

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aachto-89 Arme. Otob. Sta. ile ts 3233 ve
İlg. Türk Şar. Kar. İnc. ve bir Öngü
Beton Kar. Köp. kar. Tası

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kemal Yıldız

1993

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AASHTO-89 AMERİKAN OTOYOLLAR
STANDARDI İLE TS 3233 VE İLGİLİ TÜRK
ŞARTNAMELERİNİN KARŞILAŞTIRILMALI
İNCELENMESİ
VE
BİR ÖNGERİLMELİ BETON KARAYOLU
KÖPRÜSÜNÜN KARŞILAŞTIRMALI TASARIMI**

İnş.Müh. Kemal YILDIZ

F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Zekeriya POLAT

İSTANBUL, Ekim 1993

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot	: R 150 241
Alındığı Yer	: Y.T.Ü
Tarih	: 28.8.1995
Fatura	: -
Fiyatı	: 35.000 T L.
Ayniyat No	: 1-16
Kayıt No	: 51591
UDC	:
Ek	:

Y. T. Ü.

KÜTÜPHANE DOK. DAİ. BAŞKANLIĞI

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AASHTO-89 AMERİKAN OTOYOLLAR
STANDARDI İLE TS 3233 VE İLGİLİ TÜRK
ŞARTNAMESLERİNİN KARŞILAŞTIRILMALI
İNCELENMESİ
VE
BİR ÖNGERİLMELİ BETON KARAYOLU
KÖPRÜSÜNÜN KARŞILAŞTIRMALI TASARIMI**

İnş.Müh. Kemal YILDIZ

F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Y. T. Ü.

KÜTÜPHANE DOK. DAL. BAŞKANLIĞI

Tez Danışmanı : Doç. Zekeriya POLAT

İSTANBUL, Ekim 1993

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında bana sürekli destek veren ve değerli yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Doc.Dr.Zekeriya POLAT'a en derin saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

İnşaat Mühendisi

Kemal YILDIZ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ

ÖZET

SUMMARY

Y. T. O.

KÜTÜPHANE DUK. DAL. BAŞKANLIĞI

BÖLÜM A

AASHTO-89 AMERİKAN OTOYOLLARI, TS 3233 TÜRK ÖNGERMELİ BETON STANDARTLARI VE TEKNİK ŞARTNAMESİNİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

Sayfa No

GİRİŞ

0-KONU, TANIM, KAPSAM.....	1
1-NOTASYON.....	1
2-MALZEME.....	
2.1-Beton Karakteristikleri Arasındaki Bağlılıklar.....	2
2.2-Öngerme Çeliği.....	3
3-ÇEKME METODLARI.....	3
4-YAPISAL ANALİZ	
4.1-Genel.....	3
4.2-Boyutlar.....	3
4.3-Süreklilik.....	4
4.4-Yapılarda Yük Kabulleri.....	4
4.5-Sıcaklık Değişikliği için Kabuller ve Genleşme Katsayısı.....	5
4.6-En Elverişsiz Yükleme.....	5
5-KESİT HESABI İÇİN TEMEL İLKELER	
5.1-Genel.....	7
5.2-Emniyet Gerilmeleri Yöntemi Varsayımları.....	7
5.3-Taşıma Gücü Yöntemi Varsayımları.....	7
5.4-Taşıma Gücü Yönteminde Emniyet Kavramı.....	8
5.5-Maksimum Donatı Yüzdesi.....	9
5.6-Aderanssız Öngerme Donatısı Kullanılması Durumunda Eklenecek Aderanslı Donatı.....	10
6-ÖNGERME KAYIPLARI	

6.1-Genel.....	10
6.2-Betonun Elastik Kısalmasında Oluşan Kayıplar.....	10
6.3-Ankrajlama Sırasında Öngerilme Kayıpları.....	11
6.4-Betonun Sünmesinden Oluşan Öngerilme Kayıpları.....	11
6.5-Betonun Büzülmesinden Oluşan Öngerilme Kayıpları.....	12
6.6-Öngerme Çeliğinde Eğriliklerden Doğacak Sürtünme Kayıpları.....	12
6.7-Öngerme Çeliğinin Gevşeme Kayıpları.....	13
6.8-Tahmini Kayıplar.....	14
7-EĞİLME ELEMANLARINDA EMNİYET GERİLMELERİ	
7.1-Aktarma Sırasında Beton Emniyet Gerilmeleri.....	14
7.2-Kullanım Yükleri için Beton Emniyet Gerilmeleri.....	15
7.3-Öngerme Çeliğinde Emniyet Gerilmeleri.....	16
8-TAŞIMA GÜCÜYLE HESAP İLKELERİ	17
9-KAYMA HESABI	
9.1-Genel.....	18
9.2-Kayma Donatısı Hesabı.....	20
10-DÖŞEME SİSTEMLERİ	21
11-AYRI DÖKÜM BİRLEŞİMLİ (KOMPOZİT) ELEMANLAR	22
12-ÖNGERİLMELİ KİRİŞLERDE KULLANILABİLİRLİK	24
13-ÖNGERMELİ ELEMANLARDA SÜNEKLİĞİN SAĞLANMASI	
13.1-Sınırlı Öngermeli İlkesine Uyma Koşulu.....	25
13.2-Diğer Koşullar.....	25
14-KONSTRÜKTİF SORUNLAR	
14.1-Beton Örtü Kalınlığı.....	26
14.2-Eleman Uç Noktaları.....	27
14.3-Ard Çekmeli Elemanların Ankraj Blokları	
15-YÜKLER	
15.1-Yüklerin Cinsi.....	29
15.2-Zati Yük.....	30
15.3-Hareketli Yükler.....	32
15.4-Taşıt Yükleri.....	32
15.5-Trafik Şeritleri.....	32
15.6-Standart Kamyonlar ve Şerit Yükleri.....	33
15.7-Yüklerin Uygulanışı.....	35
15.8-Yük Değerlerinin Eksiltilmesi.....	35

15.9-Dinamik Etki.....	36
15.10-Yük Sınıfının Seçilmesi.....	38
15.11-Aşırı Yükleme.....	38
15.12-Yaya yükleri.....	39
15.13-Boyuna kuvvetler.....	40
15.14-Mesnet Şartlarında Değişme.....	41
15.15-Merkezkaç Kuvvet.....	41
15.16-Rüzgâr Yüğü.....	41
15.17-Isı Gerilmeleri.....	44
15.18-Kar Yüğü.....	45
15.19-Rötre.....	45
15.20-Sünme.....	45
15.21-Zemin Yüğüleri.....	45
15.22-Suyun Kaldırma kuvvetleri.....	46
15.23-Su Akıntısının Etkisi.....	46
15.24-Buz Etkisi.....	46
15.25-Atalet Etkisi.....	48
15.26-Öngerilme Etkisi.....	48
15.27-Yapım Yönteminden kaynaklanan etkiler.....	48
15.28-Deprem Etkisi.....	48
15.29-Çarpma.....	51
15.30-Yük Bileşimleri.....	52
16-YÜKLERİN DAĞILIMI	
16.1-Tekerlek Yüklerinin Boylama ve Enleme	
Kirişlere dağılımı.....	54
16.2-Betonarme Döşemelerde Yüklerin dağılımı	
ve Hesapları.....	58

BÖLÜM B

BİR KARAYOLU KÖPRÜSÜNÜN AASHTO-89 AMERİKAN VE İLGİLİ TÜRK STANDARTLARINA GÖRE KARŞILAŞTIRMALI TASARIMI

Sayfa No

1-HESAP ESASLARI

1.1-Örnek Problemin Ana Boyutları.....	64
--	----

1.2-Standartlar.....	64
1.3-Yükler.....	64

2-ÜST YAPI STATİK HESAPLARI

2.1-Enkesit Seçimi ve Enkesit Karakteristiklerinin Hesabı.....	64
2.2-Prekast Kirişin Kendi Ağırlığından İleri Gelen Kesit Tesirleri.....	69
2.3-Prekast + Yerinde Dökme Enleme ve Döşemeden İleri Gelen Kesit Tesirlerinin Hesabı.....	69
2.4-Kaplama + Bariyer Yüklerinden İleri Gelen Kesit Tesirlerinin Hesabı.....	70
2.5-Hareketli Yüklerden İleri Gelen Kesit Tesirlerinin Hesabı.....	71

3-SONRADAN ÖNGERMELİ KİRİŞİN ÖNGERİLME HESAP VE TAHKİKLERİ

3.1-Malzeme Özellikleri.....	71
3.2-Açıklık Ortasında Gerilme Tahkikleri.....	74

ÖZGEÇMİŞ

KAYNAKLAR

ÖZET

Bu çalışma A ve B olmak üzere iki ana bölümde düzenlenmiştir. A bölümünde, Amerikan Otoyolları Standardı (American Association of State Highway and Transportation Officials) AASHTO-89 ile Türk standartlarından TS 3233-79 Öngermeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları ve Karayolları Genel Müdürlüğünün hazırlamış olduğu Karayolu Köprüleri için Teknik Şartnamenin köprü projelendirilmesi ile ilgili kısımların karşılaştırmalı bir incelemesi yapılmıştır. Bu incelemede TS 3233 standartındaki sıralama esas alınmıştır. İnceleme göstermiştir ki, Türk standardı hazırlanırken, AASHTO standardı örnek alınmakla birlikte Türk standardında özellikle beton çekme (kesme) mukavemeti ile ilgili sınırlamalarda daha cesur davranılmıştır; sınırlamaların ayrıntısı model alınan AASHTO standardındakinden daha yüzeysel (eksik) dir.

B Bölümünde, bir örnek köprü hesabı A'daki karşılaştırmalar ışığında yapılmıştır. Örnek köprüde, günümüzde oldukça çok kullanılan prekast kirişlerin yerinde dökme bir döşeme ile tamamlandığı enkesit alınmıştır. Literatürde, taşıyıcı kısımları değişik yaş ve kalitede öngermeli beton ve betonarme elemanlardan oluşan bu tür kesitlere kompozit kesit denilmektedir. Süre yetersizliği nedeniyle örneklemeler üst yapı (tabliye) hesaplarıyla kısıtlı bırakılmıştır.

Y. T. O.

KÜTÜPHANE DOK. DAL. BAŞKANLIĞI

SUMMARY

The present study has been realized as two sections. In section A, a comparative study has been carried out on the American Highways Standart (AASHTO-89) and the correspondent Turkish Standart TS 3233 and KGM Technical Specifications of Road Bridges. It has been followed the paragraphe numbers of TS 3233. The study has shown that in some clauses like the items on concrete tensile (and/or shear) strength limitations are much more larger than they are in AASHTO, even the Turkish standart TS 3233 is an adaptation of the AASHTO. Some important text and descriptions are not so clear as much as the original ones are.

In section B, a road bridge superstructure has designed as an axample in a comparative manner. The choosen mumerical example contents a simply supported precast prestressed concrete beams completed an in-situ reinforced concrete slab which currently is being used in KGM road and highway bridges.

BÖLÜM A

AASHTO-89 AMERİKAN OTOYOLLARI, TS 3233 TÜRK ÖNGERMELİ BETON STANDARTLARI VE TEKNİK ŞARTNAMESİNİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

GİRİŞ

- /1/ AASHTO-89 : United States Highways Bridge Specification
: Amerikan Karayolları Köprü Standardı
- /2/ TS 3233 : Öngermeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
- /3/ KGM : Karayolu köprüleri için Teknik Şartname

Standart ve şartnamelerin karşılaştırmalı bir incelenmesi yapılmıştır. İncelemede metinleri birebir yazıp farklarını belirlemek yerine, özellikle, boyutlandırma ve tahkiklerde önemli ve etkili olacak düzenlemelerin, adı geçen standartlardan birinde esaslarını yazıp, diğerlerindeki farklar işaret edilmiştir.

Karşılaştırmada konu sıralaması, Türk şartnamelerine göre yapılmıştır. Konu ile ilgili paragraf numaraları, her bir standart için işaret edilmiştir.

0-KONU, TANIM, KAPSAM

TS 3233, öngermeli beton yapılara ayrılmıştır. Enerji hattı direkleri, su boruları, nükleer santraller ve hafif agregalı yapılar bu standartın dışında tutulmuştur. AASHTO-89, Amerikan karayolları teknik şartnamesi olup bütün sanat yapılarını kapsar. Öngermeli beton elamanların hesap esasları 9.bölümde düzenlenmiştir. Karşılaştırma TS 3233'ün maddelerini ilgilendiren konularda yapılacaktır.

1-NOTASYON

Notasyonda kullanılan işaretlerde büyük bir benzerlik vardır. Esasen her iki şartnamede büyük ölçüde CEB model şartnamesine uygun olarak düzenlenmeye çalışılmıştır. Farklı notasyonlar aşağıdaki karşılaştırmalarda görülecektir.

2-MALZEME

İki şartnamede de öngermeli beton ve çelik için kullanılan değerler arasında büyük bir benzerlik vardır. Bu standartlarda öngermeli betonun basınç dayanımı için çapı 15 cm ve yüksekliği 30 cm olan, suda, $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta saklanmış 28 günlük silindir deneyi, çekme dayanımı içinde 15x30 cm silindir numune ile yapılan eksenel çekme deneyi esas alınmıştır. Her iki şartnamede de malzemelerin karakteristik mukavemetleri kullanılmıştır. Karakteristik mukavemet tanımları için risk oranı her iki şartname içinde % 10 dur. Dolayısıyla beton karakteristik mukavemeti

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,28.\sigma \quad (\text{TS 3233})$$

$$f_c^I = f_{cm} - 1,28.\sigma \quad (\text{AASHTO-89}) \quad \text{dır.}$$

2.1-Beton Karakteristikleri Arasındaki Bağıntılar

2.1.1-Elastisite modülü

$$E_{cj} = 3250.\sqrt{f_{ck}} + 14000 \quad \text{N/mm}^2 \quad (\text{TS 3233})$$

$$E_c = 4729,77.\sqrt{f_c^I} \quad " \quad w_c = 2320 \quad \text{kg/m}^3 \quad (\text{AASHTO-89})$$

$$E_c = w_c^{1,5} \cdot (0,0428) \cdot \sqrt{f_c^I} \quad " \quad w_c = 1441-2482 \quad " \quad "$$

2.1.2-Karakteristik çekme dayanımı (Eksenel çekme)

$$f_{ctk} = 0,35.\sqrt{f_{ck}} \quad \text{N/mm}^2 \quad (\text{TS 3233})$$

Eksenel çekme dayanımı için AASHTO-89'da öngörölmüş değeri yoktur.

2.1.3-Karakteristik çekme dayanımı (Eğilme)

$$f_{ctk} = 2.f_{ctk}^{(\text{Eks.çekme})} = 0,70.\sqrt{f_{ck}} \quad \text{N/mm}^2 \quad (\text{TS 3233})$$

$$f_t = 0,456.\sqrt{f_c^I} \quad \text{N/mm}^2 \quad (\text{AASHTO-89}) \quad \text{Hafif agregalı beton}$$

$$f_t = 0,523.\sqrt{f_c^I} \quad " \quad " \quad \text{Kum ve hafif aregalı beton}$$

$$f_t = 0,623.\sqrt{f_c^I} \quad " \quad " \quad \text{Normal beton}$$

2.1.4-Poisson oranı

$$\nu = 0,2 \quad (\text{TS 3233-AASHTO-89})$$

2.1.5-Kayma modülü

$$G_{cj} = 0,40.E_{cj} \quad (\text{TS 3233-AASHTO-89})$$

2.2-Öngerme Çeliği

Her iki şartnamede de öngerilme çelikleri, öngerme teli, öngerme toronu, öngerme çubuğu şeklinde sınıflandırılmıştır. Birden çok tel veya toron ile teşkil edilmiş öngerme Unitelerine her iki şartnamede de öngerme kablosu denilmektedir.

3-ÇEKME METOTLARI

Yapının özel durumlarına göre önçekme veya ardçekme metodlarından birisi kullanılır. Önçekme metodu kullanılması halinde öngerme çeliğindeki kuvvet çekme işleminden aktarmaya kadar değişmeden sabit tutulmalı ardçekme de öngerme çelikleri tercihen aynı anda gerilmelidir. Öngerme çeliği beraber çekilmezse çekme sırası kesite genişliği doğrultusunda mümkün olduğu kadar az moment gelecek şekilde ayarlanmalıdır.

4-YAPISAL ANALİZ

4.1-Genel

Yapı elemanlarındaki iç etkiler, yapının ve tüm elemanların statik dengesini sağlayan bir analiz sonucu saptanmalıdır. Yapısal davranışın doğrusal, elastik olduğu varsayımına dayanan yöntemler kullanılabilir. Bu tür bir analiz sonucu elde edilen iç etkiler gerçek davranış gözönünde bulundurularak denge koşullarını sağlamak koşulu ile belli bir oranda değiştirilebilir. AASHTO-89'da özellikle sürekli sistemlerde kablodan ileri gelen iç kuvvetlerin hesaplanması, ısı, sünme, rötire, her türlü elastik kısalmalar ve mesnet çökmelerin (önemli yapılarda bu mesnet çökmeleri elastomer yastıkların deformasyonundan da oluşabilir.) dikkate alınması vurgulanmaktadır.

4.2-Boyutlar

Her iki şartnamede de yapı elemanlarının analizinde kullanılacak boyutları ve yapı geometrisi için ön tasarımda öngörülen nominal değerler kullanılır. Yapısal analiz için gerekli olan kesit özelliklerinin hesabında brüt beton kesiti temel alınır. Kirişlerde, açıklık ortasındaki brüt beton kesitine göre işlem yapılır.

4.3-Süreklilik

TS 3233'de yapı analizinde dikkate alınan normal hususların dışında yapının uygun davranışı vurgulanmaktadır. Bilhassa sürekli sistemlerde sistem adaptasyonunun (sistemde yeniden dağılım) dikkate alınması işlenmiştir. Mesnet momentleri,

en çok yüzde (%) $20. \left[1 - \frac{\rho_p + \rho - \rho'}{0,25} \right]$ kadar azaltılıp çoğaltılmasına, açıklık momentlerinde buna tekabül eden azaltılıp çoğaltmaların yapılması kaydıyla müsaade eder. Ancak, bu formülde $\rho \leq 0,20$ ve $\rho + \rho_p - \rho' \leq 0,20$ kalması şart koşulmaktadır. AASHTO-89'da sistemde yeniden dağılım konusunda bir düzenlemeye rastlanılmamıştır.

4.4-Yapılarda Yük Kabülleri

Yapı kısımlarının kendi ağırlıkları, hareketli yük kar yükü, ayrı ayrı alınmak üzere rüzgâr ve deprem etkileri, merkezkaç kuvvetleri, sıcaklık değişimleri, büzülme, sünme etkisi toprak etkisi, su basıncı, suyun alttan kaldırması, yanlama kuvvetler, düşey yükler, periyodik yükler, fren kuvvetleri, mesnet sürtünme kuvvetleri, mesnet yer değiştirmeleri, ayak dönmeleri vb. Bu yük ve etkilerden boyutlandırmada sonucu değiştirmeyeceği önceden bilinenler hesaplarda belirtilmek koşulu ile ihmal edilebilirler. Emniyet gerilmeleri kullanılarak yapılacak hesaplarda yükler nominal değerleri ile dikkate alınır. Taşıma gücü tahkiklerde ise yükleme kombinasyonları aşağıdaki gibidir.

Yalnız düşey yükler için :

1,4.G+1,6.Q

1,0.G+1,2.Q+1,2.T

Rüzgâr yükünün söz konusu olduğu durumlarda :

1,4.G+1,6.Q

1,0.G+1,3.Q+1,3.W

0,9.G+1,3.W

Depremi söz konusu olduğu durumlarda :

1,4.G+1,6.Q

1,0.G+1,0.Q+1,0.E

0,9.G+1,0.E

H ile gösterilen yatay toprak basıncı söz konusu olduğunda yukardaki ilgili bağıntıya 1,6 eklenmelidir.

G daimi yük etkilerini, Q hareketli yük etkilerini (impact etkisi dahil), T malzemenin reolojik etkilerini (sünme, rötire, elastik kısalma, sıcaklık, mesnet çökmesi) W rüzgâr etkilerini, E deprem etkilerini gösterir. AASHTO-89'da muhtemel yük kombinasyonları 3.bölümde ayrıntılı olarak verilmektedir.

4.5-Sıcaklık Değişikliği İçin Kabuller ve Genleşme Katsayısı

Hesaplarda kullanılacak betonun genleşme katsayısı aşağıdaki gibi alınır.

$$\alpha_t = 1.10^{-5} / ^\circ\text{C} \quad (\text{TS 3233})$$

$$\alpha_t = 1,08.10^{-5} / ^\circ\text{C} \quad (\text{AASHTO-89})$$

4.6-En Elverişsiz Yükleme

TS 500'de olduğu gibidir. G yükleri minimum G, maksimum 1,4.G olarak, Q yükleri minimum 0, maksimum 1,6.Q olarak ve diğerleri yukardaki kombinasyonlara uygun olarak alınmak suretiyle elverişsiz yüklemeler yapılır. AASHTO-89'da en elverişsiz yüklemeler için özel bir düzenleme olmamakla birlikte yükleme kombinasyonlarındaki yükler aranılan kesit tesirlerini en büyük ve en küçük verecek şekilde statik sistem üzerindeki değerleri en büyük veya en küçük olarak alınacaktır.

AASHTO-89'da yapı analizi konusunda TS 3233'de özellikle belirtilmemiş başkaca hususlar da vardır.

Paragraf 9.5, genleşme inşaat derzlerini düzenler. Mesnet hareketlerini almak için mafsallı kolon, kayma plakları, elastomer yastıklar vb düzenlemeler öngörür.

Paragraf 9.6, hesap açıklıklarının tarif eder.Basit oturan kirişler için çıplak açıklık artı kiriş yüksekliği, maksimum açıklıktır. Sürekli sistemlerde monolitik mesnet düğümleri söz konusu ise etkili açıklık doğrudan çıplak açıklık olarak alınır. Mesnet hesap kesitleri bu açıklıklarının uçlarında düşünülür.

Paragraf 9.7, süreklilikle ilgili kayıtlar koyar. Yerinde dökülmüş öngermeli beton yapılarda öngerilmeden ileri gelen süreklilik momentlerinde dikkate alınmasını öngörür. Ancak, taşıma gücü tahkiklerinde öngerilmeden ileri gelen süreklilik momentlerinin yük katsayısı 1,0 olacaktır.Yükleme kombinasyon-

larına bağı olarak mesnetlerde pozitif moment meydana gelme ihtimalinin dikkate alınması bu amaçla kullanılacak betonarme donatısı gerilmesinin emniyet gerilmesine göre hesapta $0,6.f_{sy}$ 'den ve 250 N/mm^2 'den daha büyük alınamaz. Özellikle ard arda çıkmalarla yapılan köprü inşaatlarında dengesiz iki taraflı çıkmalar söz konusu ise bunu dengelemek için kullanılacak montaj yükünün de dikkate alınması öngörülmektedir.

Paragraf 9.8 de, yine yapısal ve kesit analizi ile ilgili karşılaşılabilecek durumlara işaret edilmiştir. Bazı dikkate değer olanları şunlardır. Etkili tabla genişliği kompozit ve yerinde dökme sistemlerde farklı değerlendirilmiştir. Kompozit döşemelerde TS 500'de olan benzer bir düzenleme söz konusudur. Yalnız konsal halinde $2 \times$ konsol boyu, tam yerinde dökme sistemlerde etkili tabla genişliği döşeme ortasından döşeme ortasına olan genişlik olarak alınır. Üst tabla kalınlığı döşeme çıplak açıklığının $1/30$ 'undan ve $15,24 \text{ cm}$ 'den (tam prekast halinde $13,97 \text{ cm}$ 'den) az olamaz.

Paragraf 9.10, mesnet kesitlerindeki enine kirişleri (diyaframları) düzenler. Bunlardan vazgeçilmesi ancak statik olarak gerekmediğinin hesapla yada deneyle kanıtlanması şartına bağlanmıştır. T kirişli köprüler halinde en az 12 m aralıkla ara enine kirişlerinin kullanılması şart koşulmuştur. Kutu kesit kiriş köprülerde dahi açıklık 24 m 'yi geçtiği zaman enine diyafram kullanılması öngörülmektedir. Eğer, kutu kesitli kiriş 2 den çok gövdeli ise gerekmedikçe enine kirişler kullanılmayacaktır. Bununla beraber gerek prekast gerekse yerinde yapım çok gözlü kesitlerde ve mesnetlerde, diyaframlar veya rijitlendirmeler yapılmalıdır. Kurbda köprülerde, kurb yarıçapı 240 m 'nin altına düşerse kesit, kutu kesit de olsa ara diyaframlar yapılmak zorundadır.

Paragraf 9.12, kalıp yerine kullanılacak prekast döşemelerle (fligran döşemelerle) ilgili kayıtlar koyar. Bu döşemeler, yerinde dökme kısımla, kompozit olarak çalışıyor kabul edilecektir. Ancak, gerekli düzenlemelerin (prekast ve yerinde dökme döşeme arasında, düşey donatılarının düzenlemesinin) yapılması gerekir. Bu paneller kendi ağırlıklarını, yerinde dökme döşemenin ağırlığını taşıyacaktır. Kablama yükleri ve hareketli yükler için ise kompozit

davranış gösterebilirler. Aksi takdirde bu panellerin mukavemete katkısı ihmal edilecektir.

5-KESİT HESABI İÇİN TEMEL İLKELER

5.1 Genel

- Öngermeli elemanlar, öngerilme anından başlamak üzere tüm kullanım süreleri içerisinde etkisi altında kalabilecekleri bütün elverişsiz durumlarda emniyet sınırları içinde kalacak, çatlak ve deformasyonlar yönünden kullanılabilir olacak ve taşıma güçleride kırılmaya karşı yeterli emniyet sağlayacak biçimde projelendirilecektir.
- Öngerilmeden oluşan gerilme yığılmaları da gözönünde bulundurulmalıdır.
- Hesabın sonucunu etkileyen elastik ankastrelik, mesnet dönmeleri ve atalet momentlerinin açıklık boyunca değişmesi gözönünde bulundurulmalıdır.

AASHTO-89'da aynı düzenlemeler bulunmaktadır.

5.2-Emniyet gerilmeleri yöntemi varsayımları

- Birim deformasyon dağılımı kesit derinliği boyunca doğrusaldır.
- Gerilme kayıplarına maruz kalan öngerme çeliği ve beton doğrusal elastik davranış gösterirler ve gerilme dağılımı kesit derinliği boyunca doğrusaldır.
- Betonun çatlama aşamasına kadar çekme dayanımı var kabul edilir. AASHTO-89'da aynı düzenlemeler bulunmakla beraber sürekli kirişlerde yükseklik/açıklık oranı 2/5, basit kirişlerde 4/5 'den daha büyük olduğunda bu kirişlerdeki birim deformasyon dağılımının lineerliğini kaybettiği kabul edilir.

5.3-Taşıma gücü yöntemi varsayımları

- Birim deformasyon dağılımı kesit derinliği boyunca doğrusaldır.
- Maksimum beton birim kısalması $\epsilon_{cu} = 0,003$ kadardır.
- Betonun çekme dayanımı yoktur.
- Kesit taşıma gücüne ulaştığında betondaki gerilmeler birim deformasyonla orantılı değildir. Beton basınç bölgesindeki gerilme dağılımı deneylerle saptanan beton basınç birleşkesinin büyüklüğü ve etkiye düzeyini doğru olarak veren herhangi bir eğri (parabol, dikdörtgen) ile ifade edilebilir. Ancak, gerçekçi

sonuçlar veren çeşitli gerilme dağılımlarından biri olan dikdörtgen dağılım, büyük hesap kolaylığı sağlaması nedeni ile seçilmelidir. Söz konusu dikdörtgen genişliği $0,85.f_{cd}$ derinliği ise maksimum basınç bölgesinden tarafsız eksene olan uzaklığın k_1 katsayısı ile çarpımından elde edilir. Ancak, bu derinlik eleman derinliğinden büyük olamaz. k_1 katsayısı betonun karakteristik dayanımına bağlı olarak;

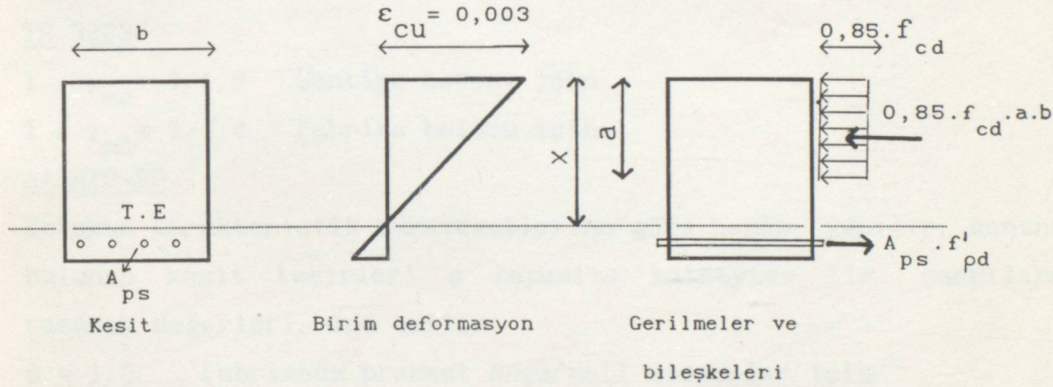
TS 3233

$$\begin{aligned} f_{ck} \leq 30 \quad N/mm^2 &\Rightarrow k_1 = 0,85 \\ f_{ck} > 30 \quad " &\Rightarrow k_1 = 0,85 - 0,0075 \cdot (f_{ck} - 30) \end{aligned}$$

AASHTO-89

$$\begin{aligned} f'_c \leq 27,579 \quad N/mm^2 &\Rightarrow k_1 = 0,85 \\ f'_c > 27,579 \quad " &\Rightarrow k_1 = 0,85 - 0,0079 \cdot (f'_c - 27,579) \geq 0,65 \end{aligned}$$

BETONDA DİKDÖRTGEN BASINÇ DAĞILIMI



5.4-Taşıma gücü yönteminde emniyet kavramı

Taşıma gücü varsayımları açısından herhangi bir fark sözkonusu değildir. Ne varki AASHTO-89 ve ACI yönetmeliklerinin emniyet kavramına yaklaşımı Türk şartnamelerinin ve CEB-FİP şartnamesinin yaklaşımından farklıdır. Bildiğimiz gibi Türk şartnameleri kısmi emniyet katsayıları ve yük katsayıları öngörerek hesap değerlerine yaklaşıırken, Amerikan şartnamelerinde yük kaynağına göre farklı katsayılar vardır. Yapı emniyetinin, dayanımın yük etkisinden büyük olması ile sağlanabilmesi şartı şartnamelerde şöyledir :

$$R_k / \gamma_m \geq F_k \cdot \gamma_f \quad (\text{TS 3233})$$

$$\phi \cdot (R_k) \geq F_k \cdot \gamma_f \quad (\text{AASHTO-89})$$

- Kısmi güvenlik katsayıları

γ_m = Malzeme katsayıları (γ_{mc} , γ_{ms})

γ_f = Yük katsayıları

- Emniyet gerilmeleri yönteminde :

TS 3233

0,60..... Fabrikada yapılan elemanlarda] İNŞAAT SAFHASINDA
0,55..... Şantiyede yapılan elemanlarda]

0,40..... Köprü elemanlarında] HİZMETTE
0,45..... Diğer yapı elemanlarında]

AASHTO-89

0,60..... Öngerme elemanlarında] İNŞAAT SAFHASINDA
0,55..... Ardgerme elemanlarında]
0,40..... HİZMETTE

- Taşıma gücü yönteminde

TS 3233

$1 / \gamma_{mc} = 1/1,5$ Şantiye betonu için

$1 / \gamma_{mc} = 1/1,4$ Fabrika betonu için

AASHTO-89

Betonun karakteristik mukavemetlerine göre hesap yapılır; sonunda bulunan kesit tesirleri ϕ kapasite katsayısı ile çarpılarak tasarım değerleri elde edilir.

$\phi = 1,0$ Fabrikada prekast öngermeli elemanlar için

$\phi = 0,95$ Ardgermeli yerinde dökme elemanlar için

$\phi = 0,90$ Kesme tahkiklerinde

Karakteristik değer tanımları her iki şartnamede aynıdır. Malzeme mukavemetleri için risk oranı % 10, yükler için risk oranı % 5 dir.

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,28. \sigma$$

$$F_k = F_m + 1,64. \sigma \longrightarrow 1,4.G ; 1,6.Q$$

$$F_k = F_m - 1,64. \sigma \longrightarrow 0,9.G$$

5.5 Maksimum Donatı Yüzdesi

Dikdörtken kesit hali için maksimum donatı yüzdesi sınırlı öngerilmeli betonda gevrek kırılmayı önlemek için konulmuştur.

TS 3233

$$W_p \leq 0,25 \quad (W_p + W - W^I) \leq 0,25$$

$$W_p = \frac{A_{ps}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{pd}}{f_{cd}} ; W = \frac{A_s}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} ; W' = \frac{A'_s}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

AASHTO-89

$$(W_p + W - W') \leq 0,30$$

5.6-Aderanssız Öngerme Donatısı Kullanılması Durumunda Eklenecek Aderanslı Donatı

5.6.1-Genel

Öngerme çeliğinin aderanssız olarak kullanıldığı eğilme elemanlarında, aderanslı ek donatı yerleştirilmesi gereklidir. Bu donatı kullanım yükleri altında çekme oluşan bölgenin uç yüzüne yakın ve düzenli biçimde dağıtılarak kullanılmalıdır. Burada aderanssız öngerme çeliğinden kasdedilen ardçekmeli elemanlarda etrafı şerbetle doldurulmamış, betonla teması kesilmiş öngerme donatısıdır.

5.6.2- Kiriş ve Tek Doğrultuda Çalışan Plaklarda Minimum Aderanslı Donatı

$A_s = 0,004 \cdot A_t$ olmalıdır.

A_t = Kesitin çekme bölgesi alt yüzü ile brüt beton alanın ağırlık merkezi arasında kalan alandır.

6-ÖNGERME KAYIPLARI

6.1-Genel

Etkin öngerilme kuvveti bulunurken rötire, elastik kısılma, sünme, ankraj kayması, sürtünme ve eğriliklerin oluşturduğu kayıplar gözönüne alınmalıdır.

6.2-Betonun Elastik Kısılmasında Oluşan Kayıplar

TS 3233

İlk öngerme kuvvetin yüzdesi olarak ön çekmede % 3, ard çekmede % 1 olarak alınır; veya, öngerme donatısı ağırlık merkezi seviyesinde beton gerilmesinin E_s / E_{cj} ile çarpımından hesaplanır.

$$E_s = 2,0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{cj} = 3250 \cdot \sqrt{f_{cjk}} + 14000 \text{ N/mm}^2$$

AASHTO-89

$$ES = \frac{E_s}{E_{ci}} \cdot f_{cir}$$

Öngermeli elemanlar için

$$ES = 0,5 \cdot \frac{E_s}{E_{ci}} \cdot f_{cir} \quad \text{Ardgermeli elemanlar için}$$

f_{cir} = Aktarmadan hemen sonra, öngerme kuvveti ve kirişin zati ağırlığından dolayı öngerme kablosunun ağırlık merkezindeki beton gerilmesi (Bu gerilmenin hesaplanmasında, önceden germeli elemanlarda çeliğin yaptığı relaksasyon ve betonun yaptığı elastik kısalmadan ileri gelen öngerilme kaybı, sonradan germeli elemanlarda ise betonun elastik kısalması ve sürtünmeden ileri gelen öngerilme kaybı düşülecektir.) ayrıntılı hesap yapılmadığı taktirde

- . Tavlanmış öngerilme çeliği halinde $0,63.f'_s$
- . Düşük gevşemeli çelik halinde $0,69.f'_s$ 'lik bir öngerilme başlangıç değeri kabul edilebilir (bilindiği üzere kablolar f'_s 'nin % 70 'ine kadar gerilir)

6.3-Ankrajlama Sırasındaki Öngerilme Kayıpları

Ardçekme sistemlerinde çeliğin öngerilme kuvvetinin çekme aygıtından ankraja aktarılması sırasında ankrajda bir miktar kayma olabilir. Bu nedenle, ankrajda tolerans bırakılmalıdır. Bu kaymadan doğacak kayıp, özellikle kısa elemanlarda önemlidir. Ortalama ankraj kayıpları (cm olarak)

Ankraj Tipi	Kayma (cm)
Kama	0,25
Yaslanma	0,07

AASHTO-89'da böyle bir düzenleme yoktur.

6.4-Betonun Sünmesinden Oluşan Öngerilme Kayıpları

TS 3233

İlk öngerme kuvvetin yüzdesi olarak önçekmede % 6, ard çekmede % 5 olarak alınır; veya, betonun sabit gerilme altında gösterdiği zamana bağlı sünmeden oluşan öngerilme kaybı: öngermeli betondaki gerilme, aktarmadaki beton karakteristik basınç dayanımının $3/8$ 'i değerini aşmamışsa; öngerme donatısı ağırlık merkezi seviyesindeki beton gerilmesinin aşağıdaki çizelgede verilen değer ve çeliğin elastisite modülünün çarpımından bulunaçaktır.

1kgf/cm ² birim gerilme ve birim uzunluk için sünme deformasyonu
Önçekmeli elemanlarda : 48×10^{-7}
Ardçekmeli elemanlarda : 36×10^{-7}

Aktarma sırasında betondaki gerilmenin karakteristik beton silindir dayanımının 3/8 'ini aşması durumunda çizelgedeki değerler 1,25 ile çarpılarak kullanılmalıdır veya aktarma anında beton karakteristik basınç dayanımının 350 kg/cm² den düşük olması durumunda kayıp hesabında kullanılan sünme deformasyonları 350 kgf/cm² ile ters orantılı olarak artırılmalıdır.

$$\begin{aligned} \text{Önçekmeli elemanlarda} & \dots\dots\dots 48 \times 10^{-7} \cdot \frac{350}{f_{cjk}} \\ \text{Ardçekmeli elemanlarda} & \dots\dots\dots 36 \times 10^{-7} \cdot \frac{350}{f_{cjk}} \end{aligned}$$

AASHTO-89

$$CR_c = 12 \cdot f_{cir} - 7 \cdot f_{cds}$$

f_{cds} = Öngerilme uygulandığı andaki ölü ağırlıklardan ileri gelen gerilmeler hariç, diğer bütün daimi yüklerden oluşan gerilmelerin kablo seviyesindeki değeri

6.5-Betonun Büzülmesinden (Rötreden) Oluşan Öngerilme Kaybı

Öngerilmeli betonun büzülme deformasyonundan oluşan öngerilme kaybı aşağıda çizelgede verilen deformasyon değerlerinin çelik elastisite modülü ile çarpımından hesaplanabilir.

	Birim uzunluk için büzülme		
	Kuru Ortam	Normal Ortam	Nemli Ortam
Önçekmeli elemanlar	500×10^{-6}	300×10^{-6}	100×10^{-6}
Ardçekmeli elemanlar	350×10^{-6}	200×10^{-6}	70×10^{-6}

AASHTO-89

SH = 117,21-1,034.RH Önçekmeli elemanlar için

SH = 0,80.(117,21-1,034.RH) Ardçekmeli elemanlar için

RH = % olarak yıllık ortalama nem oranı.

6.6- Öngerme Çeliğinde Eğriliklerden Doğacak Sürtünme Kayıpları

TS 3233

Sürtünme kayıpları aşağıdaki formülden hesaplanabilir.

$$[k \cdot l + \mu \cdot \alpha] > 0,30 \text{ için } P_s = P_x \cdot e^{(k \cdot l + \mu \cdot \alpha)}$$

$$[k \cdot l + \mu \cdot \alpha] \leq 0,30 \text{ için } P_s = P_x \cdot (1 + k \cdot l + \mu \cdot \alpha)$$

μ = Sürtünme katsayısı,

k = Düzensizlik katsayısı,

P_s = Ankrajda öngerme çeliğinde oluşan kuvvet,

P_x = Öngerme çeliğinin (x) noktasındaki germe kuvveti,

α = Öngerme çeliği profilinde ankrajdan (x) uzaklığına kadarki toplam açısal değişim (radyan olarak).

k ve μ değerleri elimizde deneysel veriler olmaması durumunda, aşağıdaki tablodan alınabilir.

		k (rad/m)	μ
Serbetlenmiş öngerme çeliği spiral kılıf içinde	Çelik Teller	0,003-0,005	0,15-0,25
	Çubuklar	0,003-0,002	0,08-0,30
	7 Telli toronlar	0,0015-0,006	0,15-0,25
Aderansız öngerme çeliği	Mastik kaplanmış	Çelik Teller	0,003-0,006
		7 Telli toronlar	0,003-0,006
	Önceden yağlanmış	Çelik Teller	0,001-0,006
		7 Telli toronlar	0,001-0,006

AASHTO-89

Aynı düzenlemeler bulunmakla beraber kullanılan notasyonlar TS 3233'den farklıdır. k, μ ve değerleri için bir tablo verilmiştir.

Çelik Türü	Boru Tipi	k/m	μ
Tel veya galvanissiz toron	Metal kılıf	0,0066	0,30
	Galvanizli metal kılıf	0,0049	0,25
	Yağlı veya asfalt kaplı	0,0066	0,30
	Galvanizli ve rijid	0,0066	0,25
Yüksek mukavemetli çubuklar	Metal kılıf	0,0098	0,20
	Galvanizli metal kılıf	0,0066	0,15

6.7-Öngerme Çeliğinin Gevşeme (Relaksasyon) Kayıpları

TS 3233

Çekme gerilmesi çeliğin karakteristik kopma dayanımının % 70'i veya daha fazla olması durumunda, kayıp öngerme kuvvetinin % 8'i;

% 50 olması durumunda kayıp öngerme kuvvetinin % 0'ıdır.

AASHTO-89

- Önçekme elemanlarda

Kopma mukavemeti 1746,175 - 1861,569 N/mm² olan öngerme toronlarında :

$CR_s = 137,9 - 0,4 \cdot ES - 0,2 \cdot (SH + CR_c)$ Tavlanmış öngerme çeliği halinde

$CR_s = 34,475 - 0,10 \cdot ES - 0,05 \cdot (SH + CR_c)$ Düşük gevşemeli çelik halinde

- Ardçekme elemanlarında

Kopma mukavemeti 1746,175 - 1861,569 N/mm² olan öngerme toronlarında :

. Tavlanmış öngerme çeliği halinde

$CR_s = 137,9 - 0,4 \cdot ES - 0,3 \cdot FR - 0,2 \cdot (SH + CR_c)$

. Düşük gevşemeli çelik halinde

$CR_s = 34,475 - 0,1 \cdot ES - 0,07 \cdot FR - 0,05 \cdot (SH + CR_c)$

Kopma mukavemeti 1654,728 N/mm² olan öngerme telinde :

$CR_s = 124,10 - 0,4 \cdot ES - 0,3 \cdot FR - 0,2 \cdot (SH + CR_c)$

Kopma mukavemeti 999,732 - 1103,152 N/mm² olan öngerme çubuklarında :

$CR_s = 20,68$

6.8-Tahmini Kayıplar

AASHTO-89

Ön hesaplarda kullanılması oldukça yararlı olacak bir düzenleme AASHTO-89'da yeralmaktadır. Normal şartlarda inşaa edilecek normal betonlu bir öngermeli yapı için ortalama kayıplar şöyle tahmin edilmiştir.

ÖNGERME ÇELİĞİ TİPİ	TOPLAM KAYIP (MPa)	
	$f'_c = 27,579 \text{ MPa}$	$f'_c = 34,474 \text{ MPa}$
- Önçekmeli toron	—	310,26
- Ardçekmeli		
.Tel veya toron	220,63	227,53
.Çubuklar	151,68	158,58

Bu tablodaki değerlere sürtünme kayıpları dahil değildir.

7-EĞİLME ELEMANLARINDA EMNİYET GERİLMELERİ

7.1-Aktarma Sırasında Beton Emniyet gerilmeleri

Aktarma sırasında emniyet gerilmeleri öngerme kuvvetinin betona aktarıldığı andaki emniyet gerilmeleridir. Bu anda zamana bağlı öngerilme kayıpları henüz oluşmamıştır.

7.1.1-Basınç

Aktarma sırasında betonda basınç emniyet gerilmeleri

TS 3233

- Fabrikada yapılan elemanlarda..... $0,60.f_{cjk}$ N/mm^2
- Şantiyede yapılan elemanlarda..... $0,55.f_{cjk}$ "

AASHTO-89

- Öngermeli elemanlarında..... $0,60.f_c^I$ N/mm^2
- Ardgermeli elemanlarda..... $0,55.f_c^I$ "

Görüldüğü gibi emniyet gerilme katsayıları verilirken, Türk şartnamesinde betonun yapıldığı yer AASHTO-89'da ise öngerme metodu esas alınmıştır.

7.1.2-Çekme

Aktarma sırasında betonda çekme emniyet gerilmeleri

TS 3233

- Birbirine eklenen parçalar halinde imal edilen elemanların bağlantı noktalarında.....0
- Basit mesnetlendirilen elemanların mesnet bölgelerinde
..... $0,50.\sqrt{f_{cjk}}$ N/mm^2
- Diğer durumlarda..... $0,25.\sqrt{f_{cjk}}$ "

Hesaplanan çekme gerilmesinin yukardaki değerleri aşması halinde tüm çekme kuvveti ek aderanslı donatı ile alınmalıdır.

AASHTO-89

- Aktarma anında betonun basınç gerilmelerinin yoğun bulunacağı kenarlarda (basit kirişin alt yüzünde) çekme emniyet gerilmesi tanımlanmamıştır.

Diğer bölgelerde :

Aderanslı donatı kullanılmayacaksa $1,379 N/mm^2$ veya $0,249.\sqrt{f_c^I}$ N/mm^2 , aderanslı donatı kullanılacaksa maksimum çekme gerilmesi $0,623.\sqrt{f_c^I}$ N/mm^2 'yi geçemez.

7.2 Kullanım Yükleri İçin Beton Emniyet Gerilmeleri

Kullanım yükleri altında betondaki emniyet gerilmeleri

yapısal analizde elemana etki yapacağı öngörülen tüm yükler ve deformasyonlardan oluşan yük etkileri için verilmiştir. Bu durumda zamana bağlı tüm öngerilme kayıplarının olduğu kabul edilmiştir.

7.2.1-Basınç

Kullanım yükleri altında betonda basınç emniyet gerilmeleri

TS 3233

- Köprü elemanlarında..... $0,40.f_{ck}$ N/mm^2
- Diğer yapı elemanlarında..... $0,45.f_{ck}$ "

AASHTO-89

- Bütün elemanlarda..... $0,40.f_c^I$ N/mm^2

7.2.2-Çekme

Kullanım yükleri altında betondaki çekme emniyet gerilmeleri

- Birbirine eklenen parçalar halinde imal edilen elemanların bağlantı noktalarında.....0
- Çekme bölgesinde ek donatı kullanılmadığı zaman
..... $0,50.\sqrt{f_{c,jk}}$ N/mm^2
- Çekme bölgesinde ek donatı kullanıldığı sınırlı öngerilme uygulamasında;sehim değerlerinin öngörülen sınırları aşmadığının kanıtlandığı durumlarda..... $1,0.\sqrt{f_{c,jk}}$ N/mm^2

AASHTO-89

- Aderanslı donatı kullanılacak ise..... $0,499.\sqrt{f_c^I}$ N/mm^2
- Ciddi paslanma tehlikesi olan ortamlarda.... $0,249.\sqrt{f_c^I}$ "
- Aderanslı donatı kullanılmadığı durumlarda...0

7.3 Öngerme Çeliğinde Emniyet Gerilmeleri

TS 3233

- Germeden dolayı meydana gelen çekme gerilmesi..... $0,80.f_{pk}$
- Aktarmadan sonra meydana gelebilecek çekme gerilmesi... $0,70.f_{pk}$

AASHTO-89

Aktarmadan hemen sonra ankrajdaki gerilme

- Öngermeli elemanlarda
..... $0,70.f_s^I$ Tavlanmış öngerme çeliği halinde
..... $0,75.f_s^I$ Düşük gevşemeli çelik halinde

Yapının elastik kısalması, germe elemanının iç sürtünmesi ve benzeri germe ani kayıplarını kısmen telafi etmek için yeniden germeye izin verilir. Yeniden germe esnasında ankrajdaki gerilme

için en çok $0,85.f_y^*$ 'ye kadar izin verilmiştir. Yeniden germenin ankrajından sonra kablonun herhangi bir noktasında oluşacak gerilmeler yukardaki asıl değerleri geçemez.

- Ardgermeli elemanlarda..... $0,70.f_s^l$

Benzer nedenler ve kablo-kılıf sürtünmesi gibi sebeplerle germe ani kayıplarını kısmen telafi etmek için, bu defa, $0,90.f_y^*$ 'ye kadar germeye izin verilmiştir; nevarki, ankrajdan hemen sonra, kablodaki gerilme $0,83.f_y^*$ 'yi aşmamalıdır.

f_y^* = Öngerme çeliğinin itibari (farzetilmiş) akma gerilmesinin karakteristik değeridir.

8-TAŞIMA GÜCÜYLE HESAP İLKELERİ

8.1-Eğilme Elemanları

Eğilme elemanları eğilme taşıma gücü M_{res} (AASHTO: $\phi.M_n$) değerinin en elverişsiz yük tertibinden elde edilen hesap eğilme momenti M_d (AASHTO: M_u) değerinden büyük olduğu gösterilmelidir. Ayrıca, kesit çatlama momenti M_{cr} hesaplanmalı ve $M_{res} \geq 1,2.M_{cr}$ olduğu gösterilmelidir.

Dikdörtgen kesitlerin veya basınç bölgesi tabla içinde kalan ($a \leq t$) tablalı kesitlerin taşıma gücü

TS 3233

$$M_{res} = (A_{ps}.f_{pd}^l + A_s.f_{yd}).(d-a/2)$$

$$\text{Aderanslı öngerme çeliği için.....} f_{pd}^l = f_{pd}.(1-0,4.\rho_p.f_{pd}/f_{cd})$$

$$\text{Aderanssız öngerme çeliği için.....} f_{pd}^l = \sigma_{pef} + 700 + f_{cd}/(100.\rho_p)$$

f_{pd}^l hiç bir zaman f_{pk}^l veya ($\sigma_{pef} + 400 \text{ kg/cm}^2$) değerini aşmamalıdır.

AASHTO-89

$$\phi.M_n = \phi.[A_s^*.f_{su}^*.d.(1-0,6.\rho^*.f_{su}^*/f_c^l)]$$

$$\text{Aderanslı yapı elemanları için.....} f_{su}^* = f_s^l.(1-0,5.\rho^*.f_s^l/f_c^l)$$

$$\text{Aderanssız yapı elemanları için....} f_{su}^* = f_{se} + 103,421$$

$f_{se} \geq 0,5.f_s^l$ olmalıdır.

f_{su}^* = Son limit durumda ortalama kablo gerilmesi,

f_{se} = Kayıplardan sonraki kablodaki etkili gerilme.

Basınç bölgesi tabla içinde kalmayan ($a > t$) kesitlerinin taşıma gücü momenti

TS 3233

$$M_{res} = 0,85.f_{cd}.[t.(b-b_w).(d-t/2)+a.b_w.(d-a/2)]$$

AASHTO-89

$$\phi.M_n = \phi.[A_{sr}.f_{su}^*.d.(1-0,6.A_{sr}.f_{su}^*/(b'.d.f_c')) + 0,85.f_c'.(b-b').t.(d-0,5.t)]$$

$$A_{sr} = A_s^* - A_{sf} \quad ; \quad A_{sf} = 0,85.f_c'.(b-b').t/f_{su}^*$$

A_{sf} = Tablalı bir kesitin flanşlarının oluşturduğu kısmın mukavemetine karşı gelen öngerilme donatı alanı.

9-KAYMA HESABI

9.1-Genel

- Kayma hesabı taşıma gücü ilkelerine göre yapılacaktır.
- Hesap kesme kuvveti, V_d (AASHTO: V_u), öngerilmeli betonun kesme taşıma gücü, V_c ve kayma donatısının kesme taşıma gücü, V_w , ile karşılanacaktır.

$$V_d \leq V_{res} \quad ; \quad V_{res} = V_c + V_w \quad (TS 3233)$$

$$V_u \leq \phi.(V_c + V_w) \quad (AASHTO)$$

- Öngermeli beton eğilme elemanları (rijit plaklar, temeller hariç) kesme ve diyagonal çekme gerilmelerine karşı donatı ile takviye edilir.

- Kayma donatısı hesabı $V_d - V_c$ (AASHTO: $V_u - \phi.V_c$) farkı için yapılacaktır.

- Mesnet yüzünden $h/2$ veya daha yakın mesafedeki kesitler aynı hesap kesme kuvvetine göre hesaplanır.

TS 3233

- Hesap kesme kuvveti V_d 'nin aşağıdaki çizelgede verilen değerin, $b_w.d$ ile çarpımından bulunan maksimum kesme kuvvetinden küçük olduğu gösterilecektir.

τ_{max} (N/mm ²)	BETON SINIFI						
	25	30	35	40	45	50	55
	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	5,5	5,8

$\tau_{max} \cdot b \cdot d \geq V_d$ olduğu gösterilmelidir.

AASHTO-89

Kesme kuvveti takozları yapım sırasındaki kesme kuvvetini aktarmak için prekast kutu ana kirişlerin gövdesinde teşkil edilir. Özellikle orta ayağa yakın segmentlerde, takozlar tarafından taşınacak gerilme $2 \cdot \sqrt{f'_c}$ 'yi geçemez.

9.1.1-Gövdede asal çekme çatlağı olan elemanların kesme taşıma gücü, V_{cw}

TS 3233

$$V_{cw} = 0,67 \cdot b_w \cdot h \cdot \sqrt{\sigma_{ct}^2 + 0,8 \cdot \sigma_{cp} \cdot \sigma_{ct}} \quad ; \quad \sigma_{ct} = 0,25 \cdot \sqrt{f'_{ck}} \text{ N/mm}^2$$

σ_{cp} = Kesit ağırlık merkezinde öngerilmenden oluşan basınç gerilmesi

σ_{ct} = Asal çekme gerilmeleri.

- Ağırlık eksenini başlık içinde kalan başlıklı kesitlerde V_{cw} hesabı, gövdenin başlıkla birleştiği kesit için yapılacaktır.

- Öngerme donatısı eğik olan elemanlarda, öngerme kuvvetinin düşey bileşeni V_{cw} değerine eklenecektir.

AASHTO-89

$$V_{cw} = 10 \times 10^5 \cdot [(0,29 \cdot \sqrt{f'_c} + 0,3 \cdot f_{pc}) \cdot b' \cdot d] + V_p$$

f_{pc} = Bütün kayıplar düşüldükten sonra kesit ağırlık merkezinde, kesit ağırlık merkezinin tabla içine düşmesi halinde tabla-gövde birleşim kesitindeki normal gerilme,

V_p = Kesitte etkin öngerme kuvvetinin düşey bileşeni.

9.1.2- Eğilme çatlağı olan elemanların kesme taşıma gücü, V_{cr}

TS 3233

$$V_{cr} = (1 - 0,55 \cdot \sigma_{pef} / f_{pk}) \cdot \tau_c \cdot b_w \cdot d + M_o \cdot V_d / M_d$$

σ_{pef} = Öngerme çeliğinde kayıplardan sonra kalan etkin öngerilme.

Bu değer, $0,60 \cdot f_{pk}$ 'den büyük alınamaz.

τ_c = Betonun taşıma gücü kayma gerilmesi,

f_{pk} = Öngerme çeliğinin karakteristik kopma dayanımı,

M_o = Kesit faydalı yüksekliği d 'de 0 gerilme yaratacak moment değeri, $M_o = 0,8 \cdot \sigma_{cpd} \cdot I/y$

σ_{cpd} = Öngermeli elemanın d derinliğinde yalnız öngerilmeden oluşan beton gerilmesi.

V_{cr} değeri $0,12 \cdot b_w \cdot d \cdot \sqrt{f_{ck}}$ N/mm² 'den küçük alınmayacaktır. Öngerme donatısı eğik olan elemanların V_{cr} hesabında öngerme kuvvetinin düşey bileşeni ihmal edilecektir.

AASHTO-89

$$V_{cr} = 4,98 \times 10^4 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b' \cdot d + V_d + V_i \cdot M_{cr} / M_{max}$$

$$V_{cr} \leq 218,76 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b' \cdot d$$

$$M_{cr} = \frac{I}{Y_t} \cdot (0,498 \cdot \sqrt{f_c'} + f_{pe} - f_d)$$

V_d = Kesme kuvvetinin zati yüklerden ileri gelen ve yük katsayıları ile çarpılmamış değeri,

f_{pe} = Yalnız, etkili kablo kuvvetinden ileri gelen ekstrem beton gerilmesi,

f_d = Yük katsayıları ile çarpılmamış zati yüklerden dolayı oluşan ekstrem beton gerilmesi,

Y_t = Kesit ağırlık merkezinden « d » derinliğine olan mesafe,

V_i = Kesitte maksimum momenti veren dış kuvvet durumu halinde müteakıl kesme kuvveti.

9.2-Kayma Donatısı Hesabı

9.2.1-Kayma donatısı gerekmeyen öngerilmeli elemanlar

- Döşeme ve Sömellerde

- Hesap çekme kuvveti V_d 'nin $V_c/2$ (AASHTO: $V_u < \phi \cdot V_c/2$) 'den küçük olduğu elemanlarda

9.2.2-Minimum kayma donatısı

IS 3233

$$\min A_{sw} = 0,25 \cdot b_w \cdot s \cdot f_{ctd} / f_{ywd}$$

A_{sw} = Kayma donatısı olarak kullanılan etriye kollarının toplam alanı,

f_{ywd} = Kayma donatısı hesap akma dayanımı, $f_{ywd} \leq 370$ N/mm²

f_{ctd} = Betonun hesap çekme dayanımı.

AASHTO-89

$$\min A_v = 0,345 \cdot b \cdot s / f_{sy}$$

$$f_{sy} = \text{Öngerilmesiz donatının akma dayanımı} \quad f_{sy} \leq 413,685 \text{ N/mm}^2$$

9.2.3-Hesap kesme kuvveti V_d 'nin, beton kesme taşıma gücü, V_c 'i aşması durumunda kayma donatısı

$V_d > V_c$ (AASHTO: $V_u > \phi \cdot V_c$) durumunda kayma donatısı

TS 3233

$$A_{sw} = (V_d - V_c) \cdot s / (f_{ywd} \cdot d)$$

AASHTO-89

$$A_v = V_s \cdot s / (f_{sy} \cdot d) \quad V_s = V_u - \phi \cdot V_c$$

$$V_s \leq 6,65 \times 10^5 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

Maksimum etriye aralığı

TS 3233

- Maksimum etriye aralığı $0,75 \cdot d$ 'yi, başlıklı kesitlerde $4 \cdot b_w$ 'yi geçmemelidir.
- $V_d > 1,8 \cdot V_c$ olduğu durumlarda maksimum etriye aralığı $0,5 \cdot d$ 'ye indirilmelidir.
- Etriye kolları arasındaki açıklık $0,75 \cdot d$ 'yi aşmamalıdır.

AASHTO-89

- Maksimum etriye aralığı $0,75 \cdot h$ veya $60,96 \text{ cm}$ (24 inç) 'i geçemez.

$V_s > 3,32 \times 10^5 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$ olduğu zaman maksimum etriye aralığı yarıya indirilmelidir.

10-DÖŞEME SİSTEMLERİ

Birden fazla yönde donatılı plaklar; kolon redörlerini, kolon döşeme bağlantılarının rijitliğini gözönüne alan bir yöntemle hesaplanıp projelendirilmelidir. Gerçekçi sonuçlar vermesi nedeni ile eşdeğer çerçeve yöntemi, her iki doğrultuda çalışan plaklar kirişli ise yük dengeleme yöntemi ile projelendirilebilir.

Betonda plakların analizinde kullanılan moment ve kesme kuvveti katsayıları öngerilmeli plaklar için kullanılmaz.

AASHTO-89'da, yalnızca prekast döşeme panelleri ile ilgili düzenlemeler verilmektedir.

11-AYRI DÖKÜM BİRLEŞİMLİ (KOMPOZİT) ELEMANLAR

Sanat yapılarında, atölyede veya fabrikada yapılmış prekast kirişleri yerine monte ettikten sonra yerinde döküm betonarme veya öngermeli beton bir döşeme ilave ederek kompozit yapı oluşturma çok kullanılan bir inşaat metodudur. Yapının kompozitliği farklı kalite ve zamanlarda dökülmüş kısımları birlikte bulundurmasındandır. Bu tür yapıların birleşim kesitlerinin incelenmesi ve yapının bütünlüğünün denetlenmesi gerektiğinde donatı veya başkaca kenetlenme elemanları ile tedbir alınmalıdır. Bu tür yapıların projelendirilmesinin en önemli ayrıntısını teşkil eder.

Birleşim kesitlerinde meydana gelen ve elemanlar arasındaki yük aktarmalarının sonucu olan karşılıklı etkiler (özellikle kayma kuvvetleri) doğru tahmin edilmelidir. Şartnamelerde bu konuları düzenleyen maddeler yer almakla birlikte, tanımlar kesin olmayıp projeciye büyük inisiyatif bırakır. Burada mühendisin tecrübesi ve sezgisi çok önemlidir.

TS 3233

Öngerilmeli beton elemanlar sonradan dökülmüş betonla beraber çalışabilirler. Bu durumda yatay kesme için kayma donatısı kullanılması veya öngerilmeli beton yüzeyinin pürüzlendirilmesi gerekir.

Minimum yatay kayma donatısı aşağıdaki denklemden hesaplanmalıdır.

$$A_{wh} = 0.25 \cdot b' \cdot s \cdot f_{ctd} / f_{ywd}$$

Yatay kayma donatı aralıkları, elemanın en küçük boyutunun dört katından veya 60 cm 'den fazla olamaz. Donatı olarak tek çubuklar, kapalı etriyeler veya çelik hasır kullanılabilir. Üzerine normal beton dökülecek ayrı döküm birleşimle elemanın yüzeyi en az 6 mm yükseklikte taraklanırsa bu yüzey pürüzlü sayılabilir.

Yatay kayma dayanımı $\bar{V}_{res}$ değerinin, hesap yatay kesme kuvveti $\bar{V}_d$ değerinden büyük olduğu gösterilmelidir.

$$\bar{V}_d \leq \bar{V}_{res} = b' \cdot d \cdot f_{ht}$$

b' = Yatay kaymaya temel alınacak kesit genişliği,

f_{ht} = Yatay kaymada sınır çekme dayanımı.

(a) Yatay kayma donatısı kullanılmayıp, birleşim yüzeylerinin pürüzlendirilmesi durumunda $f_{ht} = 0,5 \text{ N/mm}^2$;

(b) Minimum yatay kayma donatısı kullanılması, ancak birleşim yüzeylerinin pürüzlendirilmemiş olması durumunda $f_{ht} = 0,5 \text{ N/mm}^2$;

(c) Minimum yatay kayma donatı ile pürüzlendirilmiş birleşim yüzeyi olması durumunda $f_{ht} = 2,5 \text{ N/mm}^2$;

(d) Minimum yatay donatı ile pürüzlendirilmiş olmasına rağmen $\bar{V}_{res} > \bar{V}_d$ koşulu sağlanamazsa aşağıdaki denklemden gerekli kayma donatısı hesaplanmalıdır.

$$A_{wh} = \bar{V}_d / (\mu \cdot f_{ywd})$$

μ = Birleşim yüzeyinde sürtünme katsayısı (beraber dökülmüş betonlar için 1,4 ayrı dökülmüş betonlar için 1,0 alınabilir.)

$\bar{V}_{res}$ üst sınır değerinin hesabında $f_{ht} = 5,6 \text{ N/mm}^2$ olarak alınır.

AASHTO-89

$v = V_u \cdot Q / (I \cdot b)$ ile hesaplanacak yatay kayma gerilmesi:

- Minimum donatı kullanılabilmesi için $0,517 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 'yi geçmemelidir.
- Minimum donatı ile birlikte birleşim yüzeyinin temizlenip pürüzlendirilmiş olması halinde bu sınır $2,068 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 'ye çıkabilir.
- Buna ilaveten, temas yüzeyinin her % 1 'i kadar ki etriye alanı için $1,034 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 'lik mukavemet temin edildiği kabul edilebilir.

Bütün gövde donatıları (düşey veya yatay kayma etriyeleri) yerinde dökülmüş tabliye içine olabildiğince ankre edilmelidir. Düşey etriyelerin minimum alanı, 30 cm aralıklı 2 bacaklı $\phi 10$ luk etriyedir. Düşey etriye aralığı kompozit döşeme kalınlığının 4 katından büyük olamaz; döşemenin kompozit olması halinde maksimum aralık 60 cm 'den fazla olmamalıdır.

12-ÖNGERİLMELİ KİRİŞLERDE KULLANILABİLİRLİK

12.1-Sehim

12.1.1-Genel

Sınırlı öngermeli elemanların dışında öngermeli beton kirişlerde hareketli ve kısa süreli yüklemeler için sehim, elastik analiz ile hesaplanabilir.

Öngerme elemanların aktarma sırasında yapacakları ters sehim kalıplara verilecek ön sehimle azaltılabilir. Öngermeli elemanların aktarma sırası ve kullanım yükleri altında hesaplanan sehim değerleri TS 500'de verilen sınırları aşmamalıdır.

Uzun yükler altındaki sehim hesabı için sünmeden ötürü değişen beton elastisite modülü

$$E_{ce} = E_c / (1 + k_c \cdot E_c) \quad k_c = 0,1 \text{ N/mm}^2 \text{ 'luk gerilmeye betonun sünme miktarıdır.}$$

$$\text{Önçekme için.....} k_c = 48 \times 10^{-7}$$

$$\text{Ardçekme için.....} k_c = 36 \times 10^{-7}$$

Uzun süreli yükler altındaki elemanlar için hesaplanan sehim TS 500'de verilen sınırları aşmamalıdır.

12.1.2-Sınırlı öngermeli beton kirişler

Sınırlı öngermeli beton kirişlerde kalıcı yükler, kullanım yüklerinin % 25 'ine eşit veya daha az ise sehim hesabı yukardaki gibi yapılmalıdır. Kalıcı yüklerin oranı % 25 'i aşıyor ise sehim, çatlama sonrası moment-eğrilik analizi yapılarak yada aşağıdaki etkin atalet momenti formülü ile hesaplanmalıdır.

$$I_{ef} = (M_{cr}/M_{max})^3 \cdot I_g + [1 - (M_{cr}/M_{max})^3] \cdot I_{cr} \leq I_g$$

$$M_{cr} = 1,3 \cdot f_{ctk} \cdot I_c / y$$

$$I_{cr} = \text{Çatlamış kesitin betona dönüştürülmüş atalet momenti,}$$

$$I_g = \text{Brüt beton kesitin atalet momenti,}$$

$$M_{cr} = \text{Çatlama momenti,}$$

$$M_{max} = \text{Elemanın sehim hesabında temel olan yükler altındaki maksimum momentidir.}$$

Sınırlı öngermeli kirişlerin sehim sınırları TS 500'de belirtilenlerin aynıdır.

AASTO-89

Öngermeli beton yapıların sehim hesapları ile ilgili olarak ayrıntıya inmemiş, sadece gözönüne alınması gereken etkileri ve

inşaat metoduna bağlı olarak farklı beton yaşlarının dikkate alınması gibi hususlara dikkat edilmesini istemiştir.

13-ÖNGERMELİ ELEMANLARDA SÜNEKLİĞİN SAĞLANMASI

TS 3233

Afet bölgelerinde yapılacak yapılarda perde, çekirdek, çerçeve gibi deprem etkilerinin tümünü alabilecek güçte, öngerilmemiş elemanlar kullanılmalıdır. Eğer bu olasılık yoksa, deprem bölgelerinde yapılacak öngerilmeli beton yapıların projelendirilmesinde aşağıdaki koşullara uyulması zorunludur.

13.1-Sınırlı Öngerilmeli İlkesine Uyuma Koşulu

Deprem bölgesinde yapılacak öngerilmeli beton yapıların hesabında sınırlı öngerilmeli ilkesine uyulması zorunludur.

Bu amaçla,

- Öngerilmeli beton kirişlerin hem alt, hem üst yüzeylerinde, herbiri kesit eğilme taşıma gücünün en az % 10 'unu sağlayan öngerilmemiş donatı kullanılacaktır.
- Bu öngerilmemiş donatı, deprem etkisi alan kirişlerde, hem alt, hem üst yüzlerde devam ettirilecektir.
- Maksimum moment bölgelerinde sınırlı öngerilme, kesit basınç bölgesi değerinin yararlı yüksekliğe oranı, a/d değerinin 0,2 'yi aşmamasını sağlayabilmelidir.

13.2-Diğer Koşullar

- Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik de belirlenen « Depremle ilgili kesit hesaplarında beton ve çeliğin emniyet gerilmelerinin en fazla % 33 kadar arttırılabilmesi yöntemi » öngerilmeli beton yapıların hesabında uygulanmaz.
- Aynı yönetmeliğin önerdiği yapı tipi katsayısı k , öngerilmeli beton yapıların hesabında 1,0 'den küçük alınamaz.
- Eğilme taşıma gücü ile çatlama momenti arasındaki ilişki, deprem bölgelerinde yapılacak öngerilmeli beton yapılar için

$$M_{res} \geq 1,33.M_{cr} \text{ olarak uygulanmalıdır.}$$

- Öngerilmeli olarak yapılan çok katlı yapıların düktil çerçeve sayılabilmesi için birleşim noktalarının tam moment aktarmasını

sağlayabilmesi gerekir.

AASHTO-89

Sünekliğin sağlanması (donatı azlığından dolayı gevrek kırılmanın önlenmesi, yada donatı fazlalığından dolayı gevrek kırılmaya neden olma) donatı yüzdelerinin sınırlandırılması ve yapıya kazandırılan nihayi eğilme mukavemetini çatlama momentinden belirli miktar büyük kalması şartlarının gerçekleştirilmesi şeklinde düzenlenmiştir.

14-KONSTRÜKTİF SORUNLAR

14.1-Beton Örtü Kalınlığı

TS 3233

Öngerme donatısı, normal donatı ve kılıf üstündeki beton örtü kalınlığı en az aşağıdaki çizelgede verilen değerler kadar olmalıdır.

Betonu sürekli olarak zemine oturan elemanlarda	75 mm
Toprak ve dış tabiatla teması olan : Duvarlar,döşemeler ve nervür kirişler	25 mm
Diğer elemanlar	35 mm
Dış etkilerden korunan ve zeminle teması olmayan : Duvarlar,döşemeler ve nervür kirişler	20 mm
Diğer elemanlar	25 mm

AASHTO-89

- Öngerme çeliği ve ana donatı için.....3,81 cm (1,5 inç)
- Döşeme donatısı için :
 - .Döşemenin üst tarafında.....3,81 cm (1,5 inç)
 - .Döşemenin üst tarafında (Buzlu ortamlarda).... 5,08 cm (2,0 inç)
 - .Döşemenin alt tarafında.....2,54 cm (1,0 inç)
- Etriye ve etriye tipi donatı için.....2,54 cm (1,0 inç)

14.2-Eleman Uç Noktaları

Elemanın uçlarında ankraj bölgesine, betonun yarılması, çatlaması ve kırılmasını önleyecek donatı konulmalıdır. Kesitin birdenbire değiştiği bölümler yeterince donatılmalıdır. Öngerme kuvvetinin fazla olması durumunda gerilmelerin dağıtılması ve azaltılmasını sağlamak amacıyla uç bölgelerde yaslanma blokları

kullanılmalıdır.

Önçekmeli eleman uçları, asal çekme gerilmelerini karşılamak için, aşağıda sıralanan kesme-sürtünme ilkelerine göre donatılmalıdır.

a) Kesme düzlemi boyunca bir çatlağın olacağı varsayılarak çatlağın her iki yanındaki betonun birbirine göre hareketlerinin kesme-sürtünme donatısı ile önlediği benimsenmelidir. Donatının düşünülen çatlağa olabildiğince dik konulmasına çalışılmalıdır.

b) Kesme kırılma kuvvetinden oluşacak kayma gerilmesi $5,6 \text{ N/mm}^2$ 'yi veya $(0,2 \cdot f_{ck})$ 'yi geçmemelidir.

c) Kesme-sürtünme donatı alanı aşağıdaki formülden hesaplanacaktır.

$$A_{fv} = V_d / (f_{yd} \cdot \mu)$$

Donatının hesap akma dayanım değeri, f_{yd} , 370 N/mm^2 'yi geçmemelidir. Sürtünme katsayısı, μ , döküm betonu için 1,4 sertleşmesini tamamlamış beton üzerine sonradan dökülmüş beton için 1,0 ve planya edilmiş çelik üzerine dökülen beton için 0,7 alınmalıdır.

d) Eleman ucunda aynı zamanda meydana gelebilecek yatay gerilmeler için donatı alanı aşağıdaki formülden hesaplanacaktır.

$$A_{fh} = A_{fv} \cdot f_{yd} / (f_{yhd} \cdot \mu)$$

Sürtünme katsayıları için (c) şıkkındaki değerler alınabilir.

Burada f_{yhd} yatay kesme-sürtünme donatısının hesap akma dayanımıdır.

e) Kesme-sürtünme donatısı çatlak boyunca eşit dağıtılmalı ve çatlağın iki yanından kancalarla, aderansla veya diğer bir donatıya kaynaklanarak yeterli biçimde ankre edilmelidir.

f) Eleman uçlarına konacak çemberleme donatısında aşağıdaki formülden bulunacaktır.

$$A_{ch} = A_{cv} = V_d / (8 \cdot f_{yd})$$

g) Oluşacağı düşünülen herhangi bir çatlakta, çatlağa dik yönde bir çekme kuvveti varsa, bu çekme kuvvetini alacak ek donatı ayrıca konmalıdır.

h) Eğer kesme, öndökümlü betondan sonra dökülen bir betona aktarılıyorsa, öndökümlü beton birleşim yüzeyi en az 6 mm 'lik çıkıntılarla pürüzlendirilmelidir.

14.3-Ardçekmeli Elemanların Ankraj Blokları

14.3.1-Genel

Ardçekmeli elemanların ankraj yapılan uçlarında betonda patlama, yarılmaya yol açabilecek gerilmeleri alacak donatı yerleştirilmelidir.

14.3.2-Ankraj bloğu çekme kuvveti hesabı

- Ankraj bloğunda çekme etkisi, uygulanan öngerilme kuvvetinin bir oranı olarak hesaplanabilir.

Ardçekme Ankraj Bloğunda Yarma Çekme Kuvvetleri (kare bloklar için)

y_{po}/y_o	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
F_f/P_o	0,23	0,20	0,17	0,14	0,11

Burada;

y_o = Ankrajın yaslandığı beton blok boyutunun yarısı,

y_{po} = Ankraj blokunun yüklediği alan boyutunun yarısı,

p_o = Öngerme çeliğindeki kayıplardan önceki öngerme kuvveti,

F_f = Yarılma çekme kuvvetleri.

- Ankraj bloğunun yuvarlak olduğu durumlarda, y_o hesabı için yuvarlak bloğa eşit alanlı bir kare kenarının yarısı alınacaktır.

- Yarılma çekme kuvvetini alacak gerekli donatı alanı, kullanılan çelikteki gerilme $0,85.f_{yk}$ alınarak bulunabilir. Ancak, bu donatı çevresindeki beton örtüsü kalınlığının 50 mm 'den az olması durumunda 0,001 birim uzamanın karşılığı olan çelik gerilmesi kullanılmalıdır. Yarılma donatısı, elemanın ankraj yüzeyinden ölçülerek $0,2.y_o$ ve $2.y_o$ uzaklıklar arasında dağıtılmalıdır.

- Dikdörtgen ankraj bloğu kullanılması durumunda çizelgedeki değerler ile iki yöndeki yarılma kuvveti hesaplanmalıdır.

AASHTO-89

Ardçekme kablolu kirişler için öngerme kuvvetinin fazla olması durumunda gerilmelerin dağıtılması ve azaltılmasını sağlamak amacıyla uç bölgelerde yaslanma blokları kullanılmalıdır.

Bütün kabloların önçekmeli teller veya 7 telden oluşan toronlardan oluştuğu yerde yaslanma blokların kullanılmasına gerek yoktur. Bu bloklar kirişin en dar flanşın genişliği kadar genişliğe ve en azından kirişin yüksekliğinin 3/4 'üne eşit bir boya sahip olmalı; bu boy asla 60,96 cm (24 inç) 'den az olamaz.

Ardçekmeli elemanlarda dikey ve yatay çubuklardan

oluşturulan hasır, patlama ve yarılmaya yol açabilecek gerilmeleri alması için bloğun yüzeyine yakın olarak yerleştirilir. Hasırdaki çelik miktarı ankrajı sağlayan kişi veya firmanın tavsiyesine uyulmalı, aksi taktirde her bir yönde ϕ 10 luk ve merkezinden merkezine olan uzaklık 7,62 cm (3 inç) olmak üzere yerleştirilmelidir. Bu donatının ankraj mesnet plakasının iç yüzünden 3,81 cm (1,5 inç) 'den daha çok olamaz.

Önceden germeli kirişlerde kiriş ucundan d/4 mesafeye kadar toplam öngerilme kuvvetinin en az % 4 'ine mukavemet edecek kapasitede ve miktarda aynı zamanda gerilmesi $137,895 \text{ N/mm}^2$ 'yi aşmayan düşey etriyelerle düzenlenecektir; uca en yakın etriye uygulamanın müsaade ettiği en yakın mesafede olmalıdır. Kirişin alt tablasının en az d mesafedeki bölgesi normal donatı ile kuşatılmalıdır. Kutu kesitlerde tablaların enine donatıları gövdeye uzatılmalı ve ankre edilmelidir.

15-YÜKLER

Karşılaştırma, Karayolu köprüleri teknik şartnamesi (KGM) AASHTO-89 arasında yapılacaktır. Bu başlık altında incelenecek bir çok konuda, her iki kaynakta büyük bir benzerlik bulunduğundan ortak bir ifade verildikten sonra, var ise farklılıklar işaret edilecektir.

15.1-Yüklerin Cinsi

Yapıların boyutlandırılmasında aşağıda gösterilen yük ve etkilerden mevcut olanlar gözönünde bulundurulmalı ve her yük veya etki altında bulunacak gerilmeler hesaplarda ayrı ayrı gösterilmelidir.

Grup A :

Zati yük (yapı kısımlarının kendi ağırlığı),

Hareketli yük (ve dinamik etkileri dahil),

Boyuna kuvvetler,

Mesnet şartlarında değişme,

Merkezkaç kuvvet,

Rüzgâr yükü,

Kar yükü,

Rötre,

Sünme,
Toprak itkisi,
Suyun kaldırma kuvveti,
Su akıntısının basıncı,
Buz etkisi,
Atalet etkisi (hareketli köprülerde).

Grup B :

Yapım yönteminden gelen etkiler,
Deprem,
Çarpma.

AASHTO-89

Bu standartta, değişik bir tarzda gruplandırılmış ve her bir grupta değişik emniyet faktörleri öngörülmüştür. Üst yapı ve alt yapı arasında kuvvet aktarımında genleşme derzlerindeki sürtünmeler veya elastomer mesnetlerdeki kayma mukavemetleri projelendirmede dikkate alınmalıdır.

Köprü verev ise tabliye sisteminden mafsallara veya askılara intikal eden yükler düşey, yatay ve boyuna doğrultulardaki bileşenleri hesaplanarak dikkate alınacaktır.

15.2-Zati Yük

Zati yük, yapının her bir kısmının, yol, tramvay rayları, korkuluklar, üst yapı kısımları, mesnetler, orta ve kenar ayaklar, borular, kablolar ve yapıya ilişik her çeşit tesisat ve teferruatın kendi ağırlığıdır.

Yol kaplamasının veya bir aşınma tabakasının sonradan yapılması düşünülüyorsa, zati yük hesabında, bunun ağırlığını karşılamak üzere yeter pay bırakılmalıdır. Geçici olarak uzaklaştırılması mümkün olan yapı parçaları, tesisat ve teferruatın ağırlıklarının eksilmesinin yaratacağı etki ayrıca incelenmelidir.

Zati yüklerin hesabında, daha kesin bilgi mevcut olmadığı takdirde, aşağıdaki tablodan faydalanılabilir.

KGM

MALZEME	HESAP AĞIRLIĞI 3 kN/m
METALLER	
Çelik	78,500
Dökme demir	72,500
Alüminyum	28,000
Bakır	89,000
Bronz	85,000
Prinç	85,000
BETON	
Beton	23,000
Betonarme	24,000
Betonarme (vibre)	25,000
KAGIR	
Granit, Porfir	28,000
Kalker taşı, dolomit	27,000
Gre, kum taşı	26,000
AHŞAP	
İğne yapraklı ağaçlar	6,500
Yapraklı ağaçlar	8,500
Kontroplak (1 cm kalınlık için)	0,100 kN/m ²
KAPLAMA MALZEMESİ	
Silindirlenmiş makadam veya çakıl	16,000
Asfalt kaplama (1 cm kalınlık için)	0,200 kN/m ²

AAHTO-89

MALZEME	HESAP AĞIRLIĞI 3 kN/m
Çelik, font Çelik	78,500
Font Demir	72,100
Alüminyum alışımlar	28,040
Ahşap (işlenmiş, işlenmemiş)	8,010
Beton (donatılı, donatısız)	24,000
Sıkıştırılmış kum, Toprak çakıl, kırma taş	19,220
Gevsek kum, Toprak, Çakıl	16,020
Makadam veya Çakıl (silindirlenmiş)	22,430
Cüruf dolgu	9,610
Kaplama (ahşap dışında olanlar)	24,000
Demiryolu rayları, yaya kor-kulukları ve bağlantıları	1,000 kN/m ²
Kağır yapı taşı	27,200
Asfalt kaplama (1 inç kalınlığında)	0,041 kN/m ²

KGM şartnamesine göre, geçici olarak uzaklaştırılması mümkün olan yapı elemanları, tesisat ve teferruatın ağırlıklarının eksilmesinin yaratacağı etki ayrıca incelenmelidir.

AASHTO-89

Kar ve buz yükü, hareketli yükün belirli bir şekilde azaltılmış hali ile birlikte dikkate alınır. Ayrıca, çarpma etkisi, bazı özel durumlar hariç, bu durumda ihmal edilebilir.

Araç tekerleklerine zincir takılması yada dişli kar lastiği kullanılması söz konusu bölgelerde ayrı bir aşınma tabakasının

dikkate alınması gerekir.

Beton aşınmasının beklenilmediği ve trafik yüklerinin doğruca aşınma tabakası olmayan beton döşemeyle karşılandığı yerlerde, eğer yapılmasında daha uygun olacağı düşünülürse, döşemeye ayrıca 0,635 cm (1/4 inç) veya daha fazla bir kalınlık döşemeye verilebilir.

15.3-Hareketli Yükler

Hareketli yükler, taşıtların ve yayaların ağırlığını temsil etmek üzere kabul edilmiş yüklerdir.

15.4-Taşıtların yükleri

Yapıların üzerindeki yoldan geçen hareketli yükler « standart kamyon » lardan veya standart kamyon katarına eşdeğer olan « Şerit yükleri » nden ibarettir.

Yük sınıflarını belirten simgelerden H iki dingilli bir kamyon, S ise ona bağlı bir yarım treylere denk gelmektedir. H harfinden sonra gelen rakkam kamyonun iki dingilinden gelen W Ağırlığını, S harfinden sonra gelen rakkam ise yarım treylerin tek dingilinden intikal eden ağırlığı vermektedir.

D değişken dingil aralığı, kullanılmakta olan yarım treylerli kamyonların dingil aralıklarına daha yakından uyabilmek amacı ile kabul edilmiştir. Azami negatif moment elde etmek üzere ağır dingil yüklerinin komşu açıklıklara en gayri müsait şekilde yerleştirilmesini sağlamak suretiyle, değişken dingil aralığı sürekli kirişler içinde uygun bir yüklemedir.

15.5-Trafik Şeritleri

Gerek standart kamyonların gerekse şerit yüklerinin 3,00 m lik bir genişliği kapladıkları varsayılır.

Standart kamyon veya şerit yüklerinin azami gerilmeleri doğuracak şekilde, kendi trafik şeritleri içinde herhangi bir konumda oldukları kabul edilmelidir.

AASHTO-89

Yükler 3,66 m (12 fit) 'lik tasarım şeritlerine bordürler arasındaki tüm genişlik boyunca yerleştirilir. Tasarım şeritlerinin kesirli kısımları alınmayacak, fakat 6,10 m ile 7,32 m (20 fit ile 24 fit) 'ye kadar taşıtların yolu genişliği, taşıtların yolu genişliğinin yarısına eşit iki şerit olarak tasarlanacaktır.

KGM

Hesaplarda, yükleri yerleştirmek üzere kullanılacak birbirine eşit genişlikteki trafik şeritlerinin adedi aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Yol genişliği(ortada bir refüj varsa bunun genişliği hariç olmak üzere)	Trafik şeridi adedi
6,00 m ila 9,00 m	2
9,01 m ila 13,00 m	3
13,01 m ila 16,50 m	4

15.6-Standart Kamyonlar ve Şerit Yükleri

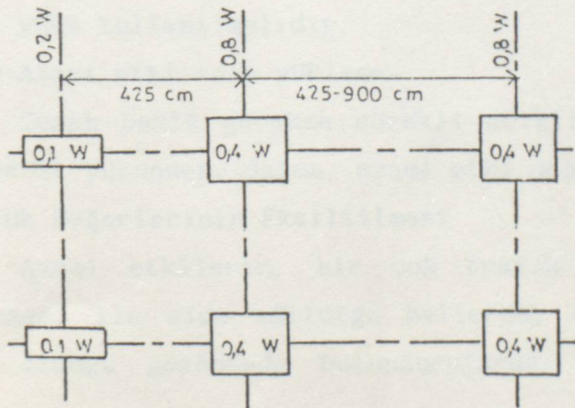
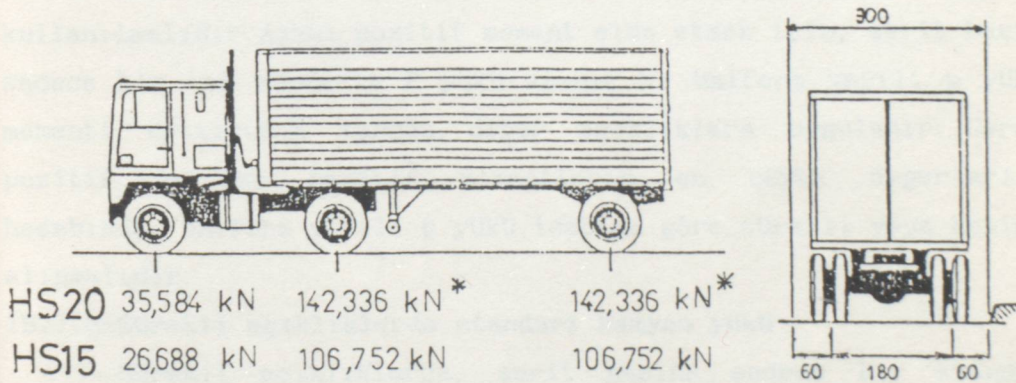
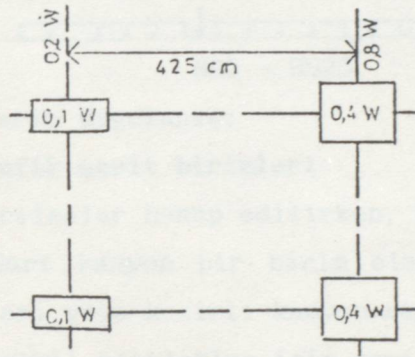
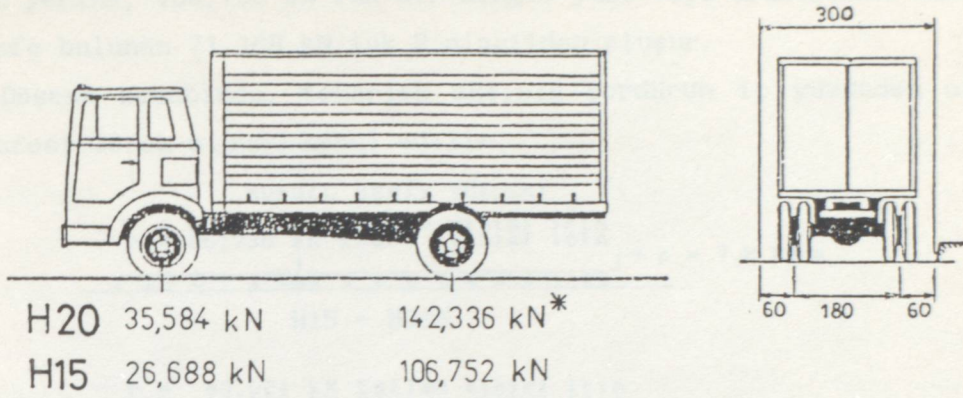
Her bir şerit yükü, trafik şeridinin birim boyu başına üniform yayılı bir p yükü ile bir tek münferit P yükünden veya sürekli açıklıklar için iki münferit yükten ibaret olup bunlar en büyük etki doğuracak şekilde yerleştirilmelidir. Gerek münferit yük gerekse üniform yayılı yükün, şeritin 3,00 m genişliğince üniform olarak yayıldığı kabul edilmelidir.

Eğilme momenti ve kesme kuvvetinin hesabı için aşağıdaki tabloda gösterildiği gibi, farklı münferit yükler kullanılmalıdır. Bu münferit yüklerden küçük olanı gerilmelerin özellikle kesme kuvvetinden doğduğu hallerde kullanılmalıdır. Tekerlek aralığı, ağırlık dağılımı ve yük gabarileri tablodaki şekillerde gösterilmiştir.

KGM

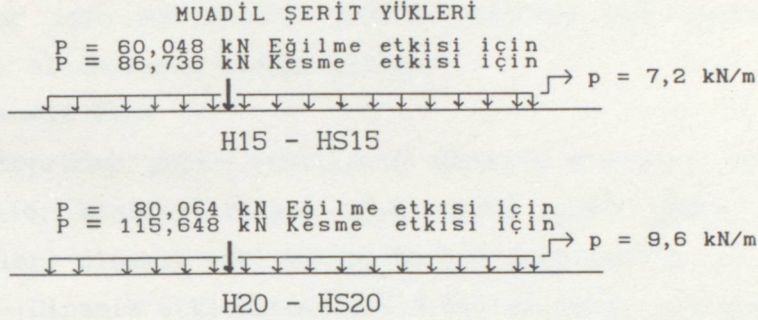
STANDARD KAMYON					
Serit yükü					
Türü	H ₃₀ — S ₂₄	H ₂₀ — S ₁₆	H ₁₅ — S ₁₂	H ₁₀	
w ağırlığı kN	300	200	150	100	
P	Eğilme eksenine göre	135	90	67,5	90
	Kesme eksenine göre	195	135	97,5	130
p kN/m	15	10	7,5	5	
λ (cm)	75	50	38	25	

STANDART KAMYON YÜKLERİ



* H20 yüklemesi için enleme kirişler hariç, ortotropik çelik döşemeler ve ahşap döşemelerin hesabında 142,336 kN luk bir dingil yükü yerine, 106,752 kN luk bir dingil yükü veya aralarında 120 cm mesafe bulunan 71,168 kN luk 2 dingilden oluşur.

** Döşeme hesabında, tekerlek aksının bordürün iç yüzünden olan mesafesi 30 cm olduğu kabul edilir.



15.7-Yüklerin Uygulanışı

15.7.1-Trafik şerit birimleri

Gerilmeler hesap edilirken, her 3.00 m 'lik şerit yükü veya tek standart kamyon bir birim olarak alınmalı ve kesirli şerit genişlikleri veya kesirli kamyon sayısı kullanılmamalıdır.

15.7.2-Sürekli açıklıklar için şerit yükleri

Sürekli açıklıklar için şerit yükleri şu şekilde kullanılmalıdır. Azami pozitif moment elde etmek için, şerit başına sadece bir tek münferit P yükü alınır ve üniform yayılı p yükü, momenti arttıracak tarzda, diğer açıklıklara uygulanır. Gerek pozitif gerekse negatif momentlerin en büyük değerlerinin hesabında, üniform yayılı p yükü, icabına göre, sürekli veya kesikli alınmalıdır.

15.7.3-Sürekli açıklıklarda standart kamyon yükü

Sürekli açıklıklarda, şerit başına sadece bir standart kamyon yükü kullanılmalıdır.

15.7.4-Azami etki için yükleme

Gerek basit gerekse sürekli açıklıklarda, standart kamyon veya şerit yükünden, daima, azami etki doğurunu kullanılmalıdır.

15.8-Yük Değerlerinin Eksiltilmesi

Azami etkilerin, bir çok trafik şeridinin aynı zamanda yüklenmesi ile elde edildiği hallerde, tam yük ihtimalinin çok zayıf olduğu gözönünde bulundurularak, hareketli yükten doğan

etkilerin aşğıdaki yüzdesi alınmalıdır.

Bir veya iki şerit için..... % 100

Üç şerit için..... % 90

Dört veya daha fazla şerit için..... % 75

AASHTO-89

Ayrıca, enlemeler, uç diyaframlar gibi enine taşıyıcı elemanlar için çok şeritli yükleme halinde yük azaltması boyuna taşıyıcı elemanlarda olduğu gibidir.

15.9-Dinamik Etki

Köprüden geçen taşıtların dinamik etkisini hesaba katmak amacı ile, standart kamyon veya şerit yüklerinden elde edilen gerilmeler, dinamik etki katsayısı ile çarpılırlar.

- Dinamik etki katsayısının kullanıldığı kısımlar -

KGM

- Üst yapının yaya kaldırımı hariç, bütün kısımlarında,
- Mesnetlerde,
- Üst yapı ile bağlantısı olan betonarme ve çelik kazıkların zemin seviyesi üstünde kalan kısımlarında.

AASHTO-89

- Üst yapı (rijit çerçevelerin düşey elemanları dahil),
- Orta ayaklar,
- Üst yapı ile bağlantısı olan betonarme ve çelik kazıkların zemin seviyesi üstünde kalan kısımları.

- Dinamik etki katsayısının kullanılmadığı kısımlar -

KGM

- Yaya kaldırımları,
- Kenar ve orta ayaklar,
- İstinat duvarlarında,
- Üst yapı ile bağlantısı olan betonarme ve çelik kazıkların zemin seviyesi altında kalan kısımları,
- Temeller ve zemin itkisi,
- Üzerinde en az 1,00 m dolgu malzemesi bulunan menfez veya diğer yapılar.

AASHTO-89

- Yaya kaldırımları,
- Kenar ayaklar,

- İstinat duvarları,
- Üst yapı ile bağlantısı olan betonarma ve çelik kazıkların zemin seviyesi altında kalan kısımları,
- Temeller ve zemin itkisi,
- Üzerinde en az 0,91 m (3 fit) dolgu malzemesi bulunan menfez veya diğer yapılar.
- Dinamik etki katsayısı (φ)

KGM

$$\varphi = 1 + \frac{15}{L+37} \leq 1,30$$

L = Hesap uzunluğu

- Açıklık momenti için, teorik açıklığa;
- Konsollarda, mesnetten en uzak kuvvete olan uzaklığa;
- Kesme kuvvetleri için, incelenen kesitten uzaktaki mesnete;
- Sürekli açıklıkdaki mesnet momentleri için komşu iki açıklığın ortalamasına eşit alınır.

1,00 m 'den az dolgu altındaki menfezlerde ise φ 'nin azalan dolgu kalınlığına göre 1,30 ila 1,00 arasında lineer değiştiği kabul edilir.

AASHTO-89

$$\varphi = 1 + \frac{15,24}{L+38} \leq 1,30$$

L = Elverişsiz yükleme boyu (eleman bazında),

- Taşıt yolu döşemelerinde, hesap açıklık boyu;
- Döşeme kirişi gibi enleme yapı elemanlarında, boyuna kirişlerin merkezinden merkezine enine açıklık;
- Kamyon yüklerinden oluşan moment için, boyuna kirişler arası fakat konsol halinde, konsol momenti için sadece konsol boyu;
- Kesme kuvvetleri için, incelenen kesitten uzaktaki mesnete olan uzaklığa;
- Sürekli açıklıkdaki mesnet momentleri için komşu iki açıklığın ortalamasına eşit alınır.

0,91 m 'den az dolgu altındaki menfezlerde ise φ 'nin azalan dolgu kalınlığına göre

$$0,00 - 0,3048 \text{ m} \dots \varphi = 1,30$$

$$0,3302 - 0,6096 \text{ m} \dots \varphi = 1,20$$

0,635 - 0,889 m..... $\varphi = 1,00$

15.10-Yük Sınıfının Seçilmesi

KGM

Yük Sınıfı	Trafik Cinsi
H ₃₀ -S ₂₄	Karayolları Genel Müdürlüğü, Köprüler Dairesi Başkanlığı'nca gerekli görülen hallerde
H ₂₀ -S ₁₆	Proje saatlik trafiği 100-400 taşıt ise veya ağır sanayi merkezine giden yollarda
H ₁₅ -S ₁₂	Proje saatlik trafiği 100 taşıttan az ise
H ₁₀	Köy yollarında

AASHTO-89

Minimum yükleme : Eyaletlerarası veya yoğun kamyon trafiğine maruz otoyol köprüleri, HS20 yüklemesi veya her bir aksı 106,752 kN taşıyan ve akslar arası 1,20 m (4 fit) olan askeri araç yükü için projelendirilir ve en etkili olanı dikkate alınır.

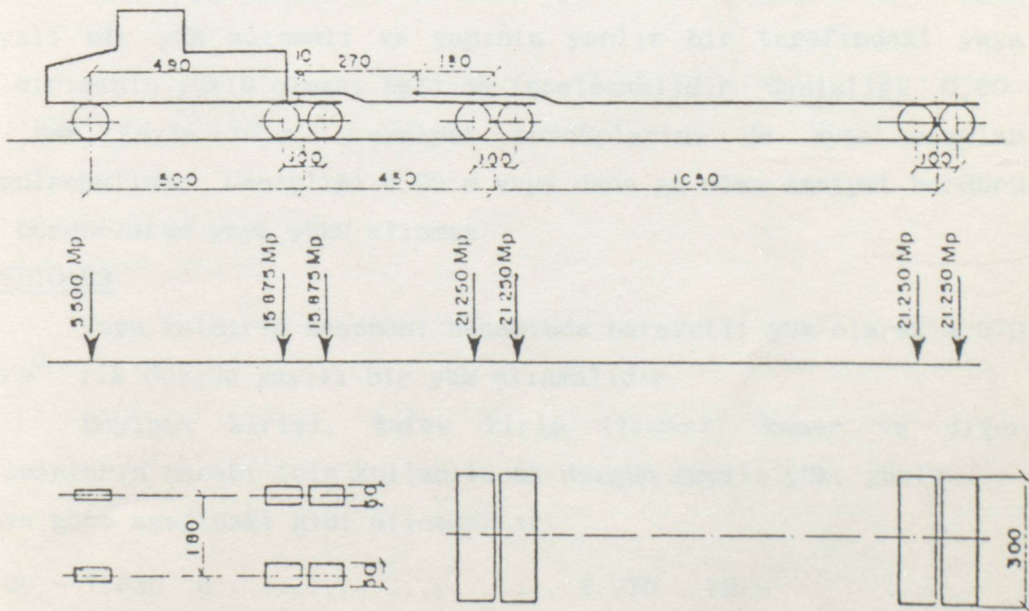
H yüklemesi : İki akslı bir kamyon veya bu kamyon katarına eşdeğer olan şerit yüklerinden ibarettir.

HS yüklemesi : İki akslı bir kamyon ve buna bağlı bir yarım treyler veya bu katarı eşdeğer şerit yüklerden ibarettir.

15.11-Aşırı Yükleme

KGM

Köprüden seyrek geçen ağır yükleri karşılamak amacı ile aşağıdaki şekilde, aşırı yükleme tahkiki yapılmalıdır.



Köprünün üstündeki yolun herhangi bir şeridinde şekildeki katarın tek başına geçtiği ve diğer hiç bir şeritte trafik bulunmadığı farzedilmelidir.

Ayrıca, taşıtların yaya kaldırımı veya emniyet bordürüne çıkmasına bir engel bulunmadığı hallerde, köprünün hesabına esas alınmış olan yük sınıfına ait en ağır tekerlek yükünün münferit olarak yaya kaldırımına veya emniyet bordürüne ve bunları taşıyan elemanlara etkisi gözönünde bulundurulmalıdır.

AASHTO-89

H20 den küçük olan bütün yüklemeler için, aşırı yükleme tahkiki yük kombinasyonu 1A köprüden seyrek geçen ağır yükleri karşılamak amacı ile öngörülmüştür. Yük katarı olarak alınacak H veya HS standart kamyonun köprünün üstündeki yolun herhangi bir şeridinde tek başına geçtiği ve diğer hiç bir şeritte trafik bulunmadığı varsayılır.

Aşırı yükleme, tabliye plağı ve ortotropik köprü üst yapısı halinde döşeme plağı ve rijitlik kirişleri hariç, tüm köprü elemanlarının tasarımında dikkate alınır. Yapılar, yapı sahibi tarafından seçilen bir aşırı yükleme tipi 1B yük kombinasyonu ile dikkate alınır.

15.12-Yaya Yükleri

a)Yaya yolu yükleri

KGM

Yaya köprülerinde hareketli yük olarak $4,00 \text{ kN/m}^2$ düzgün yayılı bir yük alınmalı ve yapının yalnız bir tarafındaki yaya kaldırımının yüklü olması hali de incelenmelidir. Genişliği 0,60 m 'den fazla olan emniyet bordürlerine de aynı esaslar uygulanmalıdır. Genişliği 0,60 m veya daha az olan emniyet bordürü ve bordürlerde yaya yükü alınmaz.

AASHTO-89

Yaya kaldırım döşemesi hesabında hareketli yük olarak $4,070 \text{ kN/m}^2$ 'lik düzgün yayılı bir yük alınmalıdır.

Boylama kirişi, kafes kiriş (truss), kemer ve diğer elemanların hesabı için kullanılacak düzgün yayılı yük, yüklü boya göre aşağıdaki gibi alınacaktır.

0,00 - 7,620 m $4,070 \text{ kN/m}^2$

7,925 - 30,48 m2,873 kN/m²

L > 30,48 m olduğunda aşağıdaki formül kullanılır.

$$p = (1435 + (43800/L)) \cdot ((16,7 - w)/15,2)$$

p = Düzgün yayılı yük ($p \leq 2,873 \text{ kN/m}^2$),

L = Yaya kaldırımının yüklü boyu,

w = Yaya kaldırımının genişliği.

Yaya kaldırımlarının yapının konsolu üzerinde olması durumunda, yalnız bir yandaki kaldırımın yüklü olması hali, eğer yapıda daha büyük zorlanmalar doğuruyorsa dikkate alınır.

Yayaların veya bisikletlerin geçtiği köprülerde hareketli yük olarak 4,070 kN/m² 'lik düzgün yayılı bir yük alınmalıdır.

Yaya ve bisikletler için inşaa edilen köprülere bakım araçlarının girmesi sözkonusu ise bu araçlardan gelen etkiler tasarım zamanında dikkate alınmalıdır.

b) Bordür yükleri

KGM

Genişliği 0,60 m 'den fazla olan emniyet bordürlerinde yaya kaldırımındaki aynı esaslar uygulanmalıdır.

AASHTO-89

Bordürler, tepe noktalarına yatay olarak etkiyen ve 7,50 kN/m den az olmayan bir yanıl yüke dayanabilmelidir. Bordür toplam yüksekliği 25 cm 'den fazla ise bu kuvvetin yol yüzünden 25 cm 'de etkidiliği kabul olunur.

c) Korkuluk yükleri

Köprülerin korkuluklarının üst küpeştesine 1,5 kN/m düşey bir yük ile birlikte 2,25 kN/m yatay bir yükün etkidiliği kabul edilmelidir.

15.13-Boyuna Kuvvetler

a) Taşıtların etkisi

Taşıtların fren yapması veya harekete geçmesi gibi etkileri hesaba katabilmek için köprü üzerindeki bütün trafik şeritlerinin yüklü olduğu ve hepsinin aynı yönde trafik geçirdiği farz edilerek toplam yükün (dinamik etki katsayısı ile çarpılmaksızın) 1/20 şiddetinde ve yatay olarak yol yüzünden 1,80 m yükseklikte, kuvvet etkidiliği ve bu kuvvetin alt yapıya kadar geçtiği kabul

olunmalıdır. Ayrıca, yük azaltması da gözönüne alınmalıdır.

b)Hareketli mesnetlerin karşı koyma kuvveti

Değme yüzeyleri çelik olan hareketli mesnetlerde karşı koyma kuvveti, zati yük ve (dinamik etki katsayısı ile çarpılmaksızın) hareketli yükten doğan toplam reaksiyonun, kayıcı mesnet halinde % 20 'si, yuvarlanan mesnet (pandül,vb) halinde %3 'ü olarak kabul edilmelidir.

15.14-Mesnet Şartlarında Değişme

Temel zeminindeki hareketten ötürü mesnetlerde oluşabilecek öteleme ve dönmeler, beklenen büyüklükleri ile gözönünde bulundurulmalıdır.

Mesnet şartlarının eski haline getirilmesi öngörülen hallerde, öteleme ve dönme için, müsaade edilebilecek en büyük değerler gözönünde bulundurulabilir.

Temel zemininde hareket büyük olmasa dahi, hiperstatik sistemlerin hesabında, mesnetlerin, herbirinde düşey veya yatay doğrultuda 1 cm 'lik bir öteleme ve gerekiyor ise, 1 grad 'lık bir dönme olabileceği kabul edilerek, mesnet reaksiyonları ve kesit tesirleri incelenmelidir.Ancak,yapı rijit mesnetlendirilmiş olduğu (örneğin kaya üzerine) veya mesnet şartlarındaki değişikliklere az hassas olduğu hallerde, bu tahkik yapılmayabilir.

15.15-Merkezkaç Kuvvet

Kurbda bulunan köprülerde, hareketli yükün geçişinden ileri gelen merkezkaç kuvvetin etkisi gözönünde bulundurulmalıdır. Bu kuvvet köprünün herhangi bir kesitinde etkiyen hareketli yükün yüzdesi olarak verilir.

Merkezkaç kuvvetin hesabında hareketli yükler dinamik etki katsayısı ile çarpılmaz. Merkezkaç kuvvetin yatay olarak ve yol yüzünün 1,80 m üstünde etkidiği kabul edilir. Bu mesafe, yol ekseninden itibaren ve yol yüzeyine dik olarak ölçülür.

$$S = V^2 / (12700 . R)$$

V = Köprüden geçiş proje hızı (km/h)

R = Kurb yarıçapı (m)

V hızı, yol standartlarına ve verilen devere uygun olarak tesbit edilmelidir.

15.16-Rüzgâr Yüğü

KGM

Genellikle rüzgâr yükünün yatay ve köprü eksenine dik doğrultuda ve sabit şiddetle etkidiği kabul edilir. Ancak, rüzgârın dinamik etkisinin önemli olduğu hâllerde (meselâ asma köprülerde) bu kabule bağlanmamalıdır.

Rüzgâr yükü, köprü yüksüz iken $2,5 \text{ kN/m}^2$ alınmalıdır. Coğrafi konumun gerektirdiği özel hallerde bu değer artırılmalıdır. Rüzgâr yükü, yüklü köprülerde $1,25 \text{ kN/m}^2$, yüklü yaya köprülerinde $0,75 \text{ kN/m}^2$ alınmalıdır. Yüksek orta ayaklarda, çeşitli doğrultulardan gelebilecek rüzgârın etkisi incelenmelidir.

AASHTO-89

Rüzgâr yükünün yatay ve köprü eksenine dik doğrultuda ve sabit şiddetle etkidiği kabul edilir. Burada verilen rüzgâr kuvveti 100 mil/h 'lık bir rüzgâr hızına göre verilmiştir. Grup II, V yüklemelerinde proje hızı 100 mil/h 'den farklı ise proje hızının karesinin 100 mil/h 'lık bir rüzgâr hızının karesi mertebesinde verilen basınçların değiştirilmesi gerekir. Eğer rüzgâr hızı 100 mil/h 'den farklı ise bunu proje paftalarında belirtmek gerekir.

Üst yapı hesabı

- Grup II ve Grup V Yüklemeleri

Aşağıda verilen rüzgâr yükü köprü eksenine dik doğrultuda ve sabit şiddetle etkidiği varsayılır.

Kafes kirişler için.....	3,591	kN/m^2
Boylama kirişler için.....	2,394	kN/m^2

Kafes kiriş açıklıklarında toplam kuvvet, rüzgârın esdiği yönde bulunan gergi yüzeylerinde $4,38 \text{ kN/m}$, rüzgâr almayan yerde bulunan gergi yüzeylerinde $2,19 \text{ kN/m}$ 'den; boylama kiriş açıklıklarında $4,38 \text{ kN/m}$ 'den az olamaz.

- Grup III ve Grup VI Yüklemeleri

Grup III, VI yüklemeleri, grup II, V için kullanılan yüklerin % 70 oranında azaltılan değerleri ve yol yüzünden $1,80 \text{ m}$ üstünde köprünün boyuna aksına dik olarak etkiyen $1,460 \text{ kN/m}$ 'lık bir yükten oluşur. Eğer tabliye betonarme ve çelik ızgara döşemelerden oluşuyorsa bu yükler için kendi düzlemlerinde levha gibi düşünülebilir.

Alt yapı hesabı

Alt yapı hesabında kullanılan kuvvetler iki şekilde elde edilir. Üst yapı vasıtasıyla alt yapıya aktarılan kuvvetler veya direk olarak rüzgâr etkisinde olması sonucu oluşan kuvvetler.

- Üst yapıdan aktarılan kuvvetler

Çeşitli rüzgâr açıları için üst yapıdan alt yapıya aktarılan enine ve boyuna kuvvetler aşağıdaki tabloda verilmiştir. Kullanılacak olan rüzgâr yönü alt yapıda maksimum gerilme yaratacak biçimde seçilmelidir. Enine ve boyuna kuvvetlerin etkidikleri alanlara düzgün yayılı olarak basınç yaptıkları ve bunların eş zamanlı olarak üst yapı üzerinde bulundukları kabul edilecektir.

Rüzgârın verevlik açısı	Kafes Kirişler		Boylama Kirişler	
	Enine yük	Boyuna yük	Enine yük	Boyuna yük
Dereceler	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2
0	3,591	0,000	2,394	0,000
15	3,352	0,575	2,107	0,287
30	3,112	1,341	1,963	0,575
45	2,250	1,963	1,580	0,766
60	1,149	2,394	0,814	0,910

Yukardaki yükler Grup II,V yüklemelerinde kullanılır.

Rüzgârın verevlik açısı	Enine yük	Boyuna yük
Dereceler	kN/m	kN/m
0	1,460	0,000
15	1,285	0,175
30	1,197	0,350
45	0,964	0,467
60	0,496	0,555

Yukardaki yükler Grup III,VI yüklemelerinde kullanılır.

- Maksimum açıklık boyu 38,10 m (125 fit) olan boylama kirişli köprülerde aşağıdaki rüzgâr yüklemesi de kullanılabilir.

. W (yapıya etkiyen rüzgâr yükü)

0,730 kN/m^2 Enine

0,175 kN/m^2 Boyuna

Her iki yükünde yapıya eş zamanlı etkidığı kabul edilir.

. WL (hareketli yük üzerine etkiyen rüzgâr yükünün dikkate alınması hâlinde)

1,460 kN/m^2 Enine

0,584 kN/m².....Boyuna

Her iki yükünde yapıya eş zamanlı etkidiği kabul edilir.

- Alt yapıya direkt olarak etkiyen yükler

Alt yapıya direkt olarak uygulanacak olan rüzgar basıncı 100 mil/h 'lık bir baz hızı için 0,584 kN/m² kabul edilmiştir. Rüzgâr yükü köprüye verev geldiği zaman köprünün elevasyonunda ve uç kesitlerindeki basınca mâruz yüzeyleri dikkate alınarak basınç bileşenlerine ayrılır. Alt yapıya etkiyen rüzgâr yüklerinin üst yapıya etkiyen rüzgâr yükleri ile eş zamanlı olduğu kabul edilir. Burada tanımlanan yükler Grup II,V yükleme kombinasyonları içindir.

Devirme kuvvetleri

Yapıyı devirme eğilimi olan rüzgâr yükleri Grup II,III,V,VI yük kombinasyonlarında ve yapının boyuna eksenine dik yönde düşünülür. İlave olarak köprüyü yukarıya doğru kaldıran ve tabliye planında enine genişliğin 1/4'ünde etkiyen bir rüzgâr yükü dikkate alınır. Bu yükün değeri Grup II,V yük kombinasyonlarında 0,292 kN/m², Grup III,VI için 0,088 kN/m² dir.

15.17 Isı Gerilmeleri

Isı genleşmeleri sonucu olarak ortaya çıkan gerilme ve deformasyonlar hesaplarda gözönüne alınacaktır. Sıcaklıkta yükselme ve azalma miktarları, yapım sırasında kabul edilen bir sıcaklık derecesine bağlı olarak ve yapının bulunduğu bölgeye göre saptanacaktır.

Havadaki sıcaklık ile kütle beton elemanlar veya yapılarda mevcut içsel sıcaklık arasındaki farklılık ve ısı akımı gradient'i gözönünde bulundurulacaktır.

Sıcaklık değişim miktarı genellikle aşağıdaki gibi alınabilir.

KGM

Metal Yapılarda :

Ilıman iklim -15° ila 50° C
Soğuk iklim -30° ila 50° C

Beton Yapılarda : Sıcaklıkta Yükselme Sıcaklıkta azalma

Ilıman iklim 15° C 20° C
Soğuk iklim 20° C 25° C

AASHTO-89

Metal Yapılarda :

Ilıman iklim	0 °	ila 48,9 °C
Soğuk iklim	-34,4 °	ila 48,9 °C

Beton Yapılarda : Sıcaklıkta Yükselme Sıcaklıkta azalma

Ilıman iklim	-1,1 °C	3,4 °C
Soğuk iklim	1,7 °C	7,2 °C

15.18 Kar Yüğü

Kar yüğü, hareketli yükler (ve dinamik etkileri) de vuku bulacak azalma ile karşılanmış olacağı düşünülerek, genellikle hesaba katılmaz. Ancak, hareketli köprülerin açık durumlarında, muhtemel kar ve buz yükünün etkisi gözönünde bulundurulmalıdır.

15.19-Rötre

Betondaki rötreinin etkisi gözönünde bulundurulmalıdır.

15.20-Sünme

Sünme etkisi, önemli olduğu yerlerde, yapılarda gözönünde bulundurulmalıdır.

15.21-Zemin Yükleri

Zemin itkisinin hesabında, hakikate en uygun sonucu verecek formül kullanılmalı ve yapının veya yapı elemanlarının deformasyonu ve muhtemel hareketi gözönünde bulundurulmalıdır. Hiç bir yapı 5,00 kN/m³ (AASHTO: 4,80 kN/m³) 'e tekabül eden bir sıvı basıncından daha az basınca göre hesaplanmamalıdır.

Rijit çerçevelerde, zemin itkileri, zemin itkileri ile eş zamanlı etkiyen diğer yüklerin etkilerini azalttığı hallerde en çok yarı değerleri ile dikkade alınmalıdır. Bununla beraber, zemin itkisi muhakkak olan hallerde aynen alınmalıdır.

KGM

Zemin itkisinin hesabında, dolgu üst yüzeyinin yatayla teşkil edebileceği açının en elverişsiz olan değeri alınmalıdır.

Şev içinde bulunan narin yapı elemanlarının, yalnız, genişliklerince etkiyen bir zemin itkisine göre hesabı kabul edilebilir. Ancak, bu elemanların alçak taraflarındaki pasif basınç hesaba katılmaz.

Menfezlere gelen zemin etkisi, doğrudan doğruya, menfezin

üstündeki dolgu zemininin ağırlığı olarak kabul edilebilir.

AASHTO-89

Bir istinat duvarı üzerinde, istinat duvarının yüksekliğinin yarısı ve yarısından daha az mesafede hareketli yük varsa bu hareketli yük, duvarın hesabında en az 60 cm yüksekliğinde ilave bir zemin ağırlığı gibi, sürşarj olarak, dikkate alınır.

Köprünün kenar ayaklarında yaklaşım plağı sözkonusu ise sürşarj etkisi gözönüne alınmaz.

Arka dolgu drenajı için damlama delikleri, boru, çakıl ve delikli drenaj boru malzemeleri kullanılır.

15.22-Suyun Kaldırma Kuvveti

Suyun kaldırma kuvvetinin gerek, kazıklar dahil olmak üzere alt yapının, gerekse üst yapının projelendirilmesinde etkili olabileceği gözardı edilmemelidir.

15.23-Su Akıntısının Etkisi

Su akıntısından ötürü orta ayaklara gelen dinamik basınç $p = K.V^2$ formülü ile hesaplanabilir.

$p = \text{Basınç (N/m}^2\text{)},$

$V = \text{Suyun hızı (m/s)},$

$K = \text{Orta ayağın şekline bağlı olarak değişen bir katsayı.}$

Dikdörtgen kesitli ayaklarda : 0,70

30° veya daha sivri uçlu ayaklarda : 0,25

Dairesel uçlu ayaklarda : 0,35 alınabilir.

15.24-Buz Etkisi

KGM

Orta ayaklara gelen buz etkisi olarak 30 kg/cm² alınmalıdır. Buzun kalınlığı ve hangi seviyede etkidiği, köprü yerinde inceleme yapılarak tesbit edilmelidir.

AASHTO-89

Orta ayaklara gelen buz etkisi, yerinde yapılacak inceleme ve oluşacak buz hareketlerine göre saptanacak ve aşağıdaki hususlar dikkate alınacaktır :

a) Su akıntısı ve rüzgar ile taşınan buz tabakaları ve buz parçalarından dolayı oluşan dinamik buz basıncı ;

b) Yapı etrafında oluşması muhtemel geniş buz tabakalarının ısı hareketleri sonucu oluşacak buz statik basınçları ;

c) Askıda olan buz parçalarının bulunduğu durumda, buz karışımının statik basıncı ;

d) Suyun dalga hareketlerine bağlı olarak buz tabakalarının yapıya değdiği noktalarda yapıyı yukarı aşağı çeken ve kaldıran etkiler.

Dinamik buz basıncı

Hareket halindeki buzun basıncı sonucu oluşan yatay kuvvetler aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$F = C_n \cdot p \cdot t \cdot w$$

F = Orta ayaklara etkiyen yatay buz kuvveti,

C_n = Ayağın burun eğimine bağlı olarak alınacak bir katsayı,

p = Etkin buz mukavemeti,

t = Orta ayakla temas halinde olan buzun kalınlığı,

w = Buz seviyesinde orta ayak genişliği, veya, dairesel kesitli ayak ya da ayak başlığının çapı.

Ayak alnının düşeye göre eğimi	C_n
$0^\circ - 15^\circ$	1,00
$15^\circ - 30^\circ$	0,75
$30^\circ - 45^\circ$	0,50

Etkin buz mukavemeti (p) daha çok tecrübeye ve yapı çevresindeki buzlanmanın şiddetine, su ve hava hareketlerine bağlı olarak 0,690-2,76 N/mm² arasında seçilir. Etkin buz mukavemetinin seçiminde aşağıdaki değerler kullanılabilir :

a) Erime sıcaklığında, parçalanmanın oluştuğu ve buz kütlesinin küçük parçalar halinde ilerlediği yerde 0,690 N/mm² ;

b) Erime sıcaklığında, parçalanmanın oluştuğu ve buz kütlesinin büyük ve nisbeten mukavemetli parçalar halinde ilerlediği yerde 1,380 N/mm² ;

c) Parçalanmanın oluştuğu yerde, buz tabakalarının bir bütün olarak hareketi sözkonusu olduğunda 2,070 N/mm² ;

d) Parçalanma ve buz hareketinin erime sıcaklığının çok altında olduğu durumlarda 2,760 N/mm² .

Etkin buz mukavemeti için yukardaki değerler, alışılmış şekil ve boyutlu elemanlar için verilmektedir. Bu değerler ayak genişliği, kazık çapı, buz tasarım kalınlığındaki değişim için aşağıdaki tablodan elde edilecek uygun katsayılar ile çarpılarak düzeltilebilir.

b/t	Katsayı
0,5	1,8
1,0	1,3
1,5	1,1
2,0	0,9
3,0	0,8

b = Orta ayak genişliği veya kazık çapı

t = Buzun tasarım kalınlığı

Orta ayakların boyuna aksları buz hareketinin asıl yönüne paralel olarak yerleştirilir. Formüllere göre hesaplanan kuvvetin ayak boyuna eksenine boyunca etkidiği kabul edilecektir. Bu kuvvetin % 15 'inden daha az olmamak üzere enine bir kuvvetin, bu kuvvetle eş zamanlı olarak etkidiği farzedilecektir.

Orta ayağın boyuna eksenine buz hareketlerine paralel olmadığı yada buz hareketlerinin doğrultularının değiştiği durumlarda buz hareketinden ileri gelen kuvvet vektörel birleşmelerine ayrılarak ayağa uygulanır. Böyle durumlarda ayağa enine etkileyen kuvvet toplam kuvvetin % 20 'sinden az olamaz. Ayakların narin olmaları durumunda, dinamik buz kuvvetlerinin titreşim ve rezonans oluşturma ihtimali gözardı edilmemelidir.

Statik buz basıncı

Büyük su kütleleri ile çevrili ayaklar halinde, buz kütlelerinin ayağa nisbetle çok yüksek olan genleşmesinden doğacak statik buz basıncı ihmal edilmemelidir.

15.25-Atalet Etkisi

Hareketli köprülerde, hareket eden köprü elemanlarının kitlelerinin hızlanmasından veya yavaşlamasından doğacak atalet etkileride incelenmelidir.

15.26-Öngerilme Etkisi

Her çeşit öngeme ve benzeri inşaat işlemlerinden doğan etkiler dikkate alınmalıdır.

15.27-Yapım Yönteminden Kaynaklanan etkiler

Yapım sırasında etkileyebilecek bütün yükler, ve bu esnada montaj, betonlama, öngerilme ve iskelelerin alınması gibi işlemlerden doğan yükler ile yapım gereçlerinin ve yapı malzemesi yığınlarının yükleri, geçici mesnetlerden gelen düşey ve yatay reaksiyonlar, ayrı ayrı ve yapım sırasına göre gözönüne alınmalıdır.

15.28-Deprem Etkisi

KGM

Deprem olaylarının beklenildiği bölgelerde, aşağıdaki deprem yatay kuvvetlerinin etkileri hesaplarda gözönüne alınacaktır,

$Dep = C.G$

Dep = Yapı zati yükünün ağırlık merkezinden geçen ve her yönde etki ettiği kabul edilen yatay atalet kuvveti,

G = Yapının sabit ağırlığı,

C = Zemin taşıma gücüne bağlı bir katsayı,

Taşıma gücü 40-50 N/cm² ve daha yüksek olarak bilinen zeminlere yüzeysel temellerle oturan yapılarda C = 0,02 ;

Taşıma gücü 40-50 N/cm² 'den daha az olarak bilinen zeminlere yüzeysel temellerle oturan yapılarda C = 0,04 ;

Temelleri kazıklı olan yapılarda C = 0,06 ,

AASHTO-89

Depremin beklenildiği bölgelerde yapılar deprem hareketlerine de karşı koyacak biçimde tasarlanmalıdır. Tasarım yapılırken yapı inşaa bölgesinin aktif faylara uzaklığı, yapı zemininin sismik özellikler ile yapının dinamik özellikleri aşağıdaki veya AASHTO'nun " Otoyol Köprüleri için Deprem Hesabi Kılavuzu " (Guide Specifications for Seismic Design of Highway Bridges) 'ndaki esaslar gözönüne alınacaktır.

Eşdeğer statik kuvvet metodu

Rijitlikleri birbirine yakın olan elemanlara oturan yapılarda, bir EQ eşdeğer statik yatay kuvveti yapıya uygulanabilir. Bu yükün yapı içindeki dağılımı, üst ve alt yapı taşıyıcı elemanlarının rijitliğini, kenar ayak mesnet şartlarını ve yapının sehim yapmış durumu gözönüne alınarak belirlenir.

$EQ = C.F.W$

EQ = Yapının ağırlık merkezinde uygulanan eşdeğer statik yatay kuvvet,

F = Çerçeve faktörü,

F = Yatay kuvvetlere karşı koyan elemanları tek kolonlar veya ayaklardan oluşan yapılar için = 1,0 ;

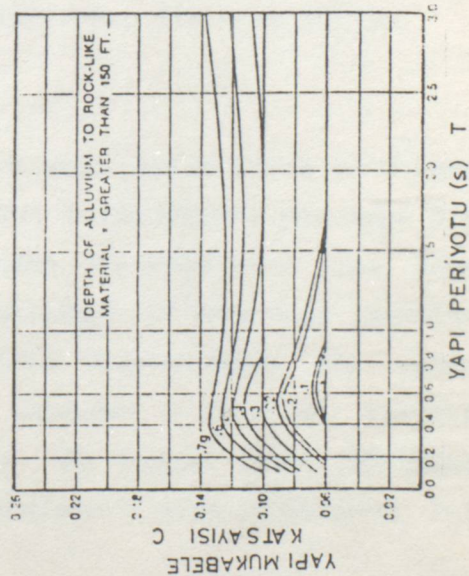
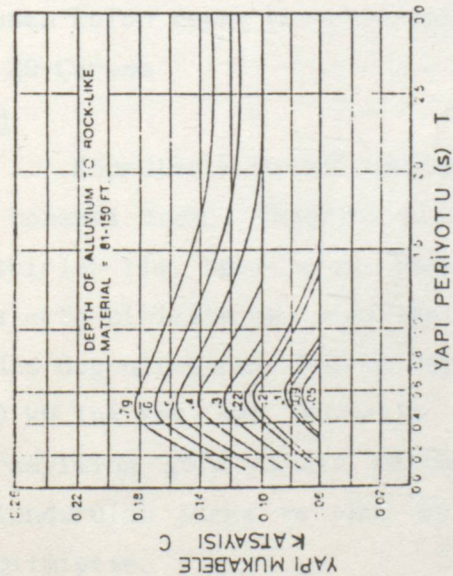
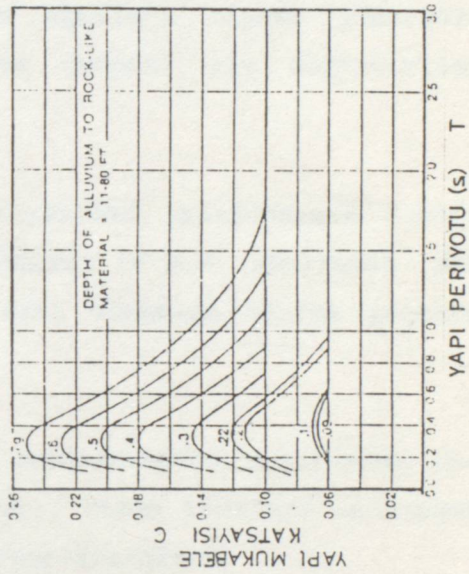
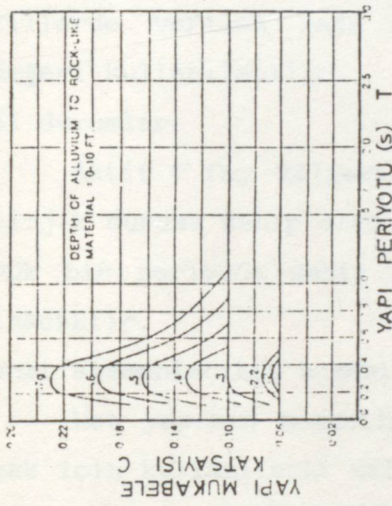
F = Çerçeve boyunca uygulanan yatay kuvvetlere karşı koyan sürekli çerçevelerin kullanıldığı yapılarda = 0,80 ;

W = Yapının toplam sabit yükü,

$$C = A.R.S/Z$$

C = Yapı mukabele katsayısı (A değerinin 0,3.g 'den büyük veya eşit olduğu durumdaki yapılar için 0,10 'dan; A değerinin 0,3.g 'den az olduğu durumdaki yapılar için 0,06 'dan az olamaz. C değeri, üstte bulunan alivyon tabakasının kaya veya kaya gibi sert bir tabakaya olan farklı derinlikleri için aşağıdaki şekillerden elde edilebilir.)

- Depth of alluvium to rock-like material = Kaya veya kaya benzeri kütle üzerindeki alüvyon kalınlığı



A = Yapı bölgesinde beklenen maksimum kaya ivmesi,

R = Ortalama kayanın mukabelesi,

S = Zeminin maksimum büyültme oranı,

Z = Düktilite ve risk tahmini için azaltma,

$$T = \sqrt{W / P}$$

T = Yapının titreşim periyodu (s),

P = Yapının 1 m yatay sehim yapmasına neden olacak düzgün yayılı kuvvetin toplam değeri.

Titreşim periyodu, dinamik analiz ile de hesaplanabilir.

Spektral hesap metodu

Düzensiz (kompleks) yapılar için spektral analiz metodu kullanılmalıdır. C tasarım spektrum eğrileri olarak yukardaki şekillerde verilen yada F çerçeve çarpanı ile değiştirilmiş eşdeğeri kullanılabilir.

Özel durumlar

Aktif fay bölgesine yakın yapılar, alışılmışın dışında jeolojik duruma sahip olan inşaa alanları ve 3,0 saniyeden daha büyük bir periyoda sahip yapılar özel durumlar olarak gözönüne alınacaktır.

Mesnet elemanlarının hesabı

Üst yapının mesnetlerindeki deplasmanları sınırlamak yada almak için kullanılacak mafsallı bağları, kesme blokları ve benzeri elemanları aşağıdaki kuvvete göre hesaplanacaktır.

EQ = Harekete iştirak eden ölü yükün % 25 'inden, depremden dolayı oluşan kolon kesme kuvvetlerinin çıkarılması ile elde edilir.

15.29-Çarpma

KGM

Köprülerin pandül ayak, çerçeve ayağı, kafes giriş uç dikmesi ve benzeri önemli taşıyıcı elemanları, bulundukları yer veya özel tetbirler ile, taşıtların çarpmasından korunmamışlar ise, diğer yüklerle birlikte en elverişsiz yüklemeyi oluşturacak şekilde, gidiş doğrultusunda 1000 kN veya gidiş doğrultusuna dik olarak 500 kN luk tek bir kuvvetin yol yüzünden 1,20 m 'de etkidiği varsayımına göre tahkik edilmelidir. Bu tahkik ancak gözönünde bulundurulmuş parça ve onun uç birleşimleri veya mesnetleri için yapılmıştır.

Bordürler, üst kenarlarına yatay olarak etkiyen ve 7,500 kN/m den az olmayan bir yanal yüke dayanabilmelidirler. Bordür toplam yüksekliği 0,25 m 'den fazla ise bu kuvvetin yol yüzeyinden 0,25 m 'de etkidiği kabul olunur.

Bordür yüksekliği 0,25 m 'den az olmadığı takdirde, korkulukların alt küpeştesi 4,500 kN/m yatay bir yanal yüke dayanabilmelidir. Bordür yüksekliği 25 cm 'den az olduğu takdirde, bu kuvvet, bordür yüksekliğinin 25 cm 'den eksik her santimetresi için 0,250 kN/m artırılmalıdır. Fakat, bu suretle artış 1,250 kN/m den fazla olamaz. Alt küpeşte yoksa korkuluğun parmaklıkları, yerden 50 cm mesafede etkiyen aynı kuvvete dayanabilmelidir. Yaya kaldırım korkuluğuna bir çarpma etkisi olması, yapının teşkili bakımından mümkün değilse, bu tahkik yapılmaz.

15.30 Yük bileşimleri

KGM

Kesit tesirleri, yapıya etkimesi mümkün olan bütün yükler için ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Bu kesit tesirlerinin, köprünün konumu da gözönünde bulundurularak muhtemel ve makul bütün bileşimleri incelenmeli ve kesitlerdeki en uygunsuz gerilmeler hesaplanarak emniyet gerilmeleri ile karşılaştırılmalıdır. Bir kesitte, gerilmelerin emniyet gerilmelerini aşmayacağı gösterilebildiği takdirde, bu karşılaştırma gerekli değildir. Standart kamyon yüklerinin tatbikinde, hafifletici etkisi olan dingil yükleri ihmal edilmelidir.

AASHTO-89

Tabloda verilen yük grupları yapının mâruz kalacağı yük ve kuvvetlerin çeşitli kombinasyonlarını gösterir ve yapının her bir parçası bu yük gruplarına karşı koyacak biçimde boyutlandırılır. Emniyet gerilmesi ve taşıma gücü yöntemleri için grup yüklemesi aşağıdaki ifade ile verilmektedir.

$$\text{Grup (N)} = \gamma \cdot [\beta_D \cdot D + \beta_L \cdot (L+I) + \beta_F \cdot CF + \beta_E \cdot E + \beta_B \cdot B + \beta_S \cdot SF + \beta_W \cdot W + \beta_{WL} \cdot WL + \beta_L \cdot LF + \beta_R \cdot (R+S+T) + \beta_{EQ} \cdot EQ + \beta_{ICE} \cdot ICE]$$

N = Grup numarası,

γ = yük faktörü , β = Katsayı,

D = Ölü yük , L = Hareketli yük,

I = Dinamik etki (çarpma, impact) katsayısı , E = Toprak basıncı,

B = Suyun kaldırma kuvveti , W = Rüzgâr yükü,
 WL = Hareketli yük ile birlikte alınacak rüzgâr yükü,
 LF = Boyuna kuvvetler (fren yükü),
 CF = Merkezkaç kuvveti,
 S = Büzülme (rötre),
 T = Sıcaklık,
 EQ = Deprem,
 SF = Nehir akıntı dinamik basıncı,
 ICE = Buz basıncı.

Emniyet gerilmeleri (working stress) yönteminde çeşitli yük grupları için emniyet gerilmelerin artırım yüzdesi aşağıdaki tablonun en sağ kolonunda verilmiştir.

Taşıma gücü yönteminde tablodaki γ ve β faktörleri yalnızca yapı elemanlarının tasarımı için düşünülmüştür. Temellerin tasarımında bu katsayılar kullanılmaz. Keza, temel stabilite tahkiklerinde kullanılması uygun olamaz.

Uzun açıklıklı yapıların, taşıma gücü yöntemi ile tasarımı yapılırken beklenen yük, hizmet durumu, kullanılan malzemenin şartnamede belirtilenden farklı olması durumu gibi hallerde, yetkili mühendisin kararına göre bu katsayılar artırılabilirler.

Kol. No.	1	2	3	3A	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
GRUP	γ	β FAKTÖRÜ													%
		D	(L-I) _n	KL-I _p	CF	E	B	SF	W	WL	LF	R-S-T	EQ	ICE	
Emniyet Gerilmesi Yöntemi	I	1.0	1	1	0	1	β_E	1	1	0	0	0	0	0	100
	IA	1.0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150
	IB	1.0	1	0	1	1	β_E	1	1	0	0	0	0	0	**
	II	1.0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	125
	III	1.0	1	1	0	1	β_E	1	1	0.3	1	1	0	0	125
	IV	1.0	1	1	0	1	β_E	1	1	0	0	0	1	0	125
	V	1.0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	140
	VI	1.0	1	1	0	1	β_E	1	1	0.3	1	1	1	0	140
	VII	1.0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	133
	VIII	1.0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	140
IX	1.0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	150	
X	1.0	1	1	0	0	β_E	0	0	0	0	0	0	0	100	
Taşıma Gücü Yöntemi	I	1.3	β_D	1.67	0	1.0	β_E	1	1	0	0	0	0	0	
	IA	1.3	β_D	2.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	IB	1.3	β_D	0	1	1.0	β_E	1	1	0	0	0	0	0	
	II	1.3	β_D	0	0	0	β_E	1	1	1	0	0	0	0	
	III	1.3	β_D	1	0	1	β_E	1	1	0.3	1	1	0	0	
	IV	1.3	β_D	1	0	1	β_E	1	1	0	0	0	1	0	
	V	1.25	β_D	0	0	0	β_E	1	1	1	0	0	1	0	
	VI	1.25	β_D	1	0	1	β_E	1	1	0.3	1	1	1	0	
	VII	1.3	β_D	0	0	0	β_E	1	1	0	0	0	0	1	
	VIII	1.3	β_D	1	0	1	β_E	1	1	0	0	0	0	0	
	IX	1.20	β_D	0	0	0	β_E	1	1	1	0	0	0	0	
	X	1.30	1	1.67	0	0	β_E	0	0	0	0	0	0	0	

$(L+I)_n$ = H veya HS yüklemesi için hareketli yük + dinamik (çarpma) etkisi,

$(L+I)_p$ = Kullanıcının öngördüğü aşırı yüklemeye bağlı olarak sözkonusu olacak hareketli yük + dinamik (çarpma) etkisi.

* Taşıt yolundaki hareketli yük artı dinamik etkiden başka yaya kaldırımında hareketli yük de sözkonusu ise en dış ana kirişin hesabında 1,67 'lik β çarpanı yerine 1,25 kullanılabilir.

**
$$\text{Yüzde} = \frac{\text{Müsaade edilen maksimum gerilme}}{\text{Nominal emniyet gerilmesi}} \times 100$$

- Emniyet gerilmeleri yönteminde :

β_E = Bütün yapılarda düşey ve yatay yükler için 1,0 ;

β_E = Rijit çerçeveler üzerindeki yatay yükler için minimum 0,5 ; maksimum 1,0 alınarak her iki hal için de denetleme yapılacaktır.

- Taşıma gücü yönteminde :

β_E = Rijit olan menfezler hariç, rijit çerçeveler ve istinat duvarlarında yatay toprak basıncı için 1,3 ;

β_E = Rijit çerçevelerdeki pozitif moment hesabında, yatay toprak basıncı için 0,5 ;

β_E = Düşey toprak basıncı için 1,0 ;

β_D = Minimum eksenel yük, maksimum moment veya maksimum eksantrisite için, yapı elemanının hesabında 0,75 ;

β_D = Maksimum eksenel yük ve minimum moment için, yapı elemanının hesabında 1,0 ;

β_D = Basit eğilme ve çekme elemanları için 1,0 ;

β_E = Rijit menfezler için 1,0 ;

β_E = Rijit olmayan menfezler için 1,5 alınır.

16-YÜKLERİN DAĞILIMI

16.1-Tekerlek Yüklerinin Boylama ve Enleme Kirişlerine Dağılımı

A)Yüklerin kesme kuvveti bakımından yerleştirilmesi

Boylama ve enleme kirişlerinin kesme kuvveti ve mesnet reaksiyonlarının uç tasarım kesit değerlerinin hesabında, tekerlek veya dingil yükünün boyuna yönde dağılımı ihmal edilecektir.

Tekerlek yükünün enine dağılımında, kirişler arasındaki döşemenin basit kiriş gibi çalıştığı kabul edilecektir. Açıklığın diğer noktalarında kesme kuvveti için yük dağılımı, moment için

kullanılan usule göre yapılacaktır.

B) Boylama kirişlerde eğilme momenti

Boylama kirişlerin eğilme momenti hesabında tekerlek yüklerinin boyuna yönde dağılmadığı kabul edilecektir. Enine yönde dağılımı aşağıdaki şekilde tesbit edilecektir.

1) İç boylama kirişler

Her iç boylama kiriş için hareketli yük eğilme momenti, aşağıdaki tabloda oranları belirlenmiş olan (ön ve arka) tekerlek yükü ağırlığının, kirişin üzerine yüklenmesi ile bulunacaktır.

KGM

DÖŞEME CİNSİ	Bir trafik şeritli köprüler	İki veya daha fazla trafik şeritli köprüler
BETONARME		
Çelik putrel veya öngerilmeli betonarme boylama kirişler üzerindeki döşemeler	S/2,10 S, 3,00 m'yi geçerse not(1) e bakınız	S/1,65 S, 4,25 m'yi geçerse not(1) e bakınız
Betonarme T-kirişler üzerindeki döşemeler	S/2,00 S, 1,80 m'yi geçerse not(1) e bakınız	S/1,80 S, 3,00 m'yi geçerse not(1) e bakınız
Kutu kesitli betonarme boylama kirişler üzerindeki döşemeler (Not 2'ye bakınız)	S/2,40 S, 3,65 m'yi geçerse not(1) e bakınız	S/2,10 S, 4,90 m'yi geçerse not(1) e bakınız

AASHTO-89

DÖŞEME CİNSİ	Bir trafik şeritli köprüler	İki veya daha fazla trafik şeritli köprüler
BETONARME		
Çelik putrel veya öngerilmeli betonarme boylama kirişler üzerindeki döşemeler	S/2,13 S, 3,05 m'yi geçerse not(1) e bakınız	S/1,68 S, 4,27 m'yi geçerse not(1) e bakınız
Betonarme T-kirişler üzerindeki döşemeler	S/1,98 S, 1,83 m'yi geçerse not(1) e bakınız	S/1,83 S, 3,05 m'yi geçerse not(1) e bakınız
Kutu kesitli betonarme boylama kirişler üzerindeki döşemeler (Not 2'ye bakınız)	S/2,44 S, 3,66 m'yi geçerse not(1) e bakınız	S/2,13 S, 4,88 m'yi geçerse not(1) e bakınız

Tekerlek yüklerinin boylama kirişlere dağılımı için yapılacak teorik hesabın zorluğu dolayısıyla, burada kullanılan amprik usule, yalnız normal karayolu köprülerinin hesabında

müsaade edilmiştir.

S = Boylama kirişlerin arasındaki mesafe (m).

NOT (1) : Bu takdirde her boylama kirişe gelen yük, kirişler arasındaki döşemenin basit kiriş gibi çalıştığına göre tekerlek yüklerinin en gayrimüsaait reaksiyonu olacaktır.

NOT (2) : Bu yük dağılımına göre hesaplanacak kutu kesitli iç ve dış boylama kirişlerde yaya kaldırımı hareketli yükü gözönüne alınmayacaktır.

2) Dış boylama kirişler

a) Çelik, ahşap ve betonarme T-kirişler

Dış boylama kirişe gelen ölü yük miktarı, taşıdığı döşeme ağırlığı kadar olacaktır. Tabliyenin prizini tamamen almasından sonra yerine konulacak bordürlerin, korkulukların ve aşınma tabakasının bütün boylama kirişlere eşit dağıldığı kabul edilecektir.

Dış boylama kirişlerin hareketli yük eğilme momenti, kirişler arası döşemenin basit kiriş gibi çalıştığı kabul edilerek ve üzerindeki tekerlek yükü reaksiyonu ile yüklenerek bulunacaktır.

Dört veya daha fazla çelik boylama kiriş üzerinde betonarme döşemesi olan bir açıklık için tekerlek yükü dağılım oranı aşağıdaki miktardan az olmayacaktır.

. $S = 1,80$ m ve daha az olduğu takdirde $S / 1,65$ (KGM)

. $S = 1,83$ m ve daha az olduğu taktirde $S / 1,68$ (AASHTO-89)

. $S = 1,80$ m 'den büyük ve $4,25$ m 'den küçük olduğu takdirde

$$(1,20 + 0,25 \times S) / S \quad (\text{KGM})$$

. $S = 1,83$ m 'den büyük ve $4,27$ m 'den küçük olduğu takdirde

$$(1,22 + 0,25 \times S) / S \quad (\text{AASHTO-89})$$

. $S = 4,25$ m (AASHTO: $4,27$ m) veya daha fazla olduğu takdirde kirişe gelen yük kirişler arasındaki döşemeler basit kiriş gibi çalıştığı kabulü ile bulunan reaksiyon olarak alınır.

b) Kutu kesitli boylama kirişler

Dış boylama kirişin taşıyacağı ölü yük, yukarda madde (2) (a) da çelik, ahşap ve betonarme tablalı kirişler bölümünde tanımlandığı şekilde tesbit edilecektir.

Dış boylama kirişe gelen tekerlek yükünün dağılımı $W_e / 2,10$ oranında olacaktır.

Burada W_e dış boylama kirişin üst tabla genişliğidir. Bu genişlik, boylama kirişler ara mesafesinin ortasından döşemenin dış ucuna kadar olan mesafeye eşit kabul edilecektir. Dış boylama kirişin ötesine uzanan konsolun uzunluğu tercihen $S / 2$ 'den fazla olmayacaktır.

3) Boylama kirişlerin toplam kapasitesi

Bir açıklıktaki bütün kirişlerin müşterek hesap yük kapasitesi o açıklığın taşıması icabeden bütün hareketli ve ölü yükler toplamından az olmayacaktır.

C) Enleme kirişlerde eğilme momenti

Enleme kirişlerinde eğilme momenti hesaplanırken tekerlek yüklerinin enine doğrultuda dağılmadığı kabul edilecektir.

Boylama kirişler kullanılmadığı ve döşeme doğrudan doğruya enleme kirişlere istinat ettiği takdirde, enlemeler, aşağıdaki tabloda tesbit edilmiş olan yüklere göre hesaplanacaktır.

KGM

DÖŞEME CİNSİ	Her enlemeye gelen tekerlek yükü oranı
BETONARME	$S/1,80 (*)$

AASHTO-89

DÖŞEME CİNSİ	Her enlemeye gelen tekerlek yükü oranı
BETONARME	$S/1,83 (*)$

S = Kirişler arasındaki mesafe (m).

(*) S mesafesi kesrin paydasından büyük olursa, kirişe gelen yük kirişler arası döşeme basit kiriş gibi çalıştığına göre tekerlek yüklerinin reaksiyonu olacaktır.

D) Prekast kirişlerin yan yana dizilmesi ile oluşturulan köprü tabliyeleri

AASHTO-89

Öngermeli veya öngermesiz prekast kirişlerin yanyana

dizilmesi ile oluşturulan köprülerde, bu kirişler arasındaki karşılıklı etki boyuna kesme dışları ve öngermeli veya öngerilmemiş enine bulonlar ile sağlanır.

Bu köprülerin eğilme momenti hesabında tekerlek yükünün boyuna dağılımı dikkate alınmaz. Her bir kesit için, hareketli yük eğilme momenti aşağıdaki denklemden elde edilen (ön ve arka) tekerlek yükü ağırlık paylarının kirişin üzerine yüklenmesi ile bulunacaktır.

$$\text{Tekerlek yükünden alınacak pay} = \frac{S}{D}$$

S = Yanyana dizilen prekast elemanın genişliği,

$$D = (5,75 - 0,5 \cdot NL) + 0,7 \cdot NL \cdot (1 - 0,2 \cdot C)^{1/2} \quad C \leq 5 \text{ için,}$$

$$D = (5,75 - 0,5 \cdot NL) \quad C > 5 \text{ için.}$$

NL = Trafik şerit sayısı,

$$C = K \cdot (W / L) ,$$

W = Köprü'nün boyuna kirişlere dik toplam genişliği (fit),

L = Boyuna kirişlere paralel açıklık (fit),

$$K = [(1 + \mu) \cdot I / J]^{1/2} ,$$

I = Eylemsizlik momenti (kirişler için),

J = Saint-Venant burulma sabiti,

μ = Poisson oranı (kirişler için).

Ön tasarım yapılırken K'nın aşağıdaki tablo değerleri kullanılabilir.

Köprü Tipi	Kiriş Tipi	K
Çok kirişli	Bosluksuz dikdörtgen kirişler	0,7
	Daire boşluklu dikdörtgen kirişler	0,8
	Kutu kesitli kirişler	1,0
	Kanal kirişler	2,2

16.2-Betonarme döşemelerde yüklerin dağılımı ve hesapları

A) Hesap açıklıkları

Basit açıklıklar için hesap açıklığı mesnet eksenleri arasındaki mesafe kabul edilecek; ancak, bu açıklık serbest açıklıkla döşeme kalınlığı toplamından fazla olmayacaktır.

İkiden fazla mesnet üzerindeki sürekli bir döşemenin yük dağılımı ve eğilme momentlerinin hesabı için kullanılacak hesap

açıklığı aşağıdaki gibi olacaktır.

Kiriş veya duvarlarla yekpare olarak dökülmüş gusesiz döşemelerde:

S = Serbest açıklık

Çelik boyuna kirişler üzerine oturan döşemelerde :

S = Açıklığa boylama kiriş başlık genişliğinin yarısının eklenmesi ile bulunacak uzunluk.

B) Tekerlek yükünün yan yüzeylerden mesafesi

Döşeme hesaplarında tekerlek yükünün ekseni bordür yüzünden 30 cm mesafede kabul edilecektir. Bordür veya yaya kaldırımı olmaması halinde, tekerlek yükü ekseni, korkuluk yüzünden 30 cm mesafede kabul edilecektir. Ölü ve hareketli yük ile sademeden oluşan toplam gerilme, malzemenin emniyet gerilmesinden daha büyük olmayacaktır.

C) Eğilme momenti

Döşemenin birim genişliği için eğilme momenti, daha doğru sonuç veren geçerli teoriye dayalı bir yöntemle hesaplanmadığı takdirde, aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

Hal A ve B için :

S = Hesap açıklığı (m),

Kiriş ve duvarlarla monolitik bağlı döşemelerde (gusesiz) :

S = Serbest açıklık,

Çelik boylamalar üzerine oturan döşemelerde :

S = Kirişlerin flanşları arasındaki aralık + $\frac{1}{2}$ flanş genişliği.

Hal A-Ana donatı trafik doğrultusuna dik

(Açıklıklar 0,60-7,30 m) (7,30 dahil)

Basit açıklıklar için hareketli yük momenti aşağıdaki formüllere göre tesbit edilecektir (dinamik etki katsayısı ayrıca gözönüne alınacaktır.)

$M = (S+0,60).P / 9,60$ kNm (döşemenin birim genişliği için)

Üç ve daha fazla mesnet üzerine oturan sürekli döşemelerde mesnet ve açıklık momentleri (dinamik etki katsayısı ayrıca gözönüne alınacaktır.)

$M = (S+0,60).P / 12,00$ kNm (döşemenin birim genişliği için)

P = Kamyonun bir arka tekerlek yükü (kN)

Hal B-Ana donatı trafik doğrultusun paralel

Tekerlek yüklerinin dağılım genişliği $E = 1,20 + 0,06.S$, maksimum 2,10 m; şerit yüklerde dağılım genişliği olarak 2.E alınacaktır. Boyuna donatılmış döşemeler hesaba esas alınan HS yüküne göre projelendirilecektir.

KGM

Basit ve sürekli açıklıkların momentleri uygun statik analiz metodları ve hesaba esas alınan kamyon veya şerit yüklerine göre hesaplanacaktır.

AASHTO-89

Sürekli açıklık momentleri uygun statik analiz metodları ve hesaba esas alınan kamyon ve şerit yüklerine göre hesaplanacaktır.

Basit açıklıklar için hareketli yük momenti aşağıdaki formüllere göre tesbit edilecektir (dinamik etki hariç)

H20 Yükleme için :

$$(\text{Açıklık} \leq 15,24 \text{ m olduğunda}) \quad ML = 13,38.S \quad \text{kNm/m}$$

$$(15,24 \text{ m} < \text{Açıklık} \leq 30,48 \text{ m}) \quad ML = 4,53.(4,25.S - 6,1) \quad "$$

H15 Yükleme için :

H20 yükleme için bulunan değerlerin 3/4 'üne eşittir.

D) Boyuna kenar kirişler

Ana donatıları trafik doğrultusuna paralel olan bütün döşemelerde kenar kirişler bulunacaktır. Bu kirişler, plak içerisinde donatı ilavesiyle veya plak ile yekpare fakat plaktan daha kalın, veya, plak ve bordür ile yekpare bir kesit şeklinde teşkil olunabilir.

Kenar kiriş 0,10.P.S hareketli yük momentine dayanabilecek şekilde hesaplanacaktır.

P = Tekerlek yükü (kN),

S = Hesap açıklığı (m).

Bu formül, basit açıklık momentleri içindir. Sürekli açıklıklarda artı ve eksi momentler daha doğru bir metod ile hesaplanmadıkça, basit açıklık momentlerinin % 20 azaltılmışı olarak kabul edilebilir.

E) Tevzi demirleri

Münferit hareketli yüklerin etkisinin enine dağılımını sağlamak için bütün döşemelerde ana donatıya dik doğrultuda ayrıca

donatı döşenecektir. Bu koşul, üzerindeki dolgu kalınlığı 60 cm den fazla olan menfez veya köprü döşemelerinde uygulanmayacaktır. Döşenecek demir miktarı, hareketli yüke ait moment için lüzumlu ana donatının yüzdesi olarak şu formüllere göre tesbit edilecektir: Ana donatı trafik doğrultusuna paralel olursa :

$$\text{Yüzde miktarı} = 55 / \sqrt{S} , \quad \text{maksimum \% 50}$$

Ana donatı trafik doğrultusuna dik olursa :

$$\text{Yüzde miktarı} = 120 / \sqrt{S} , \quad \text{maksimum \% 67}$$

Ana donatının trafik doğrultusuna dik olması halinde tevzi demirleri döşeme açıklığının orta yarısında kullanılacak, döşemenin her iki kenar çeyrek açıklıklarındaki tevzi demirleri ise bu miktarın yarısından az olmayacaktır.

F) Döşemelerde kayma ve aderans gerilmesi

Yukardaki koşullara uygun eğilme momentine göre hesaplanmış döşemeler kayma ve aderans gerilmeleri bakımından da yeterli sayılabilir. Fakat döşeme için büyük sayılabilecek açıklıklarda kayma ve aderans tahkiklerinin yapılması gerekir.

G) Enine doğrultuda mesnetsiz kenarlar (AASHTO, Parakraf 3.24.9)

Bu madde, enine kenarı mesnetlenmemiş olan döşemelerin hesabını düzenlemez. Burada verilen formüllerin geçerli olması, bu enine mesnetsiz döşeme kenarlarının bir enlemeye oturması veya benzeri rijitleştirme yapılması kaydıyla geçerlidir. Bu enlemeler de, diğer enlemeler gibi hesaplanır.

H) Konsol döşemeler

1) Kamyon yükleri

Konsol döşemeler üzerindeki yüklerin dağıtımı, aşağıdaki formüllere göre ve konsolun ucunda herhangi bir istinat durumu olmadığına göre yapılacaktır. Verilen dağıtım, tekerleklerin paralel elemanlar üzerindeki tesirini de kapsar.

Hal A-Ana donatı trafik doğrultusuna dik

Her tekerlek yükü, trafik doğrultusuna dik elemanlar üzerine aşağıdaki formüle göre dağıtılacaktır.

$$E = (0,8.x + 1,15) (m)$$

Döşemenin birim genişliği için moment = $P.x/E$ kNm/m olup burada x, metre olarak yükün tatbik noktası ile mesnet arasındaki

mesafedir; P (kN), tekerlek yüküdür.

Hal B-Ana donatı trafik doğrultusuna paralel

Her tekerlek yükü, trafik doğrultusuna paralel elemanlar üzerine aşağıdaki formüle göre dağıtılacaktır.

$E = (0,35.x + 0.97) (m)$; ancak E, 2,10 m 'den fazla olamaz.

Döşemenin birim genişliği için moment = $P.x/E$ kNm/m

2)Korkuluk yükleri

Babalar vasıtasıyla döşemeye intikal eden korkuluk yüklerini alan döşeme boyu, parapet bulunması halinde $E = (0,8.x + 1,15) (m)$ bulunmaması halinde $E = (0,8.x + 1,50) (m)$ olarak kabul edilecektir. Burada x korkuluk babası eksenini ile tahkiki istenen kesit arasındaki mesafedir.

İ) Dört kenarından mesnetli döşemeler

Dört kenarı üzerine oturan ve her iki doğrultuda donatılmış döşemelerin kısa açıklığı doğrultusunda taşınan yükün oranı, aşağıdaki denklemlere göre tesbit edilecektir.

$$\text{Düzgün yayılı yük için } p = \frac{b^4}{a^4 + b^4}$$

$$\text{Plak ortasındaki münferit yük için } p = \frac{b^3}{a^3 + b^3}$$

p = Kısa açıklık doğrultusunda taşınan yük oranı,

a = Plâğın kısa açıklık boyu,

b = Plâğın uzun açıklık boyudur.

Döşemenin boyu, eninin 1,5 katından fazla ise, bütün yükün enine donatı tarafından alındığı kabul edilecektir.

Yükün her iki doğrultuda dağıtım genişliği E, diğer döşemeler için kabul edildiği gibi olacaktır. Moment tesirine ait donatı, döşemenin kısa ve uzun açıklıklarının orta yarılarında uygulanacaktır. Kısa ve uzun açıklığın kenar çeyrek kısımlarındaki donatı, orta kısımdaki bu donanın yüzde 50 azaltılmışı olabilir. Mesnet teşkil eden kirişlerin hesabı, bunların üzerindeki yüklerin kiriş boyunca düzgün yayılı olmadığına göre yapılacaktır.

J) Refüj döşemeleri

Refüj vazifesi gören yükseltilmiş döşemeler, bu maddedeki kamyon yükleri ile ilgili koşullara uygun olarak ve yüklerin

maksimum tesirler verecek tarzda yerleştirilmesi suretiyle hesaplanacaktır. Ölü ve hareketli yükler ile dinamik etkiden meydana gelen gerilmelerin toplamı emniyet gerilmesinin 1,4 katından büyük olmayacaktır. Esas döşeme ile aynı seviyede yapılan refüj döşemelerinin hesabında emniyet gerilmesi artırılmayacaktır.

1.1 Çizik Problemleri ile İlgili Sorular

Çizik problemleri için verilen formüller, 1.1.1. ve 1.1.2. maddelerinde belirtilmiştir.

1.2 Standartlar

1.2.1.1. Çizik Problemleri ile İlgili Sorular

1.2.1.2. Çizik Problemleri ile İlgili Sorular

1.2.1.3. Çizik Problemleri ile İlgili Sorular

1.3 Diğer

1.3.1. Diğer

1.3.1.1. Çizik Problemleri ile İlgili Sorular

1.3.2. Diğer

1.3.2.1. Çizik Problemleri ile İlgili Sorular

1.4 Diğer

1.4.1. Çizik Problemleri ile İlgili Sorular

1.4.1.1. Çizik Problemleri ile İlgili Sorular

1.4.1.2. Çizik Problemleri ile İlgili Sorular

1.4.1.3. Çizik Problemleri ile İlgili Sorular

1.4.2. Diğer

1.4.2.1. Diğer

1.4.2.2. Diğer

1.4.2.3. Diğer

1.4.2.4. Çizik Problemleri ile İlgili Sorular

1.4.2.5. Çizik Problemleri ile İlgili Sorular

1.4.2.6. Çizik Problemleri ile İlgili Sorular

1.4.2.7. Çizik Problemleri ile İlgili Sorular

BÖLÜM B

BİR KARAYOLU KÖPRÜSÜNÜN AASHTO-89 AMERİKAN VE İLGİLİ TÜRK STANDARTLARINA GÖRE KARŞILAŞTIRMALI TASARIMI

1-HESAP ESASLARI

1.1-Örnek Problemin Ana Boyutları

Örnek problemin ana boyutları Şekil 1 , Şekil 2 , Şekil 3, Şekil 4. de verilmiştir.

1.2-Standartlar

- /1/ AASHTO-89 : Amerikan Karayolları Köprü Şartnamesi
- /2/ TS 3233 : Öngermeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
- /3/ KGM : Karayolu Köprüleri İçin Teknik Şartname

1.3-Yükler

1.3.1-Kaplama

5 cm 'lik asfalt bir tabakadan ibarettir.

1.3.2-Trafik yükleri

Türk şartnamesinin H20-S16 katar yükü ve bu kamyon katarına eşdeğer olan şerit yükü dikkate alınmıştır.

2-ÜST YAPI STATİK HESAPLARI

2.1-Enkesit Seçimi ve Enkesit Karakteristiklerinin Hesabı

Bu bölümde sadece brüt kesit karakteristikleri hesaplanacak ve statik hesaplar brüt kesit özellikleri ile yapılacaktır.

a) Prekast kiriş kesit özellikleri

Prekast kiriş kesit karakteristiklerinin hesabında şekil 4' deki taralı alan gözönüne alınmıştır.

$$A_c = 0,727 \text{ m}^2$$

$$I_x = 0,430942 \text{ m}^4$$

$$h_u = 1,017 \text{ m}$$

$$h_o = 1,183 \text{ m}$$

$$h_u = \text{Kesit ağırlık merkezinin alt kenara olan mesafesi}$$

$$h_o = \text{Kesit ağırlık merkezinin üst kenara olan mesafesi}$$

b) Kompozit kesit özellikleri

Kompozit kesit karakteristiklerinin hesabında şekil 4 'de

800

40

EN KESİT

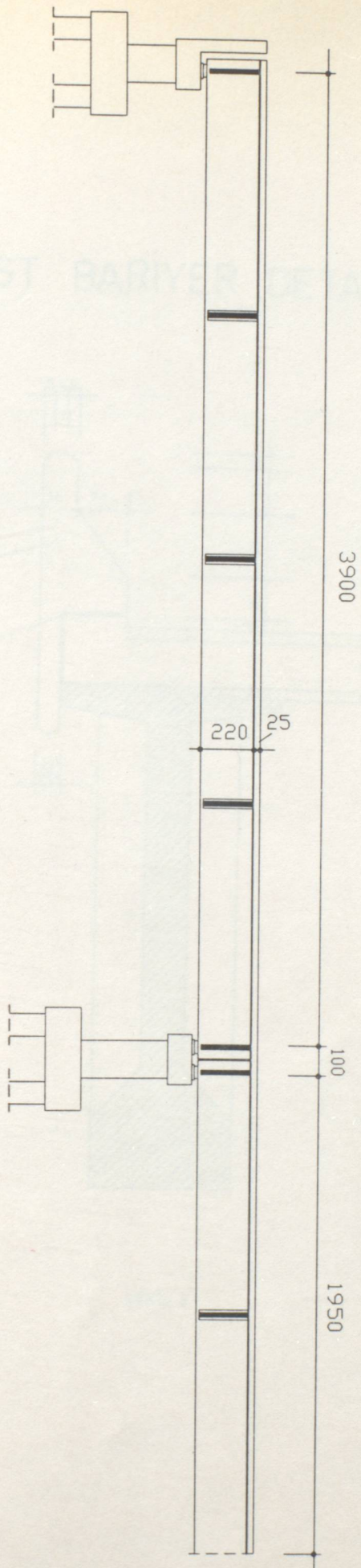
226

226

226

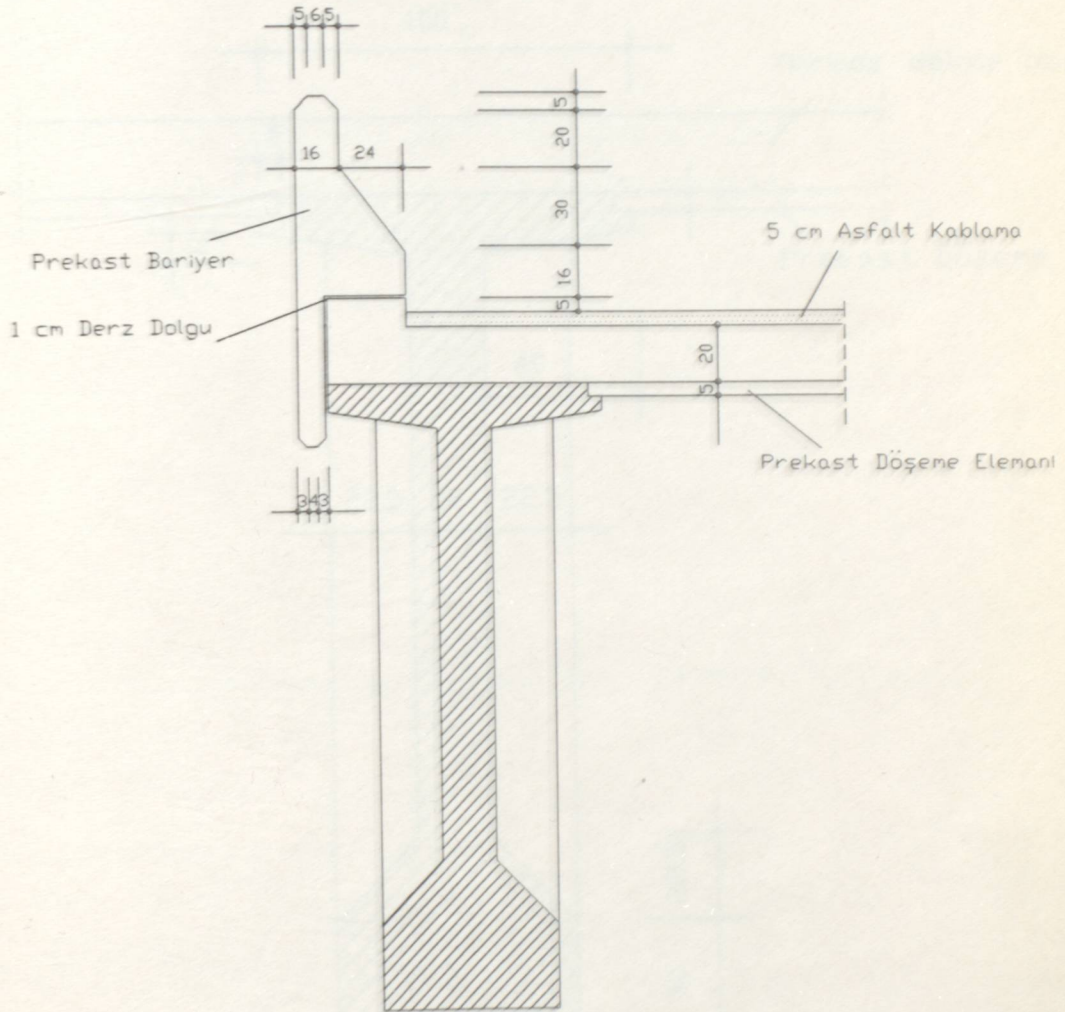
ŞEKİL 1

BOY KESİTİ



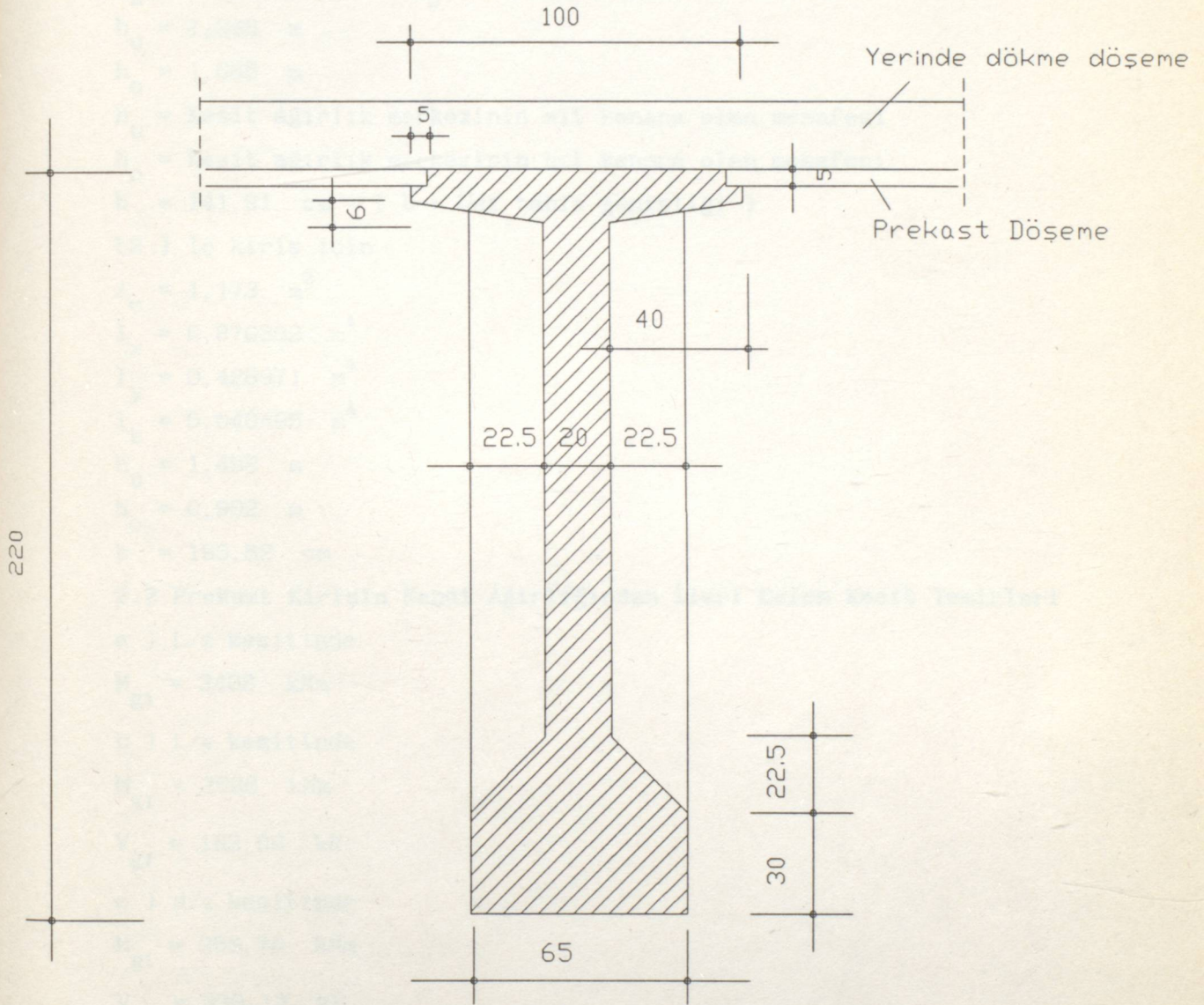
ŞEKİL 2

PREKAST BARIYER DETAYI



ŞEKİL 3

PREKAST KİRİŞ ENKESİTİ



ŞEKİL 4

prekast kirişden başka, prekast döşeme panelleri ve yerinde dökme tabliyenin de gözönüne alınması gerekir.

b1) Kenar kiriş için

$$A_c = 1,035 \text{ m}^2$$

$$I_x = 0,781648 \text{ m}^4$$

$$I_y = 0,371801 \text{ m}^4$$

$$I_b = 0,031661 \text{ m}^4 \quad (I_b : \text{Burulma momenti})$$

$$h_u = 1,395 \text{ m}$$

$$h_o = 1,005 \text{ m}$$

h_u = Kesit ağırlık merkezinin alt kenara olan mesafesi

h_o = Kesit ağırlık merkezinin üst kenara olan mesafesi

$$b = 141,81 \text{ cm} \quad (b : \text{Üst tabla genişliği})$$

b2) İç kiriş için

$$A_c = 1,173 \text{ m}^2$$

$$I_x = 0,876332 \text{ m}^4$$

$$I_y = 0,426971 \text{ m}^4$$

$$I_b = 0,040495 \text{ m}^4$$

$$h_u = 1,498 \text{ m}$$

$$h_o = 0,902 \text{ m}$$

$$b = 196,62 \text{ cm}$$

2.2 Prekast Kirişin Kendi Ağırlığından İleri Gelen Kesit Tesirleri

a) L/2 kesitinde

$$M_{g1} = 3498 \text{ kNm}$$

b) L/4 kesitinde

$$M_{g1} = 2626 \text{ kNm}$$

$$V_{g1} = 182,09 \text{ kN}$$

c) d/2 kesitinde

$$M_{g1} = 353,78 \text{ kNm}$$

$$V_{g1} = 339,13 \text{ kN}$$

2.3-Prekast Döşeme + Yerinde Dökme Enleme ve Döşemeden İleri Gelen Kesit Tesirlerinin Hesabı

2.3.1-Kenar kiriş :

a) L/2 kesitinde

$$M_{g2} = 1935 \text{ kNm}$$

b) L/4 kesitinde

$$M_{g2} = 1451 \text{ kNm}$$

$$V_{g2} = 102,722 \text{ kN}$$

c) d/2 kesitinde

$$M_{g2} = 189 \text{ kNm}$$

$$V_{g2} = 185,36 \text{ kN}$$

2.3.2-İç kiriş :

a) L/2 kesitinde

$$M_{g2} = 2659 \text{ kNm}$$

b) L/4 kesitinde

$$M_{g2} = 1994 \text{ kNm}$$

$$V_{g2} = 143,91 \text{ kN}$$

c) d/2 kesitinde

$$M_{g2} = 257,48 \text{ kNm}$$

$$V_{g2} = 252,94 \text{ kN}$$

2.4-Kaplama + Bariyer Yüklerinden İleri Gelen Kesit Tesirlerinin Hesabı

2.4.1-Kenar kiriş :

a) L/2 kesitinde

$$M_{g3} = 852,591 \text{ kNm}$$

b) L/4 kesitinde

$$M_{g3} = 639,016 \text{ kNm}$$

$$V_{g3} = 32,337 \text{ kN}$$

c) d/2 kesitinde

$$M_{g3} = 139,320 \text{ kNm}$$

$$V_{g3} = 86,968 \text{ kN}$$

2.4.2-İç kiriş :

a) L/2 kesitinde

$$M_{g3} = 985,327 \text{ kNm}$$

b) L/4 kesitinde

$$M_{g3} = 730,689 \text{ kNm}$$

$$V_{g3} = 56,791 \text{ kN}$$

c) d/2 kesitinde

$$M_{g3} = 126,525 \text{ kNm}$$

$$V_{g3} = 79,146 \text{ kN}$$

2.5-Hareketli Yklerden İleri Gelen Kesit Tesirlerinin Hesabı

2.5.1-Kenar kiriş :

a) L/2 kesitinde

$$M_Q = 766,046 \text{ kNm}$$

b) L/4 kesitinde

$$M_Q = 521,945 \text{ kNm}$$

$$V_Q = 45,327 \text{ kN}$$

c) d/2 kesitinde

$$M_Q = 88,754 \text{ kNm}$$

$$V_Q = 51,456 \text{ kN}$$

2.5.2-İç kiriş :

a) L/2 kesitinde

$$M_Q = 1297,059 \text{ kNm}$$

b) L/4 kesitinde

$$M_Q = 909,317 \text{ kNm}$$

$$V_Q = 77,620 \text{ kN}$$

c) d/2 kesitinde

$$M_Q = 154,838 \text{ kNm}$$

$$V_Q = 90,602 \text{ kN}$$

3-SONRADAN ÖNGERMELİ KİRİŞİN ÖNGERİLME HESAP VE TAHKİKLERİ

3.1-Malzeme Özellikleri

BETON

Karakteristik basınç dayanımı f_{ck} (AASHTO: f'_c)

(Taban çapı 15 cm ve yüksekliği 30 cm olan silindir numuneler için)

. Prekast kiriş	(N/mm^2)	= 40,00
. Prekast döşeme paneli	"	= 30,00
. Yerinde dökme tabliye betonu	"	= 30,00

Emniyet Gerilmeleri

a) Yapım safhasında

aa) Başlangıç (germe = transfer) anı

Öngerme uygulanabilmesi için gerekli beton karakteristik mukavemeti..... $f_{ckj} = 0,75.f_{ck} = 0,75.40 = 30 \text{ N/mm}^2$

- Beton basınç emniyet gerilmesi (N/mm^2) = $0,55.f_{ckj} = 16,50$

- Betondaki çekme emniyet gerilmesi (N/mm^2)

AASHTO-89

Betonarme donatı olmaması halinde = $-(0,249.f_{ckj})^{.5} = -1,364$

Betonarme donatı olması halinde = $-(0,623.f_{ckj})^{.5} = -3,412$

TS 3233

Basit mesnetlendirilmiş elemanların mesnet bölgelerinde.....

..... = $-(0,50.f_{ckj})^{.5} = -2,739$

Diğer durumlarda..... = $-(0,25.f_{ckj})^{.5} = -1,369$

ab) Betonun 28 günlük basınç dayanımına ulaşmasından sonra

- Betondaki basınç emniyet gerilmesi (N/mm^2) = $0,55.f_{ck} = 22,00$

- Betondaki çekme emniyet gerilmesi (N/mm^2)

AASHTO-89

Betonarme donatı olmaması halinde = $-(0,249.f_{ck})^{.5} = -1,575$

Betonarme donatı olması halinde = $-(0,623.f_{ck})^{.5} = -3,940$

TS 3233

Basit mesnetlendirilmiş elemanların mesnet bölgelerinde.....

..... = $-(0,50.f_{ck})^{.5} = -3,162$

Diğer durumlarda..... = $-(0,25.f_{ck})^{.5} = -1,581$

b) Hizmet safhasında

ba) Öngermeli beton kirişlerde $f_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$

- Beton basınç emniyet gerilmesi (N/mm^2)

AASHTO-89

$$\dots\dots\dots 0,40.f_{ck} = 0,40.40 = 16,00$$

TS 3233

$$\text{Köprü elemanlarında} \dots\dots\dots = 0,40.f_{ck} = 16,00$$

$$\text{Diğer yapı elemanlarında} \dots\dots\dots = 0,45.f_{ck} = 18,00$$

- Beton çekme emniyet gerilmesi (N/mm^2)

AASHTO-89

$$\text{Betonarme donatı olmaması halinde} = 0$$

$$\text{Betonarme donatı olması halinde} = -(0,499.f_{ck})^{.5} = -3,156$$

$$\text{Ciddi paslanma tehlikesi olan ortamlarda betonarme donatısının olması durumunda} \dots\dots\dots = -(0,249.f_{ck})^{.5} = -1,575$$

TS 3233

$$\text{Betonarme donatı olmaması halinde} = 0$$

$$\text{Betonarme donatı olması halinde} = -(0,50.f_{ck})^{.5} = -3,162$$

$$\text{Betonarme donatı kullanılması yanında sınırlı öngerilme uygulamasında; sehim değerlerinin öngörülen sınırları aşmadığının kanıtlandığı durumlarda} \dots\dots\dots = -(1,00.f_{ck})^{.5} = -6,325$$

bb) yerinde dökme döşeme betonlarında

- Beton basınç emniyet gerilmesi (N/mm^2)

AASHTO-89

$$\dots\dots\dots 0,40.f_{ck} = 0,40.30 = 12,00$$

TS 3233

$$\text{Köprü elemanlarında} \dots\dots\dots = 0,40.f_{ck} = 12,00$$

$$\text{Diğer yapı elemanlarında} \dots\dots\dots = 0,45.f_{ck} = 13,50$$

- Beton çekme emniyet gerilmesi (N/mm^2)

AASHTO-89

$$\text{Betonarme donatı olmaması halinde} = 0$$

$$\text{Betonarme donatı olması halinde} = -(0,499.f_{ck})^{.5} = -2,733$$

$$\text{Ciddi paslanma tehlikesi olan ortamlarda betonarme donatısının olması durumunda} \dots\dots\dots = -(0,249.f_{ck})^{.5} = -1,364$$

TS 3233

Betonarme donatı olmaması halinde = 0

Betonarme donatı olması halinde = $-(0,50 \cdot f_{ck})^{0,5} = -2,739$

Betonarme donatı kullanılması yanında sınırlı öngerilme uygulamasında; sehim değerlerinin öngörülen sınırları aşmadığının kanıtlandığı durumlarda..... = $-(1,00 \cdot f_{ck})^{0,5} = -5,477$

Elastisite Modülü

AASHTO-89

$$E_{cj} = 4729,77 \cdot (f_{ck})^{0,5}$$

Prekast kiriş, germe anı için, $E_{c1j} = 25906 \quad (N/mm^2)$

Prekast kiriş, $j \geq 28$ gün, $E_{c1} = 29914 \quad "$

Yerinde dökme döşeme, $j \geq 28$ gün, $E_{c2} = 25906 \quad "$

TS 3233

$$E_{cj} = 3250 \cdot (f_{ck})^{0,5} + 14000$$

$$E_{c1j} = 31800 \quad (N/mm^2)$$

$$E_{c1} = 34554 \quad "$$

$$E_{c2} = 31800 \quad "$$

ÖNGERİLME ÇELİĞİ (0,6 inç çaplı, düşük relaksasyonlu halatlar)

Halat kesit alanı, $A_{p1} \quad (N/mm^2) = 139,35$

Minimum kopma mukavemeti, f_{pk} (AASHTO: f_s^I) $(N/mm^2) = 1902$

Ankrajdaki ilk gerilme, $\sigma_{po} \quad (N/mm^2) = 0,70 \cdot f_{pk} = 1331$

Elastisite modülü, $E_{ps} \quad " = 193060$

YÜKSEK DAYANIMLI BETONARME ÇELİĞİ

Karakteristik akma mukavemeti, f_{yk} (AASHTO: f_{sy}) $(N/mm^2) = 420$

Elastisite modülü, $E_s \quad (N/mm^2) = 200000$

Emniyet gerilmesi, $\sigma_{sem} \quad " = 0,4 \cdot f_{yk} = 168$

3.2-Açıklık Ortasında Gerilme Tahkikleri

3.2.1-Kesit tesirlerinin zeti

- Prekast elemanın kendi ağırlığından dolayı (G1),.....
..... $M_{g1} = 3498 \text{ kNm}$
- Prekast döşeme paneli + yerinde dökme döşeme'den dolayı (G2),
..... $M_{g2} = 2659 \text{ kNm}$
- Kaplama + Bariyer yükü'nden dolayı (G3),.....
..... $M_{g3} = 985,327 \text{ kNm}$
- Maksimum hareketli yük + Dinamik etki'den dolayı (Q)
..... $M_Q = 1524,352 \text{ kNm}$

3.2.2-Kablo Kuvvetinin Yaklaşık Tahmini ve Öngerilme Kablo Düzeni (Orta kesitte)

- Prekast giriş safhası

Kesit özellikleri (Brüt kesit için)

$$\begin{aligned} A_{c1} &= 0,727 \text{ m}^2 \\ I_1 &= 0,430942 \text{ m}^4 & r_1 &= I_1 / (A_{c1} \cdot h_{1o} \cdot h_{1u}) \\ h_{1o} &= 1,183 \text{ m} & r_1 &= 0,49 \\ h_{1u} &= 1,017 \text{ m} & a_1 &= r_1 \cdot h_{1o} = 0,58 \\ h^i &= 0,08 \text{ m} & a_1^i &= r_1 \cdot h_{1u} = 0,50 \\ \Delta P_1 &= (M_{g1} + M_{g2}) / (a_1 + h_{1u} - h^i) \\ \Delta P_1 &= 4059 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Kompozit safhası

Kesit özellikleri (Brüt kesit için)

$$\begin{aligned} A_{c2} &= 1,173 \text{ m}^2 & r_2 &= I_2 / (A_{c2} \cdot h_{2o} \cdot h_{2u}) \\ I_2 &= 0,876332 \text{ m}^4 & r_2 &= 0,55 \\ h_{2o} &= 0,925 \text{ m} & a_2 &= r_2 \cdot h_{2o} = 0,51 \\ h_{2u} &= 1,475 \text{ m} & a_2^i &= r_2 \cdot h_{2u} = 0,81 \\ h^i &= 0,08 \text{ m} \\ f_c^i &= 40 \text{ N/mm}^2 \\ \bar{\sigma}_c &= -0,499 \cdot \sqrt{f_c^i} = -3,156 \text{ N/mm}^2 \\ \Delta P_2 &= (M_{g3} + M_Q - (\bar{\sigma}_c \cdot I_2 / h_{2u})) / (a_2 + h_{2u} - h^i) \\ \Delta P_2 &= 729 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$P_{\text{gerekli}} = \Delta P_1 + \Delta P_2 = 4788 \text{ kN}$$

$\sigma_{\text{pef}} = 1000 \text{ N/mm}^2$ için 1 halatın faydalı öngerilme değeri

$$P_{\text{ef}} = 1000 \cdot 139,35 \cdot 10^{-3} = 139,35 \text{ kN}$$

$$n_{\text{halat}} = P_{\text{gerekli}} / P_{\text{ef}} = 4788 / 139,35 \approx 34 \text{ Adet}$$

Seçilen kablo düzeni 4 (8 ϕ 0,60 inç)

Kablo adeti, NC = 4

Kablodaki halat sayısı, NSPC = 8

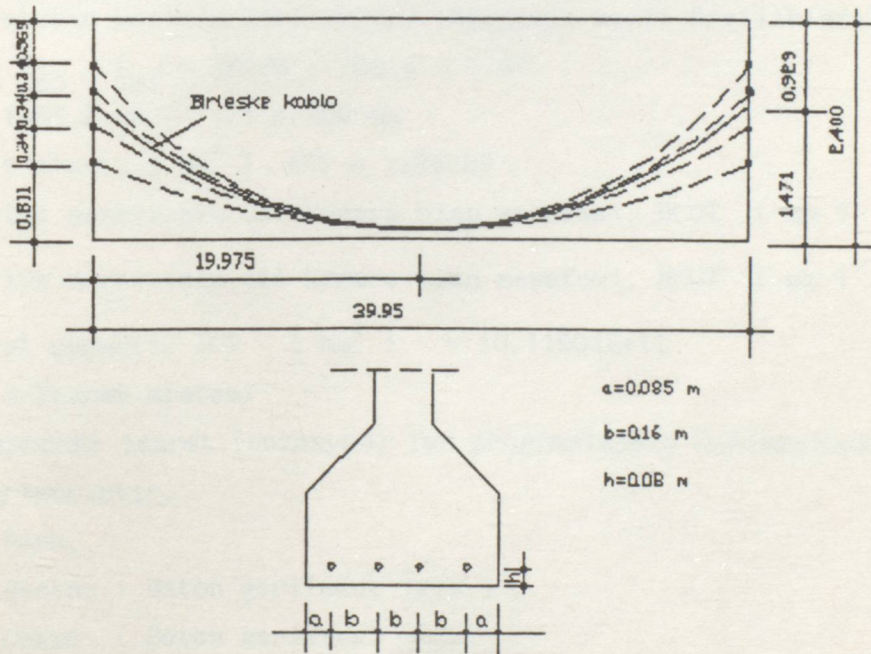
Toplam kablo kesit alanı, APS (mm^2) = 3902

Kablo merkezinin kesitin alt kenarına olan mesafesi, D1 (mm) = 80

Kılıf çapı, FID (mm) = 50

Toplam kılıf alanı, AD (mm^2) = 7854

Kablonun kirişdeki yerleşim düzeni aşağıdaki şekilde görüldüğü gibidir.



3.2.3-Kesit Özellikleri

a) Prekast kirişin brüt kesit özellikleri :

Kesit alanı, APCG (mm^2) = 727000

Ağırlık merkezinin üst kenara olan mesafesi, H1OG (mm) = 1183

Ağırlık merkezinin alt kenara olan mesafesi, H1UG (mm) = 1017

Adalet momenti, IPCG (mm^4) = 4,30942E+11

b) Prekast kirişin net kesit özellikleri :

Kesit alanı, (mm²) APCN = APCG-AD = 719146

Ağırlık merkezinin üst kenara olan mesafesi, H1ON (mm) = 1171

Ağırlık merkezinin alt kenara olan mesafesi, H1UN (mm) = 1029

Adalet momenti, IPCN (mm⁴) = 4,02557E+11

c) Öngerme donatısının beton alanına dönüştürülmesi ile oluşan kesitin özellikleri (dönüştürülmüş kesit) :

$N1 = E_{ps} / E_{c1} = 193060 / 30200 \cong 6,50$

Kesit alanı, (mm²) APCT = APCN + N1.APS = 744509

Ağırlık merkezinin üst kenara olan mesafesi, H1OT (mm) = 1203

Ağırlık merkezinin alt kenara olan mesafesi, H1UT (mm) = 997

Adalet momenti, IPCT (mm⁴) = 4,90352E+11

d) Dönüştürülmüş prekast kesite yerinde dökme kirişinde eklenmesi ile oluşan kesitin özellikleri (Kompozit kesit özellikleri) :

$N2 = E_{c2} / E_{c1} = 25906 / 29914 = 0,87$

b = 1966,2 mm t = 250 mm

Kesit alanı, (mm²) ACT = 1188559

Ağırlık merkezinin üst kenara olan mesafesi, HCOT (mm) = 929

Ağırlık merkezinin alt kenara olan mesafesi, HCUT (mm) = 1471

Adalet momenti, ICT (mm⁴) = 10,11504E+11

3.2.4-İşaret sistemi

• Yukardaki işaret (notasyon) lar programlamada kullanılmak üzere tasarlanmıştır.

D : Fark,

+ : Basınç (Beton gerilmesi için) ,

- : Çekme (Beton gerilmesi için) ,

SC20 = Yerinde dökme döşeme betonunun üst kenarındaki beton gerilmesi,

SC2U = Yerinde dökme döşeme betonunun alt kenarındaki beton gerilmesi,

SC10 = Prekast kirişin üst kenarındaki beton gerilmesi,

SC1U = Prekast kirişin alt kenarındaki beton gerilmesi,

SC1C = Kablonun ağırlık merkezindeki beton gerilmesi anlamındadır.

3.2.5-Elemanter beton gerilmeleri

- (1) İlk öngerme kuvvetinden (PI) oluşan gerilme değerleri
(ani kayıp gözönüne alınmıştır) (Net kesit özellikleri ile) :

. Açıklık ortasında ilk öngerme değeri, PIM (kN)	4996,667
. Kablo eksantrisitesi, EP1N (mm)	-949
. İlk öngerme kuvvetinden oluşan moment, MPM (kNm)	-4741,837
DSC201 (N/mm ²)	—
DSC2U1 "	—
DSC101 "	-6,992
DSC1U1 "	19,181
DSC1C1 "	18,229

- (2) Kirişin kendi ağırlığından dolayı (G1)
(Net kesit özellikleri ile) :

DMG1M (kNm) = 3498	
DSC202 (N/mm ²)	—
DSC2U2 "	—
DSC102 "	10,175
DSC1U2 "	-8,941
DSC1C2 "	-8,246

- (3) Zamana bağlı öngerilme (Birinci kısım)
(Prekast kiriş/dönüştürülmüş kesit) :

. DNPT1 (kN)	-437
. Kablo eksantrisitesi, EP1T (mm)	-917
. DMPT1 (kNm)	400,729
DSC203 (N/mm ²)	—
DSC2U3 "	—
DSC103 "	0,917
DSC1U3 "	-1,402
DSC1C3 "	-1,337

- (4) Prestek döşeme paneli + yerinde dökme döşeme ağırlığından
(G2) dolayı oluşan gerilme değerleri
(Prekast kiriş/dönüştürülmüş kesit) :

DMG2M (kNm) = 2659	
DSC204 (N/mm ²)	—
DSC2U4 "	—
DSC104 "	6,523
DSC1U4 "	-5,406
DSC1C4 "	-4,972

- (5) Kaplama + Bariyer ağırlığından (G3) dolayı oluşan gerilme değerleri (Kompozit kesit) :

DMG3M	(kNm)	= 985,327
DSC205	(N/mm ²)	0,905
DSC2U5	"	0,730
DSC105	"	0,730
DSC1U5	"	-1,433
DSC1C5	"	-1,355

- (6) Zamana bağlı öngerilme (İkinci kısım) (Kompozit kesit) :

. DNPT ∞	(kN)	-437
. Kablo eksantrisitesi, EP1 ∞	(mm)	-1337
. DMPT ∞	(kNm)	584,269

DSC206	(N/mm ²)	0,193
DSC2U6	"	0,072
DSC106	"	0,072
DSC1U6	"	-1,256
DSC1C6	"	-1,208

- (7) Maksimum hareketli yük + Dinamik etkiden dolayı oluşan gerilme değerleri (Kompozit kesit) :

DMQM	(kNm)	= 1524,352
DSC207	(N/mm ²)	1,400
DSC2U7	"	1,099
DSC107	"	1,099
DSC1U7	"	-2,217
DSC1C7	"	-2,096

3.2.6-Beton gerilme kombinasyonları

- a) Germe anında (yapım safhası 1) , j < 28 gün :

(1) + (2)		
SC20	(N/mm ²)	—
SC2U	"	—
SC10	"	3,183
SC1U	"	10,240
SC1C	"	9,983

- b) Yapım safhası 2 , j $\geq$ 28 gün :

(1) + (2) + (3) + (4)		
SC20	(N/mm ²)	—
SC2U	"	—
SC10	"	10,103
SC1U	"	3,432
SC1C	"	3,674

- c) Yapım safhası 3 , j > 28 gün :

(1) + (2) + (3) + (4) + (5)

SC20	(N/mm ²)	0,950
SC2U	"	0,730
SC10	"	10,833
SC1U	"	1,999
SC1C	"	2,319

d) Hizmet safhası 1 (2. kısım zamana bağlı öngerilme oluştuktan sonra) :

(1) + (2) + (3) + (4) + (5) + (6)

SC20	(N/mm ²)	1,143
SC2U	"	0,802
SC10	"	10,905
SC1U	"	0,743
SC1C	"	1,111

e) Hizmet safhası 2 (Hareketli yük etkileri dahil) :

(1) + (2) + (3) + (4) + (5) + (6) + (7)

SC20	(N/mm ²)	2,543
SC2U	"	1,901
SC10	"	12,004
SC1U	"	-1,474
SC1C	"	-0,985

$$SCMAX = 12,004 < \sigma_{cem} = 16,00 \quad (N/mm^2)$$

$$SCMIN = -1,474 > \bar{\sigma}_c = -3,156 \quad "$$

• Betonun çekme bölgesinde :

$$Derinlik = DT = 241 \text{ mm}$$

$$V_T = 650.241.1,474/2 = 115451,05 \text{ N}$$

$$\sigma_{sem} = 168 \text{ N/mm}^2$$

$$A_s = V_T / \sigma_{sem} = 687,209 \text{ mm}^2, \text{ Seçilen çekme donatısı } 4 \phi 16$$

3.2.7-Öngerilme kayıplarının hesabı

a) Sürtünme kaybı ($\Delta\sigma_{p\mu}$)

$$\sigma_{pm} = \sigma_{po} \cdot e^{-(k \cdot l + \mu \cdot \alpha)}$$

σ_{pm} = Kirişin açıklık ortasındaki gerilme değeri,

σ_{po} = Germe anında ankrajdaki gerilme değeri.

Birleşke kablo yörünge denklemi $y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$

$$y(0) = 1,471 \Rightarrow c = 1,471$$

$$y(l/2) = y(19,975) = 0,08 \Rightarrow 19,975 \cdot a + b = -0,070 \quad (1)$$

$$y'(l/2) = y'(19,975) = 0 \Rightarrow b = -39,95 \cdot a \quad (2)$$

(1) ve (2) den

$$a = 0,0035 \quad b = -0,140$$

$$y = 0,0035 \cdot x^2 - 0,140 \cdot x + 1,471$$

$$y'(0) = \tan \alpha \Rightarrow \tan \alpha = -0,140 \Rightarrow \alpha = 7^\circ,97 = 0,139 \text{ radyan}$$

$$\sigma_{po} = 1331 \text{ N/mm}^2$$

$$\mu = 0,15 \quad , \quad k = 0,0066$$

$$\sigma_{pm} = 1331 \cdot e^{-(0,0066 \cdot 19,975 + 0,15 \cdot 0,139)}$$

$$\sigma_{pm} = 1142,53 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta \sigma_{P\mu} = 1331 - 1141,16 = 188,47 \text{ N/mm}^2$$

b) Ankraj kayması kaybı ($\Delta \sigma_{p\gamma}$)

$$\bar{x} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot E_{ps}}{(\sigma_{po} - \sigma_{pm}) / (l/2)}} = \sqrt{\frac{7 \cdot 200000}{(1331 - 1142,53) / (19,975)}}$$

$\bar{x} = 12,181 \text{ m} < 19,975 \text{ m}$ olduğundan açıklık orta kesitinde ankraj kaybı yoktur.

c) Betonun ani elastik kısalmasından ileri gelen kayıp ($\Delta \sigma_{pci}$)

$$\Delta \sigma_{pci} = \frac{n-1}{2n} \cdot \frac{E_{ps}}{E_{cj}} \cdot \sigma_c$$

σ_c = Kablo seviyesinde beton gerilmesi

$$\sigma_G = M_G \cdot h_o / I = 3498,1,171 / 0,402557 = 10175,349 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_G^I = -M_G \cdot h_u / I = 3498,1,029 / 0,402557 = -8941,447 \text{ kN/m}^2$$

$$r = 1 / (A_e \cdot h_o \cdot h_u) = 0,402557 / (0,719146 \cdot 1,171 \cdot 1,029) = 0,46$$

$$a = r \cdot h_o = 0,46 \cdot 1,171 = 0,539$$

$$e_p = 1,029 - 0,08 = 0,949$$

$$a^I = r \cdot h_u = 0,46 \cdot 1,029 = 0,473$$

$$P = (1142,53 - 22) \cdot 4 \cdot 8,139,35 \cdot 10^{-3} = 4996,667 \text{ kN}$$

$$\sigma_P = \frac{P}{A_c} \cdot \left(1 - \frac{e_p}{a'} \right) = -6992,124 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_P' = \frac{P}{A_c} \cdot \left(1 + \frac{e_p}{a} \right) = 19181,276 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma = \sigma_p + \sigma_G = 3183,225 \text{ kN/m}^2 \quad (1)$$

$$\sigma' = \sigma_P' + \sigma_G' = 10239,829 \text{ kN/m}^2 \quad (2)$$

(1) ve (2) den σ_c hesaplanır. $\sigma_c = 10004,609 \text{ kN/m}^2$

$$\Delta\sigma_{pci} = \frac{4-1}{2.4} \cdot \frac{200000}{34554} \cdot 10,005 \cong 22 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ani kayıp } (\Delta\sigma_{pi}) = \Delta\sigma_{p\mu} + \Delta\sigma_{p\gamma} + \Delta\sigma_{pci} = 188,47 + 0 + 22$$

$$\Delta\sigma_{pi} = 210,47 \text{ N/mm}^2$$

d) Betonun rötresinden ileri gelen kayıp

$$SH = (117,21 - 1,034 \cdot RH) \cdot 0,80$$

$$RH = \% 70$$

$$SH = (117,21 - 1,034 \cdot 70) \cdot 0,80 = 35,86 \text{ N/mm}^2$$

e) Betonun sünmesinden ileri gelen kayıp

$$CRC = 12 \cdot f_{cjr}^{-7} \cdot f_{cds}$$

$$f_{cjr} = SC1C1 + SC1C2 = 18,229 - 8,246 = 9,983$$

$$f_{cds} = |CRC14| + |CRC15| = 4,972 + 1,355 = 6,327$$

$$CRC = 12 \cdot 9,983^{-7} \cdot 6,327 = 75,507 \text{ N/mm}^2$$

f) Çeliğin gevşemesinden ileri gelen kayıp

$$CRS = 137,9 - 0,3 \cdot FR - 0,4 \cdot ES - 0,2 \cdot (SH + CRC)$$

$$ES = 22 \text{ N/mm}^2$$

$$FR = 0,08 \cdot 0,70 \cdot f_s^I = 0,08 \cdot 0,7 \cdot 1331 = 74,54$$

$$CRS = 137,9 - 0,3 \cdot 74,54 - 0,4 \cdot 22 - 0,2 \cdot (35,86 + 75,507) = 84,465$$

$$\text{Zamana bağlı kayıp } (\Delta\sigma_{pt}) = 35,86 + 75,507 + 84,465$$

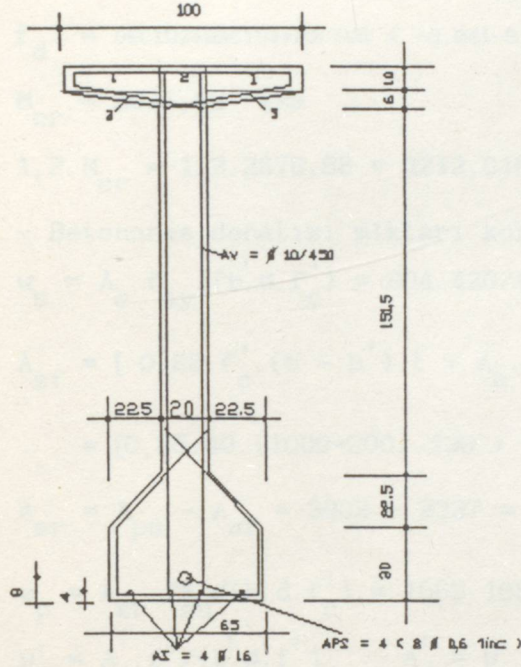
$$\Delta\sigma_{pt} = 195,832 \text{ N/mm}^2$$

3.2.8-Taşıma gücü tahkiki

$$A_{c1} = 400.100.2 = 80000 \text{ mm}^2$$

$$A_{c2} = 200.160 = 32000 \text{ mm}^2$$

$$A_{c3} = 2.(400.60/2) = 24000 \text{ mm}^2$$



$$A_c = A_{c1} + A_{c2} + A_{c3} = 136000 \text{ mm}^2$$

$$C = A_c \cdot 0.85 \cdot f_c^l = 4624 \text{ kN}$$

$$f_{su}^* = f_s^l \cdot [1 - (0.5 \cdot p^* \cdot f_s^l) / f_c^l]$$

$$f_{su}^* = 1902 \cdot [1 - (0.5 \cdot (3902/719146) \cdot 1902) / 40] = 1657 \text{ N/mm}^2$$

$$T = A_s \cdot f_{sy} + A_{ps} \cdot f_{su}^*$$

$$T = 804.420 + 3902.1657 \approx 6803 \text{ kN}$$

$$T > C \text{ olduğundan } a > 160 \text{ mm}$$

Beton basınç bloğu derinliği :

$$C_1 = 80000 \cdot 0.85 \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 2720 \text{ kN}$$

$$C_3 = 24000 \cdot 0.85 \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 816 \text{ kN}$$

$$a = \frac{T - (C_1 + C_2)}{0.85 \cdot f_c^l \cdot b^l} = \frac{6803000 - (2720000 + 816000)}{0.85 \cdot 40 \cdot 200} = 480,441 \text{ mm}$$

$$C_2 = 96088,2 \cdot 0.85 \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 3267 \text{ kN}$$

$$M_{res} = \phi \cdot [C_1 \cdot z_1 + C_2 \cdot z_2 + C_3 \cdot z_3 + A_s \cdot f_{sy} \cdot (h^l - d^l)]$$

$$C_1 \cdot z_1 = 2720 \cdot 2,07 = 5630,400 \text{ kNm}$$

$$C_2 \cdot z_2 = 3267 \cdot 1,880 = 6141,945 \text{ kNm}$$

$$C_3 \cdot z_3 = 816 \cdot (0,08 - 0,04) = 1632 \text{ kNm}$$

$$A_s \cdot f_{sy} \cdot (h^l - d^l) = 804.420 \cdot (0,08 - 0,04) \cdot 10^{-3} = 13,51 \text{ kNm}$$

$$M_{res} = 0,95 \cdot (5630,400 + 6141,945 + 1632 + 13,51) = 12746,962 \text{ kNm}$$

$$M_u = 1,3 \cdot (1,0 \cdot M_G + 1,67 \cdot M_Q)$$

$$M_u = 1,3 \cdot (1,0 \cdot 7142,327 + 1,67 \cdot 1524,352) = 12594,393 \text{ kNm}$$

$$M_u < M_{res} \quad 12594,393 < 12746,962$$

$$M_{cr} = I. [0,498.\sqrt{f'_c} + f_{pe} + f_d] / y_t$$

$$I = 10,11504E+11 \quad ; \quad y_t = 1471 \text{ mm}$$

$$f_{pe} = DSC1U1+DSC1U3+DSC1U6 = 19,181-1,402-1,256 = 16,523 \text{ N/mm}^2$$

$$f_d = DSC1U2+DSC1U4+DSC1U5 = -8,941-5,406-1,433 = -15,78 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{cr} = 2676,68 \text{ kNm}$$

$$1,2.M_{cr} = 1,2.2676,68 = 3212,016 \text{ kNm} < M_{res}$$

- Betonarme donatısı miktarı kontrol

$$w_s = A_s.f_{sy} / (b.d.f'_c) = 804.420 / (200.2120.40) = 0,01991$$

$$A_{sf} = [0,85.f'_c.(b - b').t + A_s.f_{sy}] / f_{su}^*$$

$$= [0,85.40.(1000-200).130 + 804.420] / 1657 = 2337 \text{ mm}^2$$

$$A_{sr} = A_{ps} - A_{sf} = 3902 - 2337 = 1565 \text{ mm}^2$$

$$w_p = A_{sr}.f_{su}^* / (b.d.f'_c) = 1565.1657 / (200.2120.40) = 0,15290$$

$$w_s' = A_s'.f_y' / (b.d.f'_c) \quad A_s' = 0 \Rightarrow w_s' = 0$$

$$w_s + w_p - w_s' \leq 0,30$$

$$0,01991 + 0,15290 - 0 = 0,17281 \leq 0,30$$

3.2.9-Kayma gerilmeleri tahkiki

$$V_u = 1,3.[1,0.V_G + 1,67.V_Q] - 1,0.V_P$$

$$V_G = 339,13 + 252,94 + 79,146 = 671,216 \text{ kN} \quad ; \quad V_Q = 149 \text{ kN}$$

$$V_P = P_{ef}. \sin \alpha = 4123,413. \sin(7,58) = 543 \text{ kN}$$

$$P_{ef} = (1331 - 195,832 - 210,47).4.8.139,35.10^{-3} = 4123,413 \text{ kN}$$

$$V_u = 1,3.(1,0.671,216 + 1,67.149) - 1,0.543 = 653 \text{ kN}$$

$$V_{cr} \leq 1,7.\sqrt{f'_c}.b.d = 1,7.\sqrt{5806}.7,874.83,465 = 85131 \text{ Pound} \\ \approx 586 \text{ kN}$$

$$V_{cw} = (3,5.\sqrt{f'_c} + 0,3.f_{pc}).b.d + V_P$$

$$f_{pc} = P_{ef} / A_{final} = 4123413 / 1188559 = 3,469 \text{ N/mm}^2 = 504 \text{ Psi}$$

$$V_{cw} = (3,5 \cdot \sqrt{5806} + 0,3 \cdot 504) \cdot 7,824 \cdot 83,465 + 122077 = 394972 \text{ Pound} \\ \cong 1756 \text{ kN}$$

$$V_c = 569 \text{ kN} \quad V_s = V_u - \phi \cdot V_c = 653 - 0,90 \cdot 569 = 150 \text{ kN}$$

$$A_v = V_s \cdot s / (f_{sy} \cdot d) = 150000 \cdot s / (220 \cdot 2120) = 2,78,54 \Rightarrow s = 488 \text{ mm}$$

Seçilen etriye : $\phi 10/450$ $s < 24 \text{ İnç} = 610 \text{ mm}$
 $450 < 610$ (Etriye aralığı uygun)

ÖZGEÇMİŞ

Kemal YILDIZ, 1968 yılında Trabzon'da doğdu. İlk öğrenimini Üsküdar Paşakapısı İlkokulu'nda (1975-1980), orta ve lise öğrenimini Üsküdar Burhan Felek lisesi'nde (1980-1986) tamamladı. 1986 yılında başladığı Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümünde lisans öğrenimini tamamlayarak 1990 yılında mezun oldu. Aynı yıl Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı programında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen öğrenimine devam etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1]....AASHTO, " Standard Specifications for Highway Bridges "
(AASHTO), 1989
- [2]....Edward L. Wilson, Ashraf Habibullah
A Series of Computer Programs for The Static and Dynamic
Finite Element Analysis of Structures (SAP90)
- [3]....Dywidag Posttensioning System Catologue
- [4]....TSE - TS 3233 Öngermeli Beton Yapıların Hesap ve
Yapım Kuralları (1979)
- [5]....KGM Karayolu Köprüleri İçin Teknik Şartname (1973)

