

SANDIK KESİTLİ KÖPRÜLERİN ANALİZİ

Yaşar UĞUR*, İbrahim Ethem GÜLHAN ve Oktay CAFEROV **

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

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

ÖZET

Modern büyük açıklıklı köprü inşaatlarında çelik, betonarme, öngerilmeli betondan veya kompozit tek veya çok gözlü, tek ya da çok açıklıklı sandık kesitli köprüler yaygın olarak yapılmaktadır. Bu çalışmada; tek açıklıklı, basit mesnetli, betonarme, sandık kesitli köprülerin oldukça zaman alıcı bir çok konvansiyonel yöntemle göre hızlı, kolay ve güvenilir çözümler sunan Sonlu Elemanlar Yöntemi tabanlı SAP 2000 yazılımı ile analizi sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Köprüler, Sandık kesitli köprüler, Sonlu elemanlar yöntemi.

ABSTRACT

In some modern long spanned steel, reinforced concrete, prestressed concrete and/or composite bridges single or multi cellular box section girder bridges are used widely. In this study; analysis of single span, simply supported, reinforced concrete box girder bridges by Finite Element Analysis based SAP2000 software, is presented.

Keywords: Bridges, Box girder bridges, Finite element method.

1. GİRİŞ

En eski sanat ve mühendislik yapılarından biri olan köprüler; akarsu, vadi, demiryolu ve otoyollar gibi değişik coğrafi engelleri aşmak için kullanılan, üzerinden demiryolu, karayolu, yaya yolu veya iletim hattı geçirilmesine olanak sağlayan, iki ucundan kenar ayaklara, gerektiğinde öngörülen açıklık sayısına bağlı olarak orta ayaklara oturan yapılardır [1 ve 2]. Değişik malzeme ve biçimde çok çeşitli köprü tipleri vardır. Kutu ya da sandık kesitli köprüler bunlardan biridir. Şekil 1’de çeşitli şematik sandık kesitli kiriş en kesitleri verilmiştir.

Modern büyük açıklıklı köprülerde çelik, betonarme, öngerilmeli beton veya kompozit tek veya çok gözlü, tek ya da çok açıklıklı sandık kesitli köprüler yaygın olarak yapılmaktadır. Sandık kesitli kirişler büyük burulma rijitliğine sahiptir. Sandık kirişin eğilme yüklemesi sonucunda düşey gövdelere gelen etkiler enine çerçeve

sistem ile büyük ölçüde küçülür [1]. Her ne kadar bu davranış, en kesitin üniform olmayan çarpılmasını ve bu çarpılmadan doğan boyuna ve enine gerilmeleri artırsa da, en kesit deformasyonlarını önlemeye yönelik belirli aralıklarla konulan enine diyaframlar, enlemeler veya çapraz bağlantılar bu olumsuzluklar ortadan kaldırılabılır [1 ve 3].



Şekil 1. Çeşitli şematik sandık kesitli kiriş en kesitleri.

2. KÖPRÜLERE ETKİYEN YÜKLER

Köprüleri etkileyen yükler; taşıyıcı elemanların kendi ağırlığı, kalıcı ölü yükler, hareketli yükler, sıcaklık, rüzgâr, fırtına ve deprem yükleri ve köprü üzerindeki frenleme, demeraj (ilk hareket), merkez kaç kuvveti ve çarpışma sonucu ortaya çıkan diğer yüklerdir [3, 4 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 tekerleklere aktarılmasıyla tekil yük olarak ya da eş değer şerit yükü olarak etki ettirilir. AASHTO şartnamesine göre hareketli yükler; Standart Kamyon Dingil Yükü, Standart kamyon katarına eş değer olan Eş Değer Şerit Yükü ve Askeri yüklerdir.

3. KABULLER

Bu çalışmada yapılan kabuller şunlardır. (a) Malzeme homojen, izotrop ve Hook yasasına uyan lineer-elastik malzemedir. (b) Saint Venant ilkesi geçerlidir: statik değişiklikler dar bir bölge içerisinde kalır, (c) Bernoulli-Navier hipotezi geçerlidir: düzlem kesitlerin, deformasyondan sonra da düzlem kalır, (d) Kirchhoff-Love Hipotezi geçerlidir: elemanların orta düzlemine dik bir doğru üzerinde bulunan noktalar şekil değiştirmeden sonra da şekil değiştirmiş şeklin orta düzlemine dik kalır. Bu nedenle tarafsız düzlemde deformasyon olmadığı kabul edilir. (i) Plak orta düzlemine (tarafsız eksenine) dik doğrultudaki σ_z normal gerilmeleri σ_x ve σ_y gerilmeleri yanında yok denebilecek kadar küçüktür [9 ve 10].

4. SANDIK KESİTLİ KÖPRÜLERİN BAŞLICA ANALİZ YÖNTEMLERİ VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sandık Kesitli Köprülerin başlıca analiz yöntemleri şöylece özetlenebilir [1, 2, 3, 4, 11 ve 12].

Richmond Deplasman Yöntemi; Ebner ve Reisner’in çalışmalarına dayanmaktadır. Sandık kesit, başlık (flanşlar) ve gövdeden oluşmaktadır. Boyuna doğrultudaki eğilmeler sadece başlık (flanşlar) tarafından ve kayma etkileri de yalnızca gövdeler

tarafından karşıladığı kabul edilir. Ayrıca distorsiyonel etkiler enine diyaframlar (enlemeler) ile karşılanır ve sandık kesitin çerçeve rijitliği ihmal edilir.

Elastik Zemine Oturan Kiriş Yöntemi (BEF-Beam of Elastic Foundation); Elastik Zemine Oturan Kiriş ile distorsiyonel yük altındaki sandık kiriş arasındaki analogiyi ilk önce Vlaslov ortaya koymuştur. Daha sonra Wright tarafından geliştirilmiştir. Yöntem Elastik Zemine Oturan Kiriş'in diferansiyel denkleminin çözümüne dayanır. Bu analogide BEF sehimi sandık kirişin distorsiyon gerilmeleri ile, BEF eğilme momenti sandık kesitteki çarpılma gerilmeleri ile orantılıdır. Enine kesitin çerçeve rijitliği, BEF'in yay kat sayısına benzer.

Knittel Yöntemi; Sistem boyuna kenarları boyunca rijit olarak birleştirilen katlanmış plaklar serisi olarak düşünülmüştür. Bir gövde üzerinde etkiyen kuvvet belirli oranlarda diğer gövdelere aktarılır. Yük açıklık boyunca lineerdir ve fazla değişken değildir. Enine doğrultudaki eğilme tesirini göz önüne almak için sandık kiriş, boyuna doğrultuda beraber çalışan ve birinin diğerine etkisi olmayan çok sayıda benzer enine çerçeveler şeklinde düşünülmektedir.

Katlanmış Plak Yönteminde; hem tekil yük ve hem de yayılı yük için fourier serisinden meydana gelen bir harmonik çözüm kullanılır. İki ucu basit mesnetli sandık kirişli köprülerde ideal olarak uygulanabilir. Köprü boyuna gözler boyunca rijit bağımlı dikdörtgen plak serileri olarak düşünülür. Her plak, önce bağımsız olarak plak düzlemine dik yükler için elastik ince plak teorisi ile ve plak düzlemindeki yükler için levha teorisi ile çözülür. Çözüm elastik teorinin kabulleri ile tam uyuşur.

Sonlu Bantlar Yöntemi (FSM-Finite Strips Method); iki ucunda keyfi sınır şartları bulunan sistemlere uygulanabilir. Kullanılan esas sistem elemanı boyuna doğrultuda her plak elemanın sonlu sayıda bantlara bölünmesiyle elde edilen bir sonlu banttır. Bu sonlu bantların her biri, plağın boyuna ayrıtları arasındaki enine aralığa eşit bir genişliktedir. Çözüm açıklık boyunca bir enine bandın köprünün bir ucundan diğer ucuna kadar bağımlı olduğu esasına dayanan bir yöntem ile sağlanır. Köprünün iki ucu ve ara mesnetlerdeki sınır şartları problemin çözümünde gerekli tüm bilinmeyenleri çözmek için yeteri kadar denklemleri sağlar.

Sonlu Elemanlar Metodu (FEM-Finite Element Method); her plak düğüm noktalarında içten bağımlı (rijit) çok sayıda elemana ayrılır. Her düğümde 6 serbestlik derecesi vardır ve bunların her biri için bilinen kuvvet veya deplasman vardır. Her düğüm için kuvvet biliniyorsa ona karşılık gelen deplasman araştırılabilir. Bilinmeyen düğüm deplasmanlarının ve kuvvetlerinin tümünü bulmak için direkt rijitlik çözümü kullanılabilir. Bunlar bilinirse iç kuvvetler ve gerilmeler de hesaplanabilir. Bu yaklaşımda anahtar adım, her sonlu eleman için eleman rijitlik matrislerinin geliştirilmesidir. Bu yöntem keyfi yüklemeler ve sınır şartları için ve değişik malzeme ve boyutları olan sistemler için de kullanılabilir.

5. SANDIK KESİTLİ KÖPRÜLERİN SAP 2000 YAZILIMI İLE ANALİZİ

Bu çalışmada; tek açıklıklı, bir ucu basit diğer ucu kayıcı mesnetli, izostatik ve öngerilmeli betondan sandık kesitli köprüler, yapının kendi ağırlığı, kalıcı ölü yükler ve taşıt tekerlek yüklerinden etki eden hareketli yükler etkisi altında sonlu elemanlar yöntemi tabanlı SAP 2000 yazılımı ile iç kuvvetlerin analizi gerçekleştirilmiştir [13 ve 14]. Sonuçlar PTI - Post Tension Institute (ABD)'nin 1978 tarihli "Post Tensioned Box Girder Manuel – Ardgermeli Kutu Kesitli Kirişler El Kitabı" adlı yayınında

açıklanan yöntemin sonuçları ile karşılaştırılmıştır [15]. Karşılaştırma ile ilgili ayrıntılı bilgi [16] numaralı kaynakçadan bulunabilir.

SAP2000 V8.2.3 ülkemizde son yıllarda mühendislik camiasında itibar gören yazılımların başında gelmektedir.

Hareketli yüklerin etki edeceği şeritler üst yapı üzerinde; çubuk elemanlar üzerine tanımlanmıştır. Her bir şeridin yüklemeye doğan gerekli tüm tesirler çizgileri hesaplanarak yazılımın grafiksel ara yüzü kullanılarak görüntülenebilir. Sonra yazılımın menüsünde var olan standart ya da kullanıcı tarafından tanımlanacak olan özel taşıt yükleri belirlenir. Köprünün herhangi bir şeridi boyunca her iki doğrultuda da ilerleyen şeritler üzerinde maksimum ve minimum etkileri oluşturacakları en elverişsiz durumlar deneyerek otomatik olarak hesaplanır [13 ve 14].

4.1 Uygulama Adımları

Uygulama adımları şöylece özetlenebilir: (a) Köprünün yapısının çubuk elemanlar ile modellenmesi, (b) Gerekli malzeme özelliklerinin tanımlanması, (c) Mesnet şartlarının tanımlanması, (d) Köprüye etkiyecek yük sınıflarının tanımlanması, (e) Taşıt hareketli yüklerinin tanımlanması, (f) Yüklerinin etkiyeceği trafik şeritlerinin tanımlanması, (g) Bir veya daha fazla sayıda olan ve en elverişsiz durumu oluşturması için belirlenen taşıt sınıflarının tanımlanması, (h) Taşıt sınıflarının trafik şeritleri üzerindeki farklı kombinasyonlarını içeren hareketli yük analiz durumlarının tanımlanması, (i) Hareketli yük etkilerinin hangi düğüm ve çubuk eleman için hesaplanacağını kararlaştırılması şeklindedir.

4.2 Köprünün Modellenmesi, Veri Girişi ve Yazılımın Koşturulması

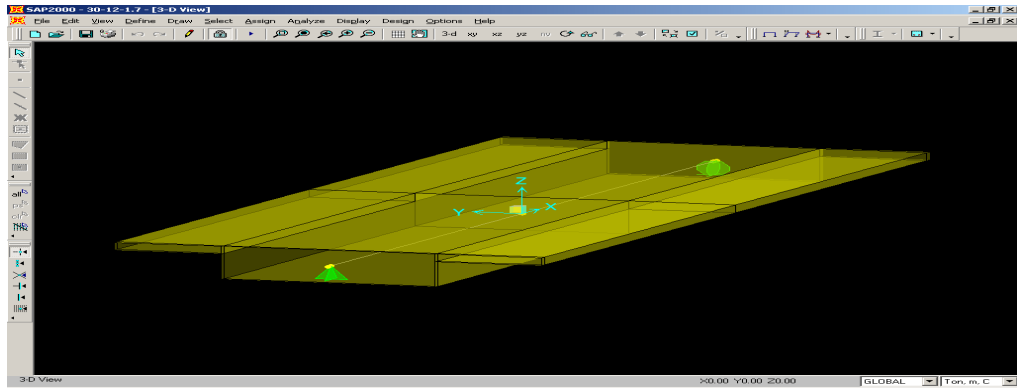
Köprü üst yapısının boyuna doğrultuda yatay, alt yapısının da düşey doğrultuda iki boyutlu modellenmesi yapılır. Modellemede çubuk elemanlar kullanılır. Etkiler çubuk elemanın iç kuvvetleri olarak hesaplanabilir. Modelleme için kabuk, düzlem ya da katı plak gibi elemanlar kullanılabilir ancak bu elemanlarda taşıt hareketli yükleri için analiz yapılamaz. Taşıt hareketli yükleri sadece çubuk elemanlara uygulanabilir. Yapıda bulunan bütün elemanların rijitlik üzerinde etkisi vardır ve yükün bir kısmını taşıma kapasitesine sahiptir. Diğer eleman türlerinin tanımlanmış olması ve bu elemanların alt yapı veya üst yapının davranışlarını etkiliyor olması çubuk elemanlardaki taşıt hareketli yüklerinden kaynaklanan iç kuvvetlerin yanlış hesaplanmasına neden olur. Bu yüzden, taşıt hareketli yüklerinden kaynaklanan eleman iç kuvvetleri, bir başka deyişle gerilmeler, sadece çubuk elemanlar için hesaplanabilmektedir [13 ve 14].

Sonra köprünün elemanlarının kesit özellikleri tanımlanır. Böylece elemanların toplam etkili rijitlik özellikleri belirlenebilir. Bu elemanlar temsil ettikleri elemanların asal eksenleri boyunca yerleştirilmelidir. Analiz sonuçları ile daha sonra kesitlerin gerçek tasarımında kullanılacak olan çubuk iç kuvvetleri ve eğime momenti değerleri elde edilir. Hareketli yük etkisi sadece tercih edilen elemanlar için hesaplanmalıdır.

Şeritler üst yapıda, çubuk elemanlar üzerinde tanımlanır. Bu şeritlerin birbirlerine göre konumları veya uzunlukları değişik olabilir. Böylece daha karmaşık trafik modelleri çözümlenebilir. SAP2000 V8.2.3 yüklenmelerden kaynaklanan bütün gerekli tesir çizgilerini hesaplar ve bu tesir çizgilerini grafiksel ara yüz olarak görüntüler [13 ve 14].

Bu çalışmada ele alınan köprü tipi tek açıklıklı sandık kesitli bir köprü olduğu için basit mesnetli bir kiriş gibi tanımlanmıştır. Kenar ayak hesabı çalışmanın kapsamı içinde yer almadığı için düşey doğrultulu elemanlar tanımlanmamıştır. Şekil 2’de görüldüğü üzere tanımlanan kirişin bir ucu sabit diğer ucu ise kayıcı mesnet olarak tanımlanmıştır. Ancak günümüzde yaygın olarak her iki uçta da içerisi çelik ya da fiber tabakalı takviyeli elastomer mesnetler kullanılmaktadır.

Malzeme olarak kullanılacak beton ve çeliğin sınır şartları program içindeki tanımlı menülerden hazır olarak kullanılabilceği gibi, kullanıcı kendi istediği özelliklerdeki malzemeleri de tanımlayabilir. Yük sınıfları ölü ve hareketli yük sınıflarıdır. Yazılımda hesap kombinasyonlarının tanımlanabilmesi için hesaplar için gerekli her yük sınıfı ayrı ayrı tanımlanmalıdır.



Şekil 2. Köprü üst yapısının çubuk elemanlarla modellenmesi ve kesit özellikleri.

Taşıt hareketli yükleri; köprü yol kısmı boyunca, enine doğrultuda sıralanmış trafik şeritleri üzerinden etki ettirilir. Şeritler, köprü tabliyesi olarak tanımlanmış çubuk elemanlar üzerine atanarak tanımlanır. Yol kısmı tek olan basit köprülerde bu şeritler birbirlerine paralel çiftler olarak yerleştirilir ve köprü'nün tüm açıklığı boyunca uzanır. Kavşaklar veya çoklu yol kısımları içeren köprülerde ise şeritlerin paralel ya da aynı uzunlukta olmalarına gerek yoktur.

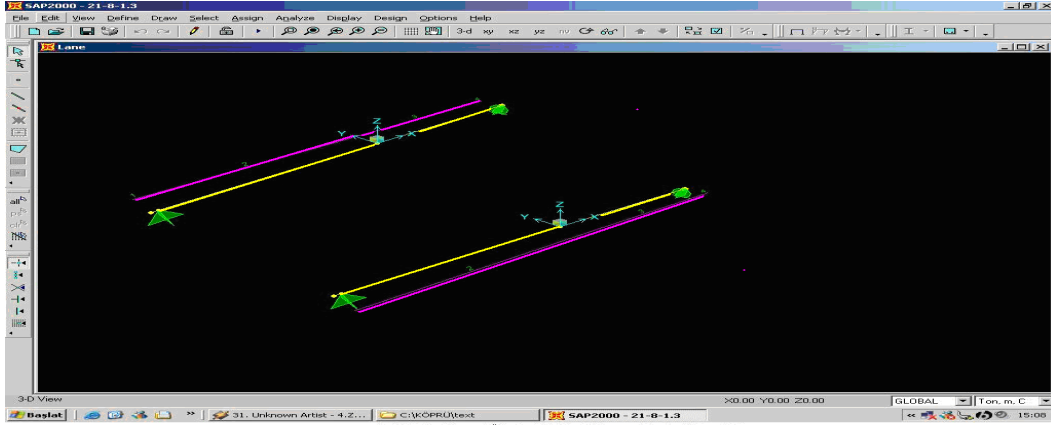
Yol kısmı, köprü boyunca bir dizi veya zincir şeklinde çubuk elemanlar ile modellenir. Bu çubuk elemanlar yapının bütün normal parçaları olup köprü döşemesinin genişliğini ve kalınlığını temsil eden kesit özelliklerine sahip olacak şekildedir.

Şeritler; şerit eksen çizgisinin enine doğrultudaki pozisyonu, yol kısmını temsil eden çubuk elemana olan rölatif eksantrisitesi ile belirlenir. Yol kısmı enine doğrultusunda yer alan her bir şerit genellikle aynı yol kısmı elemanını referans olarak fakat farklı eksantrisiteler ile tanımlanır. Tanımlanan herhangi bir şeridin eksantrisitesi açıklık boyunca değişkenlik gösterebilir. Bu nedenle şeritler yapının bir parçası olarak bulunan çubuk eleman zincirlerinin etiketlerine bağlı olan bir liste halinde tanımlanır. Her bir şerit belirli bir doğrultu boyunca uzanır yani listelenmiş dizideki ilk elemandan ikinci elemana kadar bir şerit ve son elemana kadar bu şekilde devam eder. Bu doğrultu aynı olabildiği gibi aynı yol kısmı elemanında farklı şekilde tanımlanmasına bağlı olarak farklı şerit şeklinde de olabilir. Bu durum trafik akış yönünden bağımsızdır.

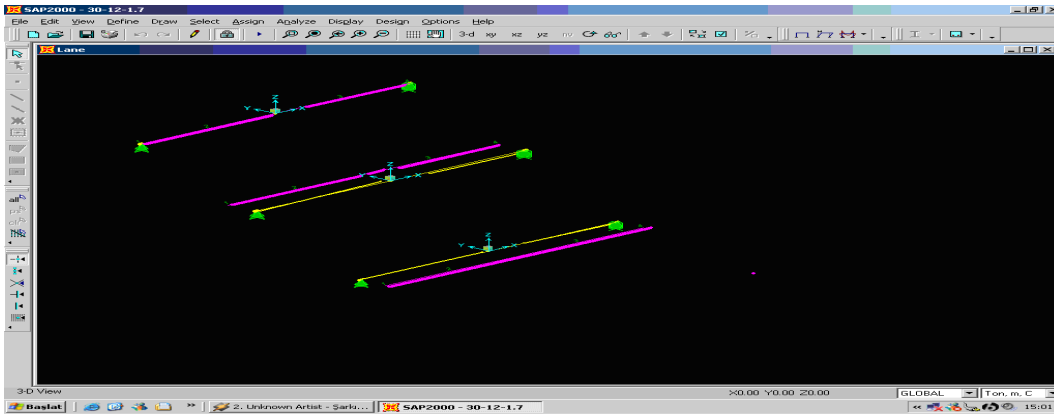
Eksantrisitenin kullanımı köprü tabliyesindeki eksenel burulmanın ve alt yapı elemanlarındaki enine eğilmenin belirlenmesinde öncelikli olarak önemlidir.

Yol kısmını oluşturan çubuk elemanlara etkiyecek olan taşıt hareketli yükleri, tanımlanmış olan şeritlerin kullanımına bağlıdır.

Yol kısmı elemanının modellenmesi sırasında; (a) Köprü tabliyesinin asal eksenini üzerinde bulunmasına, (b) Köprü tabliyesi eğer kurbda yer almıyorsa trafik akış doğrultusuna paralel veya paralele yakın olmasına, (c) Bir veya daha fazla sayıda ardışık eleman zinciri oluşturulmasına ve ardışık olabilmesi için bir elemanın ucu zincirdeki diğer elemanın başlangıç ucu ile aynı yerde olmasına, (İki eleman aynı düğüm ile bağlanabilir veya aynı yerde iki farklı düğüm ile bağlanabilir) ve (d) Trafik şeritleri düşey doğrultuda olmamasına dikkat edilmelidir.



Şekil 3. Köprü üzerindeki şerit eksenleri (8 m için).



Şekil 4. Köprü üzerindeki şerit eksantrisiteyi (11 m ve 12 m için).

Şekil 3' de 30m açıklığında; 8m, 11m ve 12m genişliğinde olan tek açıklıklı bir plak köprü örnekleri üzerine tanımlanan trafik şeritleri gösterilmiştir. Şartnameler gereği 8 m'lik genişliğe maksimum iki trafik şeridi sığar. Bu durumda şerit eksantrisiteyi her iki enine doğrultu içinde sabit ve sırasıyla +1.5 m ve -1.5 m olarak tanımlanır. 11 m ve 12 m'lik genişliklere ise toplam üç şerit sığabilmektedir. Bu şeritlerin eksantrisiteyi Şekil 4'de verildiği üzere sırayla 0, +3.0 m ve -3.0 m'dir.

Yazılım taşıt yüklerini trafik şeritleri boyunca sabit yükleme noktalarının sonlu kümesi olarak uygulamaktadır. Çubuk elemanların iç kuvvetleri de hesaplanarak bütün çubuk elemanlar boyunca sabit çıktı noktalarındaki değerler bulunur. Taşıt hareketli yüklerinin doğruluğu kullanılan yükleme noktaları ve çıktı noktalarının sayısına bağlıdır. Bu çözünürlük olarak adlandırılır. Çözünürlüğün artırılması ile

yapıdaki maksimum ve minimum yer değiştirme ve kuvvetlerin doğru değer ve pozisyonlarının elde edilme olasılığı da artar.

Her bir çubuk eleman için yükleme ve çıktı noktalarının sayısı “nseg” adı verilen ve o elemanın çıktı parçaları olarak belirtilen bir sayı ile belirlenir. Geçici bir çıktı parçası sayısı örneğin bütün elemanlar için nseg = 11 gibi alınarak bir ön analiz yapılabilir. Böylece modellemenin doğruluğu denetlenir ve yerel çözümlülükler için kontrol sağlanmış olur. Eğer gerekli ise yeni çubuk elemanlar eklenerek modelin hassasiyeti sağlanır. Gerekli görüldüğü takdirde çıktı parçalarının sayıları artırılarak doğrulanmış model üzerinde yeni bir analiz daha yapılabilir.

Tesir Çizgilerini SAP2000 V8.2.3 otomatik olarak hesaplar. Bu tepki değerlerinden her birinin farklı trafik şeritleri için sadece bir adet tesir çizgisi değeri vardır. Tesir çizgileri trafik şeridi boyunca ilerleyen birim yükün göz önüne alınan eleman üzerindeki etkilerini ifade eder. Tesir çizgileri, trafik şeridi boyunca yükleme noktaları değerlerine göre çizilmiş tesir değerleri eğrisi olarak da görüntülenebilir. Tesir çizgileri, yazılımın grafik ara yüzü kullanılarak görüntülenebilir. Bunlar şerit elemanlar boyunca tesir değerlerinin düşey doğrultuda çizilmesi ile yapılır. Tesir değerleri, yükleme noktalarındaki bilinen değerler arasında lineer olarak enterpole edilir.

Tüm taşıt hareketli yükleri ağırlıkları ile tanımlanır ve düşey doğrultuda yani Global-Z koordinatı doğrultusunda etki eder. Her bir taşıt bir veya daha fazla tekil yük veya üniform çizgisel yükten oluşur. Bu yükler şerit çizgisinin merkezinden etki eder.

Varsayılan her bir tekil yük veya üniform yükün sıfırdan başlayıp belirlenen bir maksimum değer aralığında yer aldığı kabul edilir. İlgili tesir çizgileri kullanılarak etkilerin maksimum ve minimum değerleri hesaplanır. Tekil yüklerden kaynaklanan iç kuvvetlerin bulunabilmesi için tekil yükün o noktadaki tesir değeri ile çarpılması gerekir. Üniform yüklerden kaynaklanan tesirler için ise; üniform yükler ilgili tesir değeri ile çarpılarak uzunluk boyunca integrali alınır. Bir başka deyişle üniform yük değeri tesir çizgisi altında kalan alan ile çarpılır. Pozitif tesir değerleri içeren bölgelerde, etki eden yükler sadece maksimum etkiye eklenir. Minimum etkiye eklenmez. Benzer şekilde negatif tesir değerleri olan bölgelerdeki etkiler de sadece minimum etkiden çıkarılır.

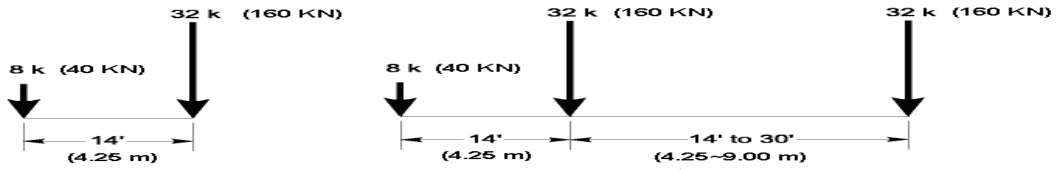
Genel taşıtlar aralarında belirli açıklıklar bulunan (n) adet akslı taşıtı ifade eder. Genel taşıtlar; gerçek taşıtlar veya ilgili teknik şartname ve standartlar tarafından belirlenen taşıtları temsil eder. Çoğu kamyon ve katar, SAP2000 V8.2.3.’ün genel taşıtları ile modellenmiştir. Akslar üzerinde tekil yükler bulunabilir. Üniform yükler ise aks çiftlerinin arasında, ön aksın ilerisinde ve son aksın gerisinde bulunur. Aksların pozisyonlarından bağımsız olarak, ek gezici tekil yükler de tanımlanabilir. Bir taşıt, trafik şeridi üzerine etki ettirildiğinde; akslar şerit uzunluğu boyunca hareket ederek her bir çubuk eleman için maksimum ve minimum iç kuvvetler hesaplanır. İç kuvvetlerin maksimum ve minimum değerleri trafik akışının her iki doğrultu boyunca akması da dikkate alınarak taşıtın köprü üzerinde oluşturacağı en elverişsiz konumda yerleştirilmesi ile bulunur

Aşağıda sıralanan taşıt tipleri SAP2000 V8.2.3. yazılımı içerisinde mevcut olan ve çeşitli teknik şartname ve standartlar için belirlenmiş taşıt hareketli yüklerini temsil etmektedir. Farklı taşıt hareketli yükleri “tip (type)” olarak tanımlanabilir.

Dingil ya da eş değer şerit yüklemesi; SAP2000 V8.2.3 programı içerisinde yer alan ve Tip = Hn-44 ve Tip = HSn-44 isimleri ile AASHTO Şartnamesinin standart H ve HS Kamyon yüklemelerini temsil eden standart taşıt tipinin modifiye edilmesi sonucu tanımlanmıştır. Modifikasyon amacıyla bu taşıtın seçilme nedeni TCK Köprüler Teknik Şartnamesi tarafından tanımlanmış olan H₂₀S₁₆ Standart Kamyon

Yüklemesinin AASHTO Şartnamesinde yer alan HS_n-44 kamyonu ile uygulanış ve yükleme değerleri bakımından çok benzerlik göstermesi nedeniyledir.

Eş değer şerit yüklemesi; H₂₀S₁₆ Şerit yüklemesi de SAP2000 V8.2.3 programı içerisinde yer alan Tip = H_n-44L ve Tip = HS_n-44L isimleri ile AASHTO'nun standart H ve HS Şerit yüklerini temsil eden standart şerit yüklemesinin modifiye edilmesi sonucu tanımlanmıştır. Yine benzer şekilde H₂₀S₁₆ standart kamyonun eşdeğer şerit yüklemesinin AASHTO Şartnamesinde yer alan HS_n-44L Şerit yüklemesi ile uygulanış ve yükleme değerleri bakımından oldukça benzerlik göstermektedir. AASHTO standart H₂₀-44 ve HS₂₀-44 kamyonu dingil yüklemesi Şekil 5'de ve AASHTO Standart H₂₀-44L ve HS₂₀-44L Eş Değer Şerit Yüklemesi Şekil 6'de verilmiştir. Bu değerlerin yazılımın ara yüzlerine girilmesi ise sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 5. AASHTO Standart H₂₀-44 ve HS₂₀-44 Kamyonu Dingil Yüklemesi.



Şekil 6. AASHTO Standart H₂₀-44L ve HS₂₀-44L Eş Değer Şerit Yüklemesi.

Köprüye gelen maksimum ve minimum etkileri bulmak için taşıt sınıfları oluşturulur. Böylece dingil yüklemesi ile eş değer şerit yüklemesinden hangisinin maksimum veya minimum kuvvet ve yer değiştirmeleri karşılaştırılarak en elverişsiz durum dikkate alınır. Bu işlemin bir toplama işlemi olmadığına ve her zaman en büyük etkiyi veren yüklemenin göz önüne alınmasına dikkat edilmelidir. Bütün taşıtlar tanımlanan trafik şeritleri üzerine taşıt sınıfları vasıtası ile atanır. Hangi taşıt yüklemesinden doğan etkiler isteniyorsa sadece o taşıt yüklemesini içeren yükleme tanımlanmalıdır.

General Vehicle Data

Vehicle Name: TASIT

Usage:
 Lane Negative Moments at Supports
 Interior Vertical Support Forces
 All other Responses

Floating Axle Loads:
 For Lane Moments: Value: 0, Width Type: One Point, Axle Width:
 For Other Responses: Value: 0, Width Type: One Point, Axle Width:
 Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Use BS 5400 (1979) for Uniform Load Length Effects
 Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only
 Straddle Reduction Factor:

Load Plan

Load Elevation

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite	0	0	Fixed Width	3	4.0783	Fixed Width Line	3
Fixed Length	4.25	0	0	Fixed Width	3	16.3155	Fixed Width Line	3
Variable Length	4.25	9	0	Fixed Width	3	16.3155	Fixed Width Line	3

Add Insert Modify Delete

OK Cancel

Units: Ton, m, C

Şekil 7. TCK standart kamyon H₂₀S₁₆dingil yüklemesi.

General Vehicle Data

Vehicle Name: SERIT

Usage:

- Lane Negative Moments at Supports
- Interior Vertical Support Forces
- All other Responses

Floating Axle Loads:

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	9.1774	Fixed Width Line	3.
For Other Responses	13.7662	Fixed Width Line	3.

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Loads:

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Trailing Load	Infinite		1.0197	Fixed Width	3.			
Trailing Load	Infinite		1.0197	Fixed Width	3.			

Units: Ton, m, C

Şekil 8. TCK standart kamyon $H_{20}S_{16}$ eş değer şerit yüklemesi.

Bu çalışmada; $H_{20}S_{16}$ dingil yüklemesi ve eşdeğer şerit yüklemelerinden kaynaklan etkiler için, bu iki yüklemenin içinde bulunduğu bir taşıt sınıfı tanımlanmış ve Şekil 9 ve Şekil 10'da verildiği biçimde yazılıma girilmiştir. SAP2000 V8.2.3 yazılımı, hesaplanacak maksimum veya minimum hesap değerlerinin Dingil ya da eş değer şerit yüklemesinden hangisinden kaynaklandığını hesaplayarak en elverişsiz sonucu belirler.

Define Vehicles

Vehicles:

- TAŞIT
- SERIT

Choose Vehicle Type to Add:

Add Standard Vehicle

Click to:

Add Vehicle...

Modify/Show Vehicle...

Delete Vehicle

OK Cancel

Vehicle Class Data

Vehicle Class Name: VECL1

Define Vehicle Class:

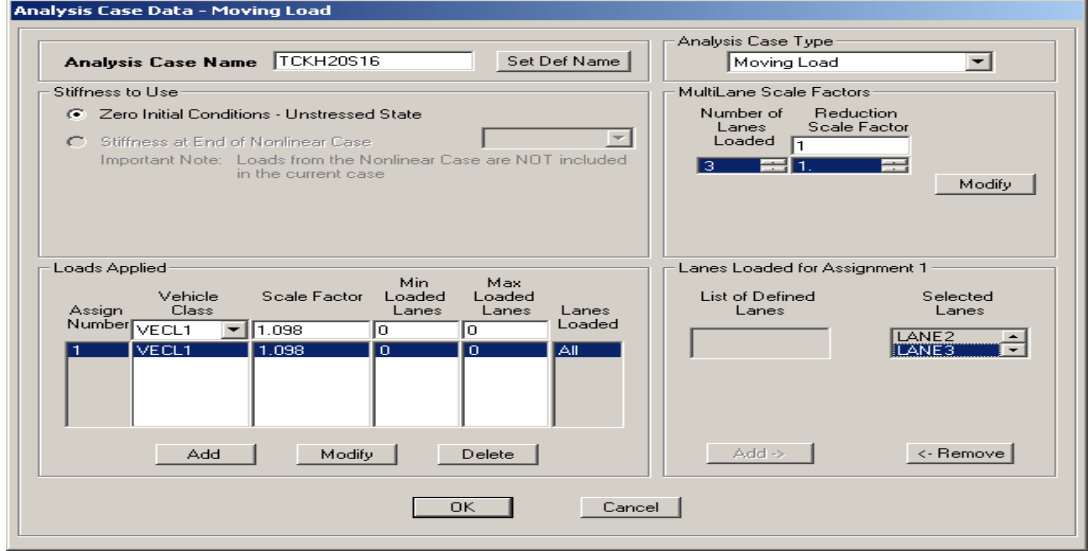
Vehicle Name	Scale Factor
SERIT	1.
SERIT	1.
TAŞIT	1.

Add Modify Delete

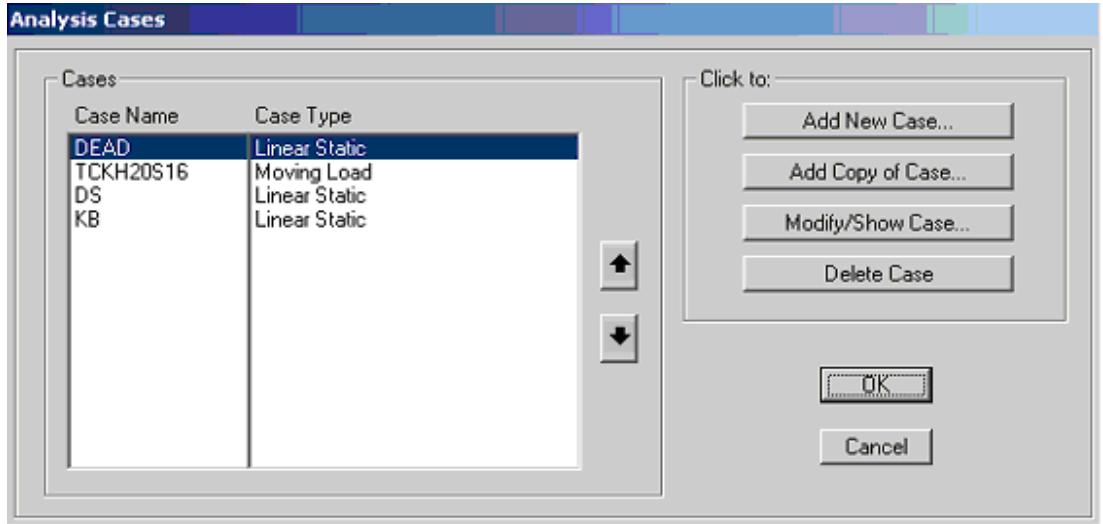
OK Cancel

Şekil 9. Taşıtların Tanımlanması. Şekil 10. Taşıt Sınıflarının Tanımlanması.

Son olarak taşıt sınıflarının trafik şeritleri üzerine etki ettirilmesi gerekir. Bunun için birbirinden bağımsız hareketli yük analiz durumları oluşturulur. Hareketli yük durumu bir analiz tipidir. Diğer bir çok analiz durumlarından farklı olarak hareketli yük analizine yükleme durumları etki ettirilemez. Bunun yerine bütün hareketli yük durumları, taşıt sınıflarının şeritlere nasıl atandığını içeren tanımlamalar ile yüklenmiştir. Yazılıma veri girişi Şekil 11 ve Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Hareketli Yük Analiz Durumlarının Oluşturulması.



Şekil 3.12. SAP2000 Ver8.2.3. Statik Analiz ve Hareketli Yük Analizlerin Oluşturulması.

Hareketli yük durumu için yapılan her bir tanımlama aşağıdaki bilgileri içermelidir.
 Sınıf: Bir taşıt sınıfıdır. Hiçbir şerit aynı anda birden fazla taşıt sınıfı ile yüklenemez.
 Oran Faktörü (Scale Factors): Taşıt sınıfının etkisini değiştiren hareketli yük büyültme katsayısıdır.

Şeritlerin Listesi: Taşıt sınıflarının etkiyeceği bir veya daha fazla sayıdaki trafik şeritlerinin listesidir.

I_{min} : Etkimesi gereken minimum şerit sayısıdır.

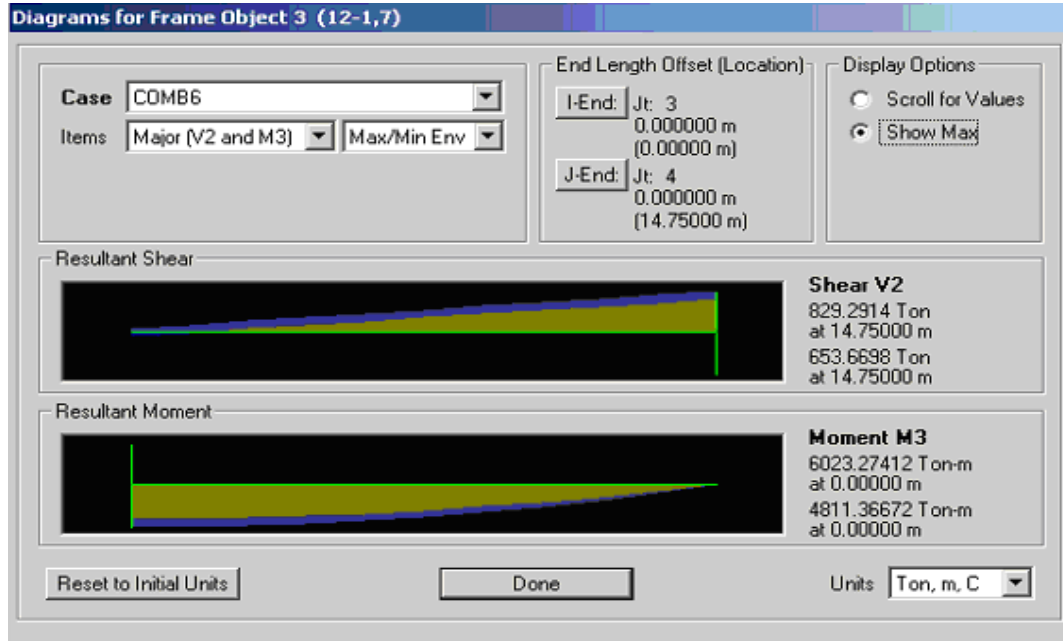
I_{max} : Etkimesi gereken maksimum şerit sayısıdır.

Program, hareketli yük durumunda bütün tanımlamalara bakmakta ve tanımlama ile izin verilmiş trafik şeritlerinin taşıt sınıfları ile yüklemesi ile ilgili bütün olasılıkları denemektedir.

Taşıt Hesap Kategorileri: TCK Köprüler Teknik Şartnamesinde tanımlı standart taşıt hareketli yüklerinden doğan çubuk iç kuvvetlerin belirlenmesi için hesaplarda

kullanılacak bazı özellikler bilinmelidir. Bu çalışmada tek açıklıklı, basit mesnetli, betonarme sandık kesitli köprünün istenen iç kuvvetleri, açıklık ortası momenti ve mesnetlerindeki kesme kuvveti değerleridir. Bu nedenle sadece bu iç kuvvetleri etkileyen unsurlar göz önüne alınacaktır.

SAP2000 V8.2.3.'ün maksimum ve minimum değerlerin bulunduğu lokal eksenleri ve değerleri otomatik olarak ortaya koymaktadır. Statik Yüklerden Kaynaklanan Kesme Kuvveti Ve Maksimum Eğilme Momenti Grafiği ve Değerleri Şekil 3.13'de verilmiştir.



Şekil 3.13. Statik Yüklerden Kaynaklanan Kesme Kuvveti ve Maksimum Eğilme Momenti Grafiği ve Değerleri.

SONUÇ

Bu bölümde anlatılan SAP2000 V8.2.3 yazılımı köprü tasarımı menüsü yardımı ile tek açıklıklı, basit mesnetli, dolu gövdeli bir sandık kesitli köprünün analizi yapılmıştır.

Köprünün modellenmesi ve analizi yapılırken aşağıdaki parametreler kullanılmıştır.

Köprü Açıklığı (L): Çubuk eleman olarak modellenen köprü üst yapısının mesnetleri arasındaki uzaklıktır. Bu çalışmada köprü açıklığı olarak 20.0 m ile 30.0 m arasındaki tüm tamsayı değerleri alınmıştır.

Köprü Genişliği (G): Çubuk eleman olarak modellenen köprü üst yapısının trafik akışına dik doğrultuda uzanan birimidir. Bu çalışmada köprü genişliği olarak 8.0 m, 11.0 m ve 12.0 m olmak üzere üç farklı değer kullanılmıştır. Buna göre ilgili şartname gereği 8.0 m'lik genişliğe 2 şerit, 11.0 m ve 12.0 m'lik genişliklere de 3 adet trafik şeridi atanmıştır.

Köprü Derinliği (H): Çubuk eleman olarak modellenen köprü üst yapısını oluşturan sandık kesitin derinliğini ifade etmektedir. Bu çalışmada sandık kesit derinliği olarak 1.30 m ile 2.0 m arasındaki tüm 0.1 adımlı kalınlık değerleri alınmıştır.

Burada elde edilen sonuçların PTI-Post Tension Institute; “Post Tensioned Box Girder Manuel” (1978)’de önerilen konvansiyonel yöntemle elde edilen sonuçlarla oldukça uyumlu olduğu görülmüştür [15 ve 16]. Karşılaştırmalı sonuçlar aşağıdaki Çizelge 1’de verilmiştir [16].

Çizelge 1. Farklı geometrideki köprülerde uygulanan yöntemle göre bulunan kesme kuvvet ve moment değerleri.

KÖPRÜ GEOMETRİSİ			PTI-KUTU KESİTLİ KİRİŞLER YÖNTEMİ SONUÇLARI		SAP2000 V8.2.3 SONUCU	
L	G	H	Kesme Kuvvet	Moment	Kesme Kuvvet	Moment
m	m	m	t	tm	t	tm
22	8	1.4	381.484	1992.037	447.301	2333.971
25	8	1.7	440.185	2629.716	506.119	3030.230
28	8	1.5	477.781	3209.243	530.518	3584.960
29	11	1.6	629.081	4403.423	740.653	5183.802
30	12	1.7	718.645	5217.831	829.291	6023.274

NOT: Tablo değerleri; açıklık ortası 1m genişlikli şerit için maksimum moment ve kesme kuvvetini gösterir.

KAYNAKÇA

- [1] Ekiz, İ., “Sandık Kesitli Köprülerin Hesap Metotları ve Bilgisayar Uygulaması”, Yeterlilik Tezi, İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi, İstanbul, 1976.
- [2] Celasun, H; “Sandık Kesitli Kirişlerin Hesabı-BEF Analjisi”, İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Dergisi Sayı 4, İstanbul, 1978.
- [3] Taly, N., “Design of Modern Highway Bridges”, Mc Graw-Hill, 1998.
- [4] Celasun, H., “Betonarme Köprüler ve Hesap Metotları”, İstanbul, 1974.
- [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] Celasun, H., “Betonarme Yapılar”, İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi yayınları Sayı: 156, İstanbul, 1980.
- [12] Ekiz, İ., “Çözümlü Köprü Problemleri”, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 1981.
- [13] SAP2000 V8 Educational, Computers and Structures, Inc. Berkeley, Cal., 2004.
- [14] <http://www.csiberkeley.com/>, California, University of Berkeley, 2001
- [15] PTI-Post Tension Institute; “Post Tensioned Box Girder Manuel”, 1978.
- [16] Gülhan; İ. E.; “Öngerilmeli Betondan Sandık Kesitli Köprülerin Yapay Sınır Ağları İle Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kayseri, 2005.