

TÜRKİYE'DEKİ YERİNDE DÖKME ARDGERMELİ SÜREKLİ KÖPRÜLER: UYGULAMALAR ve AVANTAJLARI

¹Özgür ÖZKUL, ²J.Erdem ERDOĞAN, ³Cihat KALYONCUOĞLU

Acıbadem Mh. Sokullu Sk. No:12 Kadıköy/İstanbul, Tel: (216) 349 87 75

¹E-mail: ozgur.ozkul@freysas.com.tr

²E-mail: erdem.erdogan@freysas.com.tr

³Battalgazi Mh. Kubbe Cad. Sultan Sanayi Sitesi D2 Blok No:18 Sultanbeyli/İstanbul, Tel: (216) 567 10 09, E-mail: cihatkalyoncuoglu@gmail.com

Özet

Ülkemizdeki köprülerin büyük çoğunluğu tek açıklıklı prekast kiriş kullanılarak inşa edilmektedir. Yapılan pek çok uygulama sonunda, bu yöntemin hem estetik hem de ekonomik açıdan verimli olmadığı görülmüştür. Köprü açıklıkları, prekast kirişleri taşıyan araç ve vinç kapasiteleri ile kısıtlanabilmekte ve 30-40 metre gibi değerleri aşmamakta, kesit yüksekliği ise 1.4-2.0 m arasında değişmektedir. Bu yöntem ile basit mesnetli izostatik sistemler yapılabildiğinden, maksimum moment değeri açıklık ortasında oluşmakta ve ekonomik açıdan verimsiz bir sistem ortaya çıkmaktadır. Ayrıca her ayakta oldukça büyük kütleli başlık kirişi ve çift sıra mesnet kullanılması, ortaya hem ekonomik hem de estetik olmayan bir sistem çıkarmaktadır.

Buna karşın, ardgermeli sürekli kiriş sistemi kullanılarak tasarlanan hiperstatik tabliyelerde, oluşan moment, mesnet ve açıklık tarafından paylaşılır. Bu yöntemle ortalama 50 m açıklıklar dolu ya da boşluklu tabliyelerle rahatlıkla geçilebilmektedir. Kesit ise değişken boyutlu, mesnet kısmında daha derin, açıklık ortasında ise 1.0-1.4m yükseklik ile oluşturulabilmektedir. Böylece ayak sayısı azaltılarak, hem beton miktarından tasarruf edilmekte hem de estetik köprüler elde edilmektedir. Ayrıca iş süresi açısından da oldukça hızlı olduğu son olarak Ankara'daki Melikşah Köprüsü'nün 60 günde tamamlanması ile tekrar görülmüştür.

Bu yöntemle tasarlanmış ve şu sıralar inşa aşamasında olan Kayseri Belediye Köprüleri ve diğer önemli örnekler örneklenecektir.

Giriş

Prekast kirişler ile inşa edilmiş tek açıklıklı izostatik köprüler, ülkemizde yaygın olarak kullanılan köprü inşa yöntemidir. Bu yöntemle inşa edilen köprülerde, açıklık uzunlukları prekast kirişleri taşıyan araç ve vinç kapasitelerine bağlı olarak sınırlandırılmakta ve maksimum açıklık uzunluğu olarak 30m-40m uygundur (ODTÜ, 2014).

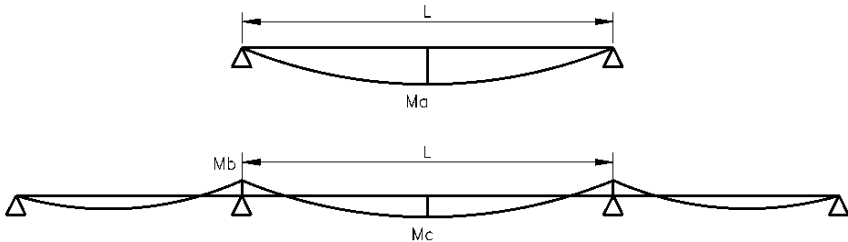
Bunun yanında, bu yöntem ile yapılan köprülerin tasarımında kullanılan kiriş yükseklikleri 1.4m–2.0m arasında değişmektedir. Köprü sisteminin tasarımında basit kirişli izostatik sistem kullanılması, açıklık ortalarında daha büyük eğilme momenti değerlerinin elde edilmesine ve mesnet noktalarında moment oluşmamasına sebep olmaktadır. Bu durum, prekast kirişlerin boyutlandırılması açısından çok etkili bir tasarım olmamaktadır. Bunun yanında, prekast kiriş yönteminde ayaklarda her bir kiriş için bir mesnet yerleştirilmekte ve bu da orta ayaklarda iki sıra mesnet kullanılması anlamına gelmektedir. Ayaklarda kullanılan büyük kütleli başlık kirişleri, mesnet ve derz sayısı bakımından incelendiğinde, bu sistem ne ekonomik ne de estetik bir sonuç sunmaktadır.

Sürekli kiriş yöntemi kullanılarak açıklık uzunluğu 50m olabilen ve kesit yükseklikleri açıklıkta 1.0m–1.4m arasında, mesnetlerde ise açıklık kesit yüksekliğinin yaklaşık iki katı mertebesinde olan yerinde dökme ardgermeli köprüler inşa edilmektedir (Karaesmen, 2002). Sürekli kiriş için hesaplanan statik moment ($w l^2/8$) açıklık ve mesnet kesitlerinde paylaşılır. Sürekli kiriş oluşturularak daha uzun mesafeler geçilmekte ve böylece ayak sayısı, derz sayısı ve ayaklarda kullanılacak mesnet sayısı azaltılmaktadır.

Bu çalışmada, öngermeli prekast köprü ile yerinde dökme ardgermeli köprü arasındaki farklar ele alınacaktır. Son zamanlarda yapılmış ve yapılmakta olan köprü örnekleri ile iki yöntemin karşılaştırılması yapılacaktır.

İki Yöntemin Karşılaştırılması

Basit kiriş ve sürekli kiriş sistemleri incelendiğinde, en önemli konu bu sistemlerle elde edilen maksimum eğilme momenti değerleridir. Basit kirişli ve sürekli kirişli sistemlerin moment dağılımları Şekil 1.'de verilmektedir. Basit kirişli sistemde maksimum moment değeri açıklık ortasında oluşmakta ve $(wL^2/8)$ formülü ile hesaplanmaktadır. Bu değer, prekast kiriş kesiti boyutlandırılmasında kullanılır. Sürekli kirişli sistemlerde ise, açıklık momenti ve mesnet momentlerinin mutlak değerce toplamı statik moment değerine eşit olmaktadır. Tabliye yüksekliğinin hesabında kullanılan moment değerleri, basit kirişli sisteme göre daha küçüktür. Bu durum da, aynı açıklık uzunluğuna sahip köprülerde tabliye yüksekliği daha az olan, ya da aynı tabliye yüksekliğinde daha uzun açıklıklı köprü tasarlanmasını sağlayabilmektedir.

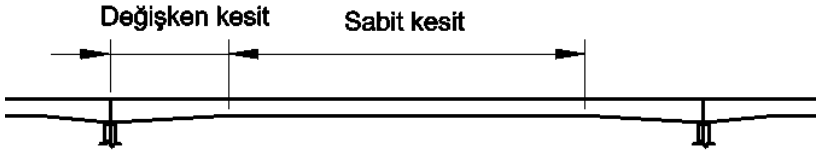


Şekil 1. Basit kirişli ve sürekli kirişli sistemlerin moment diyagramı.

Ardgermeli köprülerde, ardgerme tendonları kesit içerisinde hem düz hem de yükselip alçalan bir yörünge izleyebilmektedir. Prekast köprü kirişlerinde ise, genelde düz halatlar kullanılır. Farklı yörünge tiplerinin kullanılması durumunda, prekast kirişler yörünge takibi için, ilave köprü elemanı olan, büyük kütleli deviatörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Yerinde dökme köprülerde ise, tendonlar beton dökümü sonrasında gerildiğinden, yörüngeyi değiştirmenin uygulaması daha kolay olmaktadır.

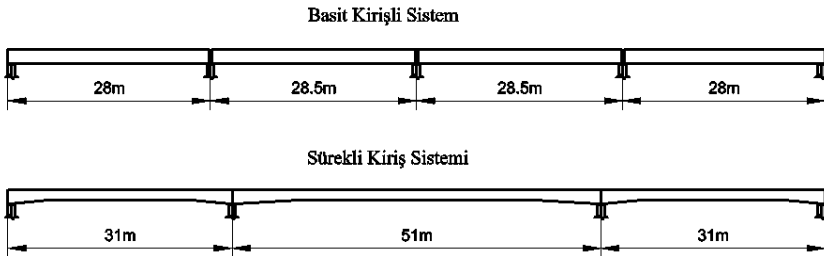
Sürekli tabliyelili köprülerde, genellikle mesnetlerde daha büyük moment ve kesme kuvveti elde edilmektedir. Bu yüzden, mesnette açıklık kesitlerine kıyasla daha derin kesitlerin kullanılması gerekmektedir. Böylece, açıklık boyunca gerekli yerlerde kesit boyutları değiştirilerek hem efektif hem de ekonomik bir tasarım yapılabilmektedir.

Şekil 2.'de tabliye kesitinin açıklık boyunca değişimi görülmektedir. Yerinde dökme köprülerde, genellikle açıklığın %60'ı sabit kesitli olarak inşa edilmektedir. Köprü ağırlığını azaltmak için bu kesitlerde boşluklar da tanımlanabilmektedir. Açıklığın her iki tarafı için, kesit yüksekliği açıklık uzunluğunun %20'lik kısmında gerekli kapasiteye göre artırılmakta ve bu sayede malzeme ihtiyaç duyulan bölgelere aktarılarak, ekonomi sağlanmaktadır.



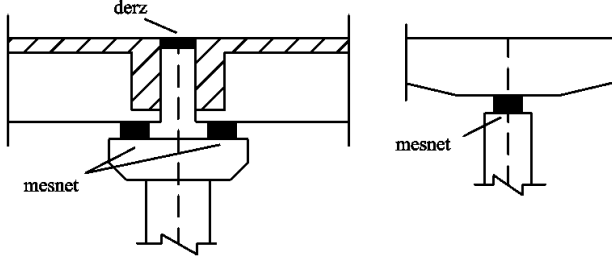
Şekil 2. Değişken ve sabit kesit.

Prekast kiriş ve sürekli tabliye sistemlerinin, toplam uzunluğu aynı olan iki köprüde kullanılması Şekil 3.'de gösterilmektedir. Sürekli tabliye sisteminde orta açıklık uzunluğu artırılarak ayak sayısı azaltılmakta ve süreklilik koşuluna bağlı olarak mesnet ile açıklık kesitleri değişken kesitli yapılabilmektedir.



Şekil 3. Prekast kirişli ve sürekli tabliye sistemlerde açıklıkların karşılaştırılması.

Şekil 4.'de verildiği gibi prekast kirişli köprülerde, her bir ayakta iki sıra mesnet ve tek sıra derz kullanılması gerekmektedir. İki sıra mesnet kullanılması, başlık kirişi boyutlarının artmasına ve büyük kütleli başlık kirişleri kullanılmasına neden olmaktadır. Sürekli tabliye sisteminde ise, tek sıra mesnet kullanılarak başlık kirişi boyutları azaltılabilmektedir. Bunun yanında, derz sayısının azalması, yapı elemanlarının bakım ve onarım işleri açısından da kazanç sağlamaktadır.



Şekil 4. Prekast kirişli ve ardgermeli sürekli tabliye köprü ayak bağlantı detayı.

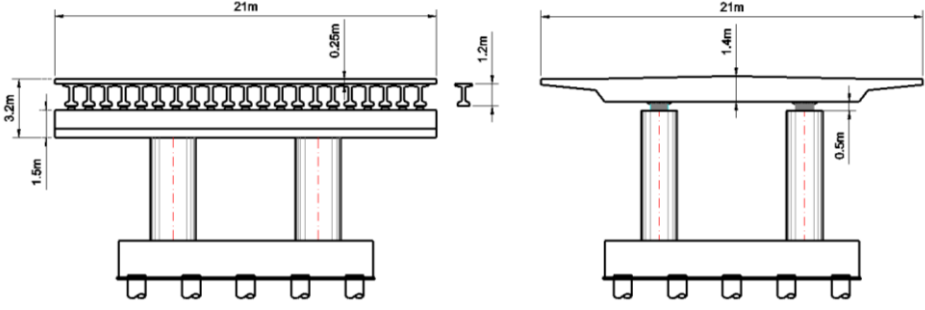
Düz eksenli köprülerin inşasında prekast kirişlerin kullanılması daha kolay olurken, eğri eksenli (yatay karp olan) köprülerde ise uygulamanın yapılması biraz daha zor olmaktadır. Köprü eğriliği, düz prekast kirişlerden oluşan kırık dilimler halinde yapılabilir. Dilim sayısı ile orantılı olarak ayak sayısı da artmış olur. Yerinde dökme köprülerde, yatay karp uygulaması hem daha kolay hem de ayak sayısını azaltarak malzeme bakımından daha ekonomik olmaktadır. Yerinde dökme köprü yöntemi ile inşa edilen İstanbul-Atatürk Havalimanı köprülerinde T-kolu köprüsü Şekil 5.'de gösterilmektedir.



Şekil 5. Değişken kesitli yerinde dökme ardgermeli sürekli tabliye köprü, Atatürk Havalimanı.

Sayısal Örnek

İki yöntemi karşılaştırmak için, Kayseri’de yapılacak olan Hastane Köprüsü örnek proje olarak seçilmiştir. Bu çalışma, köprü öntasarımı sürecinde yapılmıştır. Köprü toplam uzunluğu 738m ve tabliye genişliği 21m’dir (Şekil 6).



Şekil 6. Hastane Köprüsü: Öngermeli Prekast Sistem ve Ardgermeli Sistem Çözümü.

Öngermeli Prekast Köprü Çözümü

Öngermeli prekast kiriş çözümünde açıklık 27m uzunluğundadır. Tabliye betonu 25cm, başlık kirişi yüksekliği 150cm ve kullanılan prekast kiriş yüksekliği 120cm’dir (Şekil 6). Prekast kirişler, tabliye betonu ve başlık kirişi düşünüldüğünde, 27m açıklık için hesaplanan beton hacmi 503.6m³ olup Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Prekast çözüm–27m açıklık için tabliye beton hacmi hesabı.

TABLIYE	Adet	Kesit alanı	Uzunluk	Hacim
Döşeme	1	5.25 m ²	27.00 m	141.8 m ³
Prekast Kiriş	21	0.44 m ²	25.75 m	236.9 m ³
Başlık Kirişi	1	5.95 m ²	21.00 m	125.0 m ³
Öngermeli Prekast Kiriş Köprü - Toplam beton hacmi				503.6 m³

Köprü ortalama açıklığı 27m ve her mesnet noktasında 2 adet ayak olduğu kabul edildiğinde, tüm köprü sistemi için gerekli ayak sayısı 26aks x 2=52’dir (738m/27m-1=26aks). Ayak kesiti için kabul edilen kesit alanı 2.7m² ve ayaklar için hesaplanan toplam beton hacmi 52 x 6.8m x 2.7m² = 955m³ olarak bulunmaktadır.

$$\text{Tabliye} = 503.6 \times 738 / 27 = 13,765 \text{m}^3$$

$$\text{Mesnet sayısı} = (2 \times 26 \text{aks} + 2 \text{ kenar ayak}) \times 21 \text{ kiriş} = 1,134 \text{ adet mesnet}$$

$$\text{Ders sayısı} = 26 \text{aks} + 2 \text{ kenar ayak} = 28 \text{ adet genişleme derzi}$$

Ardgermeli Sürekli Tabliye Sistem Çözümü

Bu sistem çözümünde açıklık uzunluğu 36m olarak arttırılmıştır. Mesnet ve açıklık için farklı kesitler ile çözülmüştür. 36m açıklık için, açıklık ortasında 70cm ve mesnet noktasında ise 140cm kalınlıkta tabliye kesiti kullanılmıştır. Kesit detayı Şekil 7'de verilmektedir. Tabliye, sürekli kiriş olarak tasarlanmış ve başlık kirişlerine ihtiyaç duyulmamıştır.

Değişken kesitler göz önüne alındığında, tabliye için hesaplanan beton hacmi 585.3m^3 olmaktadır. Hesap detayı Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Ardgermeli çözüm-36m açıklık için tabliye beton hacmi hesabı.

TABLİYE	Adet	Kesit alanı	Uzunluk	Hacim
Orta Kesit	1	14.60 m ²	21.60 m	315.4 m ³
Değişken Kesit	1	18.22 m ²	12.40 m	225.9 m ³
Mesnet	1	21.84 m ²	2.00 m	43.7 m ³
Ardgermeli Tabliye – Toplam beton hacmi				585.3m³

Azalan tabliye ağırlığı ile birlikte, her mesnette 2 adet ayak tasarlanmış ve toplamda 19aks x 2=38 adet ayak kullanılması öngörülmüştür ($738 \text{m} / 36 \text{m} - 1 = 19 \text{aks}$). Bu çözüm için tasarlanan ayak kesit alanı 2.01m^2 olarak hesaplanmakta ve ayakların toplam beton hacmi $38 \times 7.74 \text{m} \times 2.01 \text{m}^2 = 591 \text{m}^3$ olmaktadır.

$$\text{Tabliye} = 585.3 \times 738 / 36 = 11,998 \text{m}^3$$

$$\text{Mesnet sayısı} = (19 \text{aks} + 2 \text{ kenar ayak}) \times 2 = 42 \text{ adet mesnet}$$

$$\text{Ders sayısı} = 2 \text{ kenar ayakta} = 2 \text{ adet genişleme derzi}$$

Her iki sistem için; temel boyutları 21m x 10m x 1.5m ve 15 adet 1.2m çapında (1.13m^2), 20m yüksekliğinde kazık kabul edilmiştir.

$$\text{Temel}=21\text{m} \times 10\text{m} \times 1.5\text{m}=315\text{m}^3$$

$$\text{Kazık}=1.13\text{m}^2 \times 20\text{m} \times 15\text{adet}=339\text{m}^3$$

Malzeme miktarlarının karşılaştırılması Tablo 3'de verilmektedir.

Tablo 3. Öngermeli ve Ardgermeli sistemlerin karşılaştırılması.

	Öngermeli Prekast Sistem	Ardgermeli Sürekli Sistem	Fark	
			Miktar	%
Orta Ayak Aks Âdeti	26aks	19aks	-7	-27
Ayak Âdeti	52	38	-14	-27
Mesnet Âdeti	1,134	42	-1092	-96
Derz Âdeti	28	2	-26	-93

Tabliye Beton Hacmi (m³)	13,765	11,998	-1,767	-13
Ayak Beton Hacmi (m³)	955	591	-364	-38
Temel Beton Hacmi (m³)	8,190	5,985	-2,205	-27
Kazık Beton Hacmi (m³)	8,814	6,441	-2,373	-27
Toplam Beton Hacmi (m³)	31,724	25,015	-6,709	-21

Tablo 3'de görüldüğü gibi, iki sistem arasında büyük farklar olmaktadır. Toplam beton hacminde %21'lik bir azalma olmaktadır. Temel ve kazık hesapları daha detaylı yapıldığında, bu oran daha da artabilecektir. Ayrıca, ardgermeli çözüm ile mesnet ve derz sayısının azalması köprü bakım maliyetlerinde de kazanç sağlamaktadır. Yerinde dökme ardgermeli sürekli tabliye köprü, öngermeli prekast giriş alternatifi ile karşılaştırıldığında hem estetik hem ekonomik olmaktadır.

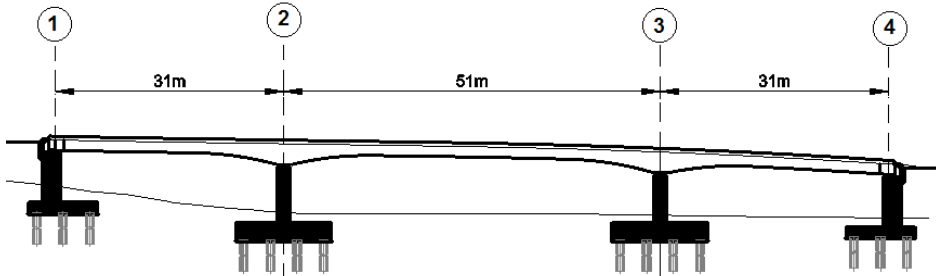
Türkiye'deki Sürekli Tabliye Yerinde Dökme Ardgermeli Köprü Örnekleri

Bu bölümde, yerinde dökme yöntemi kullanılarak Türkiye'de yapılmış ve yapılacak olan köprü örnekleri özetlenmiştir.

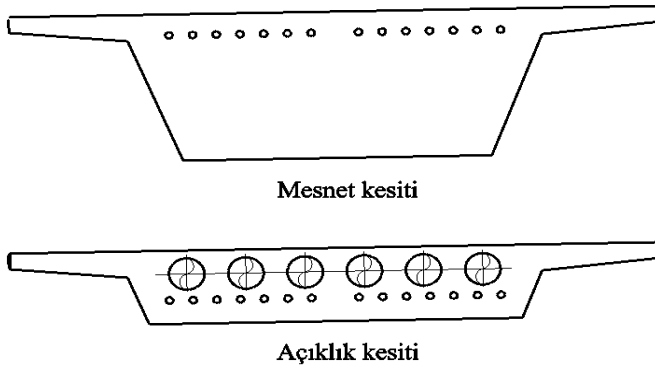
Melikşah (Fen Lisesi) Köprüsü – Ankara

Melikşah Köprüsü, Konya karayolu üzerinde bulunan ve Fen Lisesi kavşağında inşa edilen, iki şeritli ve tek taraflı yaya kaldırım yolu olan yan yana iki adet köprüden oluşmaktadır. Köprülerin yapımında işveren Ankara Büyükşehir Belediyesi'dir. KMG Proje tarafından tasarımı yapılan köprülerin yapım işlerinde ana yüklenici Enam İnşaat'tır. Ardgerme uygulaması, pot mesnetler ve derzlerin temini Freysaş-Freyssinet tarafından yapılmıştır. Köprüler, üç açıklıklı olmak üzere, kenar açıklıkları 31m, orta açıklık 51m ve köprü toplam uzunluğu 113m'dir (Şekil 7). Mesnette 2.8m ve açıklıkta 1.4m kalınlığında değişken kesitli tabliye tasarlanmıştır. 51m'lik orta açıklık kesitinde beton ağırlığını azaltmak için boşluklu kesit kullanılmıştır (Şekil 8). 12 adet 31C15 Freyssinet ankraj sistemi tasarlanmış, fakat kesite 14 adet (2 adet rezerv) ankraj yerleştirilmiştir. 12 adet tendonun germe işlemi, önce sol sonra sağ uçtan olmak üzere, iki uçtan da yapılmıştır (toplam germe uzunluğu=113m). 3 aksında sabit mesnet, diğer ayaklarda ise boyuna doğrultuda kayıcı pot mesnetler kullanılmıştır. Mesnet yerleşimi Şekil 9'da verilmektedir.

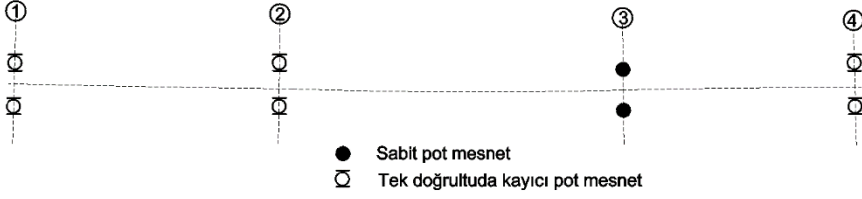
Yan yana iki köprü'nün yapımı 60 günde tamamlanmıştır ve inşa süresi açısından yerinde dökme ardgermeli köprü yönteminin hızlı bir yapım yöntemi olduğunun bir örneğidir. Şekil 10 ve 11'de yapım aşamasında ve tamamlanmış köprü fotoğrafları paylaşılmıştır.



Şekil 7. Ankara Melikşah Köprüsü boy kesiti.



Şekil 8. Ankara Melikşah Köprüsü açıklık ve mesnet kesitleri



Şekil 9. Mesnet yerleşimi.



Şekil 10. Ankara Melikşah Köprüsü yapım aşaması.



Şekil 11. Ankara Melikşah Köprüsü'nün tamamlanmış hali. [3]

Atatürk Havalimanı Köprüleri – İstanbul

Atatürk Havalimanı Köprüleri, Atatürk Havalimanı çevresinde bulunan ve ardgermeli olarak yapılan 7 adet köprüden oluşmaktadır (Şekil 12). Tek açıklıklı ve eğri eksenli en uzun köprü 46m uzunluğunda ve tabliye kalınlığı mesnette 2.0m, açıklıkta ise 1.2m'dir. 3 adet köprü eğri eksenli ve çok açıklıklıdır. Bu köprülerden en uzununu 168m, kenar açıklıkları 30m, orta açıklıkları 36m uzunluğundadır. Tabliye, mesnette 1.76m, açıklıkta ise 1.06m kalınlığındadır. Tüm köprüler 9 ay gibi bir sürede tamamlanmıştır. Köprülerin yapımında, işveren İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve yüklenici Özka İnşaat'tır. Ardgerme kabloları ve sismik izolatörlerin temini ile bu işlerin uygulaması Freysaş-Freyssinet tarafından yapılmıştır.



Şekil 12. Atatürk Havalimanı Köprüleri - İstanbul



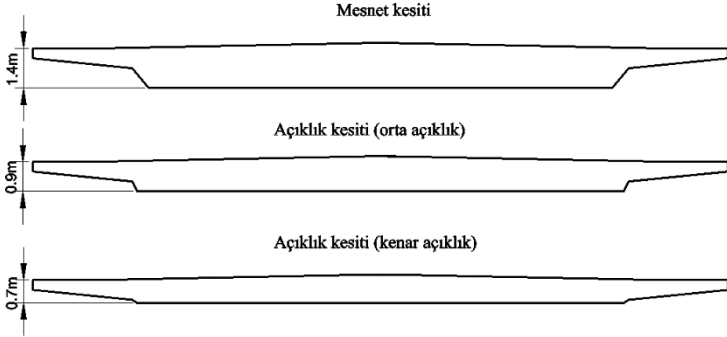
Şekil 13. Eğri eksenli ardgerme kılıflarının yerleşimi.



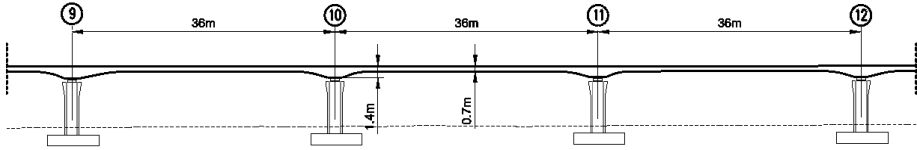
Şekil 14. Atatürk Havalimanı Köprüsü tamamlanmış hali.

Kayseri Büyükşehir Belediyesi Köprüleri - Kayseri

Kayseri Büyükşehir Belediyesi Köprüleri, ardgermeli olarak inşa edilecek olan üç adet uzun köprü ve dört adet yonca köprüden oluşmaktadır. Köprü işlerinde, işveren Kayseri Büyükşehir Belediyesi, ana yüklenici ise Barankaya İnşaat'tır. Ardgerme kablolarının temini, ardgerme işlerinin uygulaması ile pot mesnet ve kurşun çekirdekli mesnet temini Freysaş-Freyssinet tarafından sağlanmaktadır. Köprülerden en uzununu 738m olup, kenar açıklıklar 30m ve orta açıklıklar 36m uzunluğundadır. Köprü genişliği 21m, tabliye; mesnet kesitinde 1.40m, açıklık kesitinde ise kenar açıklıklarda 0.90m, orta açıklıklarda 0.70m kalınlığındadır (Şekil 15). Şekil 15'te gösterildiği gibi, tabliye değişken kesitli olarak tasarlanmıştır. Ortadaki 8 ayakta, her ayakta 2 adet olmak üzere kurşun çekirdekli mesnet; diğer ayaklarda ise tek doğrultuda kayıcı pot mesnetler kullanılmıştır. Kenar ayaklarda ise 2 adet boyuna kayıcı ve 1 adet iki doğrultuda kayıcı pot mesnet kullanılmıştır. 738m uzunluğundaki tabliyenin, sadece köprü başında ve sonunda genişleme derzi kullanılmıştır.

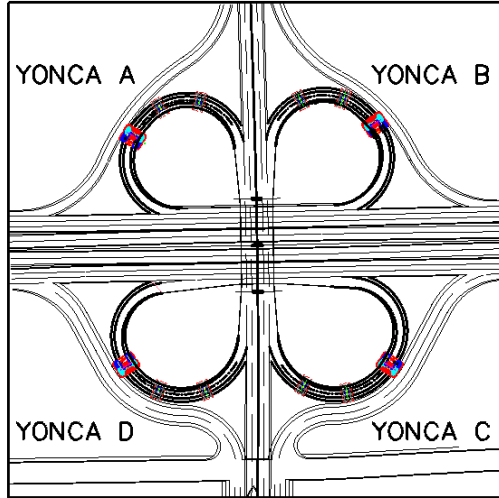


Şekil 15. Tabliye kesitleri.

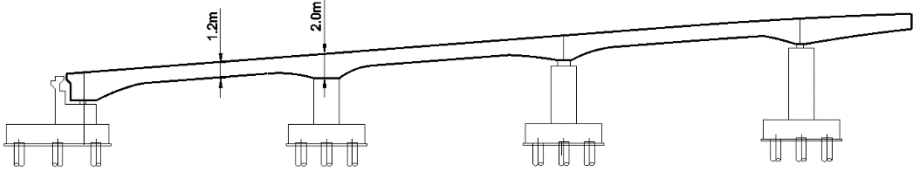


Şekil 16. Köprü boy kesiti.

Yoncalarda tabliye genişliği 9m ve tabliye kalınlığı; mesnette 2.0m açıklıkta 1.2m dir. Yonca köprülerinin uzunluğu 70.4m'dir. Yoncaların yerleşimi Şekil 17 ve boy kesiti Şekil 18'de verilmektedir. Yonca köprüler, planda yaklaşık 31m'lik bir yarıçap ile karp oluşturmaktadır.



Şekil 17. Yonca Köprülerin yerleşimi.



Şekil 18. Yonca köprü açılmış kurp boy kesiti.

Sonuçlar

Bu çalışmada, ardgermeli yerinde dökme sürekli tabliye köprülerin ve öngerilmeli prekast köprülerin karşılaştırılması yapılmış ve ardgermeli yerinde dökme yönteminin avantajları örnekleri ile sıralanmıştır. İnşa aşamasında olan bir köprü örneği ele alınarak iki yöntem arasında malzeme miktarlarının sayısal kıyaslaması yapılmıştır. Ardgermeli sürekli tabliye sisteminin kullanılması, malzeme miktarı ve yapı ağırlığı açısından %30 oranında azalma sağlamaktadır. Köprü ağırlığının azalması, temele aktarılan kuvvetleri azaltmakta ve buna bağlı olarak temel boyutları küçülebilmektedir. Buna ilaveten, daha az sayıda derz kullanılması, hem bakım giderleri hem de sürüş konforu açısından önemli olmaktadır. Sürekli tabliye oluşturularak, gerekli mesnet sayısı da azaltılmaktadır. Ardgermeli yerinde dökme tabliye sistemi, yatayda eğri eksenli köprü inşasında efektif bir şekilde uygulanabilmektedir. Yöntemin ekonomikliğinin yanında, daha narin kesitler kullanılarak estetik bir görünüm de ortaya çıkmaktadır.

Kaynaklar

1. ODTÜ (2014) "Türkiye Köprü Mühendisliğinde Tasarım ve Yapıma İlişkin Teknolojilerin Geliştirilmesi Teknik Kılavuzları", Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
2. Karaesmen, E., (2002) "Ardgermeli Beton ve Yeni Çözümler", Freysaş-Freyssinet Yapı Sistemleri San. A.Ş., İstanbul.
3. URL: <http://www.radyotrafikankara.com/haber/1643/>

Anahtar Sözcükler: Yerinde dökme köprü, ardgermeli köprü, sürekli tabliye köprünün avantajları.