

ÖNGERİLMELİ KOMPOZİT KÖPRÜ KİRİŞLERİNİN ETKİN KULLANIM AÇIKLIKLARININ BELİRLENMESİ

Turgut ÖZTÜRK* , Zübeyde ÖZTÜRK**

* İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Yapı Anabilim Dalı, İstanbul

** İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Ulaştırma Anabilim Dalı, İstanbul

ÖZET

Üç adet tipik omega ve I kesitinin incelendiği çalışmada köprü kirişlerinin hangi açıklıkta en efektif kullanılacağı araştırılmıştır. Tip omega kesitler için O_1 kirişi 14m-28m, O_2 kirişi 20m-34m ve O_3 kirişi 28m-34m arasında ikişer metrelik artımlarla ele alınmıştır. Kirişlerin gerilme durumları ve taşıma kapasiteleri incelenmiştir. Farklı sünme ve farklı rötreden doğan gerilmeler de dikkate alınmıştır. Kirişlerin öngerme donatısı miktarlarına göre toplam gerilme kayıplarının ve moment taşıma kapasitelerinin nasıl değiştiği diyagram şeklinde verilmiştir. Çalışmanın sonunda, O_1 kirişinin 18m-24m, O_2 kirişinin 24m-32m ve O_3 kirişinin 28m-34m arasında efektif olarak kullanılabileceği görülmüştür. I kesitler için de ayrıntılı incelemeler yapılmış ve sonuçları sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler : Öngerilme, Köprü, Kompozit kirişler, Optimizasyon.

THE DETERMINATION OF EFFECTIVE SPANS OF PRESTRESSED COMPOSITE BRIDGE BEAMS

ABSTRACT

In this study, the three types of omega and I shaped beams are examined. O_1 , O_2 and O_3 beams is researched between 14-28m, 20-34m and 28-34m with 2m increments, respectively. Stress investigations are made with service load design method and at final stage the serviceability requirements are researched with strength design method. Because of the importance of differential shrinkage and differential creep, these effects are included in the calculations. For O_1 , O_2 and O_3 beams, the prestress losses are researched according to 20m, 28m and 32m longs, respectively. The ultimated moment capacities are given in diagrams. The detailed calculations of 20m long O_1 beam are given as an example. Results show that O_1 beam for spans between 18-24m, O_2 beam for spans between 24-32m, O_3 beam for spans between 28-34m is effective to use. The same calculations are carried out for I beams.

Keywords : Prestressing, Bridge, Composite beam, Optimisation.

1. GİRİŞ

Otoyolların önem kazanması ile birlikte köprü yapımında öngerilmeli prefabrike köprü kirişlerinin kullanımı yaygınlaşmış ve zamanla standart tiplerin oluşturulmasına da gidilmiştir. Yaygın kullanım alanı bulunan tiplerden bazıları omega ve I kesitli prefabrike köprü kirişleridir. Köprü kirişlerinde sabit ve hareketli yüklerden dolayı oluşacak çekme gerilmelerinin, uygulanacak öngerme kuvveti ile azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır. Öngerilmeli sistemlerin avantajları; a) Narin elemanlarla büyük açıklıkların geçilebilmesi, b) Çatlakların önlenmesi veya sınırlandırılması ile yapının ekonomik ömrünün uzaması, c) Öngerme donatısının titreşim boyunun küçük olması sayesinde, öngerilmeli yapıların yorulma mukavemetinin büyük olması, d) Aşırı yüklenme hallerinde, çelikteki birim deformasyonlar %0.01 değerini aşmadığı sürece, oluşan tüm çatlakların, aşırı yüklerin ortadan kalkması halinde yeniden kapanması, e) Yer ve şekil değiştirmelerin kullanım yükleri altında küçük kalması, f) İnşaat süresinin önemli oranda kısalması, şeklinde sıralanabilir [1-3]. Bu çalışmada, uygulamada çok kullanılan, üçer tip omega ve I kesitli öngerilmeli prefabrike köprü kirişleri değişik açılardan incelenmektedir. Bu kirişler yüksekliklerine göre; O_1 :1.20m, O_2 :1.70m, O_3 :2.0m ve I_1 :0.75m, I_2 :0.90m, I_3 :1.20m olarak isimlendirilmiştir [4].

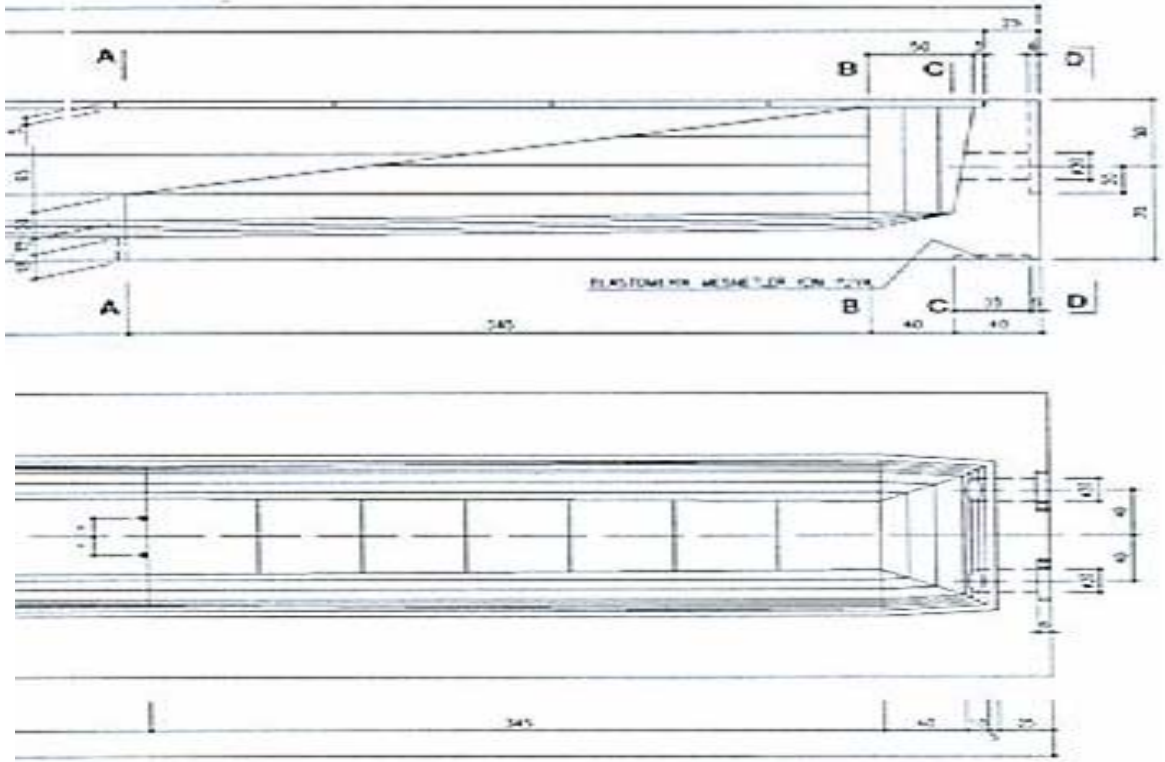
Kiriş tiplerinin en efektif bir şekilde kullanılabileceği açıklıklar belirlenmeye çalışılmıştır. Kirişlerin öngerme donatısı gereksinimlerini daha çok eğilme tesirleri belirlediği için ağırlıklı olarak bu etkiler ele alınıp irdelenmiştir. Kirişlerin burulma ve kayma dayanımları yüksek olduğundan kritik durum oluşturmadıkları düşünülerek burulma ve kayma etkileri ihmal edilmiştir. O_1 kirişi 14m-28m, O_2 kirişi 20m-34m, O_3 kirişi de 28m-34m lik açıklıklar arasında ve ikişer metrelik artımlarla ele alınmıştır. Kirişlerin, emniyet gerilmeleri yöntemiyle gerilme durumları ve limit durumda da taşıma kapasiteleri belirlenmiştir. Farklı sünme ve farklı rötreden doğan gerilmeler de göz önüne alınmıştır. Açıklıkları 20m olan O_1 , 28 m olan O_2 ve 32 m lik O_3 kirişlerinde öngerme donatısının artması ile öngerme kayıplarının değişimi incelenmiştir. Öngerme donatısı miktarına göre moment taşıma kapasitesinin değişimi diyagramlar şeklinde verilmiştir. Kirişlerin gerilme durumları araştırılırken, kesitte hiçbir durumda çekme gerilmesi çıkmamasına ve izin verilen gerilmelerin aşılmamasına dikkat edilmiştir. Çalışmada genelde [5, 6] standartları kullanılmış ve deprem etkileri dikkate alınmamıştır.

2. OMEGA KESİTLERİN İNCELENMESİ

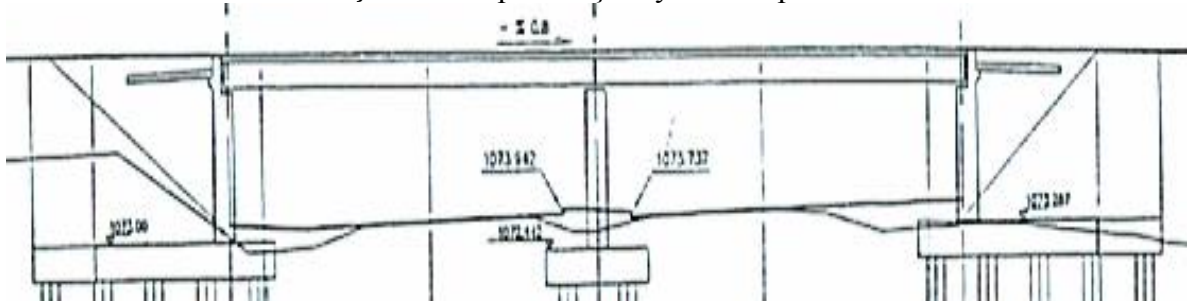
İncelenen omega kesitli köprü kirişlerinin özellikleri ve öngerme demetlerinin düzenleri Şekil 1-3’de verilmektedir. Köprü genişliği 10.50m olarak alınmış ve kenarlarında 2.00m ile 1.00m lik kaldırımlar tasarlanmıştır. Prefabrike kirişlerin üzerinde oluşturulan yerinde dökme döşeme kalınlığı her kirişte 25cm alınmıştır. Kiriş boyları mesnetler arasındaki temiz açıklık olarak hesaplanmıştır. İncelemeler sırasında köprü açıklığının, dört adet O_1 veya O_2 ve üç adet O_3 kirişi ile geçilmesi uygun görülmüştür. Buna göre en elverişsiz şartların olduğu kirişlerde gerilme analizi yapılmıştır.

Kirişlerin elastomer mesnetlere basit mesnetli olarak oturduğu düşünülmüştür. Ön çekmeye tabi tutulacak öngerme donatıları tendonlardan seçilmiş ve kiriş boyunca düz olarak yerleştirilmiştir. Malzeme olarak kirişlerde C45, döşeme ve prefabrike cephe elemanlarında C30 betonu kullanılmıştır. Betonarme donatısı olarak ST50 Grup III çelik (S420/500), öngerme donatısı için gerilmeden arındırılmış düşük rölaksasyonlu 250 sınıfı donatı

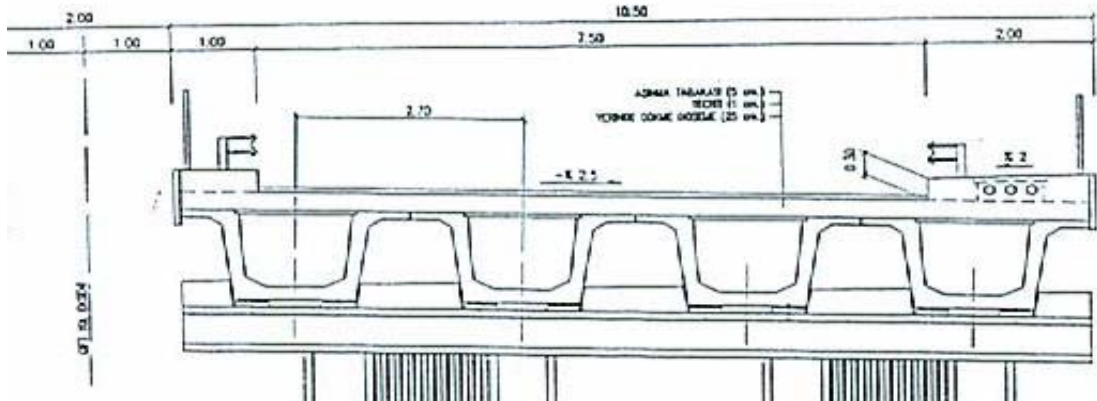
(minimum kopma dayanımı 1724 N/mm^2) seçilmiştir. Mesnet olarak kullanılan içi çelik plakalı neopren mesnetlerin malzemesi minimum 60 sertliğinde olup kayma modülü $G=0.85-1.10 \text{ N/mm}^2$ (23°C sıcaklıkta) arasında değişmektedir.



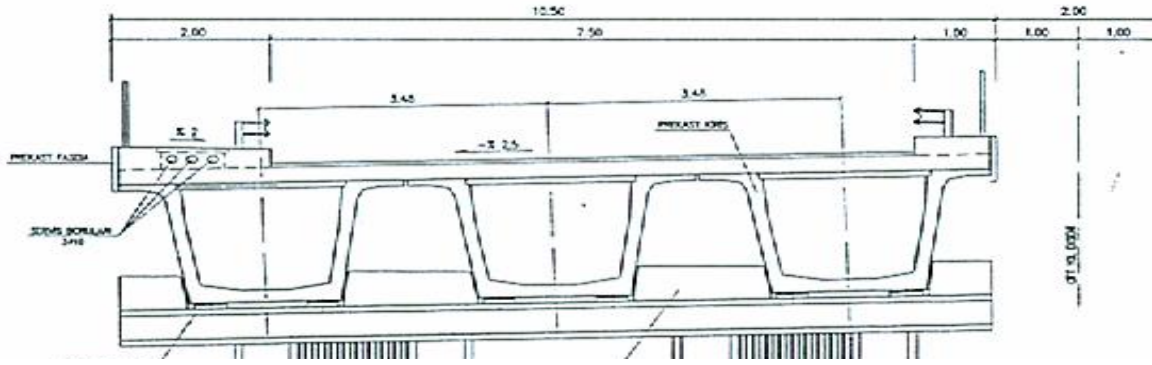
Şekil 1. Köprü kirişi boykesit ve planı



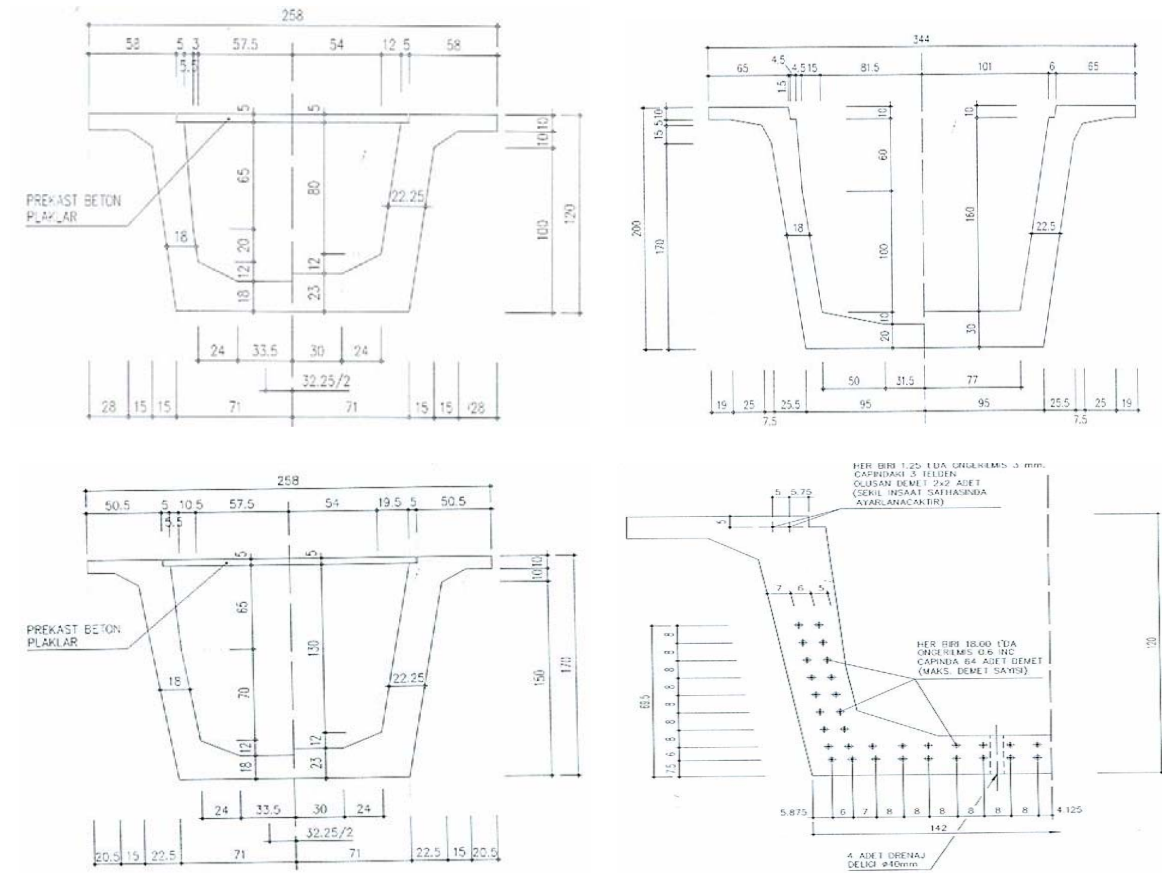
a) Köprü boy kesiti



b) O₁ ve O₂ Tip kirişli köprü enkesiti

c) O₃ Tip kirişli köprü enkesiti

Şekil 2. Omega kesitli kirişlere sahip kompozit köprü boy kesiti ve enkesiti



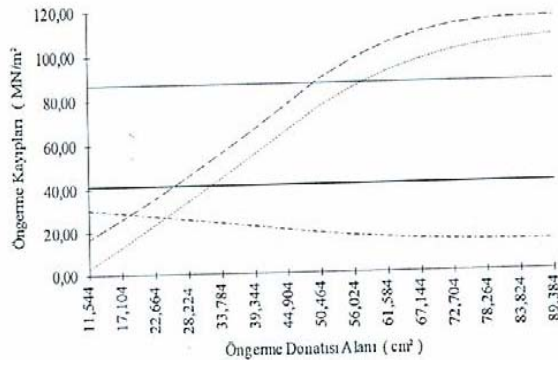
Şekil 3. Tiplere göre köprü enkesitleri ve öngerme demetleri düzeni

2.1. Tip Kiriş Kesitlerinde Gerilme Kayıpları ve Moment Taşıma Kapasitesi

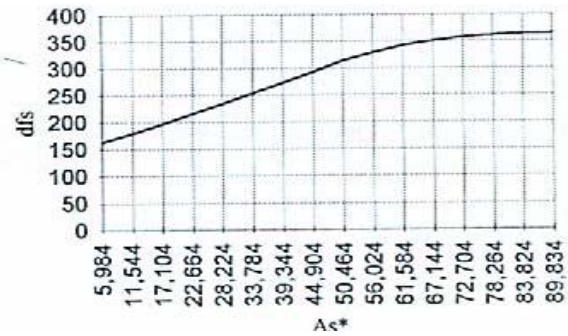
Hesaplarda aşağıda belirtilen yüklemeler göz önüne alınmıştır; a) prekast kiriş zati yükü, b) yerinde dökme döşeme zati yükü + prekast panel zati yükü, c) ilave daimi yük olarak taşıyıcı olmayan elemanların (asfalt, prekast cephe elemanları, kaldırım, korkuluk) yükleri alınmıştır, d) montaj sırasında hareketli yük 0.0015 MN/m^2 , e) incelenecek sistemlerin çok olması göz önüne alınarak, hesap kolaylığı bakımından, hareketli yük olarak sadece iki şeritli standart şerit yükü (MS 30) dikkate alınmıştır [6]. Kesit tesirleri SAP2000 analiz programı ile hesaplanmıştır [7]. Model oluşturulurken yerinde dökme döşeme shell ve prefabrike kirişler frame eleman olarak tanımlanmış ve mesnet bölgesinde sıklaştırma yapılmıştır.

Her üç tip kesit ve değişik açıklıklar için yukarıda belirtilen yüklerden oluşan eğilme momentleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Kirişlere yerleştirilen kablolardaki öngerme tellerine ön çekme şeklinde uygulanan kuvvetin hesabında, öçekmede zamana bağlı olarak meydana gelen gecikmiş kayıplar diye adlandırılan, rötre (büzülme), elastik boy kısalması, betonun sünmesi, çeliğin gevşemesi, ısı tesirlerinden oluşan gerilme kayıpları dikkate alınmıştır. Kompozit kesitte farklı sünme ve farklı rötreten oluşan gerilme kayıpları hesaplanırken prekast kirişin imalatından 90 gün sonra üzerine yerinde dökme döşeme geldiği kabul edilmiştir [8].

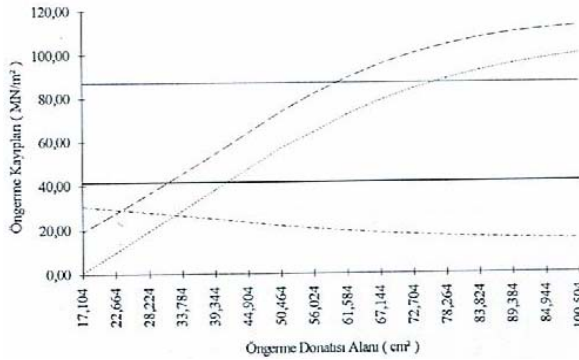
— Rötreten dolayı oluşan kayıpları
 — Elastik boy kısalmasından oluşan kayıpları
 — Betonun sünmesinden oluşan kayıpları
 — Çeliğin rölaksasyonundan oluşan kayıpları
 — Isı tesirlerinden oluşan kayıpları ifade etmektedir.



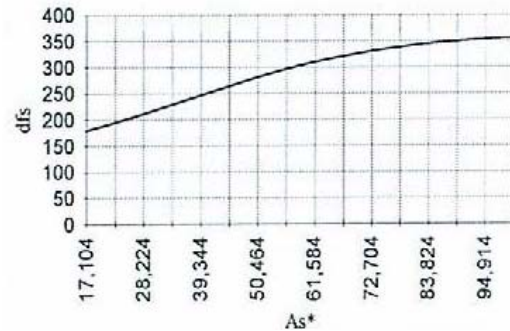
a) 20m açıklıklı O₁ kirişi



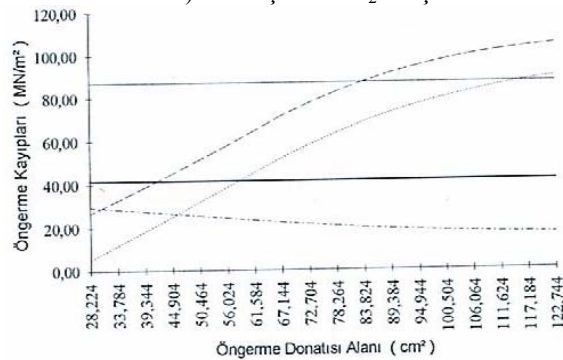
a) O₁ Kirişi



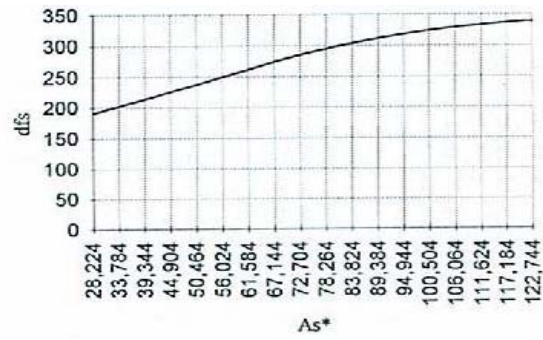
b) 28m açıklıklı O₂ kirişi



b) O₂ Kirişi



c) 32m açıklıklı O₃ kirişi



c) O₃ Kirişi

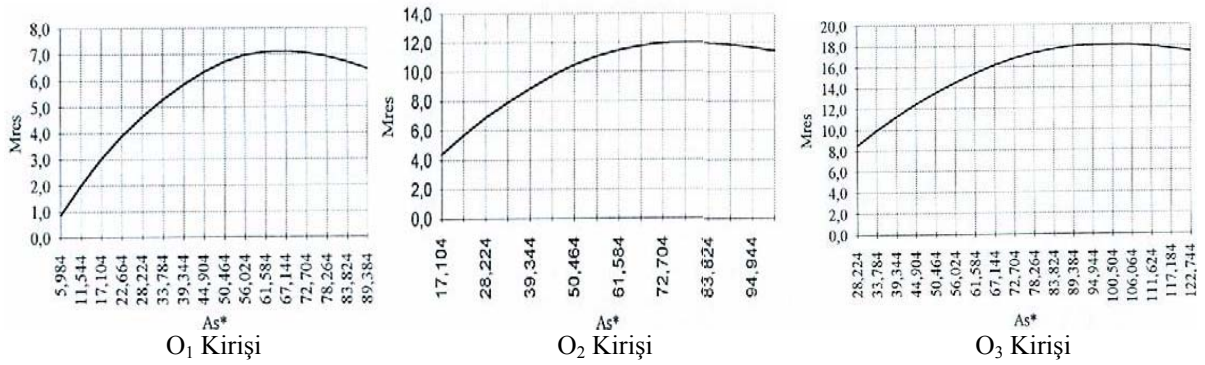
Şekil 4. Tip kirişlerde öngerme kayıpları değişimi **Şekil 5.** Tip kirişlerde öngerme donatısı (A_s^* , cm^2)–toplam öngerme kayıpları (dfs, MN/m^2) değişimi

Öngerme kayıplarının değişimi incelenmiş ve örnek olarak 20m açıklıklı O₁ kirişi, 28m açıklıklı O₂ kirişi, 32m açıklıklı O₃ kirişi için öngerme donatısına bağlı olarak bu kayıpların değişimleri Şekil 4’de ayrı ayrı verilmiştir. Genelde [6]’ya göre hesaplanan toplam gerilme

kayıplarının daha fazla olduğu görülmektedir. Toplam öngerme kayıplarının (M_{res} , MN/m²) öngerme donatısı alanına (A_s^* , cm²) göre değişimleri, tip kirişlerin belli açıklıkları için ayrı ayrı verilmiştir (Şekil 5).

Zati yük I=Prekast kiriş zati ağırlığı + Yerinde dökme döşeme zati ağırlığı, Zati yük II=İlave daimi yük, olmak üzere gerilme kombinasyonları aşağıdaki şekilde dikkate alınmıştır; a) Aktarma safhası (Öngerme kuvveti + Prekast kiriş zati yükü), b) Zati yük I + İnşaat sırasında hareketli yük, c) Zati yük I + Zati yük II + Öngerme kayıpları, d) Nihai durumda Zati yük I + Zati yük II + Hareketli yük, e) Nihai durumda Zati yük I + Zati yük II + Hareketli yük + Farklı sünme + Farklı rötre.

Gerilme analizleri, kompozit kesit yüksekliği boyunca dört seviyede (yerinde dökme tabliye üstü ve altı, prekast kiriş üstü ve altı) yapılmış ve işaret olarak çekme pozitif, basınç negatif kabul edilmiştir. Çeşitli durumlardaki beton emniyet gerilmeleri her iki yönetmelik için ayrı ayrı göz önüne alınmıştır.



Şekil 6. Tip kirişlerde öngerme donatısı–moment taşıma kapasitesi değişimi

Göz önüne alınan kesitler, açıklıklar ve yükleme durumları için çatlak kontrolleri de yapılarak öngerme donatısına bağlı olarak moment taşıma kapasiteleri ve donatı miktarları hesaplanmıştır. Şekil 6'da, öngerme donatısı alanına (A_s^* , cm²) bağlı olarak kirişlerin moment taşıma kapasitelerinin (M_{res} , MNm) değişimleri, tip kirişler için ayrı ayrı verilmiştir.

2.2. İrdeleme

Nihai durumdaki kirişte, emniyet gerilmelerini aşmayacak kadar çekme gerilmesine müsaade edildiği durumlar göz önüne alınarak elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde verilebilmektedir.

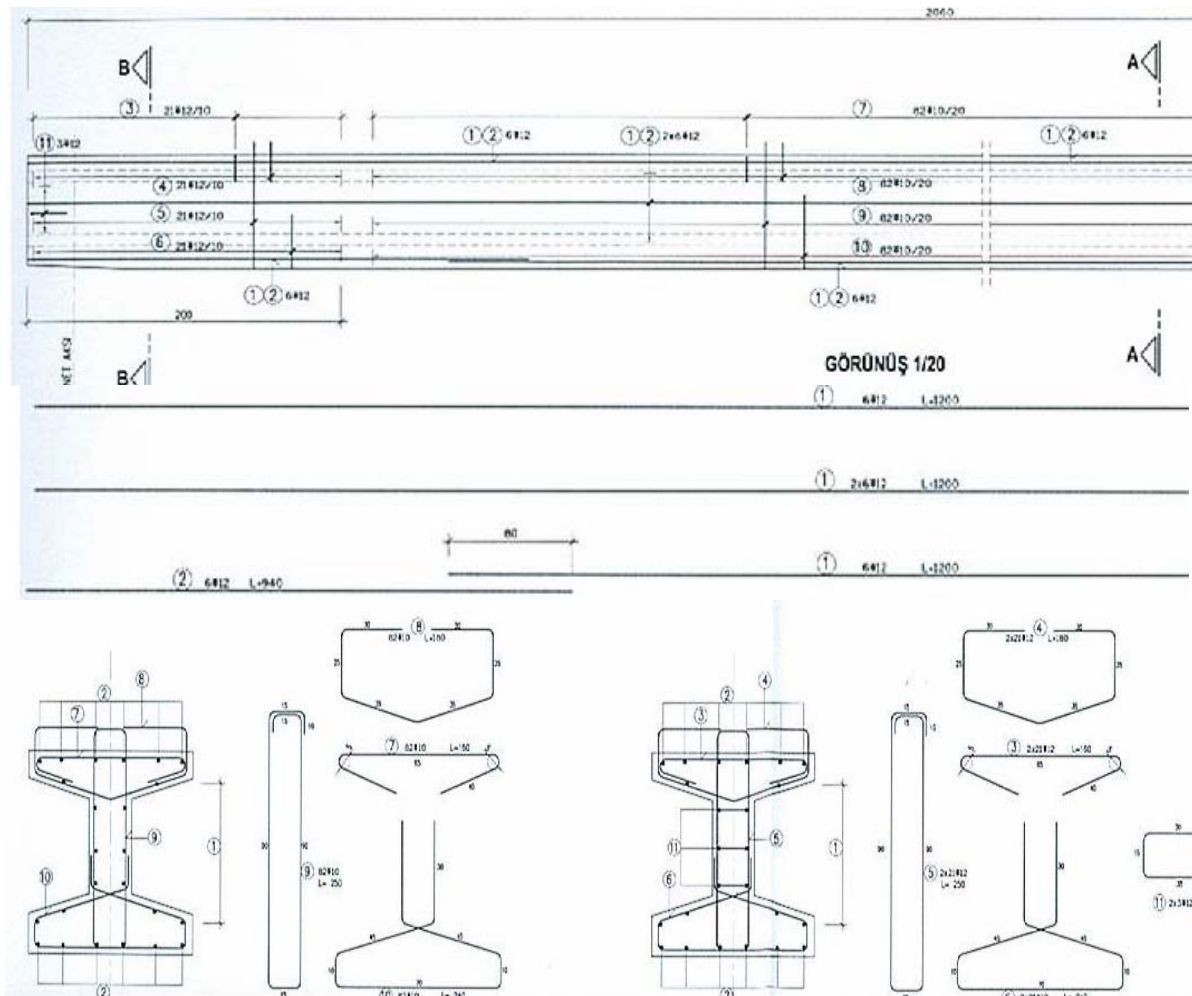
- O₁ kirişi 18m-24m arasında, dış yüklerden oluşan tesirleri kolaylıkla taşıyabilmektedir. 18m den küçük açıklıklarda oluşan gerilmeler emniyet gerilmelerinden küçük kalmasına rağmen, moment taşıma kapasitesi çatlama momentinden küçük olduğu için fazladan eğilme donatısı ilave etmek gerekmektedir. 26m den sonra ise gerekli öngerme donatısı miktarının arttığı ve 56cm² den sonraki bu artışın moment taşıma kapasitesini çok az arttırdığı ve hatta 67cm² den sonra moment taşıma kapasitesini azalttığı için kiriş gelen tesirleri zorlukla taşıyabilmektedir. Öngerme donatısının artırılması sonucu mesnete çok yakın kesitte aktarma anındaki basınç gerilmelerinin, emniyet gerilmelerini aşması nedeniyle limit duruma ulaşılmaktadır. Ayrıca 28m den sonra kirişe konulan öngerme donatısı miktarı maksimum sınırı aştığından sünekliği sağlamak için ilave basınç donatısı koymak gerekmektedir. Öngerme donatısının çok artması ve betonarme donatısı ihtiyacının artması ile kirişin ekonomik olmaktan çıktığı açıktır.

- O₂ kiriş 24m-32m arasında, dış yük tesirlerini fazla zorlanmadan taşıyabilmektedir. Ancak 28m den sonra aktarma anında kirişin üst bölgesinde oluşan çekme gerilmeleri sınır değeri aştığı için özel önlem alınmalıdır. 24m den küçük açıklıklarda ilave eğilme donatısı koymak gereklidir. 34m nin üzerindeki açıklıklarda ise aktarma anında mesnete çok yakın kesitteki basınç gerilmeleri emniyet gerilmelerini aşarak kiriş taşıma sınırına ulaşmaktadır.
- O₃ kiriş 28m-34m arasında, dış yük tesirlerini fazla zorlanmadan taşıyabilmektedir. 32m den sonra, aktarma anında kirişin üst bölgesinde oluşan çekme gerilmelerine karşı özel önlem almak gerekmektedir. 34m den sonra ise sünekliğin sağlanması için gerekli basınç donatısı kirişin üst bölgesine sığmayacağından daha büyük açıklıklarda uygun değildir.
- Genel olarak farklı rötrelerden oluşan tesirler ihmal edilebilecek mertebelerde olmasına rağmen, farklı sünme etkilerinin hesaba katılması gereklidir. Öngerme donatısının artırılması prefabrike kiriş ile döşemede oluşan kesit tesirleri arasındaki farkı azalttığından, farklı sünmeden oluşan kesit tesirleri de azalmaktadır. Ancak mertebe olarak fark çok küçüktür.
- Öngerilme kayıpları O₁'de yaklaşık 50cm² öngerme donatısı sınırına kadar doğrusal olarak artmakta, buradan sonra öngerme donatısının artmasıyla öngerme kayıplarının artım miktarı azalmaktadır. O₂ kirişinde bu sınır yaklaşık 60cm² civarındadır. O₃ kirişinde ise öngerme kayıplarının öngerme donatısı miktarı ile doğru orantılı olarak arttığı kabul edilebilmektedir.
- Moment taşıma kapasiteleri ise O₁ kirişinde 67cm², O₂'de 78cm² ve O₃'de 100cm² den sonra azalmaya başlamaktadır.
- Kirişlerde en kritik durum, aktarma anında mesnete çok yakın kesitte oluşmaktadır. Öngerme donatılarının düz olarak yerleştirilmesinden dolayı eksantrisite kiriş boyunca sabit kalmakta, bu da mesnet bölgesinde dış yüklerden meydana gelen momentin küçük olmasına rağmen öngerme kuvvetinden oluşan ters momentin büyük olmasına neden olmaktadır. Bunun sonucu mesnet bölgesinde, kirişlerin üst liflerinde oluşan çekme gerilmeleri emniyet gerilmelerini aşmaktadır. Bu sakıncanın giderilmesi için, mesnet bölgesindeki öngerme tendonlarının bir kısmını boru içine almak veya yağlamak, öngerme tendonlarını açılı olarak germek veya mesnet kesitlerini büyütme gibi tedbirler önerilebilmektedir.
- O₃ kirişinin performansı düşüktür. Bunun sebebi, flanş genişliğinin çok küçük kalması ve dolayısıyla moment taşıma kapasitesinin olumsuz yönde etkilenmesidir. Köprü kesitinde iki adet kullanılması halinde ise flanşlar 2.00m boyunda ve 10cm yüksekliğinde konsol gibi çalışacağından uygun olmamaktadır. Netice olarak 10.50m genişliğindeki köprülerde O₃ kirişlerinin kullanılması uygun olmamaktadır.
- Kirişlerin, hiçbir kesitinde çekme gerilmesi çıkmayacak şekilde dizayn edilmesi durumu ile müsaade edilen çekme gerilmesini aşmayacak şekilde dizayn karşılaştırıldığında, ortalama olarak O₁ kirişine 10cm², O₂'ye 12cm² ve O₃ kirişine 17cm² daha fazla öngerme donatısı konulması gerekmektedir. Bunun sonucunda kirişlerin mesnet bölgeleri daha fazla zorlanmakta ve belirli açıklıklardan sonra sünekliğin sağlanması için gerekli basınç donatısı çok fazla artmaktadır. Öngerme kayıpları ise ortalama %15 civarında artmaktadır.
- Çakışan açıklıklarda hangi kirişin daha uygun olduğunun belirlenmesi için maliyet analizi yapmak gerekmektedir.

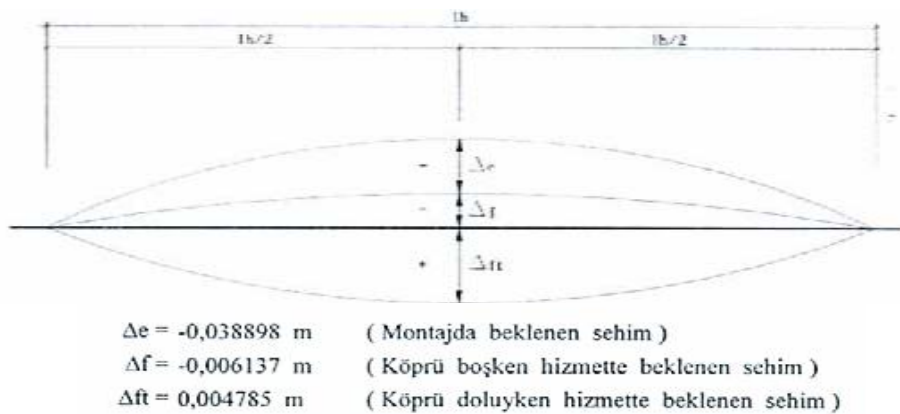
3. I KESİTLERİN İNCELENMESİ

İncelenen kompozit köprü iki eşit açıklıklı olup yerleşim planı ve enkesiti Şekil 7'de gösterilmiştir. I kesitli öngerilmeli prefabrike kirişlerin toplam uzunluğu 20.60m, hesap açıklığı 20.00m, köprü genişliği 12.65m, sol ve sağ tretuvar genişliği 1.50m, kiriş aralığı 0.78m, kirişler üzerindeki yerinde dökme döşeme kalınlığı 0.25m dir.

Ayrıca; öngerilmeden, kiriş ağırlığı, döşeme ve ilave ağırlıklardan, hareketli yükler ile yaya yükünden oluşan mesnet dönmesi ve sehimler belirlenmiş, montajda ve serviste beklenen dönme ve sehimler dikkate alınmış, genleşme derzi ve mesnet deplasmanları ile elastomer ve yerinde dökme döşeme hesapları da yapılmıştır. Prefabrikte kirişlerin donatı düzenleri Şekil 9’da ve sonuç deplasman diyagramı Şekil 10’da verilmiştir.

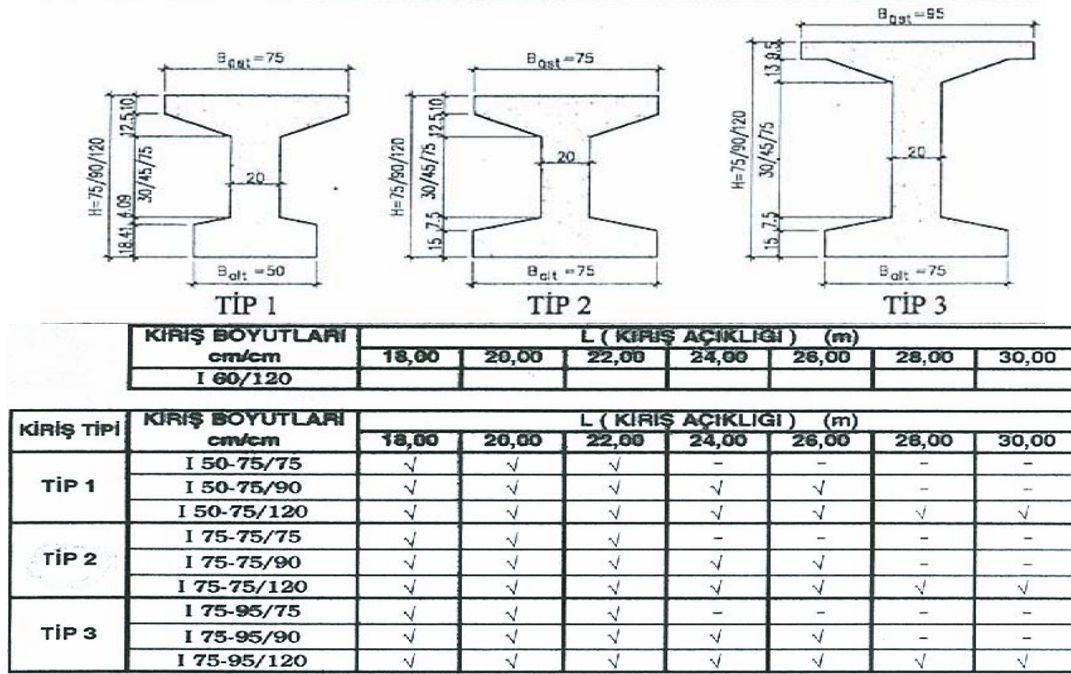


Şekil 9. Prefabrike kirişin donatı detayları



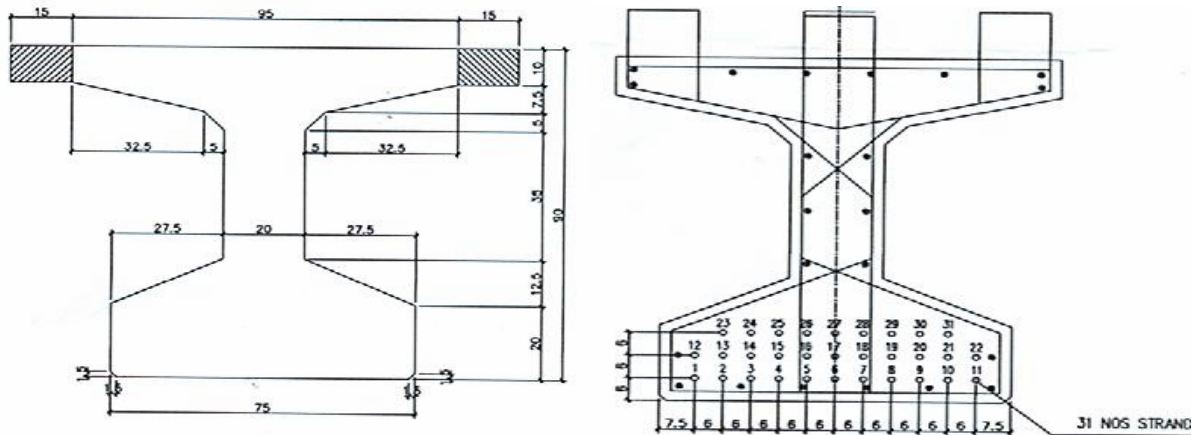
Şekil 10. Prefabrike kirişte beklenen sehimler

Yukarıda belirtilen hesaplamalar benzer durumlar için tekrarlanarak I kesitli kirişlerin de etkin kullanım açıklıklarının belirlenmesine çalışılmıştır. Bu amaçla, yerinde dökme beton yükü 480 kg/m^2 , asfalt yükü 240 kg/m^2 , ağır araç yükü H30-S24, köprü genişliği 12.80m, şerit sayısı 3 alınarak yapılan çalışmalarda üç tip I kesit seçilmiş (Şekil 11) ve bu kesitlerin ekonomik olarak kullanılabilecekleri açıklıklar belirlenmiş ve sonuçları Şekil 10'da verilmiştir [11]. Burada I_1 (Tip 1), I_2 (Tip 2) ve I_3 (Tip 3) olarak gösterilmiştir.

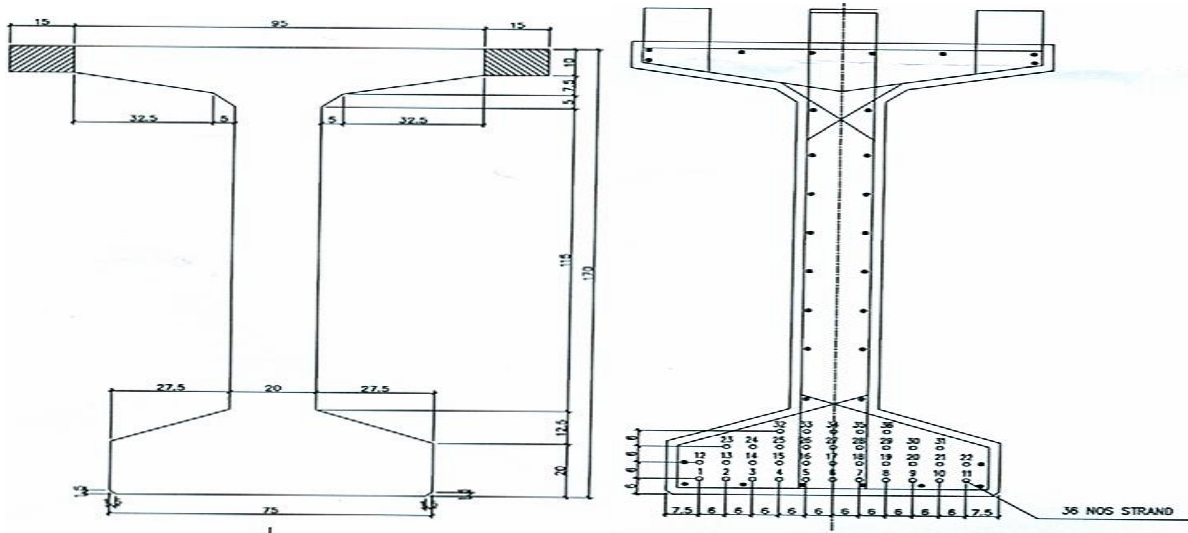


Şekil 11. Öngerilmeli prefabrike I kiriş tipleri ve etkin kullanım açıklıkları

Başka bir çalışma kapsamında dört tip prefabrike öngerilmeli I kesit tipi oluşturulmuş ve bunların etkin kullanım açıklıkları belirlenmiştir. Tüm tip kesitlerin alt ve üst başlık boyutları ile gövde kalınlıkları aynı olup gövde ve toplam kesit yükseklikleri farklıdır. Toplam kiriş yüksekliklerine göre; I_1 (90cm) tipi kiriş 18-23m açıklık aralığında, I_2 (120cm) tipi kiriş 24-29m, I_3 (140cm) tipi kiriş 30-33m ve I_4 (170cm) tipi kirişin ise 34-35m açıklıkları için uygun şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Şekil 12, 13).



Şekil 12. Öngerilmeli prefabrike I_1 (90cm) tipi kiriş ve etkin kullanım açıklıkları (18-23m)



Şekil 13. Öngerilmeli prefabrike I₄(170cm) tipi kiriş ve etkin kullanım açıklıkları (34-35m)

4. SONUÇLAR

Özellikle kompozit köprülerde yaygın kullanım alanı bulunan öngerilmeli omega ve I kesitli prefabrike kirişlerin etkin kullanım açıklıklarının araştırıldığı bu çalışmada üçer adet tipik kesit incelenmiştir. Omega kesitli O₁ kirişi 14m-28m, O₂ kirişi 20m-34m ve O₃ kirişi 28m-38m arasında ikişer metrelik açıklık artımlarıyla ele alınmıştır. Benzer incelemeler I₁:0.75m, I₂:0.90m, I₃:1.20m kirişleri ve I₁:0.90m, I₂:1.20m, I₃:1.40m, I₄:1.70m kirişleri için de yapılmıştır. Kirişlerin gerilme durumları ve taşıma kapasiteleri incelemelerinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde verilebilmektedir.

- Genel olarak, farklı rötreden oluşan tesirler ihmal edilebilecek mertebede olmakla birlikte farklı sünme etkilerinin hesaba katılması gerekmektedir.
- Kirişlerin öngerme donatısı miktarına bağlı olarak toplam gerilme kaybı miktarının ve moment taşıma kapasitesinin değişimleri kesit tiplerine göre verilmiştir. Öngerme kayıpları O₁'de yaklaşık 50cm² ve O₂'de 60cm² lik öngerme donatısı alanına kadar doğrusal olarak artmakta ve sonra artım miktarı azalmakta iken O₃'de genelde doğrusal olarak bir artım söz konusudur. Moment taşıma kapasiteleri ise O₁ kirişinde 67cm², O₂'de 78cm² ve O₃'de 100cm² lik donatı alanından sonra azalmaya başlamaktadır.
- Kesite düz olarak yerleştirilen öngerme donatısının sabit eksantrisitesi nedeniyle kirişlerde en kritik durum, aktarma anında mesnete yakın kesitte oluşmaktadır. Mesnet bölgesindeki öngerme tendonlarının bir kısmını boru içine almak veya yağlamak, öngerme tendonlarını açılı olarak germek veya mesnet kesitlerini büyütmek gibi tedbirler ile bu sakıncalı durum ortadan kaldırılabilir.
- Kirişlerin hiçbir kesitinde çekme çıkmaması istendiğinde kesitlere ilave öngerme donatısı konulması gerekmekte ve bunun sonucunda mesnet bölgeleri daha fazla zorlanmakta, ayrıca öngerme kayıpları %15 kadar artmaktadır.
- Çalışmanın sonunda, omega kesitler için O₁ kirişinin 18m-24m, O₂ kirişinin 24m-32m ve O₃ kirişinin 28m-34m arasında efektif olarak kullanılabileceği, çakışan açıklıklarda hangi kirişin daha uygun olduğunun belirlenmesi için maliyet analizi yapmak gerektiği görülmüştür.

- Öngerilmeli prefabrike I kesitli kirişler için kesit yüksekliklerine göre, $I_1(90\text{cm})$ tipi kirişin 18-23m arasında, $I_2(120\text{cm})$ tipi kirişin 24-29m, $I_3(140\text{cm})$ tipi kirişin 30-33m ve $I_4(170\text{cm})$ tipi kirişin ise 34-35m açıklıkları için uygun şekilde kullanılabileceği belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] K. Özden, İ. Eren, A. L. Trupia, T. Öztürk, 1998, “Öngerilmeli Beton”, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, Sayı 1603, İstanbul.
- [2] W. Alan, 1998, “Seismic Design of Buildings and Bridges”, Austin, Texas, USA.
- [3] H. N. Arthur, 1987, “Design of Prestressed Concrete”, John Wiley & Sons. Inc., New York, USA.
- [4] E. Onbaşı, 1996, “Öngerilmeli Omega Kesitli Köprü Kirişlerinin Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] TS 3233, 1979, “Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları”, TSE, Ankara.
- [6] AASHTO, 1989, “Standart Specifications for Highway Bridges”, Washington, USA.
- [7] E. L. Wilson and A. Habibullah, 2000, “SAP2000 A Series of Computer Programs for the Finite Element Analysis of Structures”, Computers and Structures, Inc., USA.
- [8] DIN 4227, 1988, “Spannbeton”, Deutschland.
- [9] ACI 318 RM-83, 1983, “Commentary on Building Code Requirements for Reinforced Concrete”, American Concrete Insitute, Detroit, Mich., USA.
- [10] F. Leonhardt, 1987, “Vorlesungen Über Massivbau”, Teil 4, Deutschland.
- [11] Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş., 2007, İstanbul.
- [12] A. Williams, 1998, “Seismic Design of Building and Bridges”, Engineering Press, Austin, Texas, USA.
- [13] D. J. Dowrick, 1987, “Earthquake Resistant Design”, John Wiley & Sons, New York.
- [14] H. K. Ryu, Y. J. Kim, S. P. Chang, 2007, “Crack Control of a Continuous Composite Two-Girder Bridge with Prefabricated Slabs under Static and Fatigue Loads”, Elsevier, Engineering Structures, 29 (2007) 851-864.