

El Mek Nimir ve Al Halfaia Köprülerinde Yenilikçi Yöntemler*

Özet

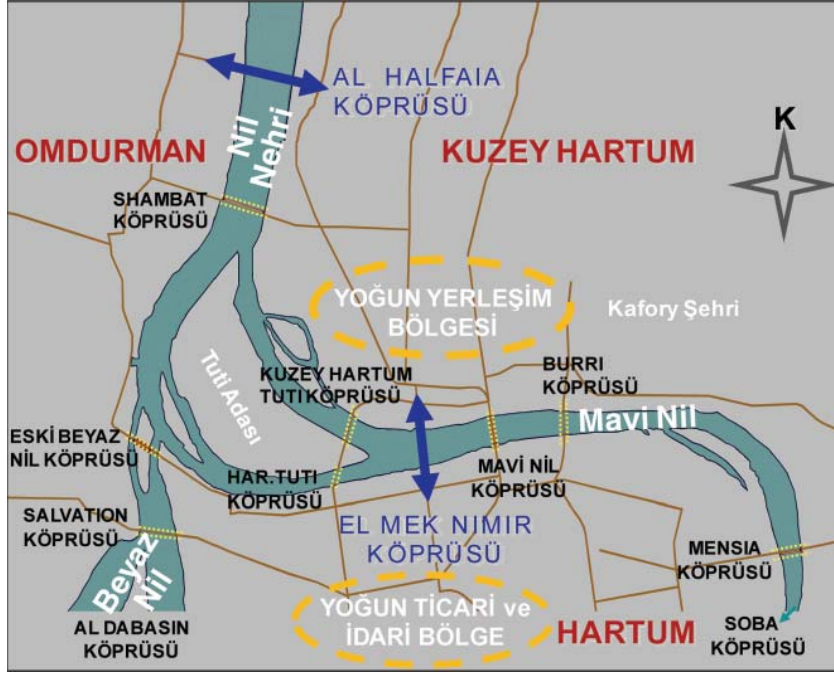
Sudan'ın başkenti Hartum'da Nil üzerindeki iki önemli köprü El Mek Nimir ve Al Halfaia Köprü'leri Yapı Merkezi tarafından inşa edilmiştir. 29 Ekim 2007 tarihinde El Mek Nimir Köprüsü'nün açılış töreni, Al Halfaia Köprüsü'nün ise temel atma töreni yapılmıştır. Yapı Merkezi her iki köprünün de yapımı sırasında gösterdiği üstün inşaat yönetiminden dolayı büyük bir takdir almış ve saygınlık kazanmıştır. Kentin ulaşım sorununu hafifletmek üzere Mavi Nil'in iki yakası arasında inşa edilen, 4 trafik şeritli ve 2 yaya yollu El Mek Nimir Köprüsü'nün temeli 16 Ağustos 2005'te atıldı. "Fore kazıklı temeller" ile "betonarme ayaklar" üzerine oturan "çelik-beton kompozit" tabliyenin 80 m'lik orta açıklığı eğik askılı kablo sistemi ile geçilmiştir. Tüm köprünün çelik tabliyesi 7 adımda karadan ayakların üzerine doğru ardışık itme yöntemi ile itilerek yerine yerleştirilmiştir. Bu uygulanan teknoloji sayesinde köprünün tamamlanması çok hızlanmıştır. Al Halfaia Köprüsü'nün projelendirilmesinde artan trafik yoğunluğunun kente girmeden çevre yollarına aktarılması amaçlanmıştır. Kent merkezinin 15 km kuzeyinde Nil üzerinde yer alacak şekilde 6 trafik şeritli ve 2 yaya yollu olarak inşa edilmiştir. Kazık başlıklarının pratik olarak yapımını mümkün kılan prekast kalıplar, tabliye döşemesinin hızla yapımını sağlayan trapez çelik sac kalıplar ve çelik üst yapının yenilikçi yarı-integral köprü tasarımı sayesinde inşaat süresi önemli miktarda kısaltılabilmektedir. Her iki köprünün de inşası aşırı zor şartlar altında iki yıl gibi kısa bir sürede tamamlanmıştır. Nil nehri üzerindeki diğer metotlarla başka ülke firmaları tarafından inşa edilen köprülerin inşaat sürelerinin 4-5 yıl sürmesi dikkat çekicidir.

Anahtar Kelimeler: Çelik-beton kompozit köprü, ardışık itme, yarı-integral köprü, trapez sac tabliye kalıbı, prekast kazık başlığı kalıbı.

Giriş

Afrika'nın en büyük ülkesi Sudan'ın başkenti Hartum'da sekiz milyondan fazla kişi yaşamaktadır. Nüfus artışı yaklaşık %5 olan Hartum ülkedeki en yüksek ekonomik aktivite yoğunluğuna sahiptir. Dünyanın en uzun nehri, (6.670 km) Nil Nehri'dir. Güneyden kuzeye doğru akan Nil Nehri'nin iki ana kolu Beyaz Nil ve Mavi Nil Nehirleri Hartum bölgesinde birleşirler. Nil nehri Hartum şehrini üç önemli bölgeye ayırmaktadır; güneyde idari ve ticari birimlerin yoğun olduğu Hartum, kuzey doğuda yerleşim birimlerinin yoğun olduğu Kuzey Hartum (veya Bahri) ve kuzey batıda Omdurman bölgeleri (Şekil 1). Hartum, Kuzey Hartum ve Omdurman bölgeleri Nil Nehri üzerinde yapılan çok sayıda köprü ile birbirine bağlanmaktadır.

* Bu yazı, İnşaat Mühendisleri Odası 2. Köprüler ve Viyadükler Sempozyumu'nda sunulmuştur.



Şekil 1 - Hartum'da önemli bölgeler arasında Nil Nehri üzerindeki köprüler.

El Mek Nimir Köprüsü'nün ihale edildiği 2003 yılı itibarı ile Nil Nehri'nin iki yakası arasındaki kara trafiği mevcut 6 köprü ile sağlanmaktaydı ve yetersiz gelmekteydi. Bu doğrultuda El Mek Nimir Köprüsü, ana otoyol sınıfında hizmet verecek şekilde başkent trafiği açısından en stratejik olan bölgede Hartum ile Kuzey Hartum'u birleştirmek üzere inşa edilmiştir. Mavi Nil üzerinde kuzey-güney doğrultusunda yer alan köprü yoğun konut alanını, yine yoğun ve gelişmekte olan ticari ve idari yerleşim alanına bağlamaktadır.

Hartum'un hızlı gelişimine paralel olarak artan trafik yoğunluğunu kente girmeden çevre yollarına aktarmak amacıyla Al Halfaia Köprüsü'nün yapılması planlanmıştır. Kent merkezinin 15 km kuzeyinde yer alacak olan köprü, Nil Nehri üzerinde iki önemli yerleşim merkezi olan Omdurman ve Halfaia (Kuzey Hartum) bölgelerini birbirine bağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Her iki köprü'nün de taşıyıcı sistemlerinin belirlenmesinde, inşaat kolaylığı, yapım süresinin kısalığı gibi faktörlerin yanı sıra, ağır iklim koşulları, nehir rejiminin değişkenliği ve jeolojik yapı gibi hususlar birinci derece önem arz etmiştir.

Yerel Koşulların Zorlukları ve İşveren Talepleri

El Mek Nimir ve Al Halfaia Köprü'lerinde, estetik ilkelerinin uygulanabilir ve fonksiyonel yapılar ile birleştirilmesiyle, form ve işlevsellik bütünleştirilmiştir. Buldukları bölgede benzeri olmayan köprülerin tasarımı ve yapımı sırasında pek çok zorluğun üstesinden gelinmiştir.

- Nil Nehri taşkınlarının getirdiği kısıtlamalar:
Temmuz başından Kasım sonuna kadar Etiyopya'nın dağlık bölgelerine yağan Muson yağmurları Nil Nehri'nde büyük taşkınlar sebep olmaktadır. Nehrin akış hızı 10 kata kadar artabilmekte, su seviyesi ise 8 m'ye kadar yükselebilmektedir. Bu durum nehir üzerinde taşkın döneminde inşaat işlerinin yapılmasına engel olmaktadır.
- Aşırı iklim koşulları:
Sudan'ın iklim koşullarının inşaat işleri üzerinde olumsuz etkileri vardır. Yılda 5 ile 8 kere kum fırtınası görülebilmekte ve bu dönemlerde inşaat işlerine ara verilmektedir. Hartum'da 1907'den 2007 yılları arasında ölçülen en yüksek ve en düşük hava sıcaklıkları 46.8°C ve 6°C'dir. Direk güneş ışınlarına maruz alanlarda hava sıcaklığı (Maks~65°C) kesintisiz beton dökülen imalatlarda kritik rol oynamaktadır.

- Yerel piyasada yetersiz inşaat malzemeleri:
Sudan'da inşaat malzemelerinin Türkiye pazarına göre çeşitliliği az, fiyatları ise yüksektir. Bu yüzden malzemelerin %85'den fazlası Türkiye'den tedarik edilmek zorunda kalmıştır.
- Ulaşım zorlukları:
Sudan dışından getirilen tüm malzemeler Port Sudan'a deniz yolu ile taşınmış ve buradan kamyonlarla 1000 km'den fazla bir mesafe geçilerek ancak minimum 6 hafta sonra Hartum'a ulaştırılabilmektedir, (Şekil 2).
- Yavaş işleyen bürokrasi
- Yerel piyasada yetersiz kalifiye işgücü
- İşveren talepleri:
 - Düşük ilk yatırım, onarım ve bakım maliyetleri,
 - Trafik gürültüsünün azaltılması ve sürüş konforunun yükseltilmesi,
 - Gemi trafiği için navigasyon kanalının tesis edilmesi,
 - Hızlı imalat ve kısa inşaat süresi,
 - Çevreye uyumlu estetik köprü tasarımı,



(Kaynak: The World Fact Book, 2010)

Şekil 2 - Sudan'ın coğrafi konumu ve Hartum'un Sudan'daki konumu.

Yapısal Sistem ve Yapım Yöntemi

El Mek Nimir Köprüsü

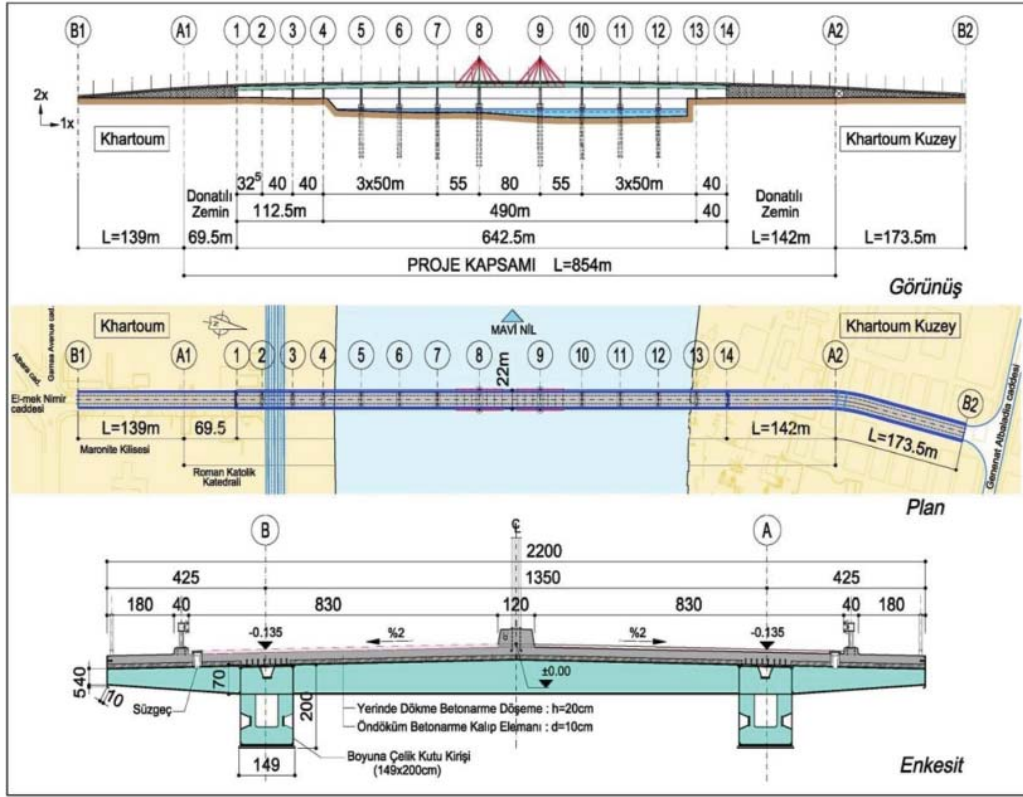
İşveren tarafından Mavi Nil Nehri üzerindeki bölümü 475 m uzunluğunda olan, 2 gidiş 2 geliş şeride sahip bir otoyol köprüsü yapılması istenmiştir. Ayrıca nehir taşımacılığının sürdürülebilmesi için navigasyon kanalında, köprü'nün 80 m ana açıklığa ve 6.5 m temiz yüksekliğe sahip olması gerekmektedir. Bu hususlar dikkate alınarak, El Mek Nimir Köprü Projesi kapsamında 22 m genişliğinde ve 854 m uzunluğunda imalat yapılmıştır.

Köprü açıklıkları gemi trafiğinin sağlanacağı navigasyon kanalının Mavi Nil Nehri'nin ortasında yer alacağı şekilde düzenlenmiştir. Ana açıklık ve 55 m uzunluğundaki komşu açıklıklar "eğik askı kablolu" olarak tasarlanmıştır. Diğer açıklıklar ise 50 m ile 32.5 m arasında değişmekte olup proje kapsamında toplam 642.5 m çok açıklıkta sürekli çelik-beton kompozit köprü, geri kalan kısmı ise iki uçta genişleme derzleri ile ayrılmış yaklaşım yapıları olarak düzenlenmiştir, (Şekil 3).

Köprü tabliyesinin ana çelik taşıyıcıları, 2 adet sürekli çelik "kutu" kirişten ve bunları birbirine bağlayan enleme çelik "I" kirişlerden oluşturulmuştur. Kutu kirişlerin eksenleri arası mesafe 13.50 m, dış ölçüleri ise 2.00 m (yükseklik) ve 1.49 m (genişlik) olarak düzenlenmiştir, (Şekil 3). 2.50 m aralıklarla düzenlenen ve kutu kirişlerden tabliyenin dışına doğru 3.55 m uzunluğunda konsol yapan enleme kirişleri arasına prekast elemanlar yerleştirilerek tabliye betonunun dökülmesine imkan tanınmıştır. Ana kutu kirişler ve enlemeler ile birlikte kompozit olarak çalışan betonarme döşemenin toplam yüksekliği 30 cm olup 10 cm'si prekast elemanlardan 20 cm'si ise yerinde dökme döşemeden teşkil edilmiştir. Kompozit tabliyenin toplam yüksekliği 50 m açıklık için L/21.7 narinliğini (tabliye yüksekliği/açıklık) sağlamaktadır.

Ana açıklıkta tabliyenin serbest çalışan açıklığını azaltmak amacıyla, köprü'nün ortasındaki "8 ve 9" akslarında 18.50 m yüksekliğinde çelik pylonlar düzenlenmiştir. Her bir pylon aksından 10 m aralıklar ile ana açıklığa ve komşu açıklığa doğru 6 adet eğik kablo düzenlenmiştir. En kısa halat boyu 17.20 m, en uzun halat boyu ise 33.25 m olup eğimi yaklaşık 2:3 oranındadır.

Köprü üstyapısı çelik kutu kirişlerin aksında düzenlenmiş birbirine simetrik iki adet betonarme ayağa elastomer mesnetler ile oturtulmuştur. Ayak geometrisi nehir akışına uygun olarak çekiç



Şekil 3 - El Mek Nimir Köprüsü boykesiti, planı ve tipik enkesiti.

şeklinde belirlenmiştir. Ayakların altında 120 cm / 150 cm çapındaki fore kazıklara oturan 200 cm / 225 cm kalınlıklı kazık başlıkları düzenlenmiştir. Toplamda 124 adet olan kazıkların boyları 24 m ile 34 m arasında değişmektedir. Nehirdeki kazık başlıkları, en düşük su seviyesinin üzerinde kalacak şekilde düzenlenmişlerdir. El Mek Nimir Köprüsü ile daha detaylı bilgiye (Arıoğlu, 2007), (Haumer ve diğ., 2008) kaynaklarından ulaşılabilir.

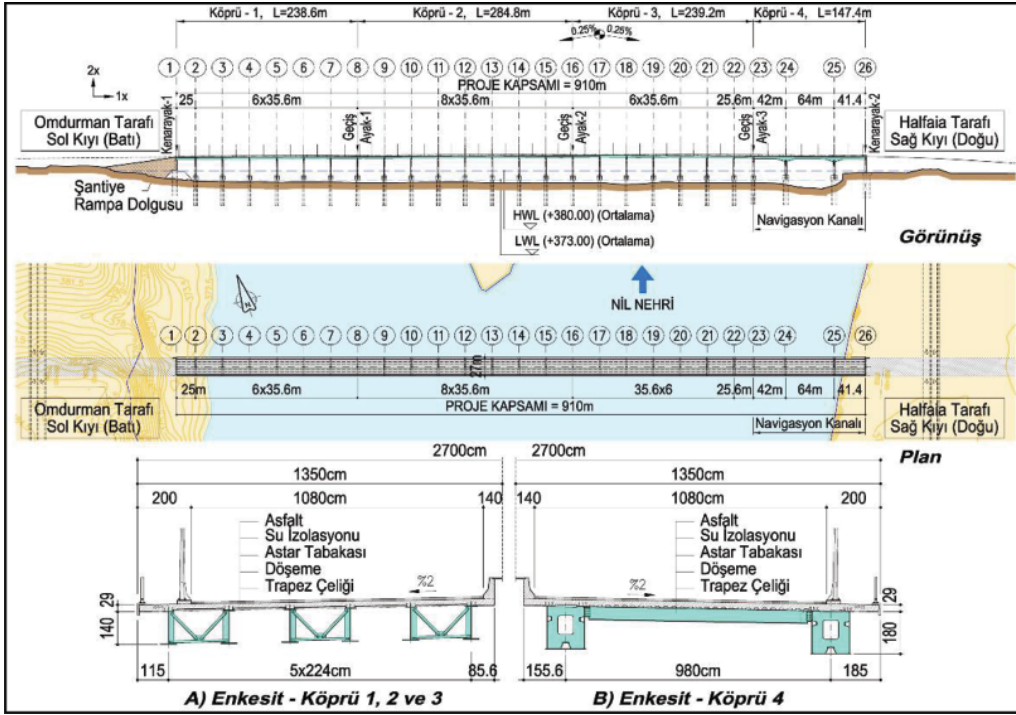
Köprü'nün inşaatı başlıca 4 aşamaya ayrılabilir:

- Kayaya soketlenmiş fore kazıkların imalatı
- Kazık başlığı ve ayakların imalatı
- Türkiye'de üretilen çelik tabliye elemanlarının yerinde yaklaşık 100'er metrelik omurgalar halinde hazırlanması, boyanması ve ayaklar üstüne sürülmesi
- Bitirme işlerinin yapılması (yalıtım, asfaltlama, kablolama, aydınlatma, korkulukların yerleştirilmesi ve trafik işaretlerinin düzenlenmesi)

Al Halfaia Köprüsü

Al Halfaia Köprü'sünün uzunluğu 910 m, genişliği ise 27 m olarak işveren tarafından yaptırılan ön bir etüt ile tespit edilmiştir. Nehir genişliğinin ortasında bulunan ada dikkate alınarak, gemi trafiğinin sağlanacağı navigasyon kanalı nehrin doğu kıyısına kaydırılmıştır. Al Halfaia Köprü'sünün taşıyıcı sistemi iki ayrı yapı tipinden oluşmaktadır. "1-23" aksları arasında üç adet yarı-integral çelik-beton kompozit köprü (Köprü 1, 2 ve 3) düzenlenmiştir. Navigasyon kanalının bulunduğu "23-26" Aksları arasındaki üç açıklıkta ise sürekli çelik-beton kompozit köprü (Köprü 4) öngörülmüştür, (Şekil 4). Nil Nehri, Al Halfaia Köprü Projesi kapsamında 238.6 + 284.8 + 239.2 + 147.4 m uzunluğundaki dört köprü'nün ard arda sıralanmasıyla geçilmiştir.

Köprü 1, 2 ve 3'ün üstyapısı her biri 13.50 m genişliğinde olan birbiri ile özdeş iki tabliyeden (Şekil 4, Enkesit A) ve taşıyıcı sistemi sırasıyla 7, 8 ve 7 açıklıklı sürekli çelik-beton kompozit bir üstyapıdan



Şekil 4 - Al Halfaia Köprüsü boykesiti, planı ve tipik enkesitleri.

oluşmaktadır. Her bir tabliyede toplam 140 cm yüksekliğe sahip 6 adet çelik yapma I kiriş bulunmaktadır. Kompozit tabliyenin toplam yüksekliği, ara açıklıklarda L/21 narinliğini sağlayacak şekilde, 1.69 m olarak her üç köprü boyunca sabit tutulmuştur. Köprü 1, 2 ve 3'ün altyapısı tipik olarak orta akslarda konsollu başlık kirişi, estetik görümlü kolon ve kazık başlığından oluşmaktadır. Dar başlıklı "I" şeklindeki enkesite sahip betonarme ayaklar nehrin en düşük su seviyesinin üzerinde kalacak şekilde tasarlanan 150 cm kalınlığındaki kazık başlıklarına oturmaktadır. Her bir kazık başlığı ortalama 20 m uzunluklu Ø1.20 m çapındaki 4 adet fore kazığa oturmaktadır. Geçiş ayakları ise "8, 16 ve 23" akslarında düzenlenmiştir. Tipik orta ayaklardan farklı olarak komşu iki köprüye ait çelik kirişler, geçiş ayaklarının başlık kirişleri üzerinde düzenlenen mesnetlere oturtulmuştur. Kazık başlıkları 8 ve 16 akslarında Ø1.20 m çapında, 23 aksında ise Ø1.50 m çapında 4 adet fore kazığa oturmaktadır.

Köprü 4 (Sürekli Kompozit Kirişli Köprü), 3 açıklıkta sürekli (42 m + 64 m + 41.4 m) çelik-beton kompozit olarak düzenlenmiştir (Şekil 4, Enkesit B). Üstyapı ayaklar üzerinde ve kenar ayakta düzenlenen elastomer mesnetlere oturmaktadır. "23 ve 26" akslarında yatay hareketlere uyumlu genişleme derzleri düzenlenmiştir. Tipik üstyapı enkesiti, 150 cm genişliğe 180 cm yüksekliğe sahip 9.80 m aralıkla yerleştirilmiş 2 adet ana taşıyıcı kutu kiriş ve toplam 29 cm yükseklikli betonarme döşemenin oluşmaktadır. Taşıyıcı kutu kirişlerinin "24 ve 25" akslarındaki mesnet bölgelerinde guseler düzenlenmiştir. Bu guseler yardımıyla sadece 12 m uzunluğunca kiriş yüksekliği lineer olarak 1.80 m'den 3.60 m'ye arttırılarak köprü üstyapısında ekonomi sağlanmıştır. Navigasyon kanalının iki yanında düzenlenen ana ayaklar gemi çarpması riskine karşı diğer köprü ayaklarından daha güçlü olacak şekilde 2.40 m genişliğinde tasarlanmıştır. 2.00 m kalınlığındaki kazık başlıkları Ø1.50 m çapında 12 adet fore kazığa oturmaktadır. Al Halfaia Köprüsü ile daha detaylı bilgiye (Arioğlu ve diğ., 2010), (Yapı Merkezi İnş. ve San. A.Ş., 2010) ve (Haumer ve diğ., 2010) kaynaklarından ulaşılabilir.

Köprü'nün inşaatı başlıca 4 aşamaya ayrılabilir:

- Kayaya soketlenmiş fore kazıkların imalatı
- Kazık başlığı ve ayakların imalatı
- Çelik kirişlerin birleştirilmesi, boyanması, akslar arasına yerleştirilmesi ve ayaklarla rijit bağlantılarının oluşturulması (Köprü 1, 2 ve 3 için geçerlidir)
- Bitirme işlerinin yapılması

Yenilikçi Yöntemler

El Mek Nimir ve Al Halfaia köprülerinde yenilikçi yöntemlerin uygulamaya konması ile köprü inşaat süresi çok kısaltılabılmış, yerel şartlara uyumlu tasarımlar yapılabılmış, hedeflenen kalite seviyesinde üretimler yapılabılmış ve projelerin tüm hedefleri tutturulabılmıştır. Kazık başlıklarının pratik olarak yapımını mümkün kılan prekast kalıplar, tabliye döşemesinin hızla yapımını sağlayan trapez çelik sac kalıplar, üstyapının ana çelik taşıyıcılarının taşkınlardan etkilenmeden montajını sağlayan ardışık imtme metodu ve üstyapının hızla imalatına imkan veren yarı-integral köprü tasarımı sayesinde her iki köprünün de inşaat süresi önemli miktarda kısaltılabılmıştır.

Kazık Başlığı Prekast Kalıpları

Prekast Kalıp Elemanları nehir içinde kazık başlıklarının imalatının yapılabilmesini mümkün kılmıştır. Yapı Merkezi tarafından geliştirilen bu yöntemde kazık başlığının alt kalıbını oluşturan prekast elemanlar sayesinde kazık başlığının beton döküm işlemi kuru bir ortamda, kontrol altında ve güvenli bir şekilde tamamlanmıştır, (Şekil 5). Ayrıca prekast kalıp elemanlarının yan etekleri sayesinde düşük su seviyesi dönemlerinde bile kazıkların dışarıdan görülmeleri mümkün olabildiğince önlenmiştir.

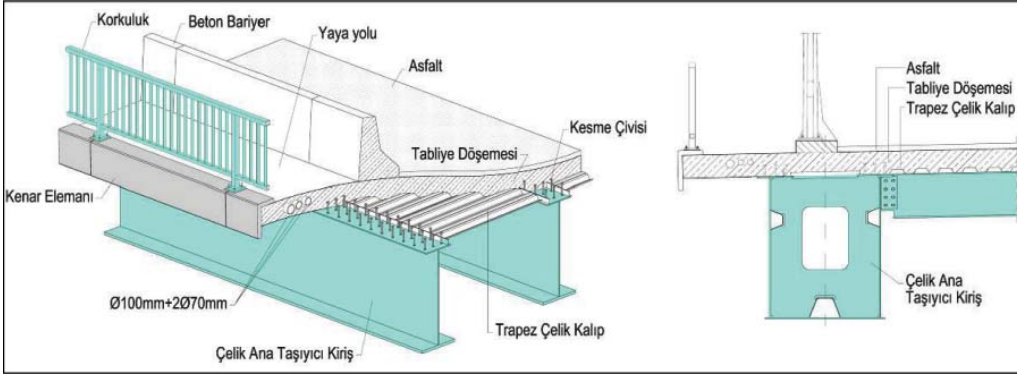
Kazıkların kalıcı çelik kılıflarının dört tarafına çelik kısa konsollar düzenlenmiştir. Bu kısa konsolların üzerine oturan prekast kalıp elemanları yardımıyla kazık başlığının ahşap yan kalıpları kurulmuş ve kazık başlığı imalatı tamamlanmıştır. Kazık başlıklarının imalatı tamamlandıktan sonra kolonlar ve başlık kirişlerine ait imalatlar sorunsuz olarak güvenli bir şekilde geleneksel yöntemler ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5 - Prekast Kazık Başlığı Kalıplarının montajı.

Tabliye Trapez Saç Kalıpları

Tabliye döşemesinin imalatının nehir üzerinde hızlı bir şekilde yapılabilmesi amacıyla Al Halfaia Köprüsünde döşeme kalıbı olarak çelik trapez sacların kullanılmasına karar verilmiştir. Bu amaçla köprü 1, 2 ve 3'te ana kirişlerin arasında köprü 4'te ise enleme kirişleri arasında çelik trapez sac düzenlenerek döşeme kalıbı oluşturulmuştur, (Şekil 6, 7). Buna bağlı olarak köprü 1, 2 ve 3'te ana taşıyıcı çelik kirişlerin enine yöndeki ara mesafeleri 2.24 m, köprü 4'te enine kirişlerin boyuna yönde ara mesafesi ise 2.46 m olarak seçilmiştir. Yaklaşık 90 cm genişliğinde ve maksimum 2.30 m uzunluğunda olan trapez paneller kolaylıkla tek kişi tarafından taşınabilmektedir. Döşeme tasarı-



Şekil 6 - Al Halfaia'da Köprü 1, 2 ve 3'te ana kirişler arasında, Köprü 4'te enlemeler arasında tabliye trapez sac kalıplarının düzenlenmesi.



Şekil 7 - Al Halfaia Köprüsü'nde ana kirişler arasında trapez sac kalıplarının montajı.

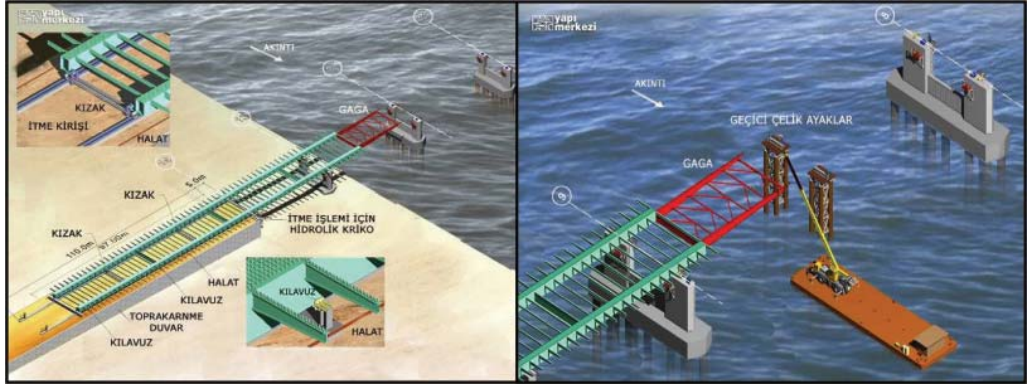
mında trapez sac elemanlar yapısal taşıyıcı olarak dikkate alınmamış sadece döşeme kalıbı olarak kullanılacağı öngörülmüştür. Döşeme kalıbı tamamlandıktan sonra köprü 1, 2 ve 3'te 35'er metrelik anolar halinde köprü 4'te ise 30'ar metrelik anolar halinde tabliye döşemesinin imalatı yapılmıştır.

Trapez sac kalıp elemanlarının kullanılması sayesinde döşeme imalatı sırasında vinç kullanılmasına gerek kalmamıştır. Tabliye döşemesinin imalatı bu sayede hem çok hızlanmış ve hem de iş güvenliği artırılmıştır.

Ardışık İtme Yöntemi

El Mek Nimir Köprüsü'nün kutu kirişler ve enlemelerden oluşan çelik ana taşıyıcısı 28 Eylül 2006'dan, 10 Nisan 2007'ye kadar, 100'er metrelik parçalar halinde 7 adımda ardışık itme yöntemi ile ayakların üzerine itilmiştir. Nakliye kısıtlamalarından dolayı 12 m'lik parçalar halinde üretilen kutu kirişler karada kaynaklı birleşimler ile birbirlerine eklenmişlerdir. Kuzey Hartum tarafında bulunan montaj alanı aynı zamanda sürme düzlemi olarak kullanılmıştır. Bu sayede karada eklenen üstyapı çelik ana taşıyıcısı Kuzey Hartum tarafından Hartuma doğru ayaklar üzerinden kaydırılarak yerine oturmuştur.

İtme sırasında kutu kirişlerde oluşacak konsol momentlerinin azaltılması amacıyla üstyapının ucunda 22.50 m uzunluğunda nispeten ağırlıkça hafif çelik bir gaga düzenlenmiştir (Şekil 8). Gaganın geometrisi 55 m'lik açıklıkta itme sırasında oluşacak en büyük konsol deplasmanlarını bertaraf edecek şekilde düzenlenmiştir. Bu sayede itme sırasında bir açıklık geçilerek gaganın ucu ayaklar üzerinde bulunan mesnetlere ulaştığında gagayı yukarıya doğru kaldırmaya gerek kalmamıştır. Üstyapının 80 m'lik ana açıklıkta sürülebilmesi için açıklığın ortasında kazıklardan geçici ayak teşkil edilerek açıklık ikiye bölünmüştür. Üstyapının ayaklar üzerinden kaydırılması geçici mesnetler yardımı ile yapılmıştır. Kalıcı mesnetlerin kaidelerinin yanında düzenlenen geçici mesnetlerin kutu



Şekil 8 - El Mek Nimir Köprüsü'nde ardışık itme ile üstyapı çelik kirişlerinin sürülmesi.



Şekil 9 - El Mek Nimir Köprüsü'nde ardışık itme ile çelik kirişlerin yerleştirilmesi.

kirişlerin alt yüzeylerine temas eden üst yüzeylerinde sürtünme etkilerini azaltacak teflon (PTFE) plakalar kullanılmıştır.

Çelik taşıyıcıların sürülmesi sayesinde üstyapının yapımı taşkın sularının olumsuz etkilerinden bağımsız hale getirilmiştir, (Şekil 8). Bu uygulanan teknoloji sayesinde çelik imalatları hedeflenen kalitede gerçekleştirilmiş ve köprünün tamamlanması çok hızlanmıştır.

Yarı İntegral Köprü

Yarı-integral olarak isimlendirilen taşıyıcı sisteme sahip köprülerde, üstyapının sadece kenar ayaklar üzerinde serbest hareketlerine ve dönmelerine izin verilirken orta ayaklar ile üst yapı arasında rijit bir bağlantı oluşturulur. Buna bağlı olarak Al Halfaia Köprüsü'nde her bir köprünün sadece başlangıç ve bitiş noktalarına genişleme derzi ve elastomer mesnetler yerleştirilmiş ve orta ayaklar rijit olarak üstyapıya bağlanmıştır. Geneksel köprü tasarımından farklı olarak, integral köprülerin üstyapılarının hareket imkânları ayaklar tarafından sınırlandırıldığı için taşıyıcı sistem tasarımında sıcaklık, rötre, sünme ve deprem etkileri büyük önem taşımaktadır. Üstyapı hareketlerinin kısıtlanma derecesi alt yapının (kolonlar, kazıklar) deformasyon yapabilme kapasitesine bağlıdır. Nehir tabanında oluşan oyulmanın (maks. 8 m) ise yapısal rijitlikler üzerinde büyük etkisi vardır. Sismik yükleme durumu gibi yapının boyuna yönde zorlandığı durumlarda, yapısal sistemin yeniden dağılım imkânları fazla olan bir çerçeve şeklinde olması ise göreceli olarak integral köprülere avantaj sağlamaktadır.

Ana taşıyıcı çelik kirişlerin ekonomik olarak tasarlanması amacıyla tabliye betonunun dökümü sırasında çelik kirişler arasında süreklilik sağlanacağı öngörülmüştür. Bunun için başlık kirişinin ilk aşamasının dökülmesinin ardından komşu açıklıklardaki çelik kirişler basit kiriş olarak yerleştirilirler. Çelik kirişler üst başlıkları ve alt başlıkları hizasında dişli ankraj çubukları ile karşılıklı olarak bağlanır. Bu işlemin ardından çelik kirişlerin arasında kalan bölgede çelik kirişlerin üst kotuna kadar

beton dökülerek başlık kirişlerinin ikinci aşama betonları tamamlanır ve inşaat safhasındaki ilave yükler altında çelik kirişlerin sürekliliği sağlanmış olur (Şekil 10).

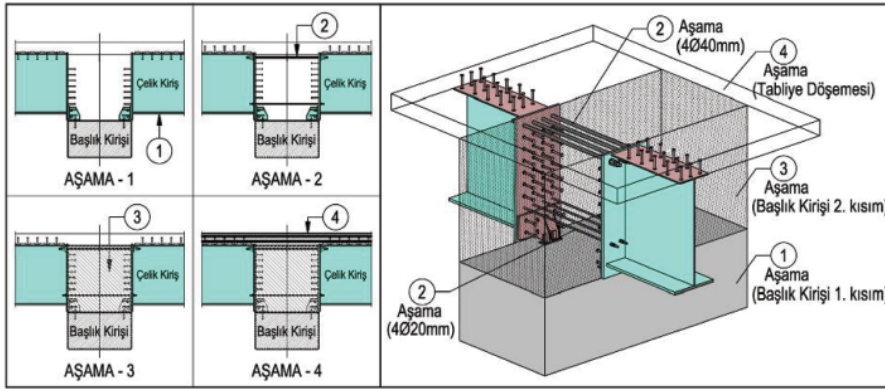
Çelik kiriş, orta ayak ve başlık kirişi arasındaki rijit birleşim, üzerinde kesme çivileri bulunan alın plakası ile gerçekleştirilmiştir. Kompozit kirişlerin mesnet bölgelerinde oluşan eğilme momentleri bu birleşim sayesinde kuvvet çiftlerine dönüşerek başlık kirişlerine aktarılırlar. Çekme kuvvetleri kompozit döşemeye yerleştirilen donatılar ile karşılanırken basınç kuvvetleri ise alın plakasının alt bölgesine yerleştirilen ilave kısmi plaka yardımıyla başlık kirişine aktarılır. İntegral köprü birleşimleri ile ilgili daha detaylı bilgiye (ArcelorMittal, 2008), (European Commission, 2003) kaynaklarından ulaşılabılır.

Yarı integral köprü tasarımı sayesinde basit kirişlerin sağladığı montaj kolaylığından, sürekli kirişlerin sağladığı ekonomiden faydalandığı gibi uzun ömürlü, bakım masrafları minimize edilmiş bir köprü inşa edilmiştir (Şekil 11).

Sonuçlar

El Mek Nimir Köprüsü 29.10.2007 tarihinde trafiğe açılmış, Al Halfaia Köprüsü ise 28.02.2011 tarihinde işverene teslim edilmiştir. Sadece iki yıllık bir inşaat süresi içinde her iki köprü de olağanüstü zor şartlar altında bitirilmiştir. Bunların arasında özellikle Nil taşkınları, aşırı sıcaklıklar, yerel pazarın yetersizliği ve ulaşım zorlukları sayılabilir. Sudan'da Nil üzerindeki hiçbir köprü bu kadar kısa bir sürede inşa edilmemişti, (Haumer ve diğ., 2008). Bu başarının elde edilmesini projenin optimizasyonu, çok sayıda köprü alternatifleri değerlendirildikten sonra doğru köprü tipinin belirlenmesi, yapım-tasarım yönetimi ve yeni inşaat yöntemlerinin uygulamaya konulması sağlamıştır.

Kazık başlıklarının pratik olarak yapımını mümkün kılan prekast kalıplar sayesinde hem beton dökümü su kotunun üstünde yapılmış hem de kazıkların önünde mimari bir öge olarak kullanılarak estetik bir görünüm elde edilmiştir. Tabliye döşemesinin hızla yapımını sağlayan trapez çelik sac



Şekil 10 - Çelik-beton kompozit üstyapı ile ayaklar arasında rijit birleşim teşkil edilmesi.



Şekil 11 - Çelik-beton kompozit üstyapı ile ayaklar arasında rijit birleşim teşkil edilmesi.



Şekil 12 - El Mek Nimir ve Al Halfaia Köprülerinin genel görünüşleri.

kalıplar sayesinde vinç ihtiyacı en aza indirilmiştir. Ardışık itme metodunun kullanılması ile hem çelik imalatlar karada hedeflenen kalitede yapılmış hem de üstyapının yapımı taşkın döneminin olumsuz etkilerinden etkilenmemiştir. Yarı-integral köprü tipi seçilmesi ile bakım masrafları pahalı olan elastomer mesnetlerin ve genişleme derzlerinin sayısı çok azaltılabilmektedir. Ayrıca yarı integral köprü tipinin kullanılması ile mesnetler üstündeki süreklilik betonarme birleşim ile sağlandığından çelik imalatların tamamı kalite kontrol altında karada yapılabilmiştir.

Yerel şartlara bağlı olarak gerekli önkoşulları sağlayan yenilikçi köprü tasarımlarının uygulamaya alınması sayesinde El Mek Nimir ve Al Halfaia köprülerinin inşaat süresi önemli miktarda kısaltılabilmektedir (Şekil 12). Nil nehri üzerindeki diğer metotlarla başka ülke firmaları tarafından inşa edilen köprülerin inşaat sürelerinin 4-5 yıl sürmesi ve Yapı Merkezi tarafından inşa edilen köprülerin dışında bu kadar kısa sürede yapılan başka köprü bulunmaması dikkat çekicidir.

Tüm zorluklara rağmen El Mek Nimir Köprüsünü süresi içinde tamamlaması dolayısı ile Yapı Merkezi Sudan Cumhurbaşkanı tarafından Devlet Nişanı ile ödüllendirilmiştir.

Kaynaklar

ArcelorMittal (2008) Composite Bridges with Concrete Cross Beams.

Arioğlu E. (2007) El Mek Nimir Köprüsünün İnşaatı Hakkında Sunu, Türkiye Köprü ve İnşaatı Cemiyeti Seri Konferansları, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara.

Arioğlu E., Güzel Ö., Özaydın C., (2010) Al Halfaia Köprüsü, Hartum – Sudan. Çelik Yapılar Dergisi. İstanbul, Türkiye.

European Commission (2003) Composite Bridge Design for Small and Medium Spans.

Haumer W., Gebert G., Reichelt A., Schülke J., El-Dawi K., (2008) Die Al Mak Nimir Bridge über der Blauen Nil in Khartoum. Stahlbau, 77 (3) pp 132-147

Haumer W., Gebert G., Schülke J. (2010) Die Halfaya über den Nil in Khartoum/Sudan. Dresdner Brückenbau-Symposium, Almanya.

Yapı Merkezi İnş. ve San. A.Ş. (2010) Al Halfaia Bridge Khartoum – Sudan, Spanning the Challenge of the Nile with Steel. ECCS The European Steel Bridges Award 2010 Entry Album, İstanbul, Türkiye.