

YERİNDE DÖKME DENGELİ KONSOL KÖPRÜLERİN DÖKÜM EĞRİSİ TAKİBİ

¹Özgür ÖZKUL,² C. Noyan ÖZEL,³ J. Erdem ERDOĞAN

Acıbadem Mah. Sokullu Sok. No:12 Kadıköy/ İstanbul, Tel: (216) 999 85 29,

¹E-mail: ozgur.ozkul@freysas.com.tr

²E-mail: cemalnoyan.ozel@freysas.com.tr

³E-mail: erdem.erdogan@freysas.com.tr

Özet

Dilimsel dengeli konsol metodu dünya üzerinde uzun zamandır kullanılan ve pek çok örneği olan bir köprü inşa yöntemidir. Ülkemizde ise çok yaygın olmasa da kullanılmaktadır. Bu yöntem kullanılarak 80 ile 200 metre arasındaki açıklıklar efektif olarak geçilmekte, estetik köprüler oluşturulmaktadır. Ancak yerinde dökme dengeli konsol metodunun uygulanmasında; inşaat aşamalarının detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir. İnşaat sırasında oluşturulan konsollar, farklı zamanlarda betonu dökülen ve tendonları gerilen, değişken kesitli dilimlerden oluşmaktadır. Dolayısıyla sünme, büzülme ve sıcaklık değişimi gibi etkenler her bir dilim üzerinde farklı etkiler oluşturmaktadır.

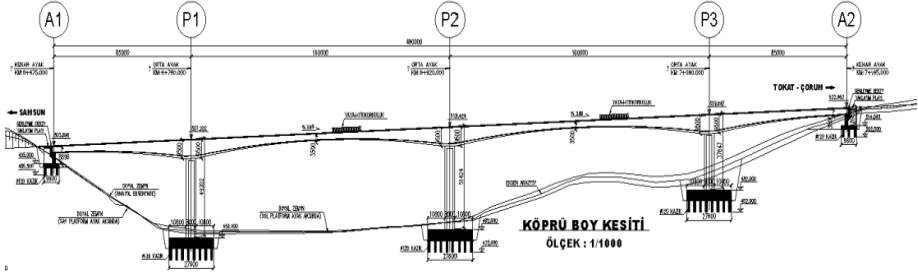
Köprü tabliyesinin yapacağı deformasyonların önceden belirlenebilmesi ve sahada oluşan deplasmanların kontrol altında tutulabilmesi amacıyla, kalıp kotunu belirleyen köprü döküm eğrisinin hazırlanması büyük önem taşımaktadır. Döküm eğrisi belirlenirken dilimlerin ağırlıkları, uygulanacak ardgerme miktarı, tendon geometrisi, kalıp arabasının ağırlığı ve geometrisi ile öngörülen zaman etkileri göz önüne alınmalıdır.

Köprü tamamlandığında sünme ve büzülme etkilerinden dolayı, tabliye üst kotunun yukarı yönlü ters sehim yapması istenmektedir. Genelde bu hesaplar yapılırken 10,000 gün sonraki sehim değerleri dikkate alınır ve tabliyenin yaklaşık 30 yıl sonra kırmızı kotta olacağı varsayılır. Sahadaki uygulamanın, varsayılan bu eğriye uygunluğunun yakından takip edilmesi, inşaat sırasında beklenmeyen olaylar veya gecikmeler değerlendirilerek döküm eğrisinin güncellenmesi gerekmektedir.

İnşaatı devam etmekte olan ardgermeli dilimsel yerinde dökme dengeli konsol yöntemi kullanılan, tasarımının ve döküm eğrisi takibinin/kontrolünün *Tekta Mühendislik*; müteahhitliğinin AS İnşaat ve ardgerme uygulamalarının da *Freysaş* tarafından yapılan Amasya Şehzadeler Viyadüğü (maksimum açıklık 160m) detayları ve döküm eğrisi ile ilgili bilgiler, örnek çalışma olarak paylaşılacaktır.

Giriş

Dengeli konsol metodu; büyük açıklıkları geçmekte uzun süredir kullanılmakta olan bir ardgermeli köprü inşa yöntemidir. 1960'lardan itibaren özellikle Fransa ve Almanya'da pek çok örneği inşa edilmiştir. Günümüzde de kullanımı oldukça yaygın bir yöntemdir. Bu metod özellikle klasik kalıp yapımının mümkün olmadığı büyük açıklıkların geçilmesi gereken derin vadi gibi topoğrafik bölgelerde tercih edilmektedir. Dengeli konsol yöntemi kullanılarak 80 ile 200 metre arasındaki açıklıklar efektif olarak geçilebilmektedir. Ardgerme kullanılarak geçilmiş en büyük dengeli konsol açıklık rekoru, 304 metre ile Norveç'teki Stolma (1998) Köprüsü'ne aittir (Karaesmen, 2002). Bu yöntem, dünyadaki örnekleri kadar yaygın olmasa da ülkemizde de kullanılmaktadır. Yapılan ilk uygulamalar Malatya-Elazığ karayolundaki 104 metre maksimum açıklığa sahip Yeni Kömürhan (1986) Köprüsü ve 1999'da açılan 115 metre orta açıklığa sahip Ankara İmrakor Viyadüğüdür. Bir diğer yerinde dökmeli dengeli konsol köprü örneği de şu anda inşası devam etmekte olan Amasya Çevreyolu üzerinde bulunan Şehzadeler Viyadüğü'dür. Viyadük Şekil 1'de görüldüğü gibi 85+160+160+85 metre olmak üzere dört açıklığa sahiptir. Genel bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Amasya Şehzadeler Viyadüğü boy kesiti.

Tablo 1. Amasya Şehzadeler

Viyadüğü hakkında genel bilgiler.

İşin Sahibi:	Türkiye Cumhuriyeti Karayolları
Ana Yüklenici:	AS İnşaat
Tasarım ve Döküm Eğrisi Hesabı/Takibi:	Tekta Mühendislik
Ardgerme Yüklenicisi:	Freysaş- Freyssinet
Köprü Açıklığı:	85+160+160+85, Toplam 330 m
Köprü Genişliği:	13.5 m
Trafik Şerit Sayısı:	2 Şerit

Yerinde Dökme Dengeli Konsol Metodu

Dengeli konsol yönteminde tabliye, daha önce inşa edilmiş bir köprü ayağının iki tarafında dilimler halinde parça parça oluşturulur. Oluşturulan bu dilimler zeminden herhangi bir destek almaz ve konsol şeklinde orta ayağın her iki tarafında dengeli olarak uzar. Böylece orta ayak üzerinde konsolların sebep olacağı moment minimuma indirilir. Konsol dilimleri üzerinde oluşan eğilme momenti ise, her bir dilim eklenmesi sonunda kesit üst yüzeyine yakın pozisyonlara yerleştirilip gerilen ardgerme tendonlarıyla karşılanır. Konsollar birleştiğinde ise köprü sürekli giriş gibi davranmaya başlar ve bu durumda, orta açıklıkta kesit alt yüzeyinde oluşacak çekme gerilmesini karşılamak amacıyla alt yüze yakın bölgeye yerleştirilen süreklilik tendonları gerilir.

İnşaat sırasında oluşan büyük konsollar sebebiyle köprü tabliyesi özellikle burulma rijitliğine ihtiyaç duymaktadır. Bu sebeple, tabliye kesiti olarak kutu kesit tercih edilmektedir. 20 metreye kadar tabliye genişliklerinde, tek gözlü kutu kesit genelde en ekonomik çözümü sunmaktadır (Setra, 2007). Kesit yüksekliği orta ayaktan açıklık ortasına doğru azaltılarak hem estetik hem de ekonomik bir çözüm oluşturulabilir.

Konsol dilimleri prefabrik olarak sahada hazırlanıp taşınabildiği gibi, yerinde dökme yöntemiyle de yapılabilmektedir. Yerinde dökme dengeli konsol inşasında Şekil 2'de görüldüğü gibi, her iki konsolda kontrollü olarak ilerleyen kalıp arabası düzeneği kullanılmaktadır. Bu kalıp düzeneğinde herhangi bir iskele ayağına gerek olmamakta, kalıp arabası kalıbı taşımaktadır. Ayrıca kalıp geometrisi her bir kesit için kolaylıkla değiştirilebilmektedir. Böylece kalıp boyutları küçültülerek alandan kazanılmakta, tekrarlanan işler sayesinde hatalar azaltılmakta ve randıman artırılmaktadır. Ayrıca birden fazla açıklığın aynı anda inşa edilebilmesi gibi yapım esneklikleri de sunmaktadır.

Yerinde Dökme Dengeli Konsol Köprülerde Döküm Eğrisi

Dengeli konsol tabliye tasarımında göz önüne alınması gereken iki aşama söz konusudur. Bu aşamalar:

- Yapının, kalıp arabaları vasıtasıyla dengeli konsol olarak yürütüldüğü aşama
- Konsol elemanlarının açıklık ortasında ve kenar ayaklarda birleşmesiyle ortaya çıkan sürekli çerçeve davranışına sahip servis aşamasıdır.

Tasarım için köprünün bu iki aşamadaki yapısal davranışları incelenmeli ve kritik kesit etkileri bulunmalıdır. Ancak bu metodun sahada sağlıklı bir şekilde uygulanması için, inşaat aşamalarının detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir. Buna göre, inşaat sırasında parça parça oluşturulan dilimlerin her biri, betonu farklı zamanda dökülmekte olan ve farklı kesit özelliklerine sahip elemanlardır. Ayrıca, kesit içinden geçen tendonlara da farklı zamanlarda germe işlemi uygulanmaktadır. Dolayısıyla, tabliye elemanlarının hepsi inşaat sırasında sünme, büzülme ve sıcaklık değişimi gibi etkilerden farklı farklı etkilenmeye başlamaktadır.



Şekil 2. Şehzadeler Viyadüğü dengeli konsol kalıp sistemi.

İnşaat aşamasında ve sonrasında, köprü tabliyesinin zaman etkileri altında yapacağı deformasyonların önceden belirlenmesi gereklidir. Burada amaç, 30 yıl sonra tabliyede oluşacak sehim düşünerek, beton dökümü yapılacak kalıba ters sehim verilmesidir. Ters sehim verilecek kalıp kotunu belirleyen beton döküm eğrisinin hazırlanması ve takibi inşaatın sağlıklı ilerleyebilmesi ve köprünün kullanım ömrü açısından büyük önem taşımaktadır.

İnşaat sırasında yapılan beton dökümü, kalıp arabasının hareketi gibi değişiklikler ve geçen zaman, tabliyenin kotunda değişmelere yol açabilmektedir. Bu sebeple her yeni aşamada, köprü tabliyesine yeni bir ters sehim verilir.

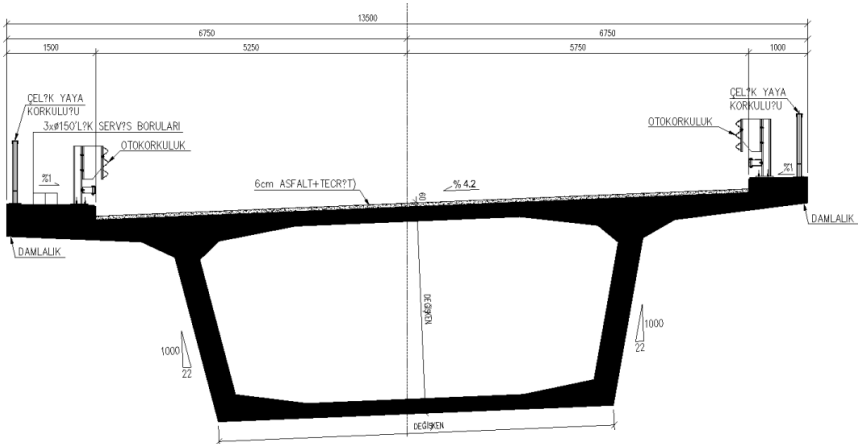
Yapılan hesaplamalar ile sahada oluşan deplasmanın kontrollü olarak takip edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla tabliye üzerinde kontrol noktaları oluşturulmalı ve her aşama sonunda bu noktalardan kot okumaları yapılmalıdır.

Döküm eğrisi belirlenirken her bir konsol diliminin boyu ve ağırlığı, uygulanacak ardgerme miktarı, tendon geometrisi, kalıp arabasının ağırlığı ve geometrisi ile zaman etkileri göz önüne alınmalıdır. Bütün bu etkiler altında hesaplanan köprü tabliyesi deformasyonunun aksi yönünde, kalıba verilecek ters sehim belirlenir.

Bu hesaplarda en önemli ölçüt ters sehimin alınacağı referans zamanının kabulüdür. Bu tarz köprülerde elde edilen tecrübeler göz önüne alındığında, bu sınırın 10,000 gün civarında olması kabul görmektedir (Setra, 2007). Böylece kalıba verilen ters sehim sayesinde köprü tabliyesinin yaklaşık 30 yıl sonra kırmızı kota ulaşacağı varsayılır. Aksi takdirde, köprü tamamlandığında kırmızı kotta olması durumunda, tabliye 30 yıl sonra ciddi anlamda deforme olacak ve yol konforunun sağlanması amacıyla tekrar asfalt dökülmesi gerekecektir. Bu durum tabliyenin ağırlaşmasına ve daha fazla deforme olmasına sebep olacaktır.

Örnek Çalışma: Amasya Şehzadeler Viyadüğü

Amasya Şehzadeler Viyadüğü, Amasya Çevre Yolu projesi kapsamında inşa edilmekte olan birbirine paralel iki adet yerinde dökme dengeli konsol viyadükten oluşmaktadır. Viyadüklerin tasarımı ve döküm eğrisi takibi, Tekta Mühendislik tarafından yapılmaktadır. Viyadükler dört açıklıktan meydana gelip, açıklıklar 85+160+160+85 metredir. Ayak yükseklikleri ise 40, 42 ve 28 metredir. Viyadük tabliyesi tek açıklıklı değişken kesitli kutu kesitten teşkil edilmiştir. Kesit yüksekliği orta ayak kısmında 9.5 metre, açıklıkta 3.5 metre olarak boyutlandırılmıştır (Şekil 3). Köprü dilimlerinin orta ayağa yakın kısımlarda 5 metre, açıklık ortasına doğru 3.5 metre eninde parçalar halinde dökülmesi düşünülmüştür.

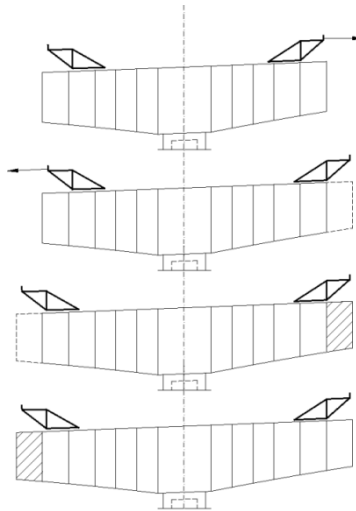


Şekil.3 Amasya Şehzadeler Viyadüğü tipik kesiti.

Viyadüğün yapımı ise şu şekilde planlanmıştır: inşaat takvimine göre; öncelikle P3 ayağı etrafında konsollar hazırlanacak ve kenar ayak kapatıldıktan sonra diğer konsol tarafına geçici ayak teşkil edilecektir. Kalıp arabaları daha sonra P1 ayağına getirilerek bu ayak konsolları oluşturulacak ve kenar ayak kapatılacaktır. Son olarak da kalıp arabaları P2 ayağına getirilecek konsollar tamamlandığında kapatma dilimleri inşa edilecektir. Sonrasında da asfalt, korkuluk, bordür gibi imalatlar yapılarak köprü tamamlanacaktır.

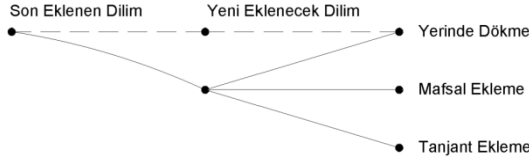
Döküm eğrisi belirlenirken, bütün bu aşamalar ve inşaat takvimi önceden öngörülmesi ve buna göre bir bilgisayar modeli oluşturulmalıdır. Amasya Şehzadeler Viyadüğü döküm eğrisi kontrolü sorumluluğu Tekta Mühendisliktedir. Ancak, Freysaş-Freyssinet aşağıda özetlendiği şekliyle, kendi kontrolleri için SETRA'nın ST1 (SETRA, 2013) adlı bilgisayar programından yararlanarak ayrı bir model oluşturmuştur. Program, dilimsel inşaat aşamalarının etkilerini, betonun sünme ve büzülmesini ve ardgerme çeliğinin gevşemesi gibi zaman etkilerinin tanımlanmasını mümkün kılmaktadır. Yapım aşamasında, zaman bağlı değişkenler AASHTO yönetmeliklerinde de referans olarak gösterilen CEB-FIP 90 beton modeli kullanılarak tanımlanmıştır. Her bir dilim yaklaşık 80 ton ağırlığındaki kalıp arabaları vasıtasıyla inşaat takvimine uygun zamanda inşa edilecek şekilde oluşturulmuştur. Her bir konsol aşaması ortalama yedi gün olarak planlanmıştır. Bu aşamalar Şekil 4'te tipik olarak gösterilmiş ve şu şekilde özetlenmiştir:

- Sol taraftaki dilim betonunun dökülmesi,
- Sonrasında sağ dilim betonunun dökülmesi,
- Beton belirlenen dayanımını kazandığında ardgerme tendonlarının gerilmesi
- Son aşamada kalıp arabasının bir sonraki dilim için hareket ettirilmesi.



Şekil 4. Dengeli konsol aşamaları şematik olarak.

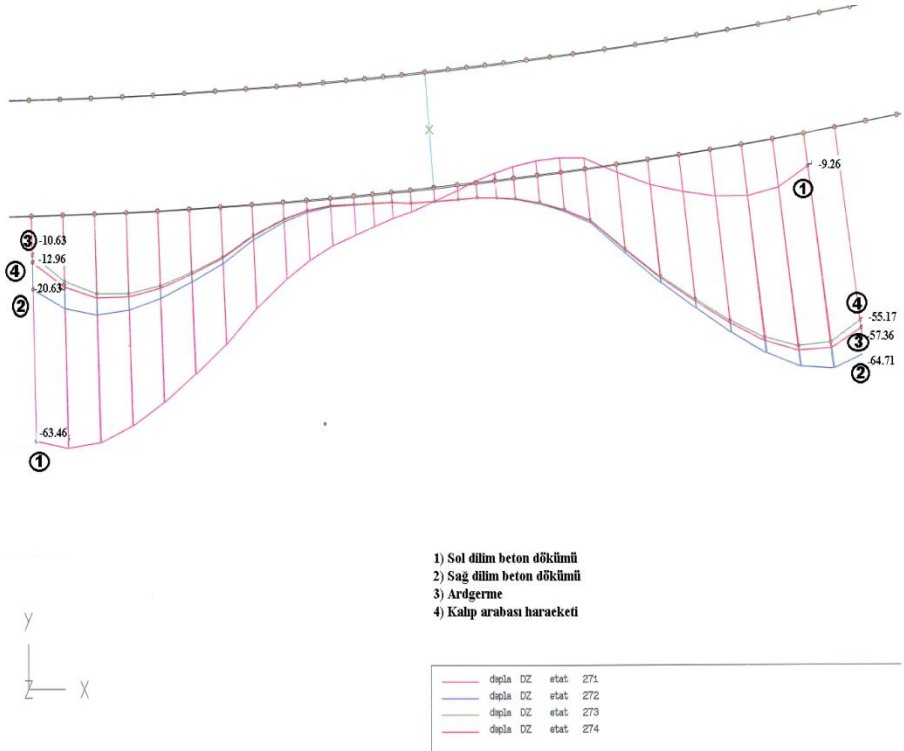
Köprü dilimlerinin oluşturulması Şekil 5'te gösterildiği gibi üç farklı metotla tanımlanabilmektedir. Bu viyadük döküm eğrisi için, ST1 modelinde yerinde dökme tekniği kullanılmıştır. Bu yöntem doğrudan döküm eğrisinin bulunmasını sağlayacaktır.



Şekil 5. Yeni dilim ekleme yöntemleri.

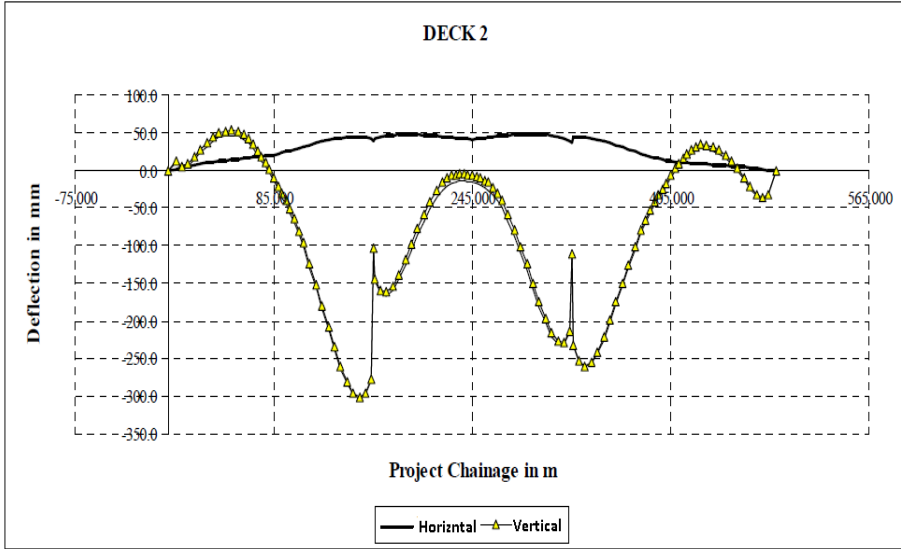
Dengeli konsol köprülerde, açıklık boyutuna ya da inşaat şartlarına göre bir ya da daha fazla konsol altına geçici ayaklar konulabilir. Amasya Şehzadeler Viyadüğü'nde, P3 ayağının sol tarafındaki konsolun altına geçici ayak teşkil edilmiştir. Ayak, tasarımcı tarafından tabliyenin konsol olarak uzun süre kalması istenmediğinden dolayı bu süre zarfında yapacağı deformasyonun sınırlandırılması amacıyla konulmuştur. Başlangıçta düşünülmeyen bu durum sonrasında, beton döküm eğrisi geçici ayak gözetilerek yenilenmiştir.

ST1 modelinde viyadük tabliyesinin döküm ve germe işlemlerinden nasıl etkilendiği Şekil 6'da görülmektedir. Buna göre konsol aşamalarında: "1" ile işaretlenen eğride köprünün önce sol dilim betonu dökülmekte, sonrasında "2" ile işaretli eğride sağ dilim dökülüp "3" ile işaretli eğride de ardgerme tendonları gerilmiştir. Son aşamada da, "4" ile işaretli eğri kalıp arabasının bir sonraki dilim için hareket etmesi ile oluşmuştur. Görülen deformasyon değerleri milimetre cinsindedir. Şekil 6'da da görüleceği gibi, sağ tarafa beton dökümü sonrasında yaklaşık 50 mm'lik bir deplasman oluşmakta ve tendonların gerilmesi ile de her iki uç dilim yaklaşık 10'ar mm yukarı doğru hareket etmektedir.



Şekil 6. ST1 modelinde aşamalar ve deplasmanlar.

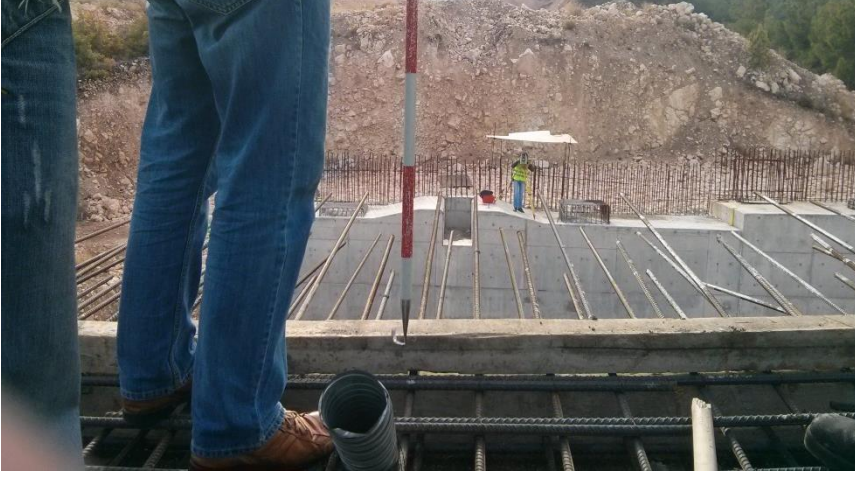
Modelde, bütün dilimlerin dökülmesi ve kapatma dilimleri de eklendikten sonra asfalt, bordür gibi ilave zati yük tanımları eklenmiştir. Köprü bütün inşaat aşamaları tamamlanmasının ardından zaman etkisine maruz bırakılmıştır. Buna göre köprü'nün belirlenen limit zamanda (10,000 gün sonra) yapacağı deformasyon bulunmuştur. Şehzadeler Viyadüğü için yapılan ST1 modeline ait 10,000 gün sonundaki deformasyon eğrisi Şekil 7'de paylaşılmıştır.



Şekil 7. Şehzadeler Viyadüğü 10,000 gün sonundaki deplasman eğrisi.

ST1 programının sunduğu sonuçlardan faydalanılarak her bir adımda köprü tabliyesinin yapacağı deformasyonları gösteren "deplasman piramidi" oluşturulur. Böylece, sahada yapılacak uygulama ile öngörülen deplasmanların takibi sağlanır. Kalıba verilecek sehimi gösteren döküm eğrisi (kalıp kotu) yukarıda verilen deformasyon eğrisinin tersine eşittir. Sahada yapılacak uygulamada, bu döküm eğrisine ayrıca deneysel olarak belirlenen kalıp arabasının yapacağı deformasyon değerinin eklenmesi gerekmektedir. Daha sonra sahada alınacak kalıp arabası sehimi sonuçlarına göre bu değer değiştirilip gerçek sehimi sonucu kullanılır.

Bunun yanı sıra program çıktısından elde edilen sonuçlar ile sahadan gelen sonuçlar arasında farklar olabilmektedir. Bu farkları takip edebilmek ve kontrol altında tutabilmek amacıyla sahada her aşama öncesi ve sonrasında kot okumaları yapılması gerekmektedir. Yapılan okumalar kayıt altında tutulmalı ve hem kalıp arabasının hem de tabliyenin yaptığı yer değiştirmeler bir tablo altında toplanmalıdır. Böylelikle gerçek değerler ile beklenen değerlerin karşılaştırılması yapılabilecektir.



Şekil 8. Şehzadeler Viyadüğü kalıp kot okuması.

Kontrollü kot okumaları için öncelikle sabit bir referans noktası kabul edilmeli ve bütün okumalar bu noktaya göre yapılmalıdır. Kalıp ve tabliye üzerinde birden fazla kontrol noktası oluşturulmalıdır. Şehzadeler viyadüğünde kabul edilen referans noktası Şekil 8. de görülmekte olan kenar ayak üzerindeki sabit bir noktadır. Sıcaklık farkının tabliye üzerindeki etkilerini azaltmak amacıyla bütün okumaların sabah saatlerinde benzer sıcaklıklar altında yapılması ve bu sıcaklık değerlerinin de kayıt altında tutulması daha doğru sonuçlar verecektir.



Şekil 9. Şehzadeler Viyadüğü inşaat sırasında genel görünüşü.

Yapılan ölçümler sonunda uygulama ile hesapta öngörülen teorik değerler arasında sapmalar olabilmektedir. Böyle durumlarda bir sonraki dilim için hazırlanan kalıpta ayarlamalar yapılarak tabliye istenilen kota getirilebilir. Ancak sahadan alınan ölçümler ile deplasman piramidinin tutarlı olması gerekmektedir. Şantiyede yapılacak düzeltmeler için öncelikle bilgisayar modelinin gözden geçirilmesi ve deplasman piramidinin tekrar oluşturulması gerekecektir.

Amasya Şehzadeler Viyadüğü inşası sırasında şantiye koşullarında yapılacak değişiklikler için hazırlanan modeller ve hesap raporları Tekta Mühendislik tarafından revize edilmiş ve uygulamalar TCK tarafından kontrollü şekilde devam etmektedir. Ayrıca sahada yapılan ölçümler ile hesap modelinin bir birine paralel gidebilmesi için gereken şartlardan biri de hesap modelinde öngörüldüğü gibi bütün aşamalarda ilk betonu dökülecek konsol diliminin aynı tarafta olması gerekliliğidir. Şehzadeler Viyadüğüne ait inşaat sırasındaki genel bir görünüş Şekil 9'da görülmektedir.

Sonuçlar

Bu çalışmada, yerinde dökme dengeli konsol metodu hakkında genel bilgiler verilmektedir. Ayrıca, inşası devam etmekte olan Şehzadeler Viyadüğü örnek çalışma olarak paylaşılmıştır. Dengeli konsol yönteminde hem inşa aşamasında hem de kullanım ömründe önemli bir yere sahip olan beton döküm eğrisinin oluşturulması ve takibi de bu örnek üzerinden anlatılmıştır. Buna göre, yerinde dökme dengeli konsol köprü inşası sırasındaki inşaat aşamaları aslına uygun öngörülmesi ve bilgisayar modeli oluşturulmalıdır. Gerekli görülen hallerde de sahadaki değişiklikler modele aktarılarak sonuçlar mevcut durumu yansıtacak şekilde güncellenmelidir. Dilimsel dengeli konsol yöntemiyle büyük açıklıklar, kalıp arabası sistemi sayesinde kolaylıkla ve randımanlı bir şekilde geçilebilmekte ve estetik köprüler oluşturulabilmektedir. Ancak, döküm eğrisi hesabına ve kontrolüne gerekli önem verilmelidir.

Kaynaklar

1. Karaesmen, E., (2002) "Ardgermeli Beton ve Yeni Çözümler", Freyşaş-Freyssinet Yapı Sistemleri San. A.Ş., İstanbul.
2. SETRA (2007) "Design Guide Prestressed Concrete Bridges Built Using the Cantilever Method", Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes, Fransa
3. SETRA (2013) ST1 Version 23.
4. ODTU (2014) "Türkiye Köprü Mühendisliğinde Tasarım ve Yapıma İlişkin Teknolojilerin Geliştirilmesi Teknik Kılavuzları", Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.

Anahtar Sözcükler: Dengeli konsol, yerinde dökme, döküm eğrisi, ST1, kalıp arabası.