

DEMİRYOLU VİYADÜKLERİNİ OLUŞTURAN ÖNGERİLMELİ KUTU KESİTLİ BETON KÖPRÜ KİRİŞLERİNDE BURULMA ETKİLERİ ve AÇIKLIK BOYUNCA DİYAFRAM GEREKSİNİMİ

Niyazi Özgür BEZGİN

İstanbul Üniversitesi, Avcılar Yerleşkesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
34320, Avcılar, İstanbul (212) 473 70 70 -17947 E-mail: ozgur.bezgin@istanbul.edu.tr

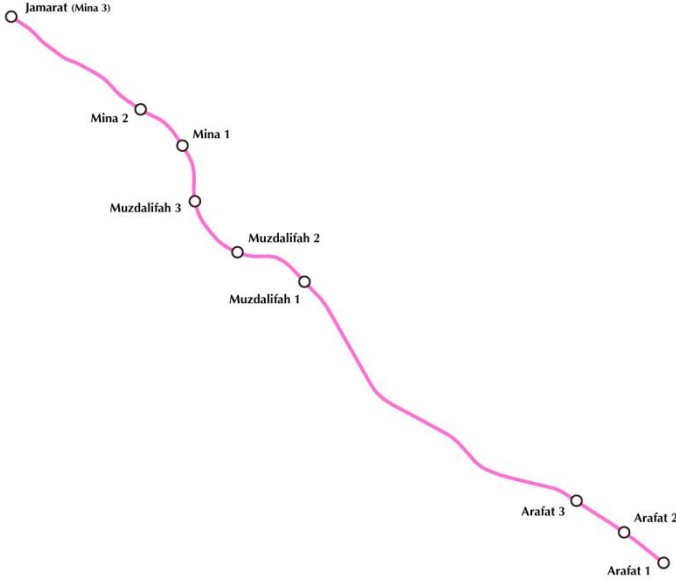
Özet

Yükseltilmiş raylı sistemler, karayolu toplu taşımacılığının ve karayolu ile hemzemin olarak çalışan raylı sistemlerin yetersiz kaldığı ancak yeraltı-treni (metro) gibi raylı sistemlerin maliyetli olduğu durumlarda kullanılabilirler. Benzer bir gereksinim, 2008 yılında Mekke kentinde doğmuştur ve 2010 senesinde Mina, Arafat ve Muzdalifa arasında 18 km uzunluğunda bir köprüyol (viyadük) üzerinden trafikten bağımsız olarak hareket eden bir raylı sistem hizmete sunulmuştur. Yerden yüksekte 2-hat üzerinde yer alan raylı sistem, ağırlıklı açıklığı 25-metre olan ön-germeli ve ard-çekmeli olarak inşa edilmiş kirişler üzerinde bugün hizmet vermektedir. Sunulacak çalışma içerisinde, 2008' de yapılan alternatif ön-proje çalışmasında önerilen öngermeli ve önçekmeli ve 30-metre açıklığa sahip kutu kiriş için sonlu elemanlar ile yapılan analitik değerlendirmeler sunulacaktır. Yapılacak sunumun ardından, proje için seçilen yöntemin bu çalışmada anlatılan yöntemle göre öne çıkan yönleri irdelenecektir.

Giriş

Mekke, 1,6 milyon nüfusa sahip ve dini önemi yüksek bir kenttir. Umre ve Hac dönemlerinde artan nüfusu ile kentin özellikle dini öneme sahip bölgelerini bağlayan güzergâhlarında karayolu ile sağlanan ulaştırma altyapısı yetersiz kalabilmektedir. Hac mevsiminde gerçekleştirilen ziyaretler ile yoğun talebin olduğu Mina – Arafat arasında mevcut karayolunun yetersizliği, yükseltilmiş çift-hatlı bir demiryolu ile giderilmeye çalışılmıştır.

Hac mevsiminde 2-3 milyon ziyaretin gerçekleştiği Mekke'de, Mekke Metrosu'nun bir parçası olan ve Mina ve Arafat arasında yer alan yaklaşık 18 km uzunluktaki hat, 9 istasyon ile saatte 72.000 kişi taşıyabilmek üzere inşa edilmiştir. Şekil 1'de planı sunulan hat, Kasım 2010 yılında hizmete açılmıştır.



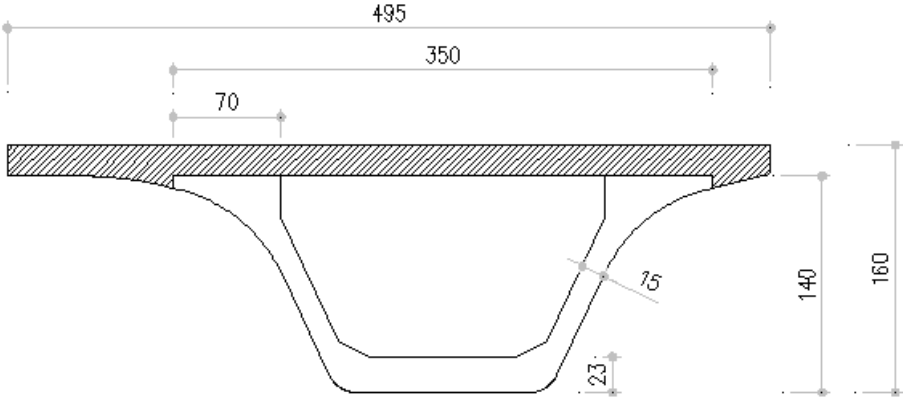
Şekil 1. Mina – Arafat yükseltilmiş demiryolu hat planı (1)

Hat üzerinde hizmet veren 12 vagonlu trenler, her vagonunda en fazla 250 kişi taşıyabilmektedir ve saatte gerçekleştirilen 24 sefer ile hat üzerinde saatte en fazla 72.000 kişi taşınabilmektedir.

Ard-çekme yöntemi ile inşasına karar verilen hat ağırlıklı olarak 25-metre açıklıklı viyadüklerden oluşmaktadır. Sunulacak çalışma içerisinde, hat için proje teklifi aşamasında önerilen önçekmeli kesit ile 30-metre uzunluğundaki açıklık için kurulan 3-boyutlu sonlu elemanlar modeli ile yapılan genel tetkikler ve burulma etkilerinin incelenmesine yönelik özel tetkikler sunulacaktır.

Proje için önerilen kesit

2008 yılında yapılan çalışmada Şekil 2'de sunulan kesit önerilmiştir. Önerilen kesit $0,95 \text{ m}^2$ 'lik önüretimli ve Şekil 2' de taralı halde gösterilen 1 m^2 lik yerinde dökme parçalara sahip bir kesitten oluşmaktadır.

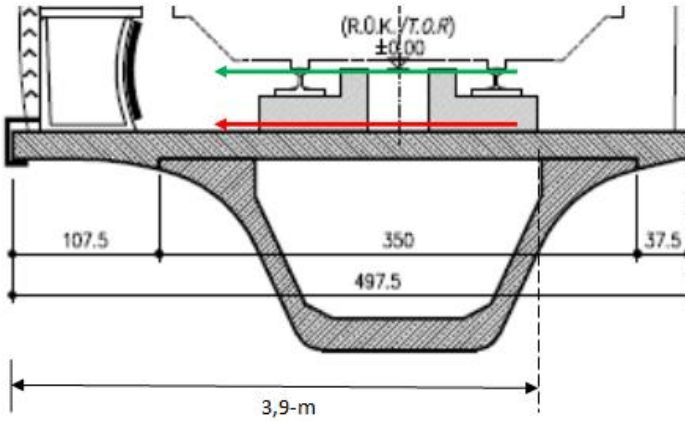


Şekil 2. Önerilen kesit.

Önerinin omega-kesit olarak anılan önüretimli bileşenin atalet momenti $0,24 \text{ m}^4$ olup, yerinde dökme tabliye ile atalet momenti $0,58 \text{ m}^4$ 'e çıkmaktadır. 30-metre açıklıktaki tek parça omega-kirişin ağırlığı 71-Ton olup, yerinde dökme beton ile birleşik kirişin zati ağırlığı 146-Ton olarak ortaya çıkmaktadır.

Kiriş üzerine etki eden yükler

Tasarlanan kesitin genel hatları itibariyle fiziksel görüntüsü Şekil 3'de sunulmuştur. Kesitin sol tarafından yer alan ve kablo kanalı ve platform olarak hizmet veren kısmın sağında yer alan hat, rayları taşıyan özel taşıyıcılar ile tabliyeye tespit edilmektedir.

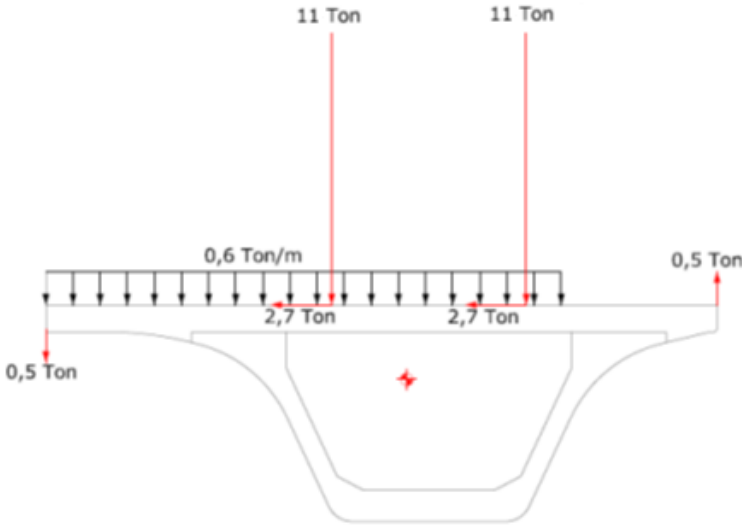


Şekil 3. Kesitin genel fiziksel bileşenleri.

İşveren tarafından 17-Ton olarak belirlenen statik dingil yükü, 80 km/saat tasarım hız değeri ile dinamik katsayı değeri 1,3 olarak değerlendirilerek tekerlek tekil yükü 11-Ton olarak hesaplanmıştır. Öngörülen plan üzerinde en küçük 500-m yarıçapa sahip olabilecek dönemeçlerde oluşabilecek merkezci kuvvetler 5,3-Ton/dingil olarak hesaplanmıştır. Zati yüke ek olarak omega-kiriş ve tabliyeden oluşan taşıyıcı ana kiriş üzerine tespit edilen ray kirişleri, kablo kanalları ve korkuluklar ile ortaya çıkan ek ölü yük 0,6Ton/m olarak hesaplanmıştır. Ray tabanından aktarılan merkezci kuvvetlerin, kiriş üst kotunda eşdeğer bir yatay kuvvet ve eşdeğer bir moment ile temsil edilmesi ile 46 cm yüksekliğindeki ray taşıyıcıları nedeniyle oluşan eşdeğer moment Eşitlik 1’de sunulduğu üzere 0,5-Ton olarak bulunmuştur.

$$F * 4,9m = 5.300 \text{ kg} * 0,46 \text{ m} \rightarrow F = 500 \text{ kg} = 0,5 \text{ Ton} \quad (1)$$

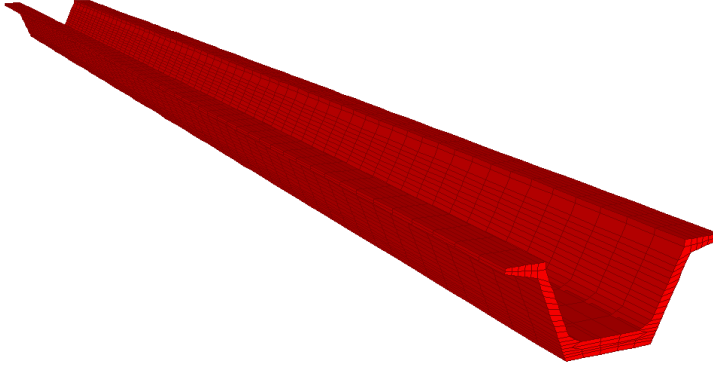
Kesit üzerine etki eden yatay ve düşey yükler Şekil 4’de gösterilmektedir. Bu yüklere ek olarak kat boyunca hızlanma ve frenleme nedeniyle oluşan boyuna kuvvetler ise düşey dingil yükünün %15’ i olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4. Kesit üzerine etki eden düşey ve yatay kuvvetler.

Öngerilmeli kirişin tasarım kuvvetleri altında sonlu elemanlar ile tetkiki

Mekke koşullarında %35 olarak öngörülen kayıplar ile Şekil 5’ de sunulan perspektifi sunulan kirişin üst başlığında çekme gerilmesi oluşturmayacak şekilde 1.430 Ton’luk öңçekme kuvveti uygulanmıştır. Doğrusal ve elastik davranış içerisinde SAP programının 3-boyutlu modelleme özelliği modellenebilen yapıya öңçekme halat kuvvetleri, model içerisinde uygun düğüm noktalarında halatın taşıdığı kuvvetin aktarma mesafesi boyunca Şekil 6’da gösterildiği gibi uygulanmıştır.



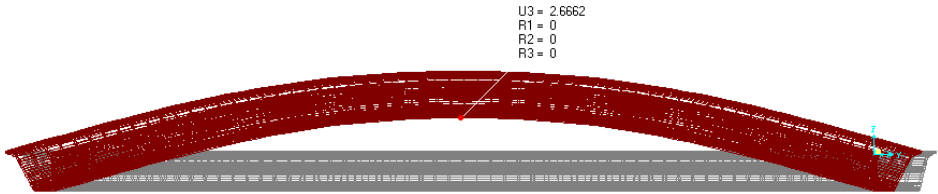
Şekil 5. Tasarlanan kirişin perspektif görünümü.

Kullanılan 74-adet D10 sınıfı halatın her birinin yaklaşık 1,6 cm olan çapı ve 18,600 kg/cm² olan kopma gerilme değeri ile halat boyunca aktarmanın kiriş başlarından itibaren yaklaşık 130 cm mesafe içerisinde gerçekleştiği (x) değerlendirilmiştir. Aktarılan toplam öneçme kuvveti, kuvvet bileşkesi uygun kuvvet merkezinde yer alacak şekilde kümelenerek uygulanmıştır.



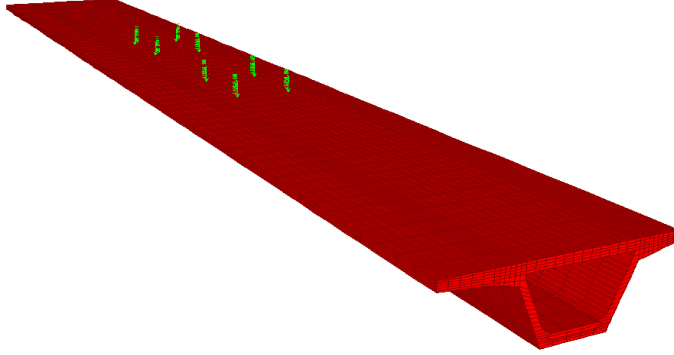
Şekil 6. Kiriş başlarından itibaren aktarma boyunca kademeli olarak düğümlere uygulanan kuvvetler.

Aktarılan ilk öneçme kuvveti ve zati ağırlığı altında kiriş, Şekil 7'de görüldüğü gibi yaklaşık 2,7 cm'lik bir ters sehim yapmaktadır.



Şekil 7. Aktarılan öneçme kuvveti ile ters sehim yapan önüretimli kiriş.

Önüretimli kesitin açıklığa yerleşiminin ardından Şekil 8'de görüldüğü gibi yerinde dökme betonu yerleştirilmektedir.



Şekil 8. Yerinde dökme tabliye ve açıklık ortasında etki eden dingil yükleri altında kiriş.

Önçekme kayıplarının da gerçekleşmesinin ardından ters sehim değeri Şekil 9'da görüldüğü gibi 0,9 cm'ye gerilemektedir.

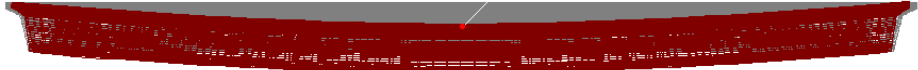
U3 = -9052
R1 = 0
R2 = 0
R3 = 0



Şekil 9. Yerinde dökme beton ağırlığı ve önçekme kuvvet kayıpları altında ters sehim.

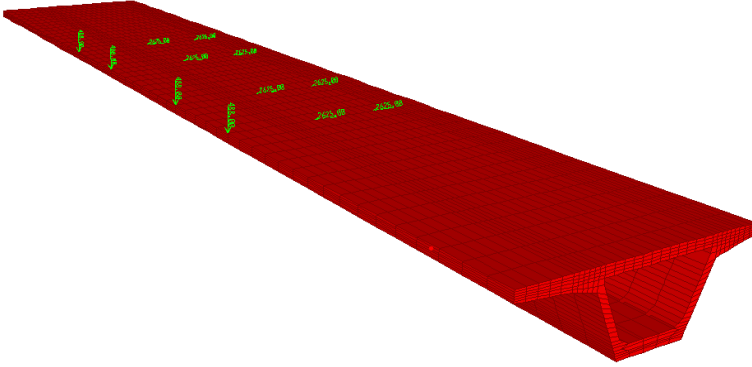
Şekil 8' de sunulan açıklık ortasına etki eden dingil yüklerinin de etkisi altında Şekil 10' da sunulan yaklaşık 0,75 cm'lik sehim ortaya çıkmaktadır. Canlı yük altında bu sehim değerinin açıklığına (L) oranı yaklaşık L/4000'dir.

U3 = -7288
R1 = 0
R2 = 0
R3 = 0



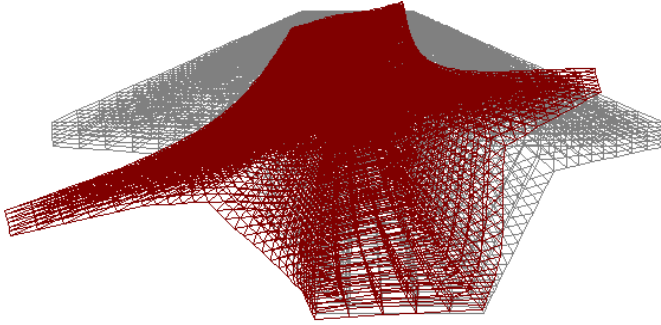
Şekil 10. Ek olarak canlı yükler altında gerçekleşen sehim.

Etki eden düşey yüklere ek olarak dönemeçlerde yatayda etki etmesi beklenen merkezci kuvvetlerin yüklendiği model perspektifi Şekil 11'de görülmektedir.

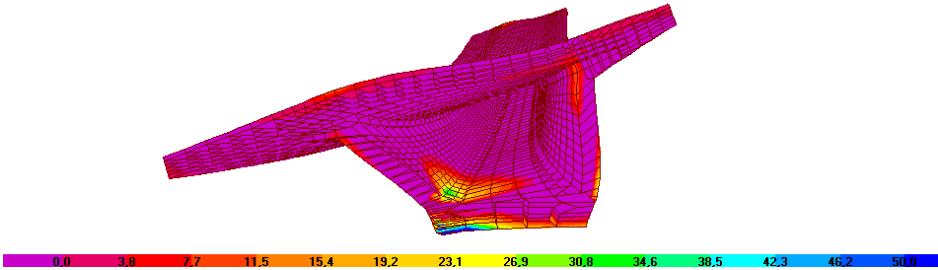


Şekil 11. Düşey yüklere ek olarak uygulanan yatay ve döndürücü kuvvetler.

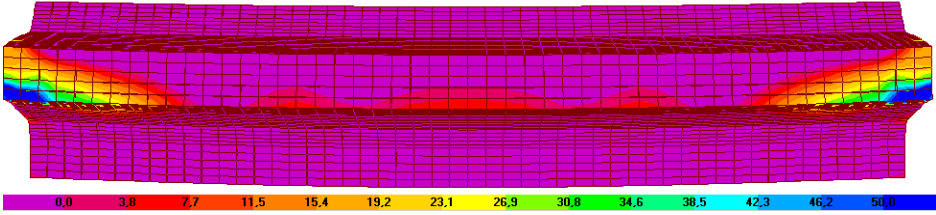
Uygulan burulma etkisi altında kesit, Şekil 12'de görüldüğü gibi burulmaktadır. Meydana gelen burulma ile Şekil 13'de ve Şekil 14'de sunulan ve değerleri 50 kg/cm^2 ye kadar çıkabilen çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Bu denli yüksek çekme gerilmelerinde kesitin çatlayacağı aşikârdır. Burulma etkisi ile kiriş orta açıklığında yatayda 0,5 cm şekil değiştiren kesitin sol kenarı 1,3 cm, sağ kenarı ise 0,5 cm düşey sehim yapmaktadır.



Şekil 12. Kiriş boyunca gerçekleşen burulma.

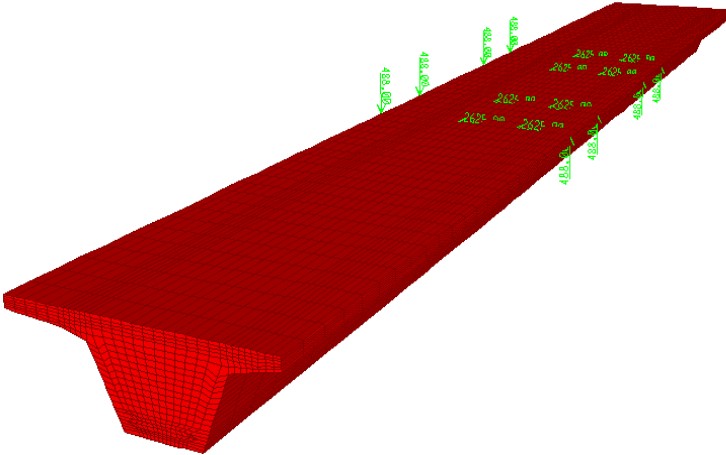


Şekil 13. Burulmadan kaynaklı çekme gerilmeleri.

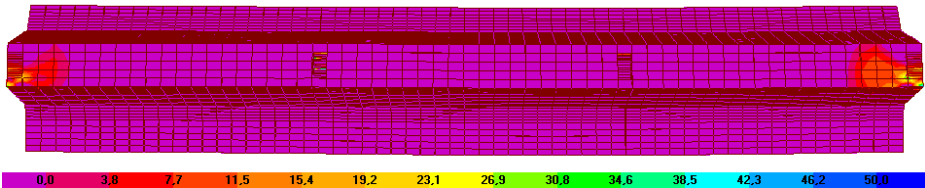


Şekil 14. Kiriş taban planında Burulmadan kaynaklı çekme gerilmeleri.

Açıklık boyunca burulmalardan kaynaklı şekil değişikliğini ve yüksek çekme gerilmelerini giderebilmek için kiriş boy eksenine dik diyaframlardan yararlanılmaktadır. Kiriş boyunca kullanılan 30 cm kalınlıkta 4 adet diyafram ile burulmadan kaynaklı şekil değişikliği açıklık ortasında, yatayda 0,05 cm'ye, düşeyde ise kesitin sol tarafında 0,13cm'ye ve sağ tarafında ise 0,05 cm'ye indirgenmiştir. Şekil 15'de diyaframların eklendiği kirişin perspektifi görülmektedir. Şekil 16' da sunulan kiriş taban planında ise, mesnetlerde ve mesnetlerden L/3 mesafelerde eklenen diyaframlar ile çekme gerilmelerinin oluşumunun engellendiği görülmektedir.



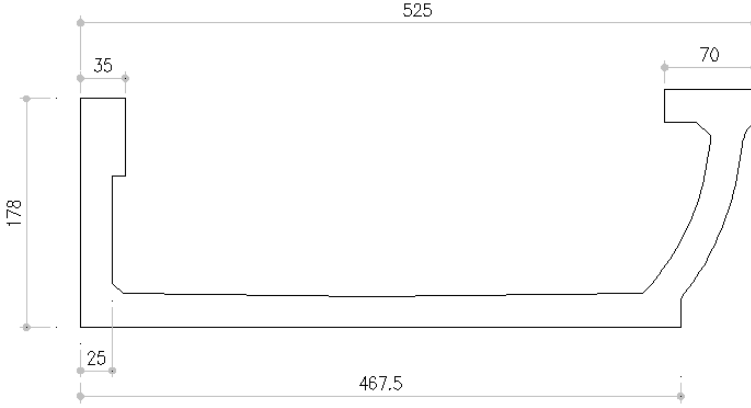
Şekil 15. Mesnetlerde ve mesnetlerden L/3 mesafelerde diyafram kullanımı.



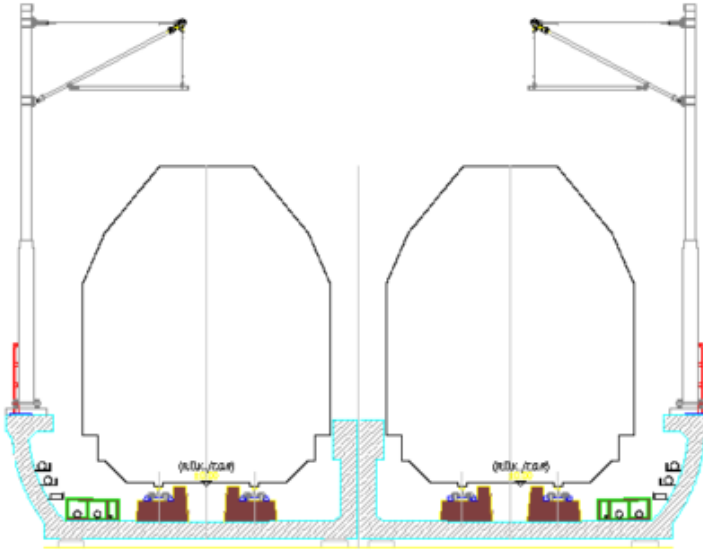
Şekil 16. Diyaframlar ile azaltılan burulma gerilmeleri.

Sonuç

Farklı ülkelerden katılımcılar ile yapılan ön-çalışmaların ardından işveren, 25-metre açıklıkta, Şekil 17' de genel hatları sunulan ve özel bir firma tarafından patentli olan kesit ile ard-çekmeli çözümü tercih etmiştir. Tercih edilen kesit tamamen önüretimli olup 2,2 m² kesit alanına sahiptir. Kesit tabanında ray taşıyıcı kirişleri ayrıca önüretim aşamasında dâhil edilmiştir.



Şekil 17. Tercih edilen kesit.



Şekil 18. Tercih edilen taşıyıcı kesit ile çift hatlı demiryolu kesiti (5).

Tercih edilen çözüm, raylı sistemi içine alarak ses dağılımını engelleyen, istasyon kotunun daha düşük olmasını sağlayan ve yerinde döküm işlemi gerektirmeyen yararlar sunabilmiştir. Ray taşıyıcı kirişlerinin ön üretimli kesit içerisinde sağlanması da sahada önemli yararlar sağlamıştır. Bunun haricinde estetik olarak da daha çok kabul gören kesit, uygulanmıştır.



Şekil 19. Hattın bir görüntüsü (5).

Çalışmada önerilen kesitin, daha az beton ile daha uzun açıklık geçebilme yönü yapılan değerlendirmelerde yeterli kabulü sağlayamamıştır.

Kaynaklar

1. http://en.wikipedia.org/wiki/Al_Mashaaer_Al_Mugaddassah_Metro
2. <http://www.railway-technology.com/projects/al-mashaaer-al-mugad/>
3. Bezgin, N.Ö., (2008) "Mekke, Mina-Arafat Demiryolu Hattı Projesi, Önüretimli
4. Kiriş Tasarım Raporu", Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş., İstanbul.
5. PCI Design Handbook, 4th Edition, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, Illinois, 1992
6. <http://www.redgage.com/photos/mohamadi/makkah-mecca-metro-railway.html>

Anahtar Sözcükler: Demiryolları, ön-üretim, ön-germe, ön-çekme, viyadük.