma Gücü Kontrolü

Kritik kesit açıklık ortasındadır.

Açıklık ortasındaki servis yükü momentleri:

$$M_{dg} = 4.28 \times 10^2 / 8 = 53.50 \text{ kNm}$$

$$M_{ds} = 1.269 \times 10^2 / 8 = 15.86 \text{ kNm}$$

$$M_{da} = 0.90 \times 10^2 / 8 = 11.25 \text{ kNm}$$

$$M_l = 6.00 \times 10^2 / 8 = 75.00 \text{ kNm}$$

$$M_g = M_d + M_{sd} = 83.50 \text{ kNm}$$

$$M_q = M_l = 75.00 \text{ kNm}$$

$$M_n = 1.4M_g + 1.7M_q = 244.40 \text{ kNm}$$

$$M_{max} = M_g + M_q = 158.50 \text{ kNm}$$

Öngerme Kuvvetinin Bulunması:

$$f_b = 0.5\sqrt{f_c'} = 2.96 \text{ MPa}$$

$$\frac{P_f}{A_g} + \frac{P_f e_g}{S_{bg}} - \frac{(M_{dg} + M_{ds})}{S_{bg}} - \frac{(M_{da} + M_l)}{S_{bc}} \leq -2.96 \text{ MPa}$$

$$\frac{P_f}{179000} + \frac{P_f \times 110}{13657 \times 10^3} - \frac{(71.875 + 15.86) \times 10^6}{13657 \times 10^3} - \frac{(11.25 + 75.00) \times 10^6}{17634 \times 10^3} \leq -2.96 \text{ MPa}$$

$$P_f = 513.92 \text{ kN}$$

$$P_i = \frac{P_f}{0.76} = 676.21 \text{ kN}$$

$$A_{ps} = \frac{P_i}{0.70 f_{pu}} = 519.36 \text{ mm}^2$$

Seçilen Donatı: 8 tane 11 mm' lik kablo

$$A_{ps} = 8 \times 99 = 592 \text{ mm}^2$$

Başlangıç Durumu:

$$f_t = \frac{P_i}{A_g} - \frac{P_i e_g}{S_{tg}} + \frac{M_{dg}}{S_{tg}}$$

$$f_t = \frac{676.21 \times 10^3}{179000} - \frac{676.21 \times 10^3 \times 110}{13657 \times 10^3} + \frac{53.50 \times 10^6}{13657 \times 10^3} = 2.249 \text{ MPa}$$

$$f_b = \frac{P_i}{A_g} + \frac{P_i e_g}{S_{bg}} - \frac{M_{dg}}{S_{bg}}$$

$$f_b = \frac{676.21 \times 10^3}{179000} + \frac{676.21 \times 10^3 \times 110}{13657 \times 10^3} - \frac{53.50 \times 10^6}{13657 \times 10^3} = 5.307 \text{ MPa}$$

Topping Betonü Döküldükten Sonraki Durum:

$$f_t = \frac{P_f}{A_g} - \frac{P_f e_g}{S_{tg}} + \frac{(M_{dg} + M_{ds})}{S_{tg}}$$

$$f_t = \frac{513.92 \times 10^3}{179000} + \frac{513.92 \times 10^3 \times 110}{13657 \times 10^3} - \frac{(53.50 + 15.86) \times 10^6}{13657 \times 10^3} = 3.810 \text{ MPa}$$

$$f_b = \frac{P_f}{A_g} - \frac{P_f e_g}{S_{bg}} + \frac{(M_{dg} + M_{ds})}{S_{bg}}$$

$$f_b = \frac{513.92 \times 10^3}{179000} + \frac{513.92 \times 10^3 \times 110}{13657 \times 10^3} - \frac{(53.50 + 15.86) \times 10^6}{13657 \times 10^3} = 1.932 \text{ MPa}$$

Final Durumu:

$$f_{ts} = \frac{(M_{da} + M_l)}{S_{tc}} \times \frac{E_{cs}}{E_{cg}}$$

$$S_{tc} = \frac{3421 \times 10^6}{211.73} = 21930 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$f_{ts} = \frac{(11.25 + 75.00) \times 10^6}{21930 \times 10^3} \times \frac{25300}{29900} = 3.328 \text{ MPa}$$

$$f_{tg} = \frac{P_f}{A_g} - \frac{P_f e_g}{S_{tg}} + \frac{(M_{dg}+M_{ds})}{S_{tg}} + \frac{(M_{da}+M_l)}{S_{ic}}$$

$$S_{ic} = \frac{3421 \times 10^6}{106} = 32274 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$f_{tg} = \frac{513.92 \times 10^3}{179000} - \frac{513.92 \times 10^3 \times 110}{13657 \times 10^3} + \frac{(53.50+15.86) \times 10^6}{13657 \times 10^3} + \frac{(11.25+75.00) \times 10^6}{32274 \times 10^3}$$

$$f_{tg} = 6.483 \text{ MPa}$$

$$f_{bg} = \frac{P_f}{A_g} + \frac{P_f e_g}{S_{bg}} - \frac{(M_{dg}+M_{ds})}{S_{bg}} - \frac{(M_{da}+M_l)}{S_{bc}}$$

$$S_{bc} = \frac{3421 \times 10^6}{194} = 17634 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$f_{bg} = \frac{513.92 \times 10^3}{179000} + \frac{513.92 \times 10^3 \times 110}{13657 \times 10^3} - \frac{(53.50+15.86) \times 10^6}{13657 \times 10^3} - \frac{(11.25+75.00) \times 10^6}{17634 \times 10^3}$$

$$f_{bg} = -2.96 \text{ MPa}$$

Çatlamadan Sonraki Dayanım:

$$f_r = 0.6 \sqrt{f'_c} = 3.55 \text{ MPa}$$

$$f_b = -2.96 \text{ MPa}$$

$$3.55 - 2.96 = 0.59 \text{ MPa gerekli}$$

Bu gerilme $S_{bc} \times 0.59$ kNm 'lik moment ile oluşur.

$$S_{bc} \times 0.59 = 10.404 \text{ MPa}$$

$$M_{max} = 158.50 \text{ kNm}$$

$$158.50 + 10.404 = 168.904 \text{ MPa}$$

$$\frac{\phi M_n}{M_{cr}} = \frac{297.67}{168.904} = 1.76 > 1.20$$

14.5.2. Kayma Hesabı

Kayma hesabı taşıma gücüne göre yapılır.

$$w_u = 1.4 (4.28+2.40) + 1.7 \times 6.00 = 19.552 \text{ kN/m}$$

$$V_u = 19.552 \times 10 / 2 = 97.76 \text{ kN}$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{97.76}{0.85} = 115.01 \text{ kN}$$

$$V_n = V_c + V_s$$

Boşluklu döşemelerde kesme kuvveti beton tarafından karşılanır. Bu yüzden;

$$V_c \geq V_n \text{ olmalıdır.}$$

$$V_c = (0.05\sqrt{f'_c} + 5 \frac{V_u}{M_u} d) b_w d$$

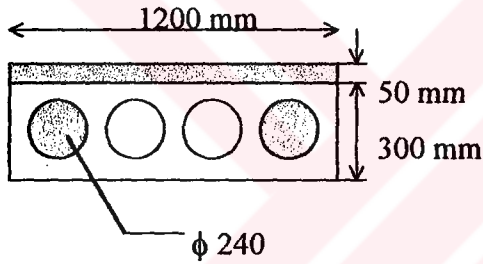
$$V_c = (0.05\sqrt{35} + 5 \times \frac{97.76 \times 10^3}{244.40 \times 10^6} \times 310) \times \frac{240 \times 310}{10^3} = 50.91 \text{ kN}$$

$$0.17\sqrt{f'_c} b_w d \leq V_c \leq 0.4 \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$62.76 \text{ kN} \leq V_c \leq 147.67 \text{ kN}$$

$$V_c < 115.01 \text{ kN}$$

Bu durumda $b_w d = A_c$ ve boşlukların ikisi dolu kabul edilip hesap tekrarlanır.



$$b_w = 720 \text{ mm}$$

$$A_c = 179000 + \pi \times 240^2 / 2 = 269480 \text{ mm}^2$$

$$w_d = 269480 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \times 25 \text{ kN/m}^3 = 6.74 \text{ kN/m}$$

$$w_u = 1.4 (6.74 + 2.40) + 1.7 \times 6.00 = 22.996 \text{ kN/m}$$

$$V_u = 22.996 \times 10 / 2 = 114.98 \text{ kN}$$

$$M_d = 6.74 \times 10^2 / 8 = 84.25 \text{ kNm}$$

$$M_{sd} = 2.40 \times 10^2 / 8 = 30.00 \text{ kNm}$$

$$M_l = 6.00 \times 10^2 / 8 = 75.00 \text{ kNm}$$

$$M_g = M_d + M_{sd} = 83.50 \text{ kNm}$$

$$M_q = M_l = 75.00 \text{ kNm}$$

$$M_u = 1.4 M_g + 1.7 M_q = 287.45 \text{ kNm}$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{114.98}{0.85} = 135.27 \text{ kN}$$

$$V_c = (0.05\sqrt{f'_c} + 5 \frac{V_u}{M_u} d) b_w d$$

$$V_c = (0.05\sqrt{35} + 5 \frac{114.98 \times 10^3}{287.45 \times 10^6} \times 260) \times 269480 \times 10^{-3} = 219.84 \text{ kN}$$

$$0.17\sqrt{f'_c} b_w d \leq V_c \leq 0.4 \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$188.27 \text{ kN} \leq V_c \leq 443 \text{ kN}$$

$$V_c = 219.84 > 135.27 \text{ kN}$$

14.5.3. Sehim Tahkikleri

Hareketli Yükten Kaynaklanan Ani Sehim :

$$E_c = W_c^{1.5} \cdot 0.043 \sqrt{f'_c} = (2400)^{1.5} (0.043) \sqrt{35} = 29900 \text{ MPa}$$

$$\Delta_l = \frac{5 w_l l^4}{384 E_c I_c} = \frac{5 \times 6.00 \times 10000^4}{384 \times 29900 \times 2049 \times 10^6} = 12.752 \text{ mm} \downarrow$$

$$\frac{l}{360} = 27.78 \text{ mm} > 12.752 \text{ mm}$$

Zati ağırlıktan kaynaklanan elastik sehim :

$$\Delta_d = \frac{5 w_d \cdot l^4}{384 E_{ci} I_c}$$

$$E_{ci} = W_c^{1.5} \times 0.043 \times \sqrt{f_{ci}} = (2400)^{1.5} \times 0.043 \times \sqrt{25} = 25300 \text{ MPa}$$

$$\Delta_d = \frac{5 \times 4.28 \times 10000^4}{384 \times 25300 \times 2049 \times 10^6} = 10.75 \text{ mm} \downarrow$$

Öngermenden kaynaklanan başlangıç sehim:

$$\Delta_p = \frac{P_f e l^2}{8 E_{ci} I_c} = \frac{513.92 \times 110 \times 10000^2 \times 10^3}{8 \times 25300 \times 2049 \times 10^6} = 13.63 \text{ mm} \uparrow$$

$$\text{Serbest haldeki sehim: } 13.63 - 10.75 = 2.88 \text{ mm}$$

Topping Betonunun Zati Ağırlığından Kaynaklanan Elastik Sehim:

$$\Delta = \frac{5 w l^4}{384 E_c I_c} = \frac{5 \times 1.269 \times 10000^4}{384 \times 29900 \times 2049 \times 10^6} = 2.697 \text{ mm} \downarrow$$

Kaplama Ağırlığından Kaynaklanan Elastik Şehim:

$$\Delta = \frac{5 w l^4}{384 E_c I_c'} = \frac{5 \times 0.90 \times 10000^4}{384 \times 29900 \times 3421 \times 10^6} = 1.146 \text{ mm} \downarrow$$

Topping Betonü Döküldükten Sonraki Net Eğrilik:

$$\Delta = 1.80 \times (-13.63) + 1.85 \times 10.75 = 4.647 \text{ mm} \uparrow$$

Uzun Süreli Toplam Şehim:

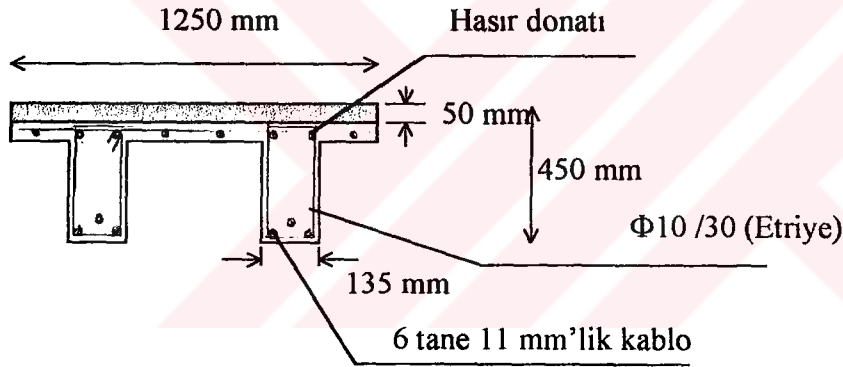
$$\Delta = 2.40 \times 10.75 - 2.20 \times 13.63 + 2.30 \times 2.697 + 3.00 \times 1.146 = 5.455 \text{ mm} \downarrow$$

$$\Delta_{net} = 13.63 + 5.455 = 19.085 \text{ mm} \downarrow$$

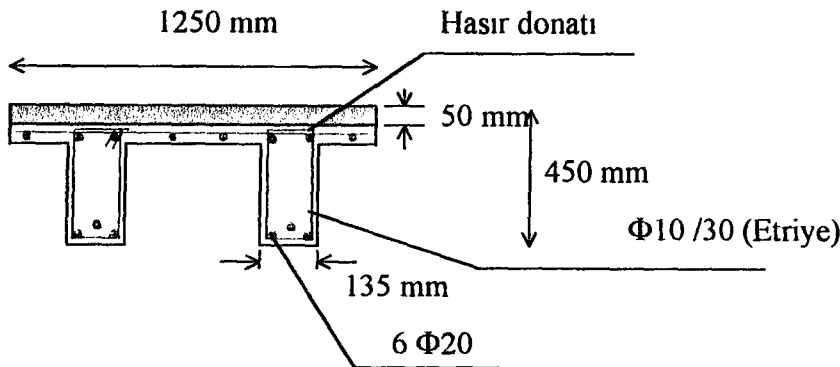
$$\frac{l}{480} = 20.83 \text{ mm} > 19.085 \text{ mm}$$

14.6. Donatı Çizimleri

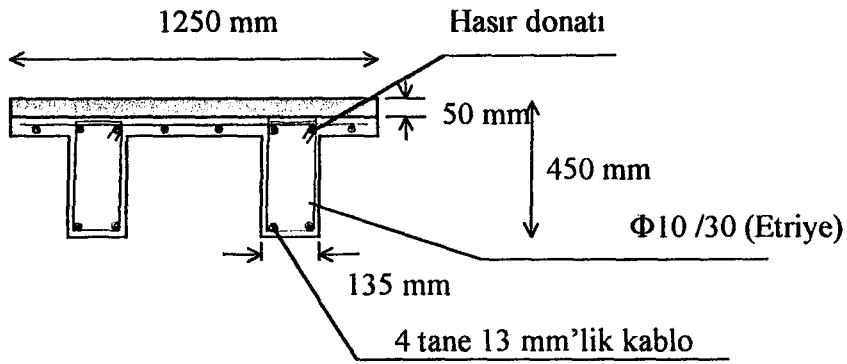
14.6.1. Öngerilmeli T Plak Döşeme Donatı Çizimi



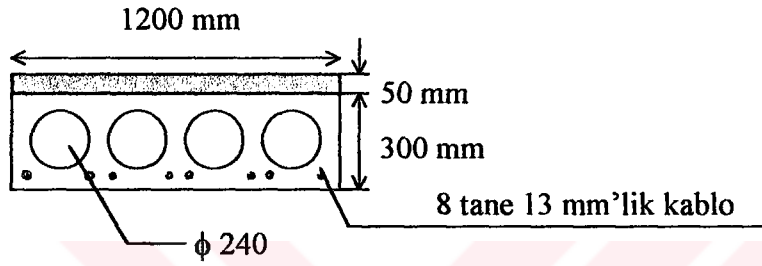
14.6.2. Betonarme T Plak Döşeme Donatı Çizimi



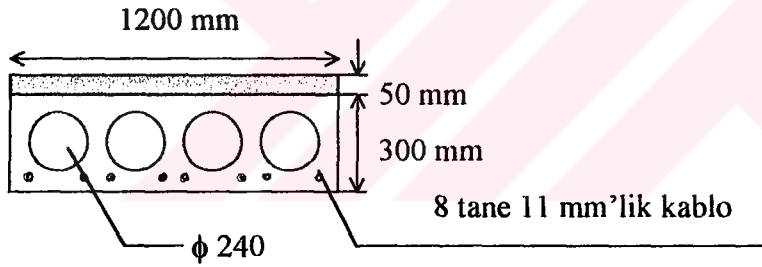
14.6.3. Kompozit Olarak Çalışan Öngerilmeli Π Plak Döşeme Donatı Çizimi



14.6.4. Öngerilmeli Boşluklu Döşeme Donatı Çizimi

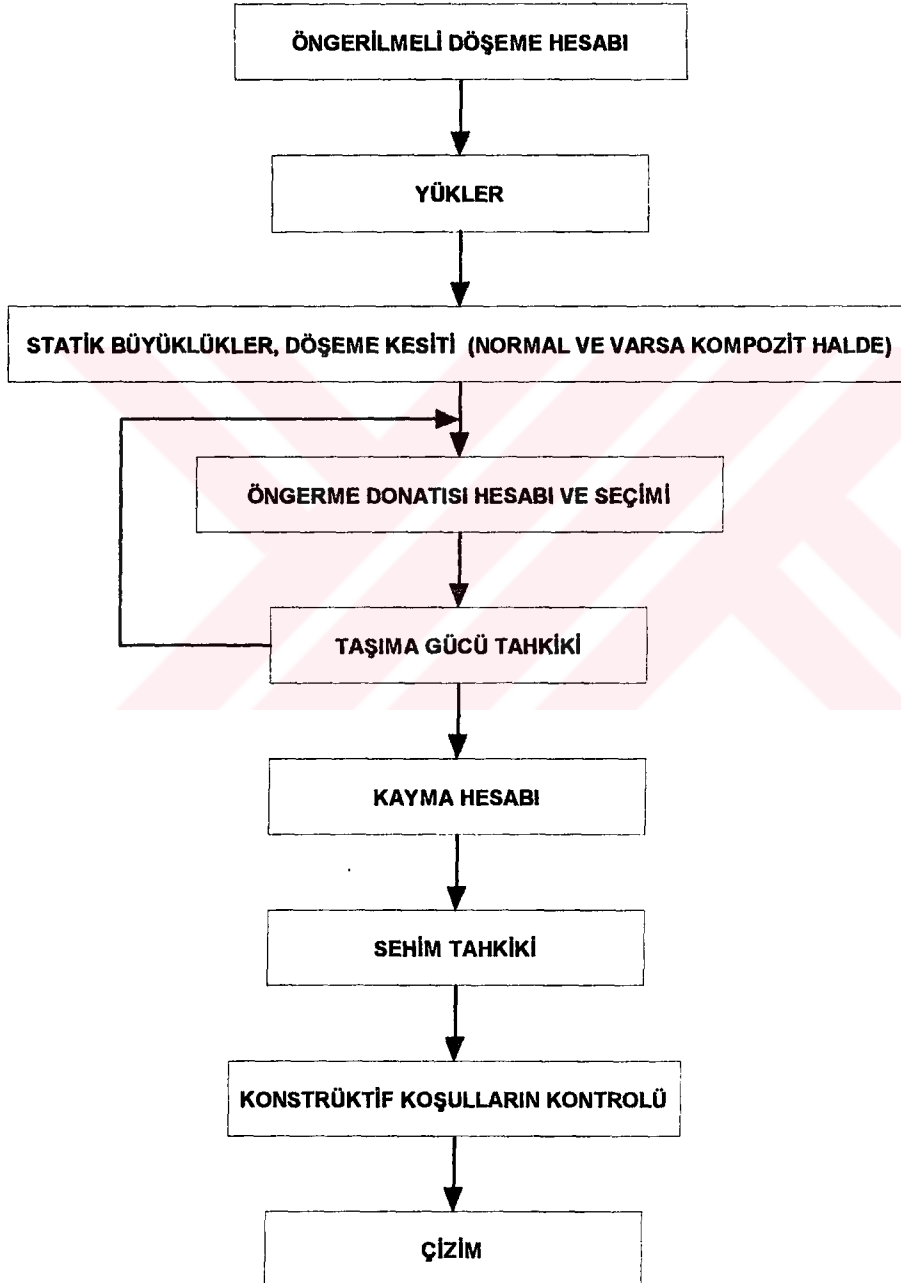


14.6.5. Kompozit Olarak Çalışan Öngerilmeli Boşluklu Döşeme Donatı Çizimi

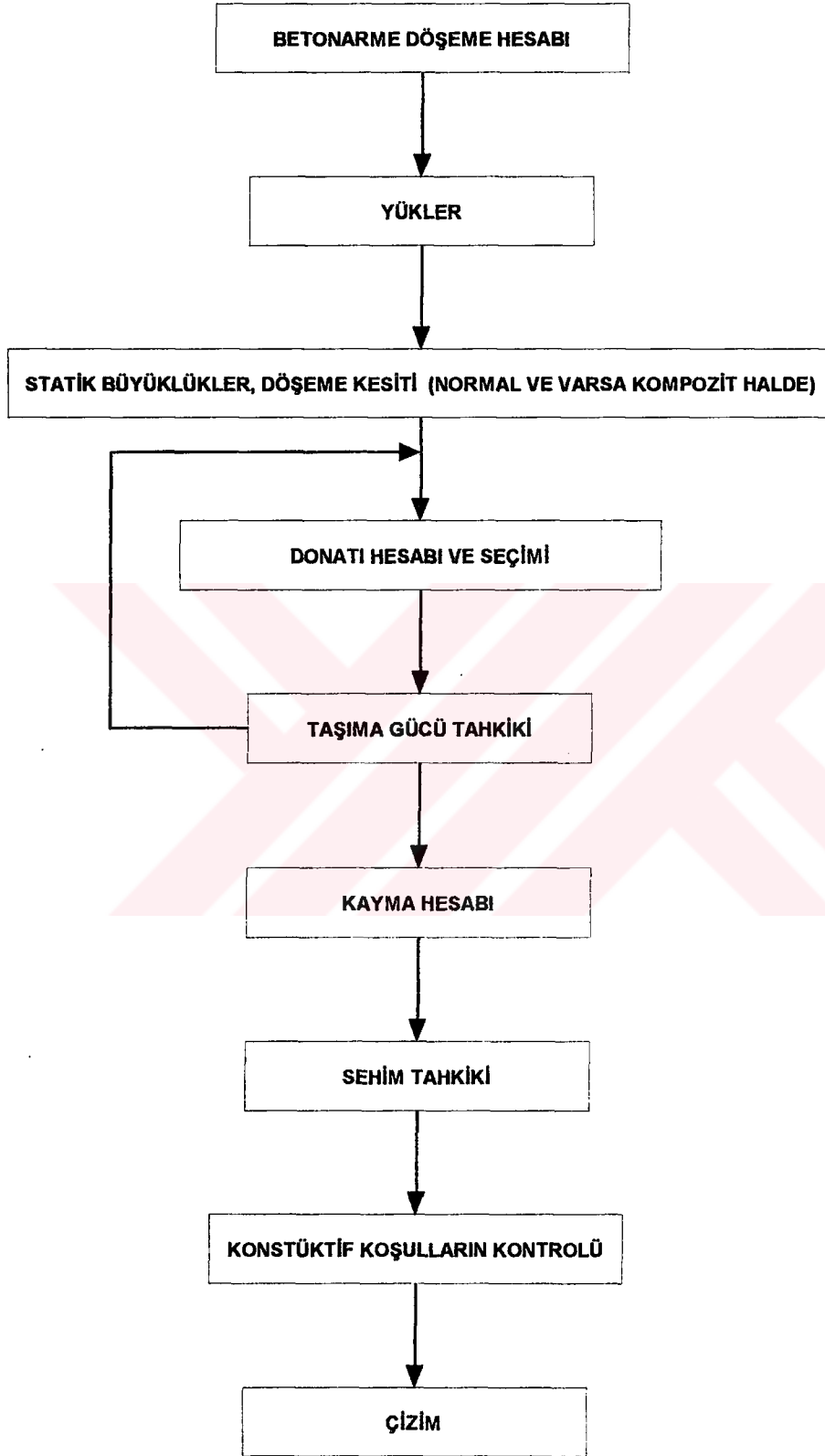


15. DÖŞEME HESABINDA İZLENEN YOL

15.1.Öngerilmeli Döşeme



15.2. Betonarme Döşeme



16. SONUÇ

16.1. Sonuçların Teknik Açıdan Karşılaştırılması

Aynı açıklığa sahip ve aynı faydalı yükü taşıyan Π plak ve boşluklu döşeme kesitleri ile beş ayrı örnek yapılmıştır. Kesitlerde bulunan sehimler şöyledir:

- Öngerilmeli Π Plak:

$$\Delta_t = 14.083 \text{ mm} \downarrow - (\%41 \Delta)$$

- Betonarme Π Plak:

$$\Delta_t = 16.392 \text{ mm} \downarrow - (\%34 \Delta)$$

- Kompozit Olarak Çalışan Öngerilmeli Π Plak:

$$\Delta_t = 5.559 \text{ mm} \downarrow - (\%16 \Delta)$$

- Öngerilmeli Boşluklu Döşeme:

$$\Delta_t = 34.176 \text{ mm} \downarrow - (\Delta)$$

- Kompozit Olarak Çalışan Öngerilmeli Boşluklu Döşeme:

$$\Delta_t = 19.085 \text{ mm} \downarrow - (\%56 \Delta)$$

Π plak, betonarme ve öngerilmeli olarak mukayese edildiğinde hem sehim, hem de gerekli donatı miktarı bakımından öngerilmeli betonun betonarmeye göre daha avantajlı olduğu görülmüştür. Yapılan örneklerde ayrıca, öngerilmeli kesitlerin yerinde dökme topping betonu ile kompozit olarak çalıştırılması da irdelenmiştir. Bu durumda gerekli donatı miktarı ve oluşacak sehimin azalacağı görülmüştür. Ayrıca Π plağın sehimli boşluklu döşemenin sehiminden daha az bulunmuştur.

Boşluklu döşemede, oluşan kesme kuvveti yalnız beton ile karşılanmaktadır. Π plakta ise minimum etriyeye ihtiyaç vardır.

16.2. Sonuçların Ekonomik Açıdan Karşılaştırılması

Ekonomik açıdan karşılaştırma için Yapı Merkezi maliyet tabloları kataloğundan alınan Tablo 16.1'den yararlanılmıştır.

Tablo 16.1 Prefabrike Döşeme Panelleri Maliyet Tablosu [10]

	Birim	Miktar(Kg/m ³)	Fire %	Top.Mik.(Kg/m ³)	B.Fiyat (TL/Kg)	Top.Fiyat (TL/m ³)
BETON HAMMADESİ						21790047
Çimento(PC425)	Kg	425.00	0.05	446.25	32600	14547750
Kum	Kg	316.00	0.05	331.80	4081	1347440
Mıcır 1	Kg	531.00	0.05	557.55	2250	1254488
Mıcır 2	Kg	604.00	0.05	634.20	2250	1426950
Taş Tozu	Kg	298.00	0.05	310.80	2150	668220
Su	Kg	186.00	0.05	195.30	4000	781200
Katkı	Kg	5.00	0.05	5.25	336000	1764000
DONATI HAMMADESİ						
ST3	Kg		0.05		134188	
Hasır Çelik	Kg		0.05		210000	
Öngerme Teli	Kg		0.11		387416	
İŞÇİLİK						
Direkt	AXS/m ³	5.97	0.01	6.00	3675210	22050709
Demir A.	Kg			120.77	54096	6533382
Diğer	AXS/m ³	0.99	0.01	1.00	1489495	1489346
ENERJİ GİDERLERİ						1715385
Elektrik (Kws)				9.096	40810	371208
Motorin (Lı)				1.848	368803	881548
Fueloil (Lı)				3.576	185299	882629
DİĞER DEĞİŞKEN GİDERLER						4360651
İMALAT SABİT GİDERLERİ						32618762
TEKNİK PERSONEL						15232100
YRD. ÜNİTE PAYI						4424974
AMORTİSMAN						8386467
KİRA GİDERİ						0
DİĞER						

Tabloda verilen birim maliyetlerden yararlanılarak şu sonuçlar elde edilmiştir:

- Öngerilmeli II Plak:

$$V_{\text{beton}} = 170500 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \times 10 \text{ m} = 1.705 \text{ m}^3$$

Beton: $1.705 \text{ m}^3 \times 21790047 \text{ TL/m}^3 = 37152030 \text{ TL}$
 ST3 Çelik: $51.81 \text{ kg} (1+0.05) \times 134188 \text{ TL/kg} = 7299894 \text{ TL}$
 Hasır Çelik: $13 \text{ kg} (1+0.05) \times 210000 \text{ TL} = 2866500 \text{ TL}$
 Öngerme Teli: $34.92 \text{ kg} (1+0.11) \times 387416 = 15016709 \text{ TL}$
 İşçilik: $1.705 \text{ m}^3 \times 30073437 \text{ TL/m}^3 = 51275210 \text{ TL}$
 Enerji Giderleri: $1.705 \text{ m}^3 \times 1715385 \text{ TL/m}^3 = 2924731 \text{ TL}$
 Diğer Giderler: $1.705 \text{ m}^3 \times 4360651 \text{ TL/m}^3 = 7434910 \text{ TL}$
 İmalat Sabit Giderleri: $1.705 \text{ m}^3 \times 32618762 \text{ TL/m}^3 = 55614989 \text{ TL}$
 Üretim Maliyeti: $179584973 \text{ TL} - (A)$

• Betonarme II Plak:

$$V_{\text{beton}} = 170500 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \times 10 \text{ m} = 1.705 \text{ m}^3$$

$$W_{\text{çelik}} = 6 \times 2.355 \text{ kg / m} \times 10 \text{ m} = 141.3 \text{ kg}$$

$$W_{\text{arıye}} = 0.785 \text{ kg / m} \times 2 \times 33 \times 1 \text{ m} = 51.81 \text{ kg}$$

$$W_{\text{hasır}} = 1.04 \text{ kg / m} \times 1.25 \times 10 \text{ m} = 13 \text{ kg}$$

$$\text{Beton: } 1.705 \text{ m}^3 \times 21790047 \text{ TL/m}^3 = 37152030 \text{ TL}$$

$$\text{ST3 Çelik: } 7299894 \text{ TL} + 141.3 \text{ kg} (1+0.05) \times 134188 \text{ TL/kg} = 27208697 \text{ TL}$$

$$\text{Hasır Çelik: } 13 \text{ kg} (1+0.05) \times 210000 \text{ TL} = 2866500 \text{ TL}$$

$$\text{İşçilik: } 1.705 \text{ m}^3 \times 28584091 \text{ TL/m}^3 = 48735875 \text{ TL}$$

$$\text{Enerji Giderleri: } 1.705 \text{ m}^3 \times 1715385 \text{ TL/m}^3 = 2924731 \text{ TL}$$

$$\text{Diğer Giderler: } 1.705 \text{ m}^3 \times 4360651 \text{ TL/m}^3 = 7434910 \text{ TL}$$

$$\text{İmalat Sabit Giderleri: } 1.705 \text{ m}^3 \times 32618762 \text{ TL/m}^3 = 55614989 \text{ TL}$$

$$\text{Üretim Maliyeti: } 181937732 \text{ TL} - (1.013A)$$

• Kompozit Olarak Çalışan Öngerilmeli II Plak:

$$V_{\text{beton}} = 175800 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \times 10 \text{ m} = 1.758 \text{ m}^3$$

$$W_{\text{çelik}} = 4 \times 0.775 \text{ kg / m} \times 10 \text{ m} = 31 \text{ kg}$$

$$W_{\text{arıye}} = 0.785 \text{ kg / m} \times 2 \times 33 \times 1 \text{ m} = 51.81 \text{ kg}$$

$$W_{\text{hasır}} = 1.04 \text{ kg / m} \times 1.25 \times 10 \text{ m} = 13 \text{ kg}$$

$$\text{Beton: } 1.758 \text{ m}^3 \times 21790047 \text{ TL/m}^3 = 38306903 \text{ TL}$$

$$\text{ST3 Çelik: } 51.81 \text{ kg} (1+0.05) \times 134188 \text{ TL/kg} = 7299894 \text{ TL}$$

$$\text{Hasır Çelik: } 13 \text{ kg} (1+0.05) \times 210000 \text{ TL} = 2866500 \text{ TL}$$

$$\text{Öngerme Teli: } 31 \text{ kg} (1+0.11) \times 387416 = 13330985 \text{ TL}$$

$$\text{İşçilik: } 1.758 \text{ m}^3 \times 30073437 \text{ TL/m}^3 = 52869102 \text{ TL}$$

$$\text{Enerji Giderleri: } 1.758 \text{ m}^3 \times 1715385 \text{ TL/m}^3 = 3015647 \text{ TL}$$

Diğer Giderler: $1.758\text{m}^3 \times 4360651 \text{ TL/m}^3 = 7666025 \text{ TL}$
İmalat Sabit Giderleri: $1.758\text{m}^3 \times 32618762 \text{ TL/m}^3 = 57343784 \text{ TL}$
Üretim Maliyeti: $182698840 \text{ TL} - (1.017\text{A})$

• Öngerilmeli Boşluklu Döşeme:

$$V_{\text{beton}} = 179000 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \times 10 \text{ m} = 1.79 \text{ m}^3$$

$$W_{\text{çelik}} = 8 \times 0.775 \text{ kg / m} \times 10 \text{ m} = 62 \text{ kg}$$

$$\text{Beton: } 1.79\text{m}^3 \times 21790047 \text{ TL/m}^3 = 39004184 \text{ TL}$$

$$\text{Öngerme Teli: } 62\text{kg} (1+0.11) \times 387416 = 26661969 \text{ TL}$$

$$\text{İşçilik: } 1.79\text{m}^3 \times 26560760 \text{ TL/m}^3 = 47543760 \text{ TL}$$

$$\text{Enerji Giderleri: } 1.79\text{m}^3 \times 1715385 \text{ TL/m}^3 = 3070539 \text{ TL}$$

$$\text{Diğer Giderler: } 1.79\text{m}^3 \times 4360651 \text{ TL/m}^3 = 7805565 \text{ TL}$$

$$\text{İmalat Sabit Giderleri: } 1.79\text{m}^3 \times 45666267 \text{ TL/m}^3 = 81742618 \text{ TL}$$

$$\text{Üretim Maliyeti: } 205828635 \text{ TL} - (1.146\text{A})$$

• Kompozit Olarak Çalışan Öngerilmeli Boşluklu Döşeme:

$$V_{\text{beton}} = 184100 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \times 10 \text{ m} = 1.841 \text{ m}^3$$

$$W_{\text{çelik}} = 8 \times 0.582 \text{ kg / m} \times 10 \text{ m} = 46.56 \text{ kg}$$

$$\text{Beton: } 1.841\text{m}^3 \times 21790047 \text{ TL/m}^3 = 40115477 \text{ TL}$$

$$\text{Öngerme Teli: } 46.56\text{kg} (1+0.11) \times 387416 = 20022279 \text{ TL}$$

$$\text{İşçilik: } 1.841\text{m}^3 \times 26560760 \text{ TL/m}^3 = 48898359 \text{ TL}$$

$$\text{Enerji Giderleri: } 1.841\text{m}^3 \times 1715385 \text{ TL/m}^3 = 3158024 \text{ TL}$$

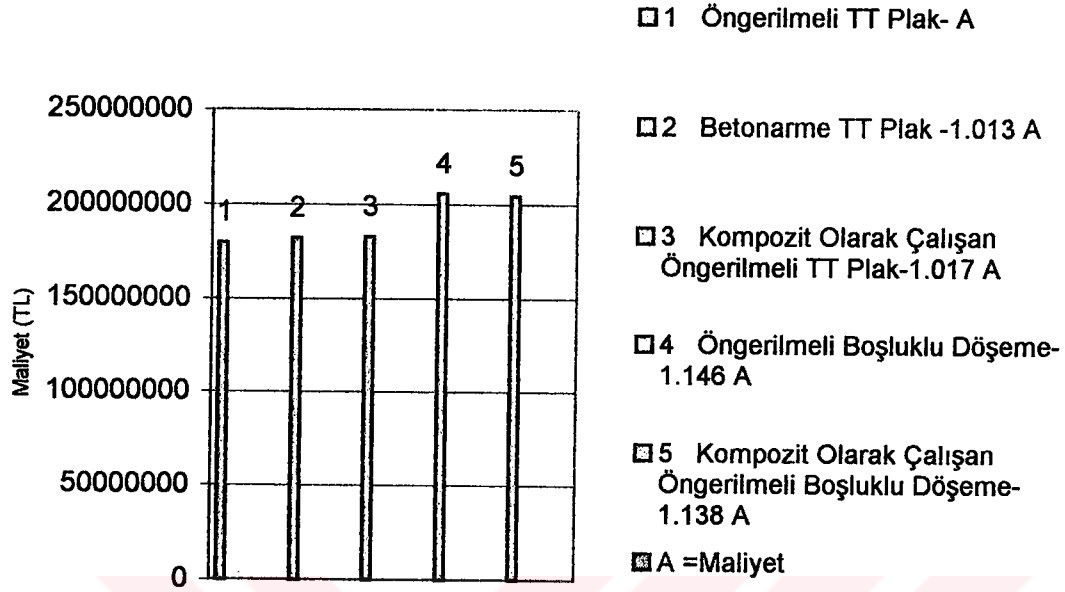
$$\text{Diğer Giderler: } 1.841\text{m}^3 \times 4360651 \text{ TL/m}^3 = 8027958 \text{ TL}$$

$$\text{İmalat Sabit Giderleri: } 1.841\text{m}^3 \times 45666267 \text{ TL/m}^3 = 84071597 \text{ TL}$$

$$\text{Üretim Maliyeti: } 204293694 \text{ TL} - (1.138\text{A})$$

Bulunan üretim maliyetleri Şekil 16.1' de grafik olarak gösterilmiştir.

Şekil 16.1 Üretim Maliyetleri



KAYNAKLAR

- [1] TS-3233, 1979. Öngerilmeli beton yapıların hesap ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [2] TS-9967, 1992. Yapı elemanları, taşıyıcı sistemler ve binalar - prefabrike betonarme ve öngerilmeli betondan - hesap esasları ile imalat ve montaj kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [3] TS-500, 1984. Betonarme yapıların hesap ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [4] **Metric Design Manual Precast and Prestressed Concrete**, 1985. *Canadian Prestressed Concrete Institute (CPCI)*.
- [5] Tezcan, Semih S. , 1997. Öngerilmeli Beton Avantajları ve Hesap Esasları, *Prefabrike İnşaat Teknolojileri Sempozyumu*, TDV / KT 97-002, s.29-50
- [6] Özden, Kemal, 1997. Prefabrike İnşaat Şartname Hükümleri ve Hesap Esasları, *Prefabrike İnşaat Teknolojileri Sempozyumu*, TDV / KT 97-002, s.229-259.
- [7] Collins, Michael P. and Mitchell, Denis, 1991. Prestressed Concrete Structures. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
- [8] Yanık, M.Faruk , 1997. Yatay Panellerin Taşıyıcı Sistemle Entegrasyonu, *Prefabrike İnşaat Teknolojileri Sempozyumu*, TDV / KT 97-002, s.73-95
- [9] Özden, Kemal, 1988. Betonarme ve Öngerilmeli Beton Prefabrike Taşıyıcı Eleman, Sistem ve Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Deprem Mühendisliği Türk Milli Komitesi*, İstanbul.
- [10] Çapraz, Metin, 2000. *Yapı Merkezi*, Kişisel görüşme.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Medeni Hali: Bekar
Tabiiyeti : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Tarihi: 29.01.1977
Doğum Yeri: Edirne
Sürücü Belgesi : 26.04.1995/ B sınıfı

Eğitim

1994 –1998	İstanbul Teknik Üniversitesi	İstanbul
	İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	
1991–1994	Beşiktaş Atatürk Anadolu Lisesi	İstanbul
1987–1991	Ata Koleji	İstanbul
1982–1987	Cumhuriyet İlkokulu	İstanbul

İş Tecrübesi

MAK-YOL A.Ş.	Etiler / İstanbul
BE-MA İnşaat A.	Kağıthane/İstanbul
ÇEÇEN Mühendislik	Levent/İstanbul
AUTOCAD R12	KOSGEB

Kurslar

Yabancı Dil

İngilizce (Çok iyi)