

BOŞLUKLU BETONARME PLAK KÖPRÜLERİN ANSYS YAZILIMIYLA ANALİZİ

Yaşar UĞUR*, Oktay CAFEROV ** ve Ali KOÇAK***

* Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri.

** Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, Kayseri.

*** Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

ÖZET

Köprüler İnşaat Mühendisliği tarihindeki en önemli uygarlık yapıları arasında yer alır. Ayrıca toplum üzerinde büyük etkisi vardır. Bu çalışmada; Tek Açıklıklı, Basit Mesnetli, Betonarme, Boşluklu Plak Köprülerin; Wetergaard ya da Guyon-Massonnet yöntemi gibi oldukça zaman alıcı yöntemlere kıyasla hızlı, kolay ve güvenilir çözümler sunan ANSYS yazılımı ile analizi sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Köprüler, Boşluklu plak köprüler, Sonlu elemanlar Yöntemi.

ABSTRACT

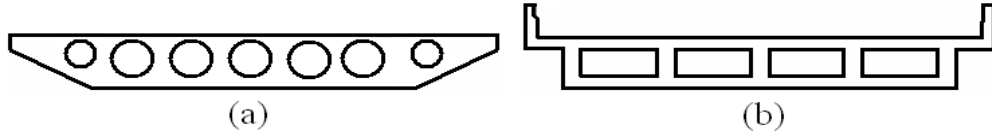
Bridges are one of the most important civilization works in the history of Civil Engineering. Besides bridges have an immediate impact upon public. In this paper; analysis of single span, simply supported, reinforced concrete voided or cellular plate slab bridges with ANSYS program which have advantages comparing with Wetergaard or Guyon-Massonnet methods is presented.

Keywords: Bridges, Voided and Cellular Plate Bridges, Finite Element Method.

1. GİRİŞ

Köprüler; akarsu, vadi, bir başka yol veya demiryolu gibi engelleri aşmak için yapılan; üzerinden karayolu, demiryolu, yaya yolu, su yolu veya tesisat hattı geçen; kenarlarda kenar ayaklara, varsa ortada orta ayaklara oturan mühendislik yapılarıdır [1 ve 2]. Köprüler kullanılan malzeme cinsine, açıklıklarına, yapısal formlarına, yük taşıma biçimine ve döşeme tiplerine göre çok çeşitlidir. Kısa açıklıkların geçilmesinde kirişli köprülerin yanı sıra plak (döşeme) şeklindeki köprülerin kullanımı uygun olmuştur ve zamanla kısa açıklıklarda plak köprüler kirişli

köprülerin yerini almıştır. Şekil 1’de boşluklu plak köprülere ait iki adet şematik en kesit verilmiştir.



Şekil 1. (a) Boşluklu, (b) Hücresel betonarme plak köprü şematik en kesitleri.

Basit köprü üst yapılarında döşeme plağı yük taşıyıcı elemandır. Her iki yöndeki açıklık kabiliyeti ve yüksek dayanımından dolayı noktasal yüklerin dağıtılmasında biçim bakımından çok uygundur. Plak köprüler betonarme veya öngerilmeli beton olarak yapılabilir. Dolu gövdeli ya da boşluklu plak alt yapı üzerine oturtulur. Plak köprülerin açıklık limiti (sınırı) yükün büyüklüğüne bağlıdır ve yapım maliyeti, malzeme ve işçilikle ilgilidir [1 ve 2]. Yerinde dökme beton plak döşemeler mesnet elemanları ile birlikte yekpare olarak dökülür.

Betonarme köprü döşemeleri bilinen analiz yöntemleri veya deneysel analiz yöntemlerinden elde edilen analiz yöntemleri yardımı ile tasarlanır. Analiz, plak biçimini, mesnet şartlarını ve plak rijitliğini hesaba katmalıdır.

Plak Köprülerin; Düşük açıklıkta sığ derinlik, Geometrik esneklik, Temiz ve cazip görünüş, İyi yük dağıtma sistemi, Gerilme ve burulma rijitliği, Az bakım gerektirmesi gibi unsurlar olumlu yönleridir. Ancak; Fazla sabit yük, Orta derinlikte malzeme kullanımı yetersizliği, Boşlukların bakımı problem olabilmesi ve Öngerilmeli ise bazen onarılamaması gibi unsur olumsuz yönleridir. Yüksek sabit yük etkisi derinlikte uygun varyasyon sağlayarak ya da boşluklar bırakılarak azaltılabilir. Yerinde döküm plak köprüler 6–30 m açıklıkta uygundur. 10 m’ye kadar açıklıklarda sabit derinlikli dolu gövdeli betonarme plak köprüler kullanılır. 8 m’nin üzerinde betonarme dolu gövdeli plaklarda, 0.60 m derinlik uygundur.

Boşluklu plak köprüler köprünün sabit yük ağırlığını azalttığı için tercih edilebilir. 10 m’den 15–20 m’e kadar açıklıktaki boşluklu betonarme plaklarda 1.2 m derinlik uygundur. 15–30 m boşluklu öngerilmeli plaklarda 1.5 m’ye kadar plak kalınlığı uygundur. Boşluklar genelde dairesel veya dikdörtgendir. Boşlukların derinliği plak derinliğinin %60-%80’ arasında olması uygundur ve plak tek bir levha gibi davranır. Boşluklar bu sınırı aşınca plak hücresel döşeme gibi davranır. Boşluklar açıklık boyunca yapılabildiği gibi, sadece açıklık ortası boyunca da yapılabilir. Bu durumda mesnetlere yakın yerlerde kesme kuvvet değerini karşılamak için yapı dolu gövdeli yapılır [3 ve 4].

Hücresel yapılarda hücre burulmasının ihmal edilmesi hareketli yük, moment ve gerilmelerin de çok ciddi eksik tahminler yapılmasına sebep olacağı genel bir yargıdır. Ancak boşluklu plak durumunda hücre burulmasının etkisinin dikkate alınması konusundaki görüşler farklıdır. Bazıları boşluklu plaklarda enine hücre burulmasının ihmal edilmesi fikrini sürdürürken, bazıları analizlerde bu burulmanın da hesaba katılması fikrini savunmaktadır [3 ve 4]. Hücresel ve boşluklu plak köprülerin en kesitlerinin deformasyon biçimi özel dikkat gerektirir, çünkü bunun köprünün yük dağıtma karakteristiği üzerinde önemli etkisi vardır [4].

2. KÖPRÜLERE ETKİYEN YÜKLER

Köprüleri etkileyen yükler; taşıyıcı elemanların kendi ağırlığı, kalıcı sabit yükler, hareketli yükler, sıcaklık, rüzgâr, fırtına ve deprem yükler ve köprü üzerindeki

frenleme, demeraj (ilk hareket), merkez kaç kuvveti ve çarpışma sonucu ortaya çıkan diğer yüklerdir [1, 2 ve 5]. Bu yük değerleri genellikle ülkelerin şartnamelerinden alınır. Ülkemizde köprü tasarımında dikkate alınacak yükleri; burada TCK Şartnamesi olarak anılacak olan; “Karayolları Genel Müdürlüğü, Yol Köprüleri için Teknik Şartnamesi” düzenler [6]. İngiliz BS 5400 ve Amerikan AASHTO şartnameleri ise dünyaca kabul görmüş diğer önemli şartnamelerdir [7 ve 8]. Taşıt ağırlıkları, yükün dingillerden tekerleklerle aktarılmasıyla tekil yük olarak ya da eş değer şerit yükü olarak etki ettirilir. AASHTO şartnamesine göre hareketli yükler; Standart Kamyon Dingil Yüğü, Standart kamyon katarına eş değer olan Eş Değer Şerit Yüğü ve Askeri yüklerdir. Plak köprüler genellikle kent içi alt ve üst geçitlerde yapıldığı için bu çalışmada hareketli yük olarak kent içine girmesine izin verilen H₂₀S₁₆ standart kamyon yükü dikkate alınmıştır.

3. KABULLER

Bu çalışmada yapılan kabuller şunlardır. (a) Plak kalınlığının orta noktalarının geometrik yerleri bir düzlem oluşturur ve plak geometrisi başlangıçta düz konumda olup Plak üzerine gelen yükler plak orta düzlemine diktir. (b) Plak kalınlığı, diğer boyutların yanında çok küçüktür. (c) Sehimler bir başka deyişle plak düzleminde oluşacak olan çökmeler, plak kalınlığı yanında çok küçüktür. (d) Malzeme homojen, izotrop ve Hook yasasına uyan lineer-elastik malzemedir. (e) Saint Venant ilkesi geçerlidir. Buna göre ele alınan modelde statik değişiklikler dar bir bölge içerisinde kalmaktadır. (f) Bernoulli-Navier hipotezi geçerlidir. Düzlem kesitlerin, deformasyondan sonra da düzlem kalmaya devam edeceği ve elastik eğriye dikliğini koruduğu kabul edilecektir. (g) Kirchhoff – Love Hipotezi geçerlidir. Bir başka deyişle plak orta düzlemine dik bir doğru üzerinde bulunan noktalar şekil değiştirmeden sonra da şekil değiştirmiş şeklin orta düzlemine dik kalır. Bu nedenle Plak düzlemindeki kuvvetlerin etkisi altında plak orta düzleminde bir başka deyişle tarafsız düzlemde deformasyon olmadığı kabul edilir. (h) Plak orta düzlemine (tarafsız eksenine) dik doğrultudaki σ_z normal gerilmeleri, σ_x ve σ_y gerilmeleri yanında yok denebilecek kadar küçüktür. Bu sebeple σ_z sıfır alınabilir. (g) σ_z ve μ sıfır’a eşit olduğundan $\varepsilon_z \approx 0$ alınabilir. (i) Yukarıdaki varsayım gereğince $\varepsilon_z \approx 0$ alınabilir. Ayrıca $\sigma_z \approx 0$ ve $\mu \approx 0.20$ olduğundan $\varepsilon_z \approx 0$ alınabilir. (j) Plak düzlemindeki kuvvetlerin etkisi altında plak orta düzleminde (tarafsız ekseninde) deformasyon olmadığı kabul edilir. Böylece birim boy ve açı değişimleri yaklaşık sıfır kabul edilir [9 ve 10].

4. BOŞLUKLU VE HÜCRESEL PLAKLARIN ANALİZİNE İLİŞKİN ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Massonet (1950), ve Cusens ve Pama (1969) Ortotropik plak teorisi ile ilgili olarak yaptığı çalışmalarda; yapı iki ortogonal doğrultuda farklı yapısal özellikler taşıyan sürekli ortam olarak idealize edilmiştir [3 ve 4]. Kaymadan ya da kesme etkisinden kaynaklanan deformasyonlar ihmal edilmiştir. Bu yöntem sadece başlık ve ağların yerel dönmelerini önlemek için yeterli sayıda enine diyaframları olan hücresel yapılarda uygulanabilir. Boşluklu plak köprülerde ise yüklemenin köprü genişliğinin 2/3’ünü kaplaması durumunda ortotropik plak teorisi doğruluğu kabul edilebilir sonuçlar vermektedir [4].

Massonet ve Gandolfi (1967) enine hücre burulması etkisini eşdeğer kesme alanı ile idealize eden ilk kişilerdir [3 ve 4]. Aster (1968) çatlamayan boşluklu plaklarda, onlara enine hücre burulmasını hesaba katmak için, enine eğilme rijitliği değiştirilmiş ortotropik plaklar gibi davranarak lineer elastik analizlerinin yapılabileceğini önermiştir [3 ve 4].

Robertson ve çalışma arkadaşları (1970), Massonet ve Gandolfi'ye benzer olarak karşılıklı iki kenarından mesnetlenmiş kesme dayanımsız plakların analizi için oldukça basit bir çözüm yöntemi önermiştir [3 ve 4].

Basu ve Dawson (1970) ile Arendts ve Sanders (1970) hücresel köprünün sandviç plak olarak idealize edilebileceğini ortaya koymuş ve Dinamik relaksasyon tekniğini kullanan sonlu farklar metodu ile plak denkleminin çözümünü önermişlerdir [3 ve 4]. Her iki yöntemin de deneysel sonuçlarla karşılaştırılması sonucu hücresel yapıların davranışlarını gerçekçi olarak ortaya koyduğu görülmüştür [3 ve 4].

Sawko ve Willcock (1967) değişken kesit özellikleri ve bir kaç diyafram içeren hücresel yapıları analiz etmek için, ortogonal olarak bağlanmış kirişleri birleştirerek ızgara idealizasyonunu kullanmıştır. Yaptıkları çalışmada ızgara analojisi sonuçlarını model sonuçları ile karşılaştırmışlar ve birkaç enine diyafram içeren hücresel yapıların enine hücre burulmasını hesaba katmayarak ızgara analojisi yöntemi ile boşluklu plakların analiz edilebileceğini ispatlamışlardır [3 ve 4].

Hook ve Richmand (1970) hücresel yapıların analizi için kesme dayanımsız enine kirişleri birleştirerek bir kafes analojisi oluşturmuştur. Bu analojide, boşluklu plak köprü köşegen kafes kirişler içeren iki boyutlu kiriş kurulumu ile idealize edilmiştir [3 ve 4].

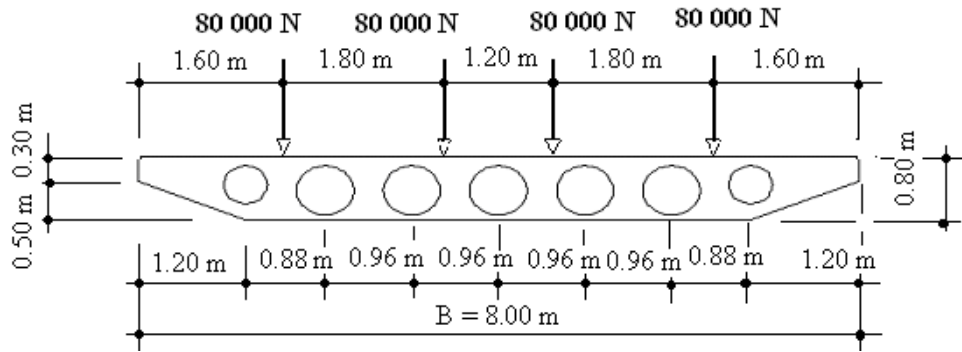
Sonlu Elemanlar Yöntemi ile birlikte Sawko ve Cobe (1969), Davies ve çalışma arkadaşları (1971), Crisfield (1971) ve McNeice (1974) boşluklu ve hücresel yapıların Sonlu Elemanlar Yöntemi ile çözülebileceğini gösteren araştırmacılar olmuştur[3 ve 4].

Sonlu Elemanlar Yönteminden başka Sonlu Şeritler Yöntemi ve Katlanmış Plak Analojisi gibi yöntemlerle de çeşitli çözümler üretilmiştir [3 ve 4]. Teori ile ilgili daha ayrıntılı bilgi Caferov (2005)'un çalışmasında bulunabilir [11].

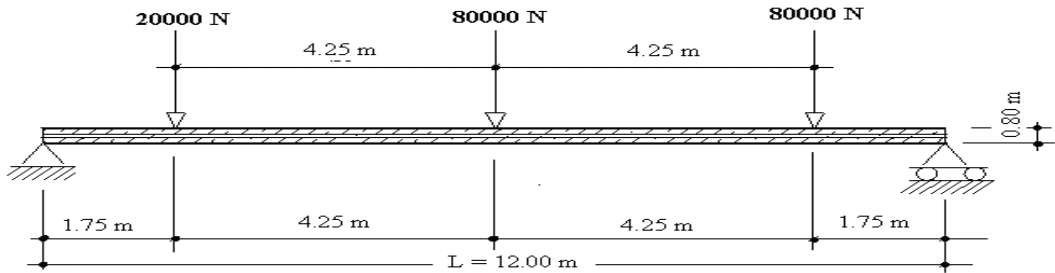
5. BOŞLUKLU PLAK KÖPRÜLERİN ANSYS YAZILIMI İLE ANALİZİ

Bu çalışmada, ANSYS ile plak köprülerin analizinde yapının kendi ağırlığı, kalıcı ölü yükler ve taşıt tekerlek yüklerinden etki eden hareketli yükler etki ettirilerek oluşan gerilme, yer değiştirme ve şekil değiştirme değerleri üç boyutlu analizlere tabi tutularak değişik ölçülere sahip boşluklu plak köprüler incelenmiştir. Boşluklu plak köprülerin mesnetlere yakın kısımları kesme kuvvetini karşılamak amacı ile dolu gövdeli olarak modellenmiştir. Yapının ağırlığı, köprü en kesitinin atalet momenti, kullanılan malzeme olarak betonun elastisite modülü ve poisson oranı, köprü kalınlık değerleri girilerek yapı modeline tanıtılmıştır. Köprü geometrik ölçüleri (genişlik, açıklık, ve kalınlık) birim olarak (m), atalet momenti değerleri birim olarak (m^4), yapı ağırlığı birim olarak (N) ve betonun elastisite modülü birim olarak (N/m^2) olarak girilmiştir. Taşıt yüklerinin etkisini dikkate alırken TCK Köprüler Teknik Şartnamesine (1982) uyularak yükleme yapılmıştır [6]. Plak köprüler genellikle şehir içi köprüler olarak yapıldığı için kamyon sınıfı olarak kent içine girmesine izin verilen $H_{20}S_{16}$ kamyon yüklemesi seçilmiştir. Taşıt yükleri yapıya bilgisayar ortamında (y) eksenini doğrultusunda etki ettirilmiştir. Taşıt ön tekerleklerinden 20 000 N, orta ve arka tekerleklerden ise 80 000 N'luk kuvvet etki ettirilmiştir. TCK

şartnamesinde taşıt ön, arka ve römork tekerlekleri arasındaki uzaklık 4.25 m olarak verilmiştir. Kamyonun kasadan kasaya kadar olan genişliği 3.00 m, tekerlek aks mesafesi 1.80 m olarak alınır. Tekerlek yükleri köprüye tekil yük olarak etki ettirildiğinden 1.80 m aks mesafeleri ve 4.25 m olan ön ve arka tekerlekler arası mesafeler de bilgisayar ortamında modellemeye dikkate alınmıştır. Çalışmada incelenen köprü tipi tek açıklıklı köprüler olduğundan elverişsiz durum olarak taşıt dingil eksenini ile köprü ekseninin çakışma durumu göz önünde bulundurulur. İki ve daha fazla şeritli yüklemelerde taşıtların hepsinin dingil eksenini ile köprü ekseninin çakışma durumu dikkate alınır. Yine de taşıtların ön ve arka tekerlekleri arası mesafe 4.25 m olma kabulü geçerlidir. Taşıtlar arası mesafe daha doğrusu bir taşıt tekerleği ile yanındaki taşıtın tekerleği arası mesafe ise 1.20 m' dir. Boşluklu plak köprünün en kesiti, boy kesiti ve yükleme durumu Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir.



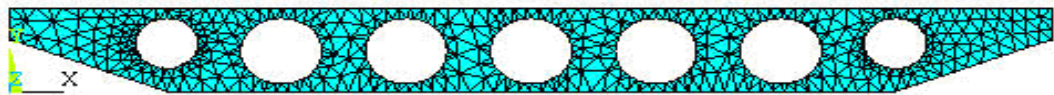
Şekil 2. Boşluklu plak köprünün en kesiti ve yükleme durumu.



Şekil 3. Boşluklu plak köprünün boy kesiti ve yükleme durumu.

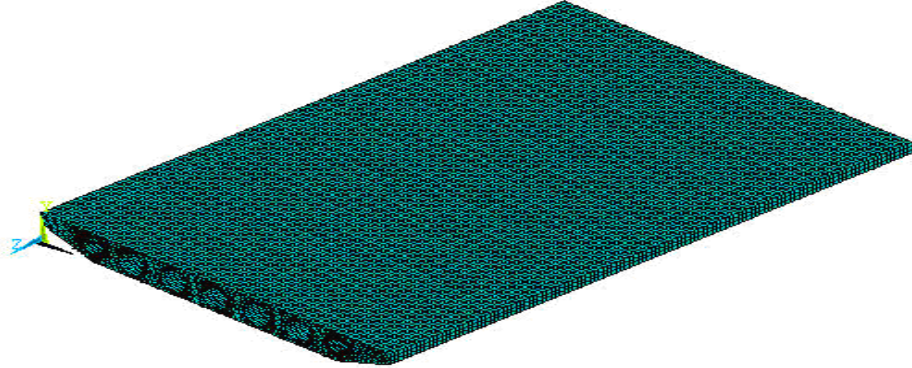
6. BOŞLUKLU PLAK KÖPRÜLERİN ANSYS YAZILIMI İLE KATI PLAK ELEMAN OLARAK MODELLENMESİ

Önce köprünün en kesit değerlerine göre anahtar noktaların koordinatları ve boşlukların koordinatları girilerek boşluklar oluşturulur. Bu boşluklar dolu kesitten çıkartılır ve dolu gövdeli yapı modellenir. Sonra kesit sonlu elemanlara bölünür. Kesitimizde boşluklar olduğundan ve bu boşluklar da boyuna doğrultuda devam ettiği için en kesit serbest olarak üçgen sonlu elemanlara ayrılmış ve eleman ağı (mesh) yapılmış ve model Şekil 4.'de verilmiştir.



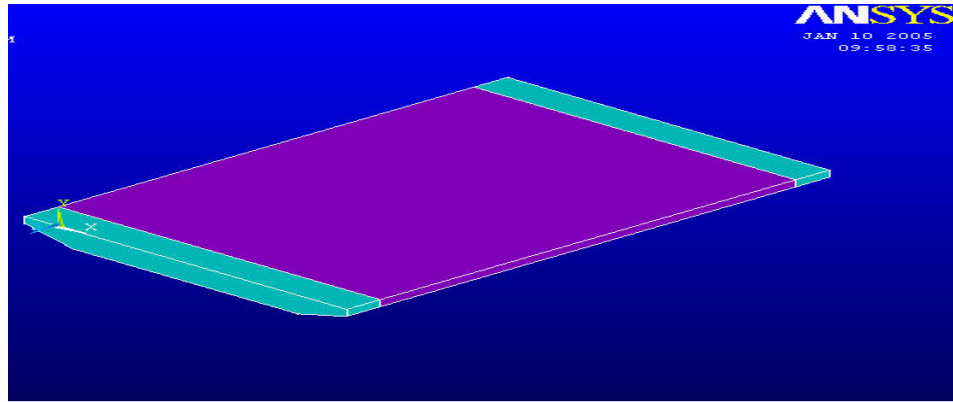
Şekil 4. En kesit alanının eleman ağlarına ayrılması.

Yapı modeli boyuna doğrultudaki uzunluğu kadar uzatılmış (10.332 m) ve bu değer oranında sonlu elemanlara ayrılması (120) uygun görülmüştür. Üçüncü boyutta (z) SOLID 45 tuğla elemanla meshlenerek Şekil 5’de verilen üç boyutlu model oluşturulmuştur [12].

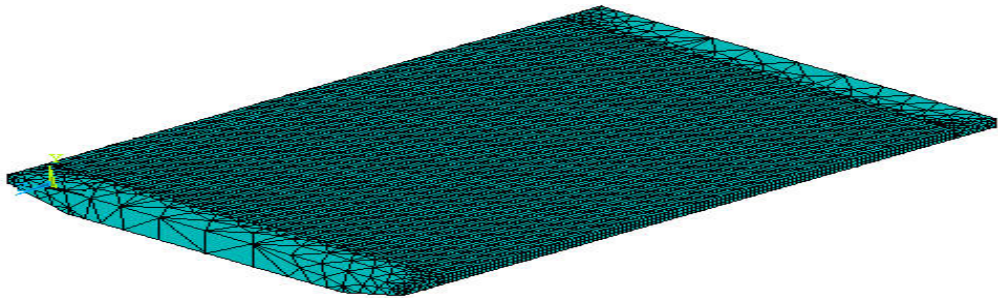


Şekil 5. Boşluklu modelin eleman ağlarına ayrılması.

Sonra yapının mesnetlere oturan kısımları dolu gövdeli yapılacağından bu kısımlar oluşturulur ve boşluklu kesitle birleştirilir. Köprü açıklığı 12 m olduğu için mesnetlere yakın kısımlar her iki taraftan 0.834 m olarak dolu gövdeli yapılmıştır ve bu durum Şekil 6’da gösterilmiştir. Dolu kesitler oluşturulduktan sonra bunlar da sonlu elemanlara ayrılır. Mesnetlere yakın kısımları dolu gövdeli ve orta kısmı boşluklu köprü modelinin sonlu elemanlara ayrılmış yeni hali Şekil 7’de verilmiştir.



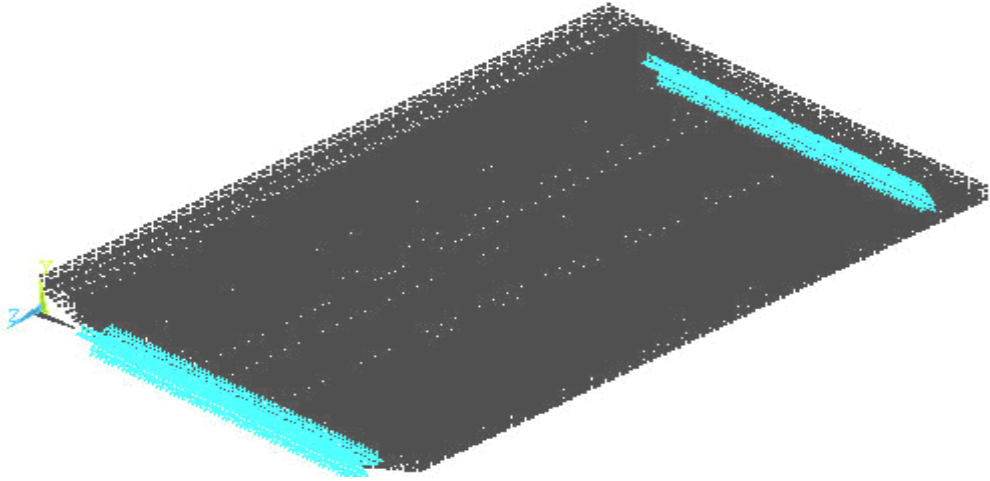
Şekil 6. Dolu ve boşluklu kısmın bir arada gösterimi.



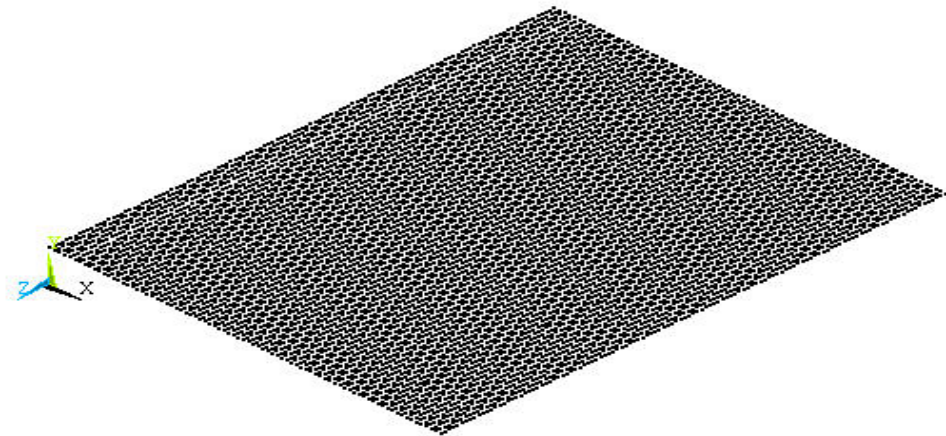
Şekil 7. Dolu ve boşluklu kısmın meshlenmesi.

Model bir tarafı sabit, karşı tarafı kayıcı mesnetli olduğu için bu mesnetleme koşullarına uyularak modelleme yapılmıştır ve aşağıda Şekil 8’de gösterilmiştir. Taşıt yüklerin etkidiği alan düğüm noktalarına Şekil 9’da gösterildiği üzere dönüştürülür ve Şekil 10’da gösterildiği biçimde yükler düğüm noktalara etki ettirilir. Yüklerin etki ettirilmesinde taşıt tekerleklerinin x, y, ve z eksenlerindeki konumları dikkate alınarak ön ve arka tekerleklerden gelen yükler düğüm noktalara tekil yük olarak etki ettirilir. Mesnetleme koşulları tanımlandıktan sonra yapıya etki eden yükler tanımlanır. Ön ve arka tekerleklerden gelen yükler modele etki ettirilir. Bu yükler taşıtın köprü üzerindeki konumuna göre tekil yük olarak düğüm noktalarına etki ettirilir. Ön tekerleklerden 20 000 N, arka tekerleklerden 80 000 N’luk yük etki ettirilmiştir.

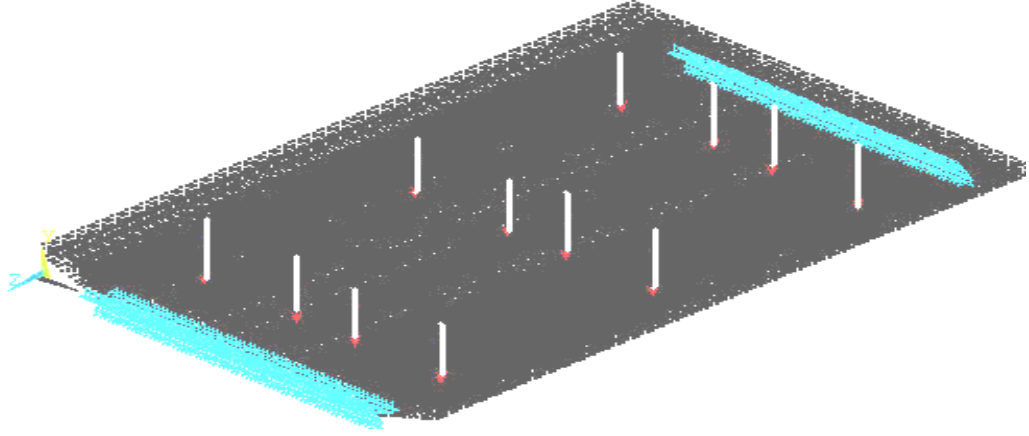
Köprü modeli etkileyen yükler ve kendi ağırlığı altında çözüme bırakılmıştır. Çözüm sonuçları olarak boyuna doğrultuda (z) ve enine doğrultuda (x) maksimum gerilme değerleri (N/m^2), boyuna doğrultuda (z) maksimum yer değiştirme (m) ve yükleme doğrultusunda (y) maksimum şekil değiştirme değerleri incelenmiştir.



Şekil 8. Modelin mesnetlenmesi.



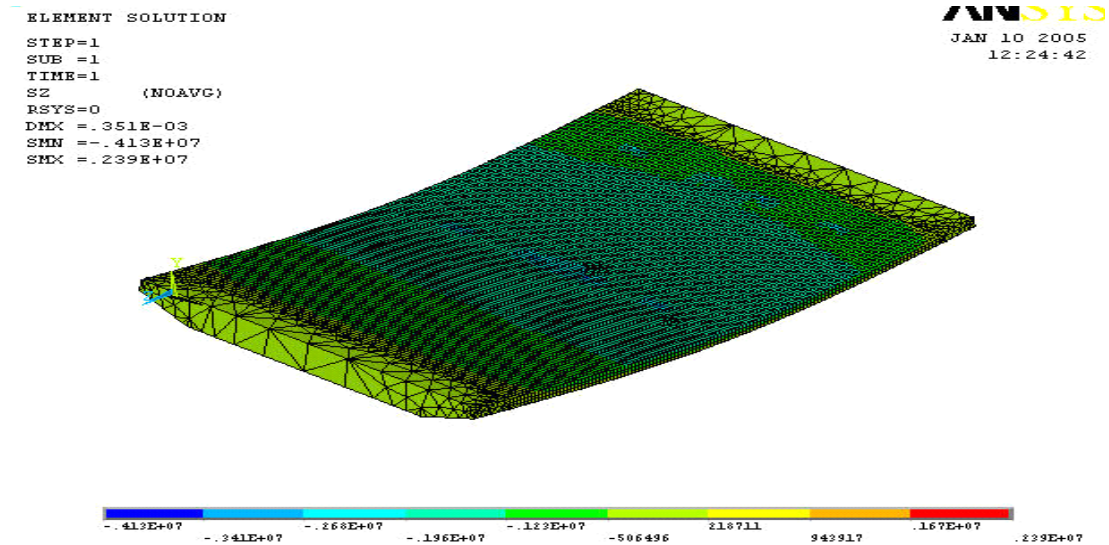
Şekil 9. Alanın düğüm noktalara dönüştürülmüş hali.



Şekil 10.Yüklerin etki ettirilmesi.

Sonuçlar aşağıdaki şekiller üzerinde verilmiştir. Şekillerde alt kısımda soldan sağa doğru maviden kırmızıya kadar renkler ve bu renkler üzerinde değerler vardır. Mavi renk minimum sonucu kırmızıya renk ise maksimum sonucu göstermektedir [12]. Ara değerler diğer renklerle gösterilmiştir, hesaplamalarda maksimum değerler ele alınacaktır. Taşıt tekerlek yükleri ve yapının kendi ağırlığı altında boyuna doğrultuda oluşan maksimum gerilme değeri köprü orta kısmında $\sigma_z = 2\,390\,000\text{ N/m}^2$ olarak bulunmuş ve Şekil 11’de gösterilmiştir.

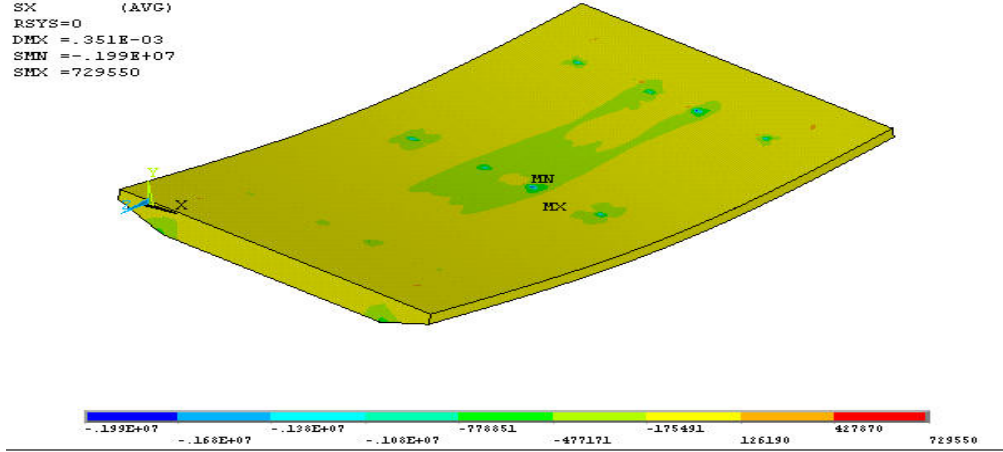
Yapı kendi ağırlığı ve taşıt yükleri etkisi altında oluşan enine doğrultuda (x) maksimum gerilme değeri köprü orta kesitinde oluşmuştur. Değeri $\sigma_x = 729\,550\text{ N/m}^2$ olarak bulunmuştur ve Şekil 12’de gösterilmiştir. Yükleme doğrultusunda (y) oluşan maksimum şekil değiştirme oranı (ϵ_y) köprü orta bölgesinde oluşmuştur. En büyük değeri $\epsilon_y = 0.266 \times 10^{-5}$ olarak bulunmuş ve aşağıda Şekil 13’de gösterilmiştir. Modelin bir kenarı sabit, karşı kenarı kayıcı mesnetli olduğu için taşıt yükleri etkisinde trafik yönünde, yani (z) eksenine doğrultusunda maksimum yer değiştirme değeri (u_z) incelenmiştir. Bu değer $u_z = 0.270 \times 10^{-6}\text{ m}$ olarak bulunmuştur. Maksimum olduğu yer sabit mesnete yakın bölgede oluşmuştur ve bu durum aşağıda Şekil 14’de verilmiştir.



Şekil 11. Boyuna doğrultuda oluşan maksimum gerilme (σ_z , N/m²).

NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SX (AVG)
RSYS=0
DMX =.351E-03
SMN =-.199E+07
SMX =729550

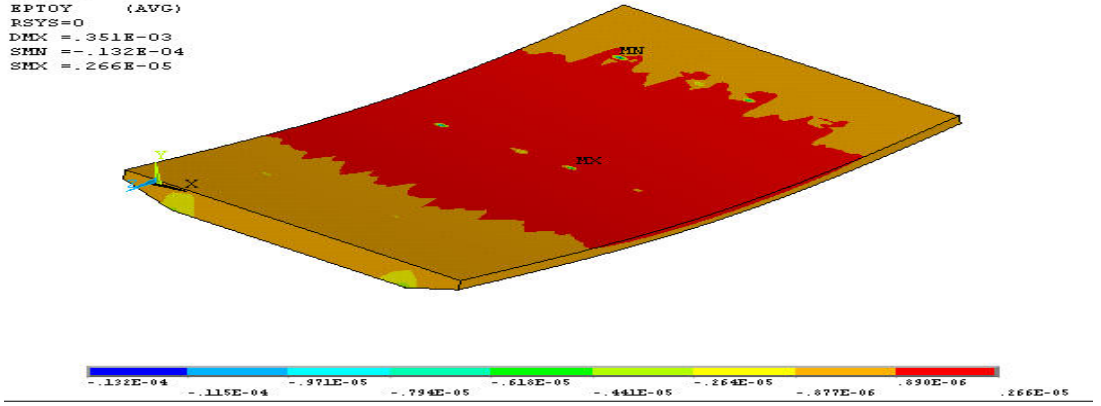
ANSYS
JAN 10 2005
12:03:46



Şekil 12. Enine doğrultuda oluşan maksimum gerilme (σ_x , N/m²).

NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
EPTOY (AVG)
RSYS=0
DMX =.351E-03
SMN =-.132E-04
SMX =.266E-05

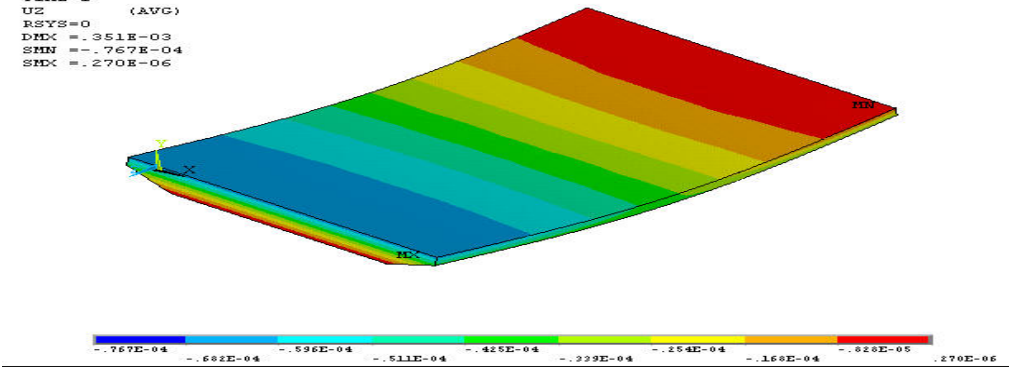
JAN 10 2005
12:08:24



Şekil 13. Yükleme doğrultusunda maksimum şekil değiştirme oranı (ε_y).

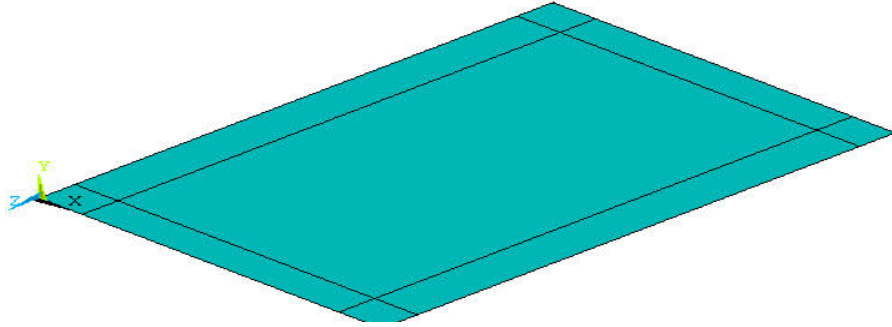
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
UZ (AVG)
RSYS=0
DMX =.351E-03
SMN =-.767E-04
SMX =.270E-06

JAN 10 2005
12:09:48



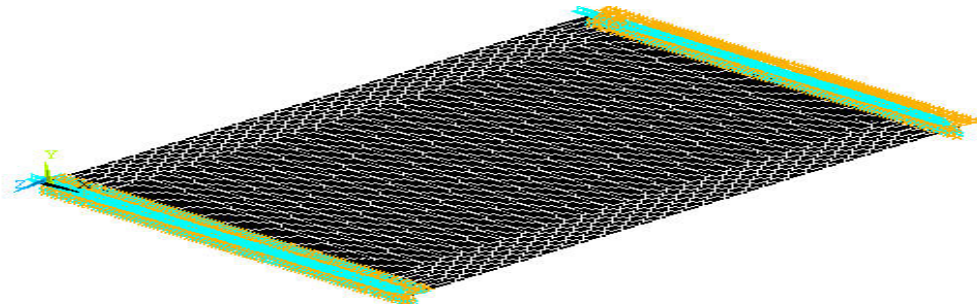
Şekil 14. Boyuna doğrultuda oluşan maksimum yer değiştirme (u_z , m).

Yukarıda boşluklu ve hücresel yapıların sandviç plaklar gibi idealize edildiğine ilişkin söz edilmiştir. ANSYS yazılımı aracılığı ile boşluklu plak köprü kabuk eleman olarak modellenenbilmektedir ve literatürde Sen (1994)'nin böyle bir çalışması mevcuttur [13]. Bu çalışmada plak köprünün kabuk eleman olarak modellenmesindeki amaç problemi yapay sınır ağlarında eğitmek için çok sayıda çözülmüş örneğe gerek duyulmasıdır. Bu hususta [11] numaralı kaynakçadan bilgi edinilebilir. ANSYS yazılımının kabuk elemanla modellenmiş köprü modelini katı plak elemanla modellenmiş köprü modeline oranla çok kısa sürede çözebilmesi kabuk elemanla modellenmiş köprü çözümüne başvurmamamıza neden olmuştur. Modellemede kabuk eleman olarak SHELL 63 elastik eleman seçilmiştir. Köprü en kesitinin atalet momenti (m^4), köprü kalınlığı (m), birim alana gelen ağırlık değeri (N) girilmiştir. Malzeme özelliği olarak ise betonun malzeme özellikleri olan elastisite modülü (N/m²) ve poisson oranı ($\mu=0.20$) tanıtılmıştır. Sonra köprü modeli sonlu elemanlara bölünerek düğüm noktalarına yükler etki ettirilmiştir. Bu aşamalarda katı plak olarak modellemedeki işlemler takip edilmiştir. Mesnetleme durumunda bir taraf sabit diğeri ise kayıcı olarak mesnetlenmiştir. Köprü modelinin kabuk eleman olarak modellenmesi Şekil 15'de gösterilmiştir.

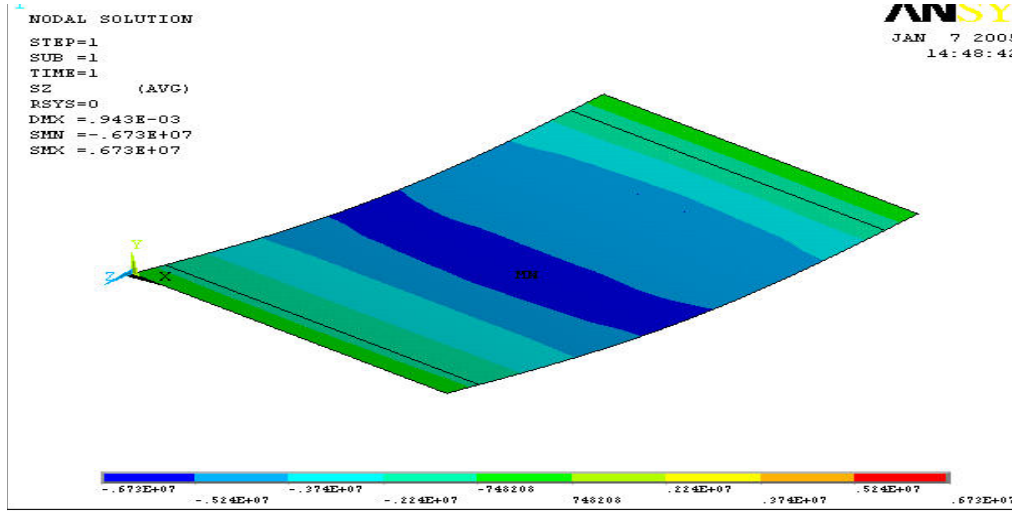


Şekil 15. Köprü üst yüzeyinin kabuk eleman olarak modellenmesi.

Sonra kabuk eleman sonlu elemanlara ayrılmıştır. Köprü genişliği (8.00 m) ve açıklığı (12.00) oranında model sonlu elemanlara bölünmüş ve Mesnetleme durumu modellenmiştir. Bu durum Şekil 16'da gösterilmiştir. Sonraki aşamada yapı mesnet şartlarına göre karşılıklı kenarlardan sabit ve kayıcı olarak mesnetlenmiştir. Taşıtın köprü üzerindeki konumu göz önünde bulundurularak yükler etki ettirilmiş ve köprü çözüme bırakılmıştır. Katı plak olarak çözülen örneklere benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür. Ancak katı plak olarak çözümün daha hassas sonuçlar verdiği görülmektedir. Boyuna doğrultuda oluşan maksimum gerilme (σ_z) değeri incelenmiştir. Bu değer $\sigma_z = 67\ 300\ 00\ \text{N/m}^2$ olarak köprü orta bölgesinde bulunmuştur ve Şekil 17'de gösterilmiştir.



Şekil 16. Köprü yüzey alanının sonlu elemanlara ayrılması ve mesnetleme durumu.



Şekil 17. Boyuna doğrultuda oluşan maksimum gerilme (σ_z , N/m²).

SONUÇ

Bu çalışmada ANSYS yazılımı ile köprü tasarımı menüsü yardımı ile tek açıklıklı, basit mesnetli, boşluklu betonarme bir plak köprünün üst yapı analizi yapılmıştır. Yapılan analizin uygunluğu Guyon-Massonet Yöntemi ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmış ve Çizelge 1’de verilen değerler elde edilmiştir [11]. Kıyaslama sonucu geliştirilen modelin uygunluğuna karar verilmiştir.

Çizelge 1. Guyon-Massonet ve ANSYS Sonuçları

Genişlik B (m)	Derinlik t (m)	Açıklık L (m)	Eğilme Momenti. (Guyon- Massonet) M_x (kNm/m)	ANSYS’ den Dönüştürülen Moment Sonuçları M_A (kNm/m)
8.00	0.80	12.00	685.352	606.521
14.40	1.10	20.25	3226.500	3814.636
14.40	1.20	20.58	3743.160	3515.240
16.80	1.20	24.00	4749.460	3566.472

KAYNAKÇA

- [1] Taly, N., “Design of Modern Highway Bridges”, Mc Graw-Hill, 1998.
- [2] Celasun, H., “Betonarme Köprüler ve Hesap Metotları”, Çağlayan Kitabevi, 1974.
- [3] Bakht, B., et al., The State of Art in Analysis of Cellular and Voided Slab Bridges, Can. J. Civ. Eng., 8, 376-391, 1981.
- [4] Bakht, B., et al., Cellular and Voided Slab Bridges, Journal of Structural Division, 117, 1797-1813, 1981A.

- [5] Gupta, A., “Internet Knowledge Base (IKB) for Bridge Engineering”, Indian Institute of Technology, New Delhi, April, 2003.
- [6] “Yol Köprüleri İçin Teknik Şartname”, Karayolları Genel Müdürlüğü, Yayın No:207, Ankara, 1982.
- [7] BS 5400:1988 “British Standart for Steel, Concrete and Composite Bridges”, London.
- [8] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Standard Specifications and Highway Bridges, Sixteenth edition, Washington, 1996.
- [9] Timoshenko, S., Woinowsky-Krieger, S., “Theory of Plates and Shells”, 1959.
- [10] Ugural, A.C., “Stresses in Plates and Shells”, McGraw-Hill, 2nd Ed., 1999.
- [11] Caferov, O; “Öngerilmeli Betondan Boşluklu Plak Köprülerin Yapay Sınır Ağları İle Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kayseri, 2005.
- [12] ANSYS, Swanson Analysis Systems, Inc., Houston, Texas, (Version 7.0).
- [13] Sen, R., et al., Finite Element Modeling of Continuous Posttensioned Voided Slab Bridges, Journal of Structural Engineering 120, 651-667, 1994.