

Tarihi Bir Köprünün Zemin-Yapı Etkileşiminin İrdelenmesi

Hamza Güllü

İnşaat Mühendisliği Bölümü
Gaziantep Üniversitesi
Email: hgullu@gantep.edu.tr

Özet

Yapıların deprem altındaki gerçek davranışları zemin-yapı etkileşimlerinin irdelenmesi ile ortaya konulabilir. Bu çalışmada, tarihi Şenyuva köprüsünün zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak hesaplanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, SAP2000 programı kullanılarak köprü ve temel zemininin sayısal modeli çalışılmıştır. Depremler ve depremsiz durumlar için ayrı ayrı analizler yapılmakta olup, köprü üzerindeki gerilmeler karşılaştırılmaktadır. Bu çalışmada uygulanan sayısal modelin farklı köprü analizleri için faydalı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar sözcükler: Zemin-yapı etkileşimi, tarihi köprü, Şenyuva köprüsü, SAP2000

Giriş

Ülkemizdeki birçok tarihi yapının yüzyıllardır ayakta kalması, hasara uğramaması veya çok az hasarla günümüze ulaşması, yapı, zemin ve deprem açısından keşfedilmeyi bekleyen önemli bilgilere ışık tutabilir. Hatta tarihi yapılar ciddi hasarlar görerek günümüze ulaşsa bile, hasarın sebeplerinin araştırılarak ortaya konulması ayrı bir çalışma alanı olarak katkı sağlayabilir. Genel olarak tarihi yapılar irdelendiğinde, yapı malzemesinin dayanımı, zamana bağlı oluşan deformasyonlar, deprem etkisi, zemin etkisi, yükleme durumları, tasarım özellikleri gibi bir çok hususun hesaplamalarda önemli olduğunu görürüz. Bu araştırmalar vasıtasıyla elde edilecek bilgiler, yapıların korunması, onarılması ve geleceğe aktarılması kapsamında oldukça önem arz etmektedir. Bu bilgiler kapsamında, tarihi yapıların yapısal (structural) davranışlarının tam olarak anlaşılması ve günümüzdeki gelişmiş analiz yöntemleri ile irdelenmesi faydalı olacaktır. Sonlu elemanlar analiz yöntemi bu hususta oldukça katkıda bulunmaktadır.

Çoğu kemer formunu esas alan ve yığma taş veya tuğla sisteminde oluşan tarihi köprüler, basit geometrik formlarından dolayı diğer tarihi yapılara göre daha kolay modellenebilecek bir yapısal davranış gösterirler. Bu yapılardaki geniş açıklıkları geçmek için oldukça uygun olan kemer form, eğrisel geometrik biçiminden dolayı basınç kuvvetlerinin etkisinde kalır. Taş ve tuğla gibi yapı malzemeleri yüksek basınç dayanımlarına sahip olduğundan, yapısal olarak da kemerli köprü sistemleri oldukça dayanıklı olmuştur. Kemerli köprüler, köprü ana eksen ve yerçekimi doğrultusundaki

düşey eksen tarafından oluşturulan düzlem içerisinde, asıl yük aktarma mekanizmasını gerçekleştirirler. Bu durum, deprem ve sel etkilerinde oluşan deformasyon ve iç kuvvetlere karşı yapısal sistemde önemli direnç sağlar (Toker, 2000, 2004).

Bu çalışmada, tarihi köprülerin yapısal olarak modellenmesinde deprem etkilerinin irdelenmesi amacıyla zemin-yapı etkileşimine vurgu yapılmıştır. Literatürdeki bir çok çalışma incelendiğinde, genellikle sadece yapısal sistemin (üst yapı) hesaba katıldığı, fakat zemin etkisinin dikkate alınmadığı görülmüştür. Bu yüzden, bu çalışma daha gerçekçi analizler yapılabilmesi için gelecekteki araştırmalara ışık tutabilir.

Analiz Yöntemleri

Günümüzde yığma taş yapıların hesap ve tasarımlarında lineer olmayan malzeme özelliklerinin de dikkate alındığı, taş kütlelerini bağlayan harçta oluşan çatlakların neden olduğu mafsal davranışın hesaba katıldığı, plastik analiz yöntemleri de yaygın olarak kullanılmaktadır (Toker, 2004). Yapısal analizlerde, i) Geometrik boyutlar ve ii) yapıyı oluşturan taş blokların ve taş bloklarından oluşan yapı elemanlarının mekanik özellikleri çok iyi bir şekilde tanımlanmalıdır. Böylelikle yapıdaki genel stabilite ve dayanım sürekliliği sağlanabilir. Ayrıca, oldukça büyük kesit boyutlarına sahip yapı elemanlarının dışarıdan görünmeyen iç bölümlerinin malzeme özellikleri, dolayısı ile yapı elemanının davranışları da dikkatli bir şekilde irdelenmelidir. Yapısal analiz teknikleri başlıca i) elastik, ii) plastik deformasyonların da hesaba katıldığı lineer-elastik olmayan analiz ve iii) göçme mekanizmasının hesaba katıldığı limit analiz yöntemleri olarak sınıflandırılabilir. Lineer-elastik olmayan ve limit analiz yöntemleri, gerilme-deformasyon davranışlarının çok iyi bir şekilde tetkik edilmesini gerektirir. Bu tür analizlerde oluşabilecek bir çatlağın gelişiminin de iyi irdelenmesi ve hesaba katılması gerekir. Özellikle harç ile tuğla ya da harç ile taş arasındaki bağlantının çok değişik şekillerde modellenebileceği unutulmamalıdır. Çok karmaşık geometrik formlara sahip olan tarihi yapılarda, yük aktarma mekanizmalarının öngörülebilmesi için öncelikle elastik hesap yöntemi ile analiz edilmesi önerilmektedir (Crocì, 1998). Ancak belirtmek gerekirken, elastik hesap yöntemi, yığma yapı elemanlarında basınç gerilmeleri altında kabul edilebilir sonuçlar verirken, çekme gerilmelerinde bazı sorunlar oluşturabilmektedir. Bu yüzden, elastik analiz ile belirlenecek zayıf bölgeler, bu bölgeler için oluşturulan ve lineer olmayan malzeme özelliklerini dikkate alan ayrıntılı modeller ile tekrar analiz edilmelidir (Toker, 2004).

Tarihi köprülerin de içinde bulunduğu, yığma yapıların ayrıntılı yapısal analizleri genellikle sonlu elemanlar yöntemi ile yapılır. Bu yöntem, yapının tamamının veya kritik olarak kabul edilebilecek belirli bir elemanın matematiksel modelinin hazırlanmasıyla uygulanır. Yapı, analizin amacına uygun olarak sonlu elemanlara ayrılır. Yapıyı oluşturan yapısal elemanlar, geometrik boyutlar, yapıya etkileyen yükler, mesnetler, elemanların birleşim noktalarının hareket yetenekleri ve serbestlik derecesi model içerisinde tanımlanarak analizler gerçekleştirilir. Matematiksel modeller, gerçek davranışın gözlenmesinde faydalı olmakla beraber, unutmamak gerekir ki yapının gerçek davranışı genellikle çok karmaşıktır (Ünay, 2001). Yığma sistemli bir yapının kritik bir bölümünün veya tamamının davranışını analiz edecek matematiksel modelleme temel olarak i) malzeme davranışının belirlenmesi, ii) sınır koşullarının tespit edilmesi, iii) mesnetlerin ve düğüm noktalarının belirlenmesi ve iv) model üzerine etki edecek yüklerin hesaplanması aşamalarından oluşur. Matematiksel model için

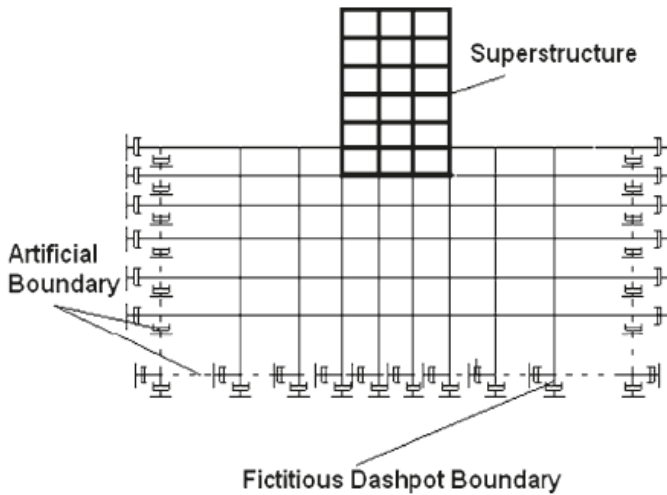
kullanılan sonlu elemanlar analizinde öncelikle modeli oluşturan yapı elemanlarının bireysel davranışları, daha sonra ise yapının tamamının davranışı önemli olmaktadır (Ünay, 2001).

Zemin-yapı etkileşimi analizine gelince, mühendislik açısından yapının deprem altındaki davranışı, birbiriyle bağlantı halindeki yapı ve yapının oturduğu zeminin birbirleri ile olan etkileşimi ile ilgilidir. Zemin-yapı etkileşimi olarak adlandırılan bu davranışın gerçekçi bir şekilde hesaplanması, dayanıklı yapı tasarımında kritik bir konu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu hususun dikkate alınması, tarihi yapıların gerçek davranışlarının anlaşılmasında da önemli katkılar sağlayacaktır. Birçok projede, zemin-yapı etkileşimi dikkate alınmamakta olup, deprem esnasındaki tahmini serbest zemin yüzeyi hareketinin direkt olarak yapının tabanına etki ettiği varsayılarak hesaplar yapılmaktadır (Preisig and Jeremic, 2005).

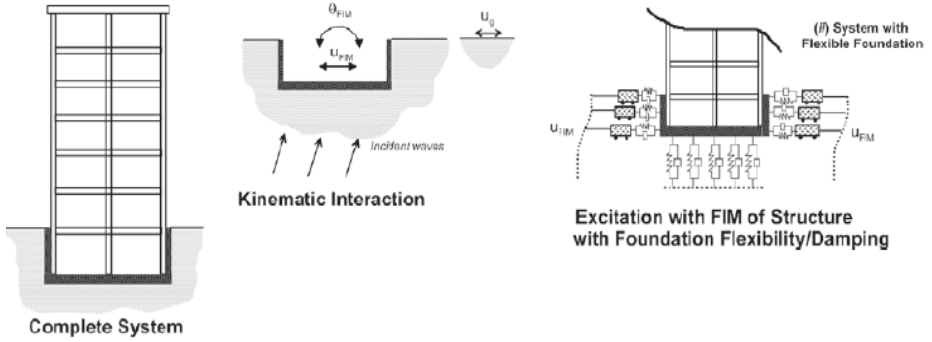
Zemin-Yapı etkileşimi analizi genellikle iki yöntem kullanılarak gerçekleştirilir:

i) Direkt Yöntem: Bu yaklaşımda, zemin ve yapı bir bütün olarak modellenmekte olup, anakayada tanımlanan deprem hareketi etkisinde tek bir adımda analiz edilir. Şekil 1, direkt yöntemin şematik olarak gösterimini sunmaktadır. Direkt yöntem, yapı, zemin ve her ikisi arasındaki arayüzün nonlineer davranışını modelleyebilmesinden dolayı oldukça gelişmiş bir yöntem olarak kabul edilebilir (Aydınlioğlu, 2001; Jaya ve Meher Prasad, 2002; Preisig and Jeremic, 2005; Güllü ve Pala, 2014).

ii) Alt Sistem Yöntemi: Bu yöntemde zemin ortamı ve üst yapı ayrı birer alt sistem olarak modellenerek süperpozisyon uygulanır. Direkt analiz ile karşılaştırıldığında, alt sistem modelinde zemin-yapı etkileşimi daha basite indirgenmiş elverişli bir alternatif model olarak sunulmaktadır. Şekil 2, alt sistem yöntemini şematik olarak göstermektedir. Alt sistem yöntemi; üst yapı ve temelin kütleli olması halinde etkin temel hareketinin elde edilmesi, zemin-yapı sisteminin empedans fonksiyonunun belirlenmesi ve üst yapının dinamik analizinin yapılması aşamalarından oluşur (Preisig and Jeremic, 2005; NIST, 2012).



Şekil 1. Direkt yöntem (Jaya ve Meher Prasad, 2002; Güllü ve Pala, 2014).



Şekil 2. Alt sistem yöntemi (NIST, 2012).

Tarihi Şenyuva Köprüsü

Rize-Çamlıhemşin'in tarihi eserlerinden biri olan ve halen kullanılmaya devam eden Şenyuva Köprüsü, bulunduğu bölgenin en eski köprüsüdür. Şekil 3, Şenyuva köprüsünün değişik görünüşlerini sunmaktadır. Köprü tek kemerli bir yapısal sisteme sahiptir. Fırtına Deresi üzerinde bulunur ve doğu-batı doğrultusunda uzanır. Kesin olmamakla beraber, köprü tarihinin 1699 yılına kadar dayandığı yöre halkı tarafından söylenmektedir. Köprü, dere seviyesinden 15-20 metre yüksekliğe sahip olup, toplam uzunluğu 40 metredir. Bu çalışmada, Şenyuva köprüsünün deprem etkisi altındaki zemin-yapı etkileşimi analizinin ön bilgileri verilmiş olup, çalışma henüz neticelenmediğinden bulgular sunulmamıştır. Bu kapsamda, SAP2000 programı kullanılarak köprü ve temel zemininin sayısal modeli oluşturulmaktadır. Zemin genişliği köprü genişliğinin yaklaşık 3 katı alınarak hesaba katılmaktadır. Köprü zemine ankastre olarak mesnetlenmiştir. Zemin ise düşeyde kayıcı, yatayda ise ankastre olarak modellenmektedir. Zemin modeli, bütün zemin alanının katı (solid) alanlara dönüştürülmesi ile elde edilmektedir. Bu yaklaşım, bildiri yazarının bir varsayımı olup, zeminin boşluk ihtiva etmesinden dolayı, SAP2000'de içi boşluklu olarak tanımlanabilen katı elemanlar kullanılarak modellenebileceği düşüncesi üzerine ortaya atılmıştır. Başlangıç olarak zemin-yapı modeli iki boyutlu olarak çalışılmaktadır. Analizler, depremler ve depremsiz durumlar için ayrı ayrı yapılmakta ve köprü üzerindeki gerilmeler karşılaştırılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan sayısal modelin farklı köprü analizleri için geliştirilmesi amaçlanmaktadır.



Şekil 3. Şenyuva Köprüsü

Sonuç

Bu çalışmada, tarihi yapıların yapısal analizlerinde, zemin-yapı etkileşiminin önemli olduğu vurgulanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, tarihi Şenyuva köprüsü'nün deprem etkisindeki davranışı zemin-yapı etkileşimi kapsamında irdelenmiştir. Çalışmada kullanılan sayısal modelin farklı köprü analizleri için de faydalı olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Aydinoğlu, M.N. (2011) Zayıf zeminlerde yapılan binalarda dinamik yapı-kazık-zemin etkileşimi için uygulamaya yönelik bir hesap yöntemi. Rapor No. 2011/1, Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul.
- Croci, G. (1998) The conservation and structural restoration of architectural heritage. Computational Mechanics Publications, Southampton.
- Güllü, H., Pala, M. (2014) On the resonance effect by dynamic soil-structure interaction: a revelation study. Natural Hazards, 72 (2), 827-847.
- Jaya, K.P., Meher Prasad, A. (2002) Embedded foundation in layered soil under dynamic excitations. Soil Dyn Earthq Eng 22, 485-498.
- NIST (National Institute of Standards and Technology) (2012) Soil-Structure-Interaction for building structures. NEHRP Consultants Joint Venture, NISTGCR 12-917-21, Gaithersburg, MD 20899.
- Preisig M., Jeremic B. (2005) Nonlinear finite element analysis of dynamic soil-foundation-structure interaction. SFSI Report, Department of Civil and Environmental Engineering University of California, Davis.
- Toker, S. (2004) Mathematical modeling and finite element analysis of masonry arch bridges. G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi 17 (2), 129-139.

- Toker, S. (2000) Development of arch form: exploring the behavior of masonry arches and arch bridges by finite element analysis. Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ.
- Ünay, A.İ. (2001) Tarihi yapıların depreme dayanımı. ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları