

KÖPRÜ-ZEMİN ETKİLEŞİMİNİN, HAREKETLİ YÜKLERDEN DOLAYI İNTEGRAL KÖPRÜ ELEMANLARINDA OLUŞAN MOMENT VE KESME KUVVETLERİNE ETKİLERİ

Semih ERHAN ve Murat DİCLELİ

Orta Doğu Teknik Üniv., Mühendislik Bil. Böl., Ankara

ÖZET

Bu çalışmada, köprü zemin etkileşiminin, integral köprü elemanlarında hareketli yüklerden dolayı oluşan moment ve kesme kuvvetlerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, çeşitli yapısal, geoteknik ve geometrik özelliklere sahip iki boyutlu integral köprü modelleri, dolgu ve temel zemininin etkisinin dikkate alınıp alınmadığı durumlar için köprü tasarımında standart olarak kullanılan kamyon yükleri altında analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, köprü-zemin etkileşiminin, integral köprü elemanlarında hareketli yüklerden dolayı oluşan moment ve kesme kuvvetlerini (üst yapı kesme kuvveti hariç) büyük oranda etkilediği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: yapı-zemin etkileşimi, integral köprü, hareketli yük.

EFFECT OF SOIL BRIDGE INTERACTION ON THE INTERNAL FORCES OF INTEGRAL BRIDGE COMPONENTS DUE TO LIVE LOAD EFFECTS.

ABSTRACT

In this study, the effect of soil bridge interaction on the magnitude of the internal forces in the integral bridge components due to live load effects is studied. For this purpose, structural models of typical integral bridges are built by including and excluding the effect of backfill and foundation soil. The analyses of the models are then conducted under AASHTO live load. In the analyses, the effects of the backfill and foundation soil on the magnitude of the internal forces in integral bridge components are studied for various structural, geometric and geotechnical parameters. The analyses results revealed that soil-bridge interaction has significant effect (except girder shear) on the magnitude of internal forces due to live load in the components of integral bridges.

Key words: soil-bridge interaction, integral bridge, live load.

1.GİRİŞ

Köprülerin tasarımında, mühendisler genellikle üç boyutlu karmaşık ve zaman alıcı yapısal modeller yerine, iki boyutlu, basitleştirilmiş yapısal modeller kullanmayı tercih ederler. Mühendisler köprülerin analizi için bu iki boyutlu yapısal modelleri kullanırlarken, hareketli yüklerden köprü elemanlarına gelen etkileri belirlemek için, tasarım standartlarında mevcut olan hareketli yük dağılım katsayılarını kullanırlar. Köprü uç ayağı ile tabliyesinin monolitik olarak inşa edildiği, integral köprülerin tasarımında da mühendisler genellikle iki boyutlu yapısal modeller kullanırlar. Bu iki boyutlu modellerde çoğu zaman uç ayağın arkasındaki dolgu zemininin etkisi modellenmeyip tamamıyla ihmal edilir. Kazık temeller ise zemin yüzeyinden belirli bir derinlikte ankastre eşdeğer kazık boyu alınarak modellenir ve temel zemininin etkisi göz önünde bulundurulmaz. Ancak, integral köprülerin hareketli yükler altında, yukarıda bahsedilen yapısal model kullanılarak yapılan analizlerinden elde edilen sonuçların doğruluk derecesi bilinmemektedir. Bu sebepten dolayı, bu çalışmada, integral köprülerin hareketli yükler altında yapılan analizlerinde kullanılan iki boyutlu modellerde, dolgu ve temel zemin etkilerinin dikkate alınmasının integral köprü elemanlarında hesaplanan moment ve kesme kuvvetlerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmanın bu aşamasından elde edilecek sonuçlarla, tasarım mühendislerine, integral köprülerin hareketli yük analizlerinde kullanacakları iki boyutlu yapısal modellerle ilgili olarak yol göstermek hedeflenmiştir.

2. PARAMETRELER

Köprü-zemin etkileşiminin hareketli yüklerden dolayı integral köprü elemanlarında oluşan moment ve kesme kuvvetlerine olan etkilerini araştırmak için, çeşitli geometrik, yapısal ve geoteknik özelliklere sahip çok sayıda integral köprü ele alınarak, parametrik bir çalışma yapılmıştır. Bu parametrik çalışmada, temel zemininin yalnızca kil olduğu durum ele alınmıştır. Eşdeğer kazık boyu alınmak suretiyle, temel zemininin etkisinin tamamen ihmal edildiği duruma ek olarak, analizler dört farklı kil sınıfı (yumuşak, orta, orta-katı, katı) için ve dolgu etkisinin yapısal modelde dikkate alınıp alınmadığı durumlar için tekrarlanmıştır. Ayrıca, elde edilen sonuçlarının geniş çapta geçerli olabilmesi için, açıklık uzunluğu ve sayısı, uç ayak yüksekliği, kazık ebadı ve eğilme eksenini yönü değiştirilmek suretiyle analizler tekrarlanmıştır. Bu parametreler Çizelge 1’de ayrıntılı olarak verilmiştir. Çizelge 1’de görüldüğü gibi, dünyada integral köprülerin inşasında yaygın olarak kullanılan HP250x85 ve HP310x125 ebadında iki kazık seçilmiş, bu kazıkların zayıf ve kuvvetli eğilme eksenlerine göre yerleştirildiği durumlar da ele alınmıştır. Ayrıca uç ayak yüksekliğinin 3 m ve 5 m olduğu durumlar da düşünülmüştür. Bunlara ilaveten değişik üst yapı rijitliğine ve uzunluğuna sahip olan iki adet (kısa ve uzun) integral köprü ele alınmıştır. İki integral köprüden kısa açıklıklı olanının iki ve üç açıklıklı olarak modellendiği durumlar da göz önünde bulundurulmuştur.

3. İNTEGRAL KÖPRÜLERİN ÖZELLİKLERİ

Dolgu ve temel zemininin hareketli yükler altında integral köprü elemanlarında oluşan moment ve kesme kuvvetlerine etkilerinin araştırılması için iki farklı integral köprü ele alınmıştır. Kısa köprü diye adlandırılan, ilk köprüünün açıklığı 20 m ve kiriş aralığı 2.4 m’dir. Bu köprüde, kalınlığı 190 mm olan betonarme tabliye, W760x173 tipi çelik kirişlerle desteklenmektedir. Uç ayak kalınlığı ise 1 m’dir. Uzun köprü olarak adlandırılan

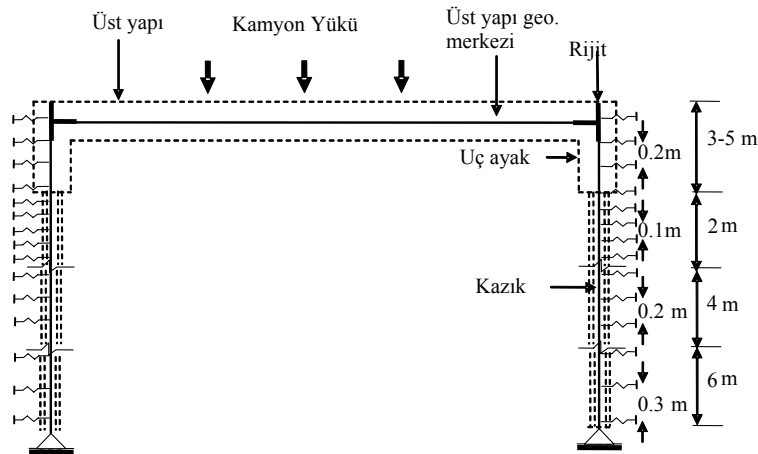
ikinci köprünün açıklığı 40 m ve kiriş aralığı 2.4 m'dir. Kalınlığı 225 mm olan köprü tabliyesi, Amerikan Karayolları ve Ulaştırma Dairesi (AASHTO) tarafından standart olarak kullanılan AASHTO VI tipi ön gerilmeli kirişlerle desteklenmiştir. Bu köprünün uç ayak kalınlığı 1.5 m olarak alınmıştır.

Çizelge 1. Parametreler

Parametreler	Açıklama
Köprü Boyu	Kısa köprü, Uzun köprü
Açıklık sayısı	1, 2 ve 3 açıklıklı.
Dolgu zemini	Dolgu etkisi var, Dolgu etkisi yok
Temel zemini	Eşdeğer kazık boyu (zemin etkisi yok) yumuşak, orta, orta-katı, katı
Kazık ebadı	HP 250X85, HP 310X125
Kazık eğilme eksen	Zayıf eksen, Kuvvetli eksen
Uç ayak yüksekliği	3m, 5m.

4. YAPISAL MODEL

Bu çalışmada ele alınan köprülerin analizleri sonlu elemanlar yöntemi (SEY) tabanlı yapısal analiz programı SAP2000 kullanılarak yapılmıştır. İki boyutlu olarak modellenen köprülerde, üst yapı ve uç ayak genişlikleri, 2.4 m'lik kiriş aralığı esas alınarak belirlenmiştir. Tabliye ile kiriş bağlantısının rijit olduğu ve birlikte çalıştıkları farz edilmiştir. Ayrıca üst yapının kompozit kesit alanı ve atalet momenti, alan dönüştürme yöntemi kullanılarak tabliyenin özellikleri cinsinden ifade edilmiştir. Üst yapı, uç ayaklar ve çelik kazıklar iki boyutlu çerçeve elemanları kullanılarak modellenmiştir. Uç ayak-üst yapı bağlantı bölgesi ise rijit elastik çerçeve elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Yapısal model Şekil 1'de gösterilmiştir. Dolgu ve temel zemini gerçekte doğrusal olmayan davranış göstermesine rağmen, hareketli yüklerin etkisi altında köprünün yatay deplasmanı küçük olduğundan, dolgu ve temel zemini doğrusal elastik yaylar kullanılarak modellenmiştir. Dolgu-uç ayak ve temel zemini-kazık arasındaki etkileşimin modellenmesiyle ilgili detaylar bir sonraki bölümde verilmiştir.



Şekil 1. İntegral köprü yapısal modeli

4.1 Temel Zemini-Kazık Etkileşimi Modeli

Kazıkları çevreleyen zeminin modellenmesi tipik bir yapı zemin etkileşimi problemidir. Bu etkileşim doğrusal değildir. Doğrusal olmayan bu ilişki, P (Yük), Y (Deplasman) eğrisiyle tanımlanır (Şekil 2). Yükün düşük olduğu durumlarda, bu eğrinin eğimi yaklaşık olarak doğrusaldır. Fakat, yük arttıkça, zemindeki deformasyon daha da fazla artmaya başlar ve yük-deplasman ilişkisi doğrusal olmaktan uzaklaşır. Yük (P) ile deplasman (Y) arasındaki bu doğrusal olmayan davranış, Şekil 2’de sürekli çizgiyle gösterilmiştir. Bu davranış basite indirgenerek elasto-plastik olarak da tarif edilebilir. Bu elasto-plastik ilişki de Şekil 2’de kesikli çizgiyle gösterilmiştir. Elasto-plastik eğrinin elastik kısmının eğimi sekant zemin elastisite modülü, E_s , olarak tarif edilir. Plastik kısmı ise, kazık boyunca birim uzunluktaki zeminin taşıma gücü, Q_u , olarak tanımlanır. Bu çalışmada ele alınan köprülerde, hareketli yüklerin etkisiyle kazıkta oluşan yatay deplasmanlar düşük olduğundan, zeminin yük-deplasman ilişkisini modellemek için, elasto-plastik modelin elastik kısmı için tanımlanmış olan zemin elastisite modülü, E_s , kullanılacaktır. Zemin elastisite modülü, birim uzunluktaki zemin taşıma gücü, Q_u ’nun %50’sinin ($0.5Q_u$) ve bu taşıma gücünün %50’sine ($0.5Q_u$) karşılık gelen şekil değiştirmenin (Δ_{50}) oranından elde edilir [1].

$$E_s = \frac{Q_u / 2}{\Delta_{50}} \quad (1)$$

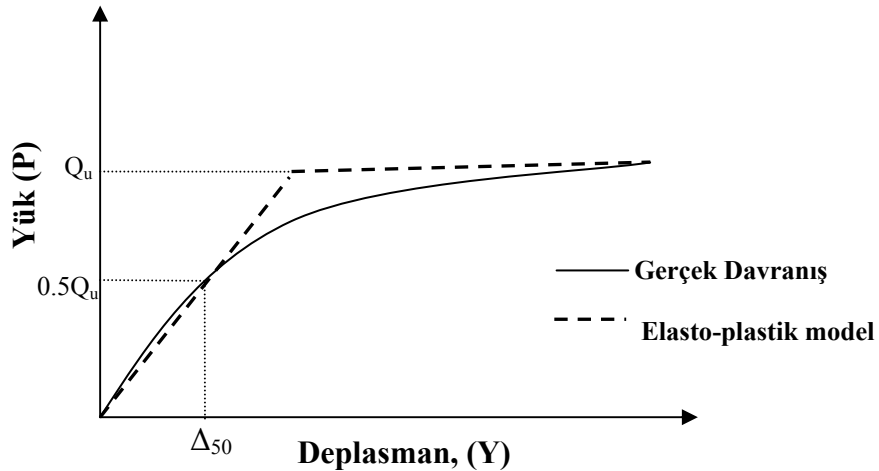
Yukarıdaki eşitlikteki Q_u ve Δ_{50} aşağıdaki şekilde ifade edilir [1] ve [2].

$$Q_u = 9 \cdot C_u \cdot d_p \quad (2)$$

$$\Delta_{50} = 2.5 \cdot \varepsilon_{50} \cdot d_p \quad (3)$$

Bu ifadelerde d_p kazık çapını, C_u drenajsız kayma mukavemeti, ε_{50} ise %50 mukavemete karşılık gelen birim şekil değiştirmeyi göstermektedir. C_u , yumuşak, orta, orta-katı, katı kil çeşitleri için sırasıyla; 20, 40, 80 ve 120 kPa değerlerini alırken bu değerlere karşılık gelen ε_{50} değerleri ise sırasıyla, 0.02, 0.01, 0.0065, 0.005 olmaktadır [3].

Kazık-zemin etkileşimi, kazık boyunca belirli aralıklarla yerleştirilen düğüm noktalarına doğrusal yatay yaylar bağlanarak modellenmiştir. Bu modelde elastik yay sabiti, zemin elastisite modülü ile düğüm noktaları arasındaki uzaklığın ve kazık çapının çarpımından elde edilir.



Şekil 2. Gerçek ve elasto-plastik model.

4.2 Dolgu -Uç Ayak Etkileşimi Modeli

Hareketli yüklerin etkisi altında, uç ayak dönmeden dolayı, arkasında bulunan dolguya doğru yatay bir deplasman yapar. Dolguda, uç ayağın hareketsiz olduğu durumlar için sükunetteki zemin basınç katsayısı esas alınır. Fakat, uç ayak dolgu zeminine doğru hareket ettiğinde, dolgu zemininde oluşan basınç uç ayağın deplasman seviyesine bağlı olarak değişir. Bu durumda, zemin basınç katsayısı, uç ayakta oluşan deplasmana bağlı olarak, sükunetteki basınç katsayısı K_0 ile pasif zemin basınç katsayısı K_p arasında değerler alır. Clough ve Duncan, deneysel yöntemler ve SEY kullanarak, zemin basınç katsayısını, uç ayak tepesinde oluşan deplasmanın ayak boyuna oranının (Δ/H) bir fonksiyonu olarak modellemiştir. Hareketli yüklerin etkisi altında, uç ayakta oluşan deplasmanlar küçüktür. Genellikle bu deplasmanların uç ayağın boyuna oranı $\Delta/H=0$ ile $\Delta/H =0.001$ arasında olmaktadır. Bu iki noktanın birleştirilmesiyle elde edilen doğrunun eğiminden yararlanarak, uç ayak deplasmanı ve pasif zemin basıncı arasındaki ilişki doğrusal bir yaklaşımla tarif edilebilir. Bu amaçla, öncelikle zemin basıncının sükunetteki ($\Delta/H =0$) durumdan pasif duruma göre, z derinliğindeki değişimi 4. eşitliğe göre hesaplanır.

$$\Delta P = (K_p - K_0) \cdot \gamma \cdot z \quad (4)$$

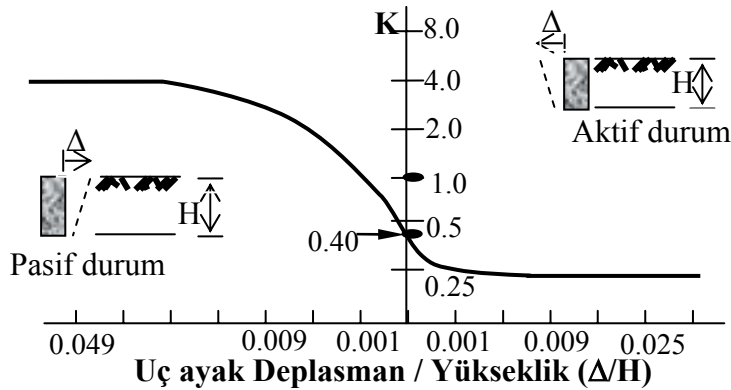
Yukarıdaki denklem, öngörülen uç ayak deplasmanına bölünerek, dolgu zemini için yatak katsayısı, k_{sh} , aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$k_{sh} = \frac{(K_p - K_0) \cdot \gamma \cdot z}{0.001 \cdot H} \quad (5)$$

Dolgu zemini için K_p 'nin ve K_0 'ın $\Delta/H =0.001$ için değerleri Şekil 3'den sırasıyla 1.125 ve 0.4 olarak elde edilir. Dolgu zemininin birim ağırlığı (γ) 20 kN/m^3 olarak alınırsa yatak katsayısı, k_{sh} , aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$k_{sh} = \frac{14500}{H} \cdot z \quad (6)$$

Dolgu zemini-uç ayak etkileşimini modellemek için, uç ayağın yüksekliği boyunca belirli aralıklarda düğüm noktaları yerleştirilmiş ve bu noktalara yatay doğrusal yaylar bağlanmıştır. Bu yayların rijitliği, uç ayağın yüksekliği boyunca yerleştirilmiş olan düğüm noktalarında hesaplanan k_{sh} ile düğüm noktaları arasındaki alanın çarpımıyla bulunmuştur.

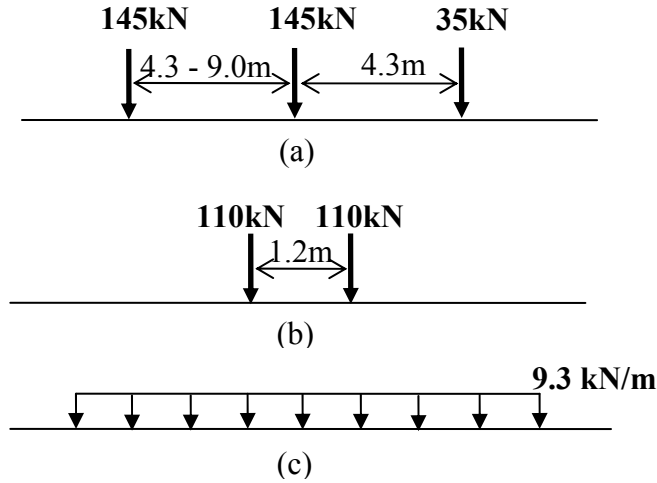


Şekil 3. Uç ayak deplasmanı ile zemin basıncı arasındaki ilişki

4.3 Hareketli Yük Modeli

Bu çalışmada yapılan analizlerde AASHTO HL-93 hareketli yükü kullanılmıştır. HL-93 yükü standart kamyonlardan ve standart araç katarlarına eşdeğer olan şerit yüklerden oluşmaktadır. AASHTO’da belirtilen standart kamyon yükleri iki çeşit olup, birincisi 35 kN ağırlığında ön dingilden, bu dingile 4.3 m uzaklıkta olan 145 kN luk orta dingilden ve orta dingile, 4.3 m ile 9.0 m arasında değişen mesafelerde bulunan, 145 kN luk arka dingilden oluşur (Şekil 4a). İkinci tip standart kamyon ise, aralarında 1.2 m mesafe olan ve ağırlıkları 110 kN olan eşit iki dingilden oluşur (Şekil 4b). Şerit yükü ise 9.3 kN/m’lik bir düzgün yayılı yükten oluşmakta olup 3 m. lik bir genişliğe etki ettiği farz edilir (Şekil 4c). AASHTO Köprü Tasarım Standardında (2007), birinci ve ikinci tip standart kamyonlardan her birinin ayrı ayrı şerit yükü ile birlikte etki ettirilmesi sonucunda elde edilen moment ve kesme kuvveti değerlerinden en büyüklerinin tasarımda kullanılması tavsiye edilmektedir. Ayrıca, kamyon yüklerinin dinamik titreşim katsayısı ile çarpılarak kullanılması tavsiye edilmektedir.

Bu çalışmada, integral köprüler, maximum etkiyi meydana getiren birinci tip kamyonla ve şerit yüküyle yüklenmiştir. Ayrıca, bu çalışma çeşitli parametreler göz önüne alınarak yapılan karşılaştırmalı bir çalışma olduğu ve dinamik etkilerin alt yapı ve zemin tarafından sönümlendiği göz önünde bulundurularak, analizlerde kamyon yüklerinin dinamik titreşim katsayısıyla çarpılmasına gerek görülmemiştir.



Şekil 4. (a) Birinci tip kamyon yükü, (b) İkinci tip kamyon yükü, (c) Şerit yükü.

Yukarıda bahsedilen hareketli yükler altında farklı yapı ve zemin özelliklerine sahip 200’e yakın integral köprü analiz edilmiştir. Analiz sonuçları aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

5. BULGULAR

5.1 Temel Zemininin Moment ve Kesme Kuvvetlerine Etkisi

Temel zemininin, hareketli yükler altında integral köprü elemanlarında oluşan moment ve kesme kuvvetlerine etkileri, değişik kazık ebatlarına ve açıklık sayılarına göre çizilmiş olan grafiklerde görülmektedir (Şekil 5-9). Bu grafikler, integral köprü elemanlarında hareketli yüklerden dolayı oluşan moment ve kesme kuvvetlerinin kohezyonlu temel zemininin (kil) drenajsız kayma mukavemetine (C_u) göre değişimlerini göstermektedir.

Şekil 6 üst yapı momentleri ve kesme kuvvetinin, C_u 'nun bir fonksiyonu olarak çizilmiş grafiklerini göstermektedir. Bu grafiklerden görüldüğü gibi, temel zemininin rijitliği arttığında, pozitif üst yapı momenti azalmakta, bununla birlikte negatif üst yapı momenti ise artmaktadır. Bu durum, artan zemin rijitliğinin köprü üst yapısının uç noktalarında dönmeye karşı olan direncin arttırmasından kaynaklanmaktadır.

Dolgu zemininin etkisi göz önünde bulundurularak yapılan analizlerde, temel zemininin rijitliği, uzun açıklıklı köprülerde üst yapı momentlerinde oldukça etkili olmasına rağmen, kısa açıklıklı köprülerde bu etki azalmaktadır. Bunun ana sebebi, dolgu zemininin, üst yapı uç noktalarında, üst yapı rijitlikleri daha az olan kısa açıklıklı köprülerde, uzun açıklıklı köprülere göre göreceli olarak dönmeye karşı daha fazla rijitlik sağlamasıdır. Bu da, dolgu etkisinin göz önüne alındığı kısa açıklıklı köprülerde, zemin rijitliğinin etkisini kaybetmesine yol açmaktadır.

Temel zemininin rijitliği, üst yapı kesme kuvvetini etkilememektedir. Bu durum, üst yapıdaki maksimum kesme kuvveti hesabında, tasarım kamyonuna ait arka dingilin tabliye ile uç ayağın birleşim noktasına yerleştirilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu yükleme durumu, uç ayakta ve kazıklarda oldukça düşük bir deplasman oluşmasına sebep olur. Bu da zemin-kazık ve dolgu-uç ayak etkileşiminin, üst yapıdaki maksimum kesme kuvvetinin hesaplanmasında etkisini kaybetmesine yol açar.

Temel zemini rijitliği, uç ayak momenti ile kesme kuvvetini (M_a ve V_a) ve kazık momenti ile kesme kuvvetini (M_p ve V_p) kazık ebadına bağlı olmaksızın, önemli oranda etkilememektedir. Ayrıca, zemin rijitliği arttıkça, birkaç istisna dışında, uç ayak ve kazıktaki moment ve kesme kuvvetlerinin de arttığı grafiklerden görülmektedir.

Çok açıklıklı köprülerde, dolgu zemini rijitliğinin, pozitif üst yapı momenti (M_d^+) ve negatif üst yapı momentine (M_d^-) (orta ayaktaki negatif moment) etkisi ihmal edilecek derecede azalmıştır. Bu durum, çok açıklıklı integral köprülerde, orta mesnetler üzerindeki sürekliliğin üst yapı uç noktalarında dönme rijitliğini arttırarak uç ayak dolgu zemini etkileşiminin yapı davranışı üzerindeki etkisini azaltmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, daha önce tek açıklıklı köprüler için bahsedilmiş olan sebepten dolayı, dolgu zemininin yapısal modelde dikkate alınması, çok açıklıklı integral köprülerde de, üst yapıda oluşan kesme kuvvetini etkilemez. Ancak Şekil 9'dan gözlemlendiği gibi, dolgu zemininin alt yapı elemanlarında oluşan moment ve kesme kuvvetlerine etkisi, çok açıklıklı köprülerde de oldukça fazladır.

5.2 Zemin Rijitliği-Eşdeğer Kazık Boyu Karşılaştırması

İntegral köprülerin hareketli yüklerin etkisi altında analizleri yapılırken, kazık boyu genellikle kazık çapının on katı alınarak eşdeğer kazık boyu olarak modellenir ve temel zemininin etkisi ihmal edilir [4] ve [5]. Bu basitleştirilmiş kabulün geçerliliğini araştırmak için, bu çalışmada ele alınan integral köprüler eşdeğer kazık boyu alınarak ve dolgu zemininin etkisi ihmal edilerek analiz edilmiştir. Bu analiz sonuçları, temel zemini etkisinin dikkate alındığı, ayrıca dolgu zeminin etkisinin olduğu ve olmadığı modellerin analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır (Şekil 5).

Grafiklerden görüldüğü gibi, eşdeğer kazık boyu kullanılarak yapılan analizler bazı durumlarda emniyetli sonuçlar verirken, bazı durumlarda emniyetsiz sonuçlar vermektedir. Bu yüzden integral köprülerde hareketli yüklerden dolayı oluşan moment ve kesme

kuvvetlerinin belirlenmesi için kurulan yapısal modellerde eşdeğer kazık boyu kullanmak yerine, temel ve dolgu zeminlerinin etkilerinin yapısal modelde dikkate alındığı modeller tercih edilmelidir.

5.3 Dolgunun Moment ve Kesme Kuvvetlerine Etkisi

Dolgu zemininin, hareketli yükler altında integral köprü elemanlarında oluşan moment ve kesme kuvvetlerine etkileri Şekil 5-9'daki grafiklerde görülmektedir. Bu grafiklerde görüldüğü gibi, üst yapıdaki kesme kuvveti hariç, integral köprülerin diğer elemanlarındaki moment ve kesme kuvvetleri, yapısal modelde dolgu etkisinin olduğu ve olmadığı durumlarda, tek açıklıklı integral köprülerde büyük farklılıklar göstermektedir. Şekil 6'da görüldüğü gibi, yapısal modelde dolgu etkisi olduğu durumlarda, M_d^+ azalmakta, bununla birlikte M_d^- artmaktadır. Bunun ana sebebi, dolgu etkisinin var olduğu durumda uç ayak rijitliği arttığından dolayı, tabliye uçlarının dönmeye karşı daha rijit bir davranış göstermesidir. Ayrıca, analizlerde dolgu zemininin etkisinin yapısal modele eklenmesi, temel zeminin rijitliğinin integral köprü elemanlarında oluşan moment ve kesme kuvvetlerine olan etkisini azaltmaktadır. Köprü altyapı elemanlarında, dolgu etkisinin yapısal modelde dikkate alındığı durumlarda, uç ayak momenti (M_a) ve kesme kuvveti (V_a) büyümekte, buna rağmen kazık momenti (M_p) ve kesme kuvveti (V_p) küçülmektedir.

Şekil 8'deki grafiklerden görüldüğü gibi, çok açıklıklı köprülerde, dolgu zemini rijitliğinin, pozitif üst yapı momenti (M_d^+) ve negatif üst yapı momentine (M_d^-) (orta ayaktaki negatif moment) etkisi ihmal edilecek derecede azalmıştır. Bu durum, çok açıklıklı integral köprülerde, orta mesnetler üzerindeki sürekliliğin üst yapı uç noktalarında dönme rijitliğini arttırarak uç ayak dolgu zemini etkileşiminin yapı davranışı üzerindeki etkisini azaltmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, daha önce tek açıklıklı köprüler için bahsedilmiş olan sebepten dolayı, dolgu zemininin yapısal modelde dikkate alınması, çok açıklıklı integral köprülerde de, üst yapıda oluşan kesme kuvvetini etkilemez. Ancak Şekil 9'dan gözlemlendiği gibi, dolgu zemininin alt yapı elemanlarında oluşan moment ve kesme kuvvetlerine etkisi, çok açıklıklı köprülerde de oldukça fazladır.

6. SONUÇLAR

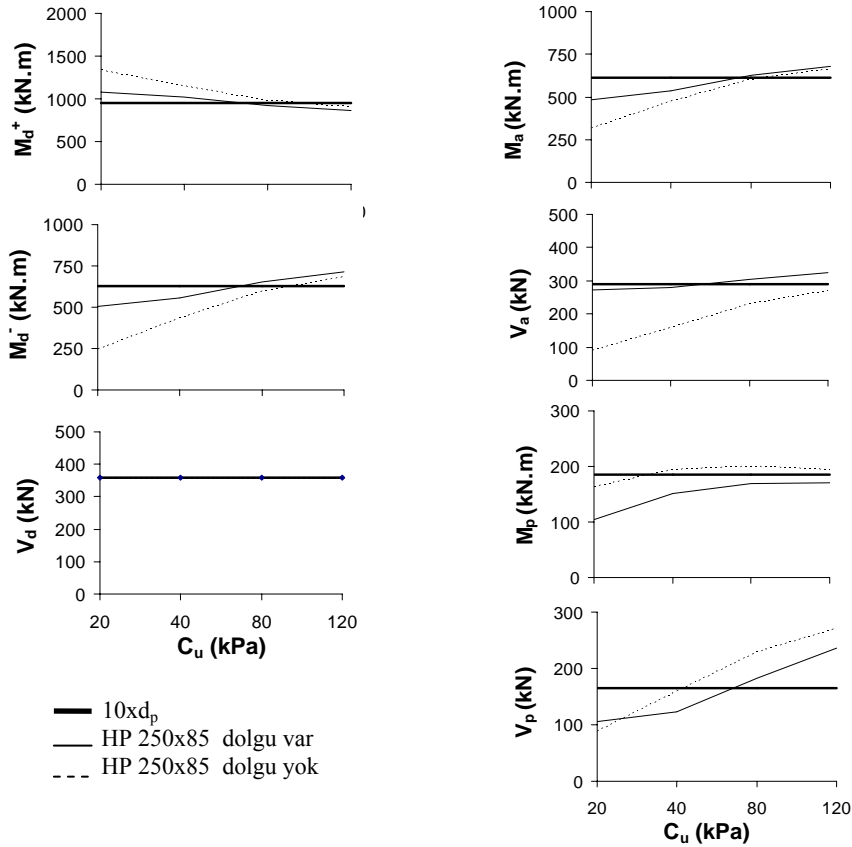
Dolgu ve temel zeminlerinin, hareketli yüklerden dolayı integral köprülerin elemanlarında oluşan moment ve kesme kuvvetlerine etkilerini araştırmak amacıyla parametrik bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmadan çıkarılan sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Analiz sonuçları, yapı-zemin etkileşimi davranışının yapısal modele eklenmesiyle, hareketli yükler etkisi altında üst ve alt yapı elemanlarında oluşan momentlerin ve alt yapı elemanlarında oluşan kesme kuvvetlerinin büyük oranda değiştiğini göstermiştir. Ancak yapı-zemin etkileşiminin yapısal modele eklenmesi üst yapı kesme kuvvetini etkilememektedir.
- Dolgu zemini etkisinin yapısal modelde dikkate alındığı durumlarda, üst yapıda oluşan negatif moment artmakta ve pozitif moment azalmaktadır. Ayrıca kazık ve uç ayakta oluşan momentler de artmaktadır.
- Çok açıklıklı integral köprülerde, dolgu ve temel zemininin üst yapı momentleri ve kesme kuvvetine etkileri tek açıklıklı integral köprülere oranla oldukça azdır.

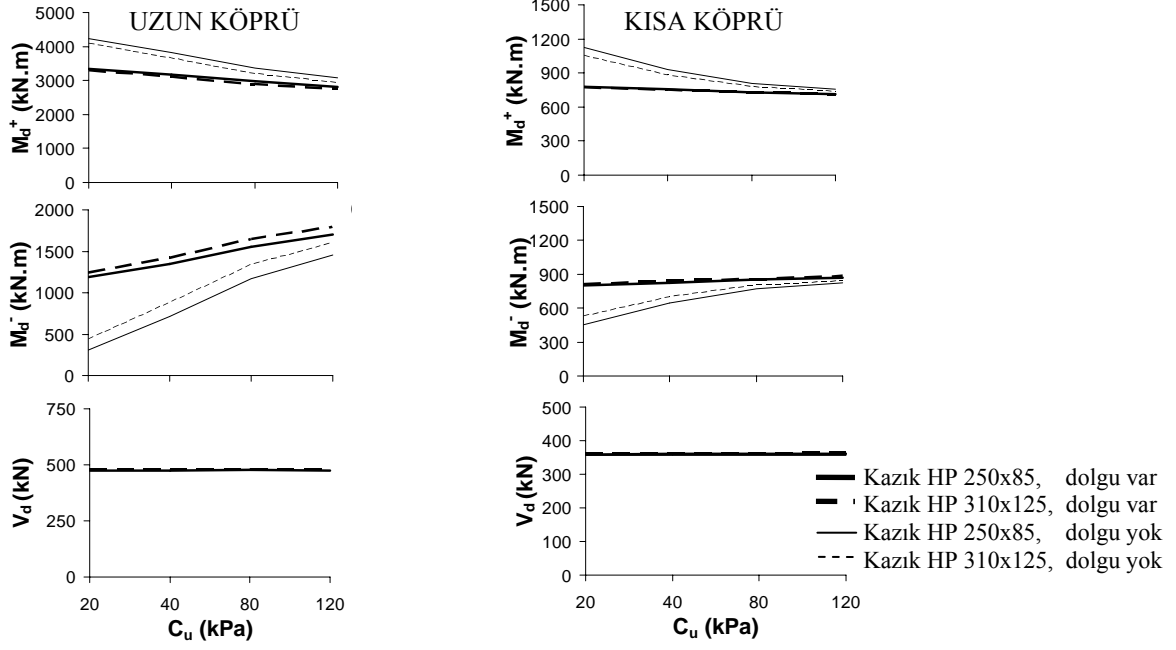
- Hareketli yükler altında integral köprü elemanlarında hesaplanan moment ve kesme kuvvetlerinin, zemin rijitliğinin bir fonksiyonu olarak değiştikleri görülmüştür. Genelde, zeminin rijitliği arttıkça, pozitif üst yapı momentleri küçülürken, negatif üst yapı momentlerinin ve kazık kesme kuvvetlerinin ise büyüdüğü gözlemlenmiştir.
- Yukarıda ifade edilen gözlemlere ek olarak, eşdeğer kazık boyu yöntemi kullanılarak yapılan analizlerde, integral köprü elemanları için elde edilen moment ve kesme kuvvetlerinin (üst yapı kesme kuvveti hariç) tutarsız olarak ya emniyetli yada emniyetsiz tarafta olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle, eşdeğer kazık boyu yöntemi integral köprülerin tasarımında kullanılmamalıdır.
- Yapılan bu çalışmadan anlaşılmıştır ki, integral köprülerin hareketli yük analizlerinde kullanılan iki boyutlu yapısal modellerde köprü zemin etkileşimleri mutlaka dikkate alınmalıdır.

Teşekkür

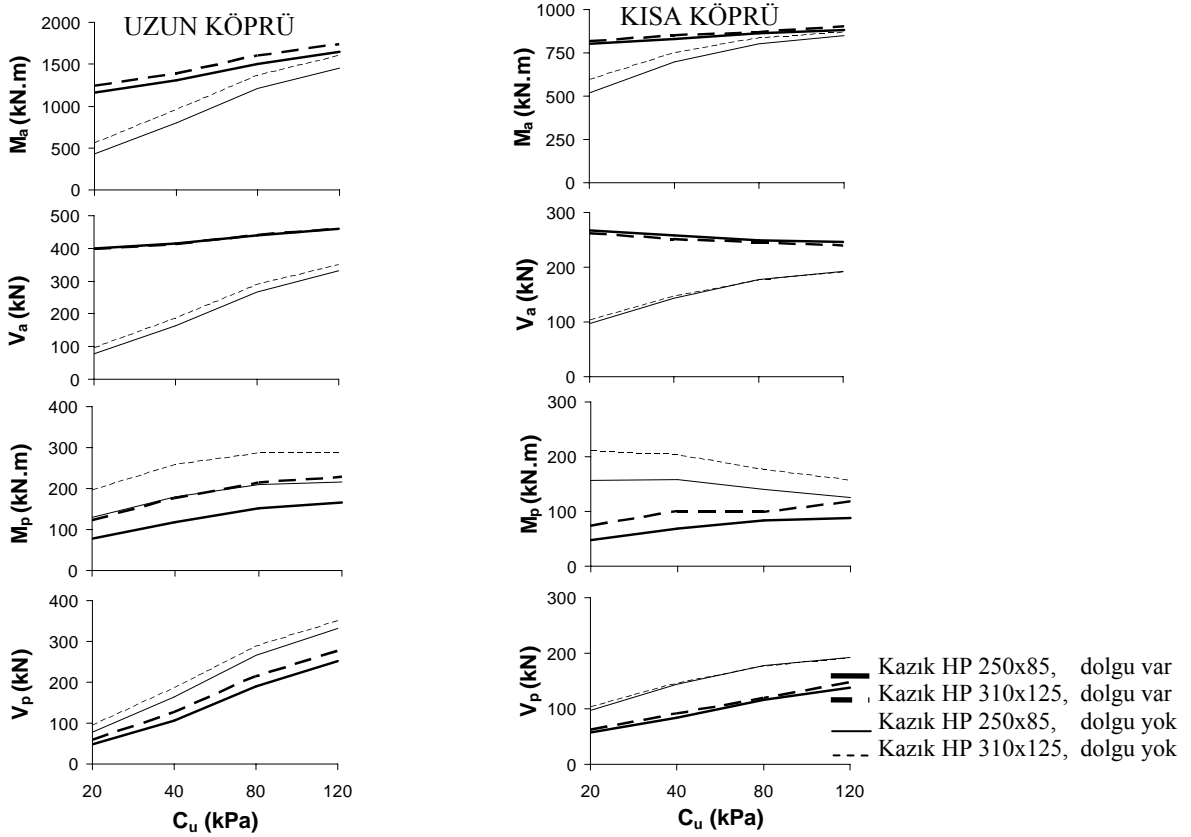
TÜBİTAK'a 106M169 nolu proje kapsamında bu çalışmanın gerçekleşmesi için sağlamış olduğu maddi destekten dolayı teşekkür ederiz. Bu çalışmadan elde edilen sonuç ve öneriler sadece yazarlara aittir.



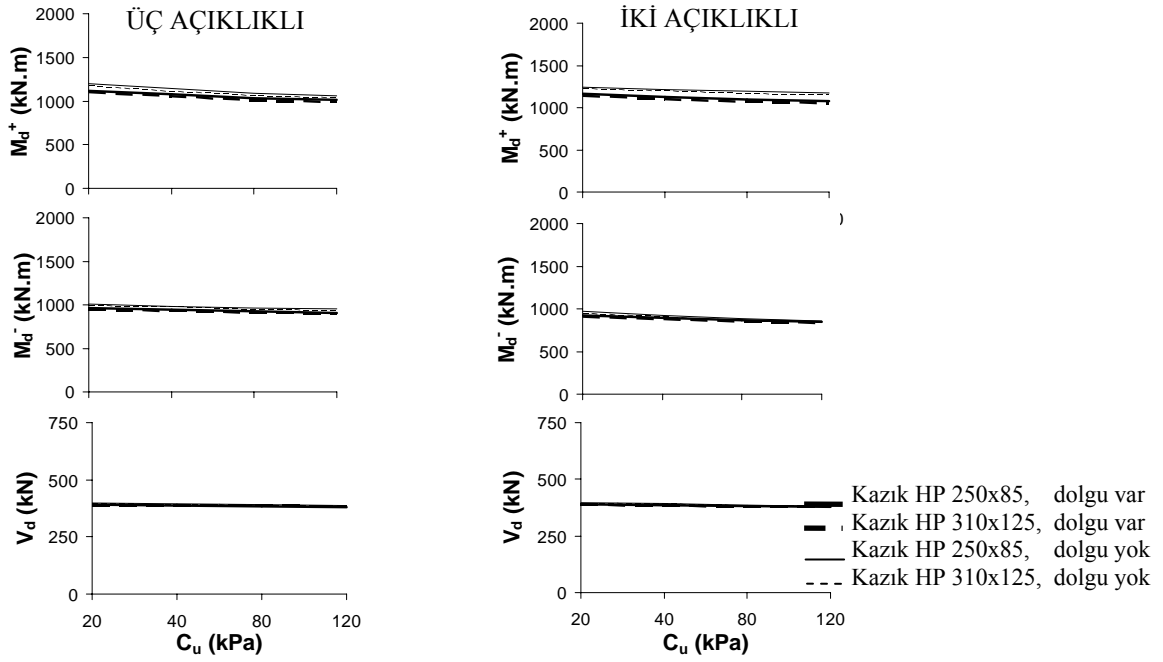
Şekil 5. Alt yapı ve üst yapı momentleri ve kesme kuvvetleri - kil çeşidi; kuvvetli dönme eksenine göre yerleştirilmiş HP250x85 kazıklarla desteklenen 3m uç ayak yüksekliğine sahip tek açıklıklı kısa köprüler için.



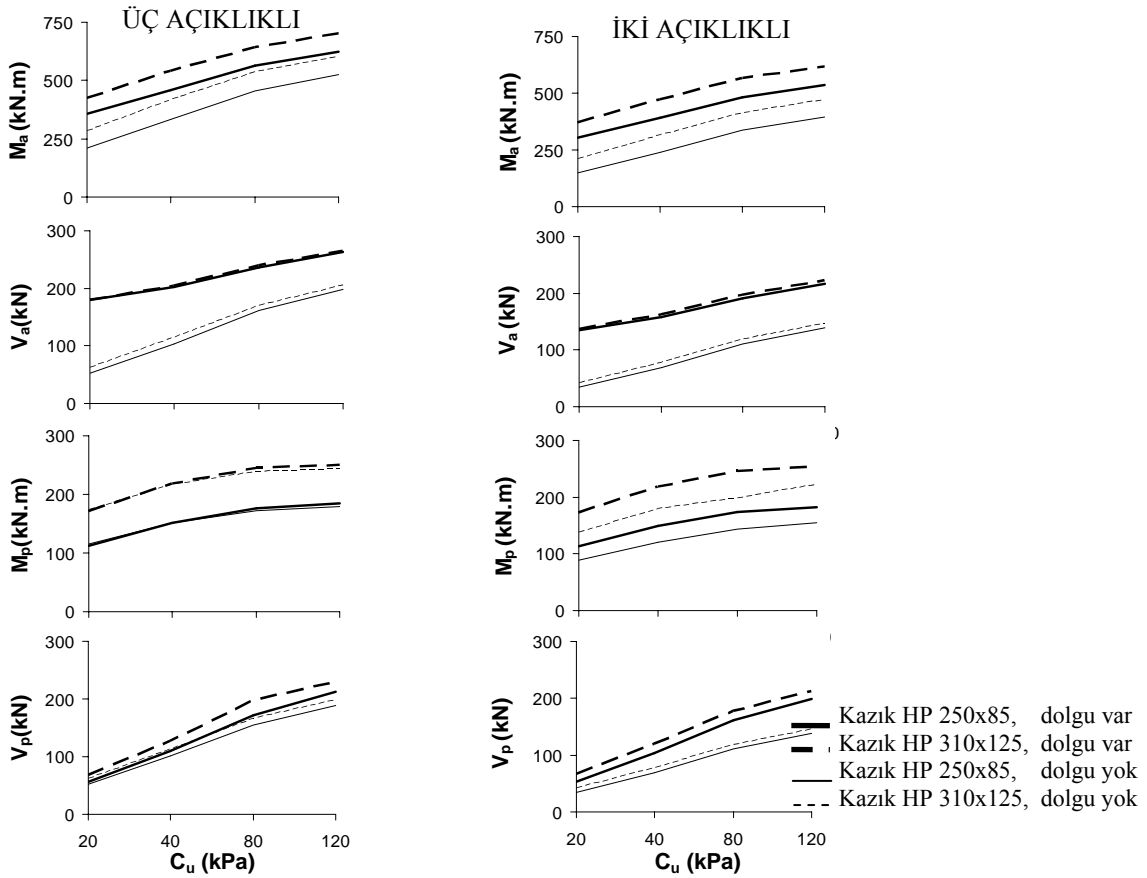
Şekil 6. Üst yapı momentleri ve kesme kuvveti - kil çesidi; kuvvetli dönme eksenine göre yerleştirilmiş çeşitli kazıklarla desteklenen 5m uç ayak yüksekliğine sahip kısa ve uzun tek açıklıklı köprüler için.



Şekil 7. Alt yapı momentleri ve kesme kuvvetleri - kil çesidi; kuvvetli dönme eksenine göre yerleştirilmiş çeşitli kazıklarla desteklenen 5m uç ayak yüksekliğine sahip kısa ve uzun tek açıklıklı köprüler için.



Şekil 8. Üst yapı momentleri ve kesme kuvveti - kil çeşidi; kuvvetli dönme eksenine göre yerleştirilmiş HP250x85 kazıklarla desteklenen 3m uç ayak yüksekliğine sahip çok açıklıklı köprüler için.



Şekil 9. Alt yapı momentleri ve kesme kuvvetleri - kil çeşidi; kuvvetli dönme eksenine göre yerleştirilmiş HP250x85 kazıklarla desteklenen 3m uç ayak yüksekliğine sahip çok açıklıklı köprüler için.

KAYNAKÇA

- [1] Haliburton, T. A., "Soil Structure Interaction; Numerical Analysis of Beams and Beam Columns", Technical Publication No. 14, School of Civil Engineering, Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma, 1971
- [2] Skempton, A. W., "The Bearing Capacity of Clays", Building Research Congress, Division I, Part 3, London, 180-189,1951.
- [3] Evans, L. T., Simplified Analysis of Laterally Loaded Piles, Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley, California, page 211, 1982.
- [4] Dicleli, M., (2000) "A rational Design Approach for Prestressed-Concrete-Girder Integral Bridges", Engineering Structures, 22 (3), 230-245.
- [5] Husain, I., Bagnariol, D., "Integral-abutment Bridges", Ontario Ministry of Transportation, Report SO-96-01, St. Catharines, Ontario, Canada, 1996.
- [6] Dicleli M. and Albhaisi S. M., "Maximum Length of Integral Abutment Bridges Supported on Steel H-piles Driven in Sand", Engineering Structures, 25(12), 1491-1504, 2003.
- [7] AASHTO (American Association of State Highway Transportation Officials), LRFD Bridge Design Specifications, Third Edition, Washington, D. C., USA, 2007.
- [8] Bowles, J., E., "foundation Analysis and Design", 5th Edition, McGraw-Hill, New York, NY, 1996.
- [9] Clough, G. M., Duncan, J. M., Foundation Engineering Handbook, Second Edition, Edited by H. Y., Fang, Van Nostrand Reinhold, New York, USA, 1991.
- [10] SAP2000, "Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures", Computers and Structures Inc., Berkeley, California, 2006.