

Baret Temeller İçin Basen Etkisinin İncelenmesi: Alibeyköy Viyadüğü Çalışması

Cenan Özkaya^{1,*} ve Doç.Dr. M.Tolga Yılmaz²

¹ Dr., Yüksel Proje AŞ, Ankara, kucukdahi@hotmail.com

² Doç.Dr., Orta Doğu Teknik Üniversitesi, mtyilmaz@metu.edu.tr

ABSTRACT: Simplified methods that can be used for seismic design of deep foundations in deep alluvial basins are useful for preliminary design. Besides, they can be used to examine the results of dynamic soil-structure interaction analyzes yielding much higher computational costs. These simple calculations generally ignore the shape of basins, and are based on the assumption that the soil properties show uniformity in the horizontal direction. It has been shown in the literature that waves occurring at basin edges can cause significant amplification in ground motion amplitudes. The effect of this amplification on the seismic behavior of pile foundations may be significant. In this study, the effects of this amplification were investigated by the 2-dimensional finite element analysis of basin and deep foundation. The İstanbul Alibeyköy viaduct, resting on thick concrete mats supported by barrettes was considered as a case study.

The seismic loads acting on barrettes were first estimated by simplified methods. The ground displacements in free-field were computed by 1-dimensional nonlinear site response analyses. These analyzes are more consistent with the nonlinear soil behavior that is usually expressed in the literature by empirical relationships of stiffness reduction and energy damping. Simplified 2-dimensional foundation-soil interaction models consistent with the results of site-response analyzes were prepared by using the finite element method. In order to estimate the loads originating from inertial and kinematic ground-structure interaction, the coefficients of subgrade reaction and kinematic interaction forces acting on barrettes were computed. These coefficients and forces used in a simplified 3-dimensional structural model of foundation. As a result, the seismic effects on the barrette foundations were estimated for the preliminary design.

Then, the Alibeyköy viaduct and the basin were completely modeled by finite elements. The nonlinear behavior of the soil was modeled by the hardening soil constitutive relationships. The dynamics loads acting on the barrettes were computed for two horizontal components of 7 acceleration records. The nonlinear moment-curvature

relationships were employed for calculation of maximum moment acting on each barrette. It was observed that, the pseudo-static analyses for preliminary design yields reasonably similar figures to those obtained in dynamic analyses, whereas they are unsafe for piles located close to the basin edges where the buried rock topography shows significant inclination.

Keywords: Pile Foundations, Barrettes, Basin effect, Soil-Structure Interaction

ÖZET: Derin alüvyon basenlerde imal edilecek derin temellerin sismik tasarımı için kullanılabilecek basitleştirilmiş yöntemler ön tasarım için faydalı olmakta ve hesap maliyeti çok daha yüksek olan dinamik zemin-yapı etkileşimi analizlerinin sonuçlarının güvenliğinin değerlendirilmesinde kullanılabilir. Bu basit hesap yöntemleri basen tabanının şeklini göz ardı etmekte ve zemin özelliklerinin yatay yönde tekdüzelik gösterdiği kabulüne dayanmaktadır. Basen sınırlarında oluşan dalgalarının yer hareketi genliklerinde önemli amplifikasyona sebep olabileceği literatürde gösterilmiştir. Bu amplifikasyonun kazık temellerin sismik davranışı üzerine etkisi belirgin olabilecektir. Basen sınırlarına yakın imal edilen baret temeller için bu amplifikasyonun etkileri, basen ve baretlerin 2 boyutlu olarak modellendiği dinamik sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. Vaka çalışması için İstanbul Alibeyköy Viyadüklerinin baret temelleri göz önüne alınmıştır.

Baretler için öncelikle basitleştirilmiş yöntemlerle deprem tesirleri belirlenmiştir. Serbest sahada deprem sırasında gerçekleşebilecek zemin deplasmanları, bir boyutlu nonlineer saha tepkisi analizi ile hesaplanmıştır. Bu analizlerde dinamik zemin davranışı literatürde sunulan rijitlik azalması ve enerji sönümlenme modelleri ile daha uyumlu olmaktadır. Analizlerde hesaplanan deplasman profilleri ile tutarlı davranış gösteren 2 boyutlu basitleştirilmiş temel-zemin etkileşimi modelleri hazırlanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemine dayanan modeller ile kinematik zemin-baret etkileşimi hesaplanmıştır. Atalet ve kinematik zemin-yapı etkileşiminin birleştirilmiş şekilde modellenmesi için, kinematik analiz sonuçları ile uygun zemin yatak katsayıları hesaplanmıştır. Bu yatak katsayıları, yapı ve temel tepkisini hesaplayan basitleştirilmiş 3 boyutlu sonlu elemanlar modelinde kullanılmışlardır. Bu yöntem sonucunda baretler üzerindeki sismik tesirler kabaca hesaplanmış ve baretlerin ön tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, basen geometrisi ve viyadük bütün

olarak 2 boyutlu nonlinear sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiştir. Zeminlerin davranışı küçük deformasyonlarda rijitlik azalmasını dikkate alan bir zemin modeli ile analize yansıtılmıştır. Yedi deprem ivme kaydının iki yatay bileşeni de dikkate alınarak, baretler üzerindeki maksimum deprem tesirleri hesaplanmıştır. Bu tesirler, baretlerin maruz kaldığı en yüksek yapısal deformasyonlar dikkate alınarak belirlenmiştir. Dinamik analizler sonucunda, ön tasarımın basenin orta bölgesinde güvenli, basen sınırlarına yakın bölgede güvensiz sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kazık temeller, Baret, Basen etkisi, Zemin-Yapı Etkileşimi

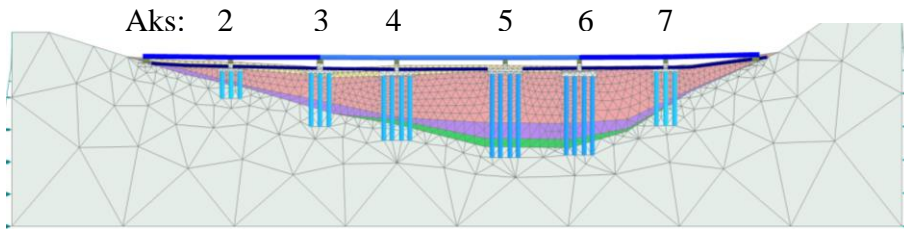
GİRİŞ

Deprem yüklerine maruz kalacak grup kazıklarının analizinde yapıdan kazık başlarına aktarılan kuvvetler, zeminlerin kazık deformasyonlarına etkisi, kazıklar arası etkileşim ve kazıkların mukavemet özellikleri rol oynamaktadır. Deprem yüklerinin yüksekliği sebebi ile hem kazık hem de zeminlerin nonlinear davranışının kaçınılmaz olduğu durumda kesin hesaplar ancak yapı-kazık-zemin modelini içeren nonlinear dinamik analizler ile mümkündür. Ancak bu tip analizin hesap süresi açısından maliyeti sebebi ile tasarım probleminde değişik çözümlerin denenmesi veya basit çözümlerin elde edilmesi, zemin-yapı etkileşimi analizini psedostatik olarak ele alıp problemi basitleştirmekle mümkündür (Elahi vd., 2010). Bu basitleştirilmiş analizler, zemin katmanlarının iki yönde süreklilik gösterdiği kabulüne dayanır. Oysa ki alüvyon basenlerin özellikle kenarlarında bu kabul geçerliliğini yitirmektedir. Basen kenarları ve basen tabanında kaya formasyonunun derinliğindeki değişim, yüksek seviyede spektral amplifikasyona sebep olabilmektedir (Field, 1996; Semblat vd., 2005). Bu çalışmada, söz konusu etkinin derin temellerin zemin-yapı etkileşiminde önemi üzerine bir inceleme yapılmıştır. İncelemede, Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Hattı üzerinde yer alan 73 m maksimum açıklığa sahip Alibeyköy viyadüğünün üzerinde yer alacağı basen vaka analizi olarak göz önüne alınmıştır.

Şekil 1, vaka çalışmasında göz önüne alınacak ve Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Hattı üzerinde yer alan Alibeyköy baseninin basitleştirilmiş kesitini, baretlerin vadi içinde yerleşimlerini ve 2 boyutlu sonlu elemanlar analizinde kullanılan hesap ağını göstermektedir. 1.50 m x 2.80 m dikdörtgen kesit özelliklerine sahip

olan baretlerin en uzununu Aks 5’te 52 m uzunluğunda, en kısası ise Aks 2’de 16 m uzunluğunda olacağı öngörülmüştür. Vadi baseninde zeminler yukarıdan aşağıya, kalın daneli sıgı dolgu, plastisite endeksi (PI) yaklaşık 34 olan kalın yumuşak-orta sert kil çökelleri ($S_u \cong 25$ kPa), sıkı kumlu çakıllar, sıkı killi kum ve değişken kalitede silttaşı-kumtaşı kaya formasyonları yer almaktadır. Bu basitleştirilmiş zemin profilinin mühendislik özellikleri Polat (2015) tarafından hazırlanan jeoteknik etüt raporuna dayanmaktadır. Baretlerin kaya formasyonlar içerisinde soketlenerek yeterli düşey mukavemete sahip olması gerektiği düşünölmüştür. Analizlerde kazık başlarının radye ile bağlantısının pratik olarak ankastre davranacağı kabul edilmiştir.

Basitleştirilmiş yöntem olarak asitleştirilmiş psedostatik hesap yaklaşımının prensipleri ISO23469:2005(E) dökümanında (ISO, 2004) sunulmaktadır. Bu prensiplere göre, zeminlere etkileyen psedostatik yatay ivme değerinin derinlikle değişimi serbest-saha için gerçekleştirilen dinamik tepki analizlerinde elde edilen pik değerler ile tutarlı olmalıdır. Ancak, pratik uygulamalardan kaynaklanan kısıtlamalar sebebi ile bu ivme değerinin derinlikle değişmediği kabul edilmesi gerekebilmektedir. Ayrıca, saha tepki analizleri ve baret reaksiyonlarını hesaplayan yazılımlarda kullanılan malzeme modelleri ve sınır koşulları uyumsuz olabilmektedir. Basitleştirilmiş analizler ayrıca basen geometrisini ve geoteknik parametrelerin yatay yönde sürekliliğini dikkate almamaktadır. Bu sebeple, basitleştirilmiş psedostatik yöntemlere ve bu yöntemlerin basen amplifikasyonunun gerçekçi şekilde hesaplanabildiği dinamik tepki analizleri ile denemesine ihtiyaç vardır. Bu çalışmada Alibeyköy viyadüğü bu çerçevede incelenmiştir.



Şekil 1. 2 boyutlu sonlu elemanlar modeli ile incelenen Alibeyköy viyadüğünün yer alacağı basenin kesiti ve kesitte baretlerin yerleri

PSEDOSTATİK ANALİZ

Kazık temellerin mevcut psedostatik analizinde temel problem, jeolojik katmanların yatay yönde sürekli olduğu ve deprem dalgalarının düşey olarak kaya ve serbest yüzey arasında ilerlediği kabulüdür. Basenlerin nispeten eğimsiz taban kayasına sahip olduğu orta kısımlarında bu kabul geçerli olsa da, basen kenarlarında, özellikle gömülü kaya topografyası önemli eğim gösteriyorsa kabul gerçekçiliğini yitirebilmektedir. Bu sınırlar çerçevesinde, basitleştirilmiş kinematik-zemin etkileşimi şu aşamaları kapsamıştır:

1.Dinamik saha tepkisi analizleri ile serbest saha deplasmanlarının hesaplanmıştır.

2.Serbest saha deplasmanları ile tutarlı psedostatik zemin-yapı kinematik etkileşimi analizi ile baret deplasmanları hesaplanmıştır.

3.Yapısal analizlerde kullanılmak üzere baretlere tesir edecek kinematik etkileşim kuvvetlerinin ve zemin yatak katsayılarının hesaplanmıştır.

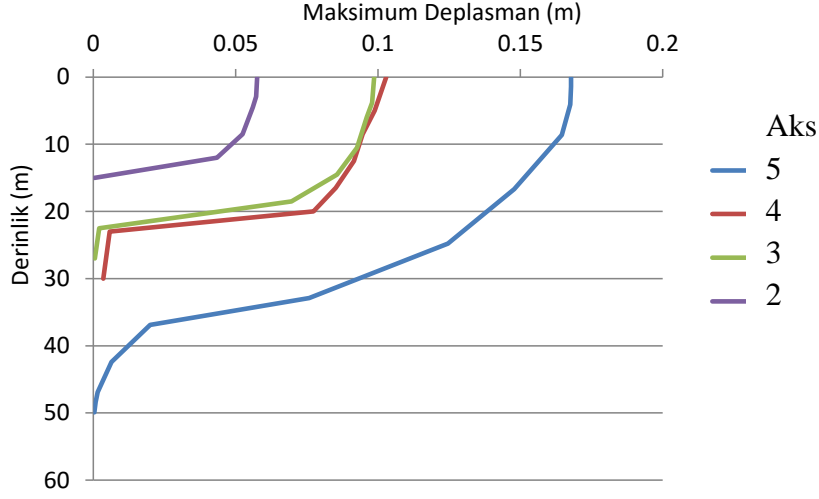
4.Zemin yatak katsayıları kullanılarak 3 boyutlu psedostatik yapı-radye-baret-zemin etkileşimi hesaplarının çözümlenmiştir.

Dinamik saha tepki analizleri zeminlerin davranışı DEEPSOIL programı ile gerçekleştirilmiştir (bkz. Hashash vd., 2016). Zeminlerin dinamik tepkisini 1 boyutlu olarak modelleyebilen bu program, zeminlerin nonlineer davranışını gerçekçi modelleyebilmesi, zeminde akma durumunu göz önüne alabilmesi ve aşırı sönümlenmeye sebep olmayan histeretik davranış gösterebilmesi sebebiyle tercih edilmiştir. Analizlerde Darendeli (2001) tarafından verilen ampirik rijitlik azaltma ve sönümlenme ilişkileri temel alınmıştır. Bu analizlerde 1 Boyutlu saha tepki modeli kurulmuş, Erdik ve Harmandar (2015) tarafından sağlanan ve NEHRP B/C saha sınıfı için ölçeklendirilmiş kuvvetli yer hareketi kayıtları kaya hareketi olarak kullanılmıştır. Bu analiz sonucunda, alüvyon zeminlerin maruz kalacağı maksimum deplasman ve zemin katmanlarında makaslama birim uzama genliği tahmin edilmiştir. Şekil 2 ile Aks 2, 3, 4, 5 için hesaplanan ve 475 yıl tekerrür süreli tasarım spektrumu ile tutarlı zemin deplasmanları sunulmaktadır. Aks 6 için zemin profili Aks 5 ile benzerdir. Her aks yerinde yumuşak kil tabanında akma sonucu oluşan aşırı yatay deplasmanlar sonuçların en belirgin özelliğidir (Şekil 2).

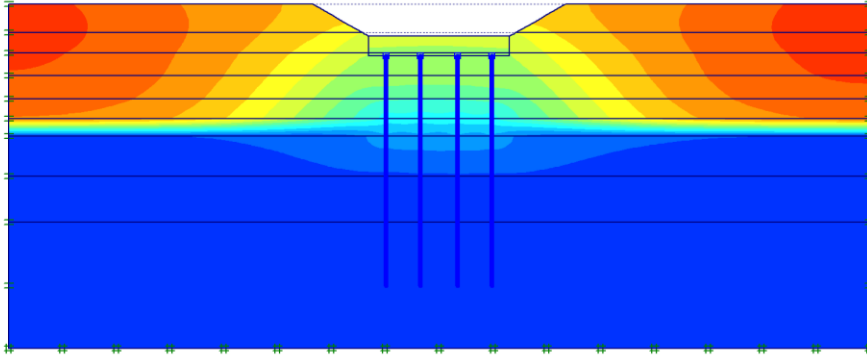
Baretlerin sonlu elemanlar yöntemi ile 2 boyutlu pseudostatik analizi için PLAXIS programı kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizinde, DEEPSOIL tarafından kabul edilen nonlineer gerilme-birim uzama ilişkilerinin tam olarak ele alınması mümkün olmadığından malzeme davranışının lineer olduğu kabul edilmiş,

ancak zeminlerin rijitliğinin (elastik modülünün) eşdeğer-lineer yaklaşım ile azaltılması yoluyla serbest-saha deplasman profilinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Sonlu elemanlar modelinin sınırları düşey yönde ilerleyen kesme dalgası kabulü ile uygun şekilde (düşey yönde sabit, yatay yönde serbest) modellenmiştir. Sonlu elemanlar modelinde drenajsız kesme koşulları Poisson oranını 0.5'e yakın tutarak modellenmiştir. Her zemin katmanı için hesaplanmış maksimum birim kesme deformasyonu kullanılarak V_S (S dalgası hızı) ve doymuş birim ağırlık ile elde edilen rijitlik ($G=V_S^2 \cdot \gamma_s/g$) değerleri Darendeli (2001) tarafında verilen faktörler ile azaltılarak hesaplanmıştır. Bu G değerleri Poisson oranları ile birlikte sonlu-elemanlar analizinde elastik malzeme olarak kabul edilmiş zemin katmanlarının eşdeğer lineer tepkisini tanımlamaktadır. Bu aşamadan sonra, DEEPSOIL ile tutarlı şekilde katmanları tanımlanan psedostatik sonlu elemanlar analizinde, Şekil 2 ile sunulan serbest saha deplasmanlarını verecek yatay ivme değeri deneme-yanılma ile bulunmuştur. Sonlu elemanlar programının psödostatik analizinde bu ivme değerinin derinlikle değişimine izin vermemektedir. Bu sebeple, DEEPSOIL analizlerinde de görülen yumuşak kildeki akma sebebi ile psedostatik ivme değeri olarak 0.08g, Şekil 2'deki deplasman profili makul şekilde sağlayan ve tüm katmanlar için sabit bir değer olarak belirlenmiştir. Daha sonra bu analize baret ve radye temel yerleştirilerek analiz tekrarlanmış ve radye üzerindeki maksimum yatay deplasman ile baretlerin deformasyon değerleri çıkartılmıştır. Şekil 3, Aks 4 için yaklaşık 10 cm olan serbest saha deplasmanını rayde üzerinde yaklaşık 4 cm seviyesine indiren psedostatik analiz sonucunda, temel çevresindeki deplasmanların serbest sahadan farklılaşmasını kontörlerle göstermektedir.

2 boyutlu sonlu-elemanlar modelinde plaka anlamına gelen giriş elemanlar, kazık davranışını modellemek için kullanılmıştır. Kazıkların kesit geometrik özellikleri eğilme rijitliği (EI) ve çekmede rijitliği (EA) baretin iki yönü için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Her sıradaki kazıkların rijitlikleri eklenerek, bu değer o yönde temel kesit uzunluğuna bölünmüş ve her birim metre için temsili rijitlik değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 2. 475 yıl için ölçeklendirilmiş 7 kuvvetli yer hareketi kaydına göre farklı akslarda ortalama serbest sahada deplasman-derinlik ilişkisi.



Şekil 3. Aks 4 için pseudo-statik kinematik etkileşim analizinde baretler çevresinde oluşan deplasman kontörleri.

Baretler üzerindeki kinematik ve atalet etkileşimi kuvvetlerinin hesaplanması için elastik destek üzerindeki kiriş teorisinden yararlanılmıştır (Bowles, 1996). Bu yaklaşımda, SAP2000 ile baretler kiriş elemanlar ile modellenmiştir (Şekil 4). Soketlemenin yeterli olması sebebi ile baret uçlarının düşey yönde sabit olduğu düşünülmüştür. Zemin-yapı etkileşiminin 3 boyutlu hesabı için,

baretler kiriş elemanları ile modellenmiş, baretlerin yatay hareketine zemin direnci ise yatay yönde kazığa bağlanan yay elemanlar ile modellenmiştir. Zemin yatak katsayıları, elastisite modülü, dolayısı ile rijitliği ile orantılı olarak belirlenmiştir (Vesic, 1961). Baret-zemin kinematik etkileşimi için deplasmanlar ve reaksiyon kuvvetleri arasındaki ilişki,

$$[K_b]\{u_b\}+[k]\{u_b\}=\{q_k\} \quad (1)$$

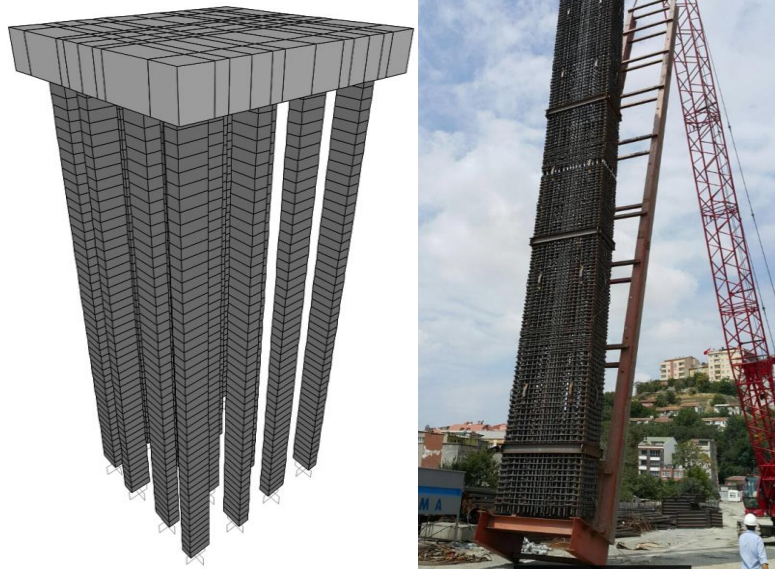
ile ifade edilmiştir. Denklem (1) Wolf (1985) tarafından lineer davranan temeller için frekans uzayında ifade edilen kinematik zemin-yapı etkileşimi denkleminin, psödostatik analizde de geçerli olduğu kabulüne dayanmaktadır. Denklemde $[K_b]$ baretlerin rijitlik matrisi, $[k]$ diagonal zemin rijitliği matrisi, $\{u_b\}$ baretlerin (her düğüm noktası için) deplasman vektörü, $\{u_s\}$ ise serbest sahada deplasman vektörüdür. Baretlerin mevcut olmaması durumunda, $[K_b]=0$ olacağı, ve $\{u_b\}$ vektörünün serbest saha deplasmanlarını (Şekil 2) sağlaması gerekmektedir. Zeminin lineer davranması durumunda ise $[k]$ sabittir. Bu koşullar altında kinematik zemin-yapı etkileşimi kuvvetleri

$$\{q_k\}=[k]\{u_s\} \quad (2)$$

denklemini ile hesaplanmıştır. Denklem 2'de $\{u_s\}$ serbest saha deplasmanı vektörüdür. Bu doğrultuda, SAP2000 ile kurulan baretli radye modelinde, her katmanın rijitliği ile orantılı olan zemin yatak katsayıları Denklem 1 ve 2'yi sağlayacak şekilde iterasyonla değiştirilmiş ve baretlerin varlığında $\{u_b\}$ vektörünü kabul edilebilir bir hata ile verecek şekilde belirlenmiştir. Bu iterasyonlarda dikkat çeken bir konu, baret ucundaki rijitliğin doğru yansıtılabilmesi için baretin alt kısımlarında, özellikle soketlenmiş kısımda yatak katsayılarının ayrıca artırılması gereğidir. Aynı etki, baret uçlarında dönmeyi engelleyecek ek bir yay konulması ile de sağlanabilir. Üstyapıdan aktarılan atalet kuvvetlerinin yokluğunda, her bir baret üzerinde oluşan kinematik tesirler bu şekilde SAP2000 üzerinde hesaplanabilmektedir.

Basitleştirilmiş atalet etkileşimi analizi için baret başında yer alan radye üzerinde tanımlanan etkin temel hareketinin serbest saha hareketine eşit olduğu kabul edilmiştir. Bu sebeple teprem tehlikesi hesabı (Erdik ve Harmandar, 2015) ile alüvyon saha için belirlenen spektral ivme değerleri ve DEEPSOIL programı ile hesaplanan ortalama saha tepki spektrumu arasında muhafazakar olanı temel hareketi olarak kullanılmıştır. Üstyapıdan temele aktarılan düşey ve

yatay sismik kuvvetler ile devrilme momenti ankastre temel kabulü ile hesaplanarak, baretlere bağılı radyeye aktarılmış ve zemin tepkisini modelleyen yaylar sadece bu kuvvetlere tepki vermiştir. Yapısal ataletten kaynak olarak baretlar üzerinde oluşan sismik tesirler “atalet etkileşimi” sonucu olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 4. Aks -5 için SAP2000 modeli ve Baretlarin Tipik İmalat Fotoğrafi

Atalet analizi ve kinematik etkileşim ile baretlar üzerine etkileyen sismik tesirler sırasıyla %100 ve %50 faktörüyle birleştirilmiş, ayrıca gene sırasıyla %50 ve %100 faktörüyle birleştirilerek elde edilen değerler ile karşılaştırılmış, muhafazakar sonuçlar ön tasarım değeri olarak kabul edilmiştir. Tablo 1 her bir aks üzerinde baretlar de zayıf ve kuvvetli yönde oluşan sismik moment tesirlerini sunmaktadır.

Tablo 1. Psedostatik ve 2 Boyutlu Dinamik Analizlerde 475 yıllık Deprem’de Baretlerde Çıkan Max. Eğilme Momentleri

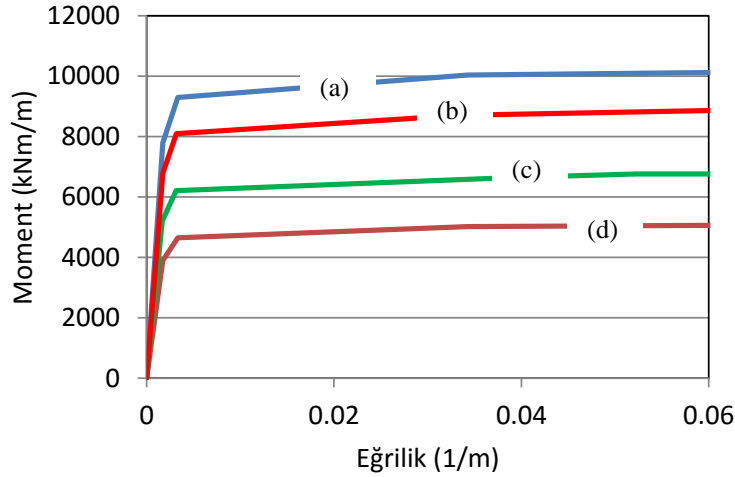
Aks No.	Psedostatik Analiz		2B Dinamik Analiz	
	M _{zayıf} (kN.m)	M _{kuvvetli} (kN.m)	M _{zayıf} (kN.m)	M _{kuvvetli} (kN.m)
2	4328	10466	20862	42682
3	7825	18430	19581	38954
4	8845	19815	14023	27899
5	11196	29467	11718	22225
6	Aks 5 ile aynı		12429	23572
7	5268	14054	27467	56348

2 BOYUTLU DİNAMİK ANALİZLER

Basen kenarlarında oluşan amplifikasyonların hesabı için, Şekil 1’de gösterilen sonlu elemanlar modeli kullanılmıştır. Dinamik analizlerde sol ve sağ model sınırlarında serbest saha (free-field) sınır koşulu, model tabanında ise sismik hareket ile uyumlu (compliant) sınır koşulu tanımlanmıştır. Analizlerde önce statik yükleme fazı kullanılarak sistemin kendi ağırlığı altında oturması ve statik deformasyonları göstermesi sağlanmıştır. Bu aşamadan sonra deplasmanlar sıfırlanarak, ilk fazda hesaplanan gerilmeleri başlangıç alan yeni dinamik analiz fazları tanımlanmıştır. Dinamik analiz fazlarında DEEPSOIL analizlerinde kullanılan deprem kayıtları model alt tabanında yer alan kaya için yatay yönde hareket olarak tanımlanmıştır. Sismik analizlerde 475 yıl tekerrür süresi için Erdik ve Harmandar (2015) tarafından hazırlanan deprem tehlikesi raporunda sunulan kaya üzerinde tasarım spektrumu ve bu spektrum ile tutarlı (7+7=) 14 ivme kaydı kullanılmıştır. Üstyapının temele aktardığı deprem kuvvetlerinde temel üzerindeki hareketin tanımında ise alüvyon zeminler için verilen tasarım spektrumu dikkate alınmıştır.

Modelde zeminleri esas olarak PLAXIS2D programında mevcut *HS-small modeli* kullanılmıştır. Bu model, düşük birim deformasyonlar altında zeminlerin nonlineer davranışını modelleyebilmektedir (Brinkgreve vd., 2006). Zeminlerin drenajsız mukavemeti, “Undrained B” seçeneği ile efektif mukavemet ama drenajsız (toplam) akma dayanımı parametreleri üzerinden hesaplanmıştır. Ancak diğer doymuş zeminlerde “Undrained A” seçeneği kullanılarak, akma dayanımı da efektif (drenajlı) akma dayanımı parametreleri ile modellenmiştir.

Baretlerin nonlinear davranışını modellemek amacı ile, betonarme kesit özellikleri ve kesitte çatlak oluşumunu dikkate alan moment-eğrilik ilişkisi ($M-\theta$) kullanılmıştır. Pseudostatik analizde belirtildiği şekilde, her bir baret sırasındaki tüm baretlerin rijitliklerinin toplamı temel genişliğine bölünerek, birim eğrilik ilişkisi hesaplanmış ve 2 boyutlu analizde plaka elemanların rijitliğini tanımlamakta kullanılmıştır. Bu elemanlar için tipik $M-\theta$ ilişkisi Şekil 5 ile gösterilmektedir. 2 boyutlu dinamik analizler ile maksimum eğrilik değerleri her kayıt için hesaplanmış, pseudostatik analizler ile tutarlı olarak bu değerlerin ortalaması dikkate alınmıştır. Ortalama eğrilik değeri, her baret için hesaplanmış olan $M-\theta$ ilişkisi ile sismik moment tesirlerine dönüştürülmüştür. Sonuçlar Tablo 1 ile sunulmaktadır.



Şekil 5. Analiz düzlemine dik baret sıralarını modelleyen plaka elemanları için tanımlanan elastoplastic moment-eğrilik diagramları: Aks (a) 2 ve 7 dış, (b) 2 ve 7 iç, (c) 3 ve 4 tüm, ve (d) 5 ve 6 tüm baret sıraları

SONUÇLAR

Tablo 1 ile verilen karşılaştırma, Alibeyköy baseninin merkezi kısmında yer alan Aks 5 ve Aks 6'da, pseudostatik yaklaşık yöntem ile 2 boyutlu dinamik analiz sonuçları olarak tutarlı sonuçlar verdiğini göstermektedir. Her iki analizde malzeme davranışının farklı olması bu tutarlılığı aşırı derecede etkilememektedir. Bu akslar aynı zamanda

alüvyon kalınlığının en yüksek olduğu ve basenin tabanındaki kaya derinliğinin nisbeten sabit olduğu alanda yer almaktadır. Ancak bu alandan basen kenarlarına doğru ilerledikçe, baretler üzerindeki sismik tesirlerin psedostatik analize oranla aşırı derecede yükseldiği görülmektedir. Nitekim, temel hareketinin spektrumları incelendiğinde büyük spektral amplifikasyonlar görülmektedir. Bu durum, basen tabanında kaya formasyonunun önemli bir eğim gösterdiği yerlerde, zemin katmanlarının her iki yatay yönde de süreklilik gösterdiği kabulüne dayanan tasarım yaklaşımlarının oldukça güvensiz olabileceğine işaret etmektedir. Derin temellere sahip viyadük tasarımlarında basen kenarlarında oluşabilecek amplifikasyonun hesaplanmasının önemli bir gereklilik olduğu sonucuna varılmıştır. Bu yöndeki bulguların geliştirilmesi yönünde çalışmalar devam etmektedir.

KAYNAKLAR

- Bowles, J.E. (1996) *Foundation Design and Analysis*, McGraw-Hill, NewYork.
- Darendeli M. (2001). *Development of a New Family of Normalized Modulus Reduction and Material Damping Curves* (Ph.D. dissertation). University of Texas at Austin, USA.
- Brinkgreve R.B.J., Broere W., Waterman D. (2006). *Plaxis v8 Manual*, PLAXIS bv, Netherlands
- Elahi H., Moradi M., and Poulos H.G. (2010). "Pseudostatic approach for seismic analysis of pile group," *Computers and Geotechnics*, 37: 25-39.
- Erdik M., Harmandar E. (2015), *Alibeyköy Viyadüğü Spektrum Uyumlu Ölçeklenmiş Deprem Yer Hareketi Kayıtları Belirlemesi*, Boğaziçi Üniversitesi, Temmuz 2015.
- Field, E.H. (1996). "Spectral amplification in a sediment-filled Valley exhibiting clear basin-edge-induced waves," *Bulletin of Seismological Society of America*, 86: 991-1005.
- Hashash, Y.M.A., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., Groholski, D.R., Phillips, C.A., and Park, D. (2016) "DEEPSOIL 6.1, User Manual". Urbana, IL, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign.
- ISO, International Organization for Standardization (2005). *Bases for design of structures - Seismic actions for designing geotechnical works*, ISO 23469:2005(E).

- Polat F (2015). *Gülermak-Kolin-Kalyon Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Yapım Ortaklığı, Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Hattı, Depo, Bakım Sahası ve Depo Bağlantı Hatları İnşaat İşleri, Alibeyköy Deresi Viyadüğü Kesin Proje (Km: 10+083 – 10+518) Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu, Cilt 1/2., Artson Geoteknik, Kartal-İstanbul, Nisan 2015.*
- Semblat JF, Kham M, Parara E, Bard PY, Pitilakis K, Makra K, Raptakis D (2005). “Seismic wave amplification: Basin geometry vs. soil layering,” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **25**: 529-538.
- Vesic, A.S. (1961). “Bending of beams resting on isotropic elastic solids,” *Journal of the Engineering Mechanics Division, American Society of Civil Engineers*, **87**: 35-53.
- Wolf, J.P. (1985). *Dynamic Soil Structure Interaction*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 466 pp.