T.C.

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

OYULMA ETKİSİ ALTINDAKİ KÖPRÜ KAZIKLARININ MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Abdulfatah Ali ABDİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS

OCAK 2018

ANTALYA

T.C.

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

OYULMA ETKİSİ ALTINDAKİ KÖPRÜ KAZIKLARININ MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Abdulfitah Ali ABDİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS

OCAK 2018

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OYULMA ETKİSİ ALTINDAKİ KÖPRÜ KAZIKLARININ MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Abdulfitah Ali ABDİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS

Bu tez …/…../201….. Tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Okan ÖZCAN (Danışman)

Yrd. Doç. Dr. Rıfat TÜR

Yrd. Doç. Dr. Ercan Şerif KAYA

ÖZET

OYULMA ETKİSİ ALTINDAKİ KÖPRÜ KAZIKLARININ MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Abdulfatah Ali ABDİ

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Okan ÖZCAN

Ocak 2018, 53 sayfa

Köprü temelinin oyulması, karayolu köprülerinin en yaygın göçme sebebidir. Köprü ayakları çevresindeki yerel oyulma mekanizmasının değerlendirilmesi, kazık taban tasarımı ile ilgili karar verme, kritik oyulma koşullarında köprülerin güvenliğini öngörme konusunda bilgi sağlar ve sonuç olarak gereksiz kayıpları önlemeye yardımcı olabilir. Köprülerde oyulma köprü temelleri etrafında toplanan suya bağlı erozyon olduğundan dolayı köprü temellerinde yanal yük kapasitesindeki kayıp oyulma ve deprem etkileri birleştirildiğinde köprülerin göçmeye karşı oldukça savunmasız hale gelmesine neden olabilir.

Bu çalışmada betonarme (BA) kazık temelli köprülerin yerel oyulma etkileri altında performansı değerlendirilmiştir. Bu nedenle, Antalya'daki Boğaçayı Nehri üzerinde inşa edilmiş olan bir BA köprü durum çalışması olarak seçilmiş ve muhtemel oyulma sonrası yapısal davranışını değerlendirmek için analiz edilmiştir. Çalışma bölgesinde çakıl ve kum olmak üzere 2 zemin tipi bulunmaktadır. Zemin-kazık temeli-yapı etkileşim analizi gerçekleştirilmiş ve köprünün yanal davranışı farklı oyulma derinlikleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Kazık gruplarının sonlu elemanlar modeli bilgisayar kullanılarak analiz edilmiş, son olarak farklı oyulma derinliklerine sahip kazık gruplarının sismik performansı itme eğrileri ile doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri kullanılarak elde edilmiştir.

Oyulma derinliği arttıkça köprünün doğal titreşim periyodlarının, kesme kuvvetlerinin ve eğilme momentlerinin arttığı, buna rağmen kazık yanal yük kapasiteleri azalmıştır. Bu nedenle, analitik çalışmalarda gözlemlendiği gibi, oyulmanın, yanal yüklü kazıkların davranışını önemli derecede etkilediği ve köprü bileşenleri ile zemin arasındaki etkileşiminin köprü performans analizlerinde göz önünde bulundurulması gerektiği saptanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Köprü, oyulma, deprem, sismik performans, zemin yapı etkileşimi.

JÜRİ: Doç. Dr. Okan ÖZCAN

Yrd. Doç. Dr. Rıfat TÜR

Yrd. Doç. Dr. Ercan Şerif KAYA

ABSTRACT

ANALYSIS AND MODELING OF BRIDGE PILES SUBJECTED TO SCOUR

Abdulfatah ALI ABDI

MSc. Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Associate Prof. Dr. Okan ÖZCAN

January 2018, 53 pages

Bridge foundation scour is the most common cause for the failure of highway bridges. The assessment of local scouring mechanism around bridge piers provides information for decision-making regarding the pile footing design, predicting the safety of bridges under critical scoured conditions, and as a result, may help prevent unnecessary loses. Since scour in bridges is the water-induced erosion of soil particles around bridge foundations, the loss of lateral load capacity at bridge foundations may induce bridges to become highly vulnerable to failure when the effects of scour and earthquakes are combined.

The present study evaluated the performance of bridges with reinforced concrete (RC) pile foundations under effects of local scour. Thus, a RC bridge constructed over Boğaçayı River in Antalya was selected as the case study and analyzed to evaluate the structural behavior after probable scouring. In the study region, 2 soil types were present including limestone and sand. The analysis of soil-pile foundation-structure interaction was accomplished and the lateral behavior of the bridge was evaluated considering different scour depths. Finite element models of pile groups were constituted using computer, finally nonlinear static analysis methods by means of pushover curves were carried out for evaluating the seismic performance of pile groups with different scour depths.

As the scour depth increased, the fundamental periods, shear forces and the bending moments were observed to increase while the pile lateral load capacities diminished. Therefore, as investigated in the analytical studies, it was ascertained that the scour substantially affected the behavior of laterally loaded piles and the interaction of bridge components and soil should be taken into consideration during bridge perforamance analyses.

KEYWORDS: Brıdge, scour, seismic performance, earthquake, soil structure interaction.

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Okan ÖZCAN

Asst. Prof. Dr. Rıfat TÜR

Asst. Prof. Dr. Ercan Şerif KAYA

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Tezi olarak taktım etiğim bu çalışmada oyulma etkisi altındaki köprü kazıklarının modellenmesi ve analizi performansı araştırılmıştır.

Doç. Dr. Okan ÖZCAN, sürekli rehberliği, sonsuz sabrı, değerli bilgi ve arka planda hiç paylaşmaktan çekinmediğini bu araştırma sırasında ve onunla tanıştığım günden beri bana sağlamış olduğu sürekli motivasyon için samimi takdir ve şükranlarımı sunmak isterim.

Ayrıca bugünlere gelmemde desteklerini her zaman hissettiğim aileme ve sevgili dostlarıma şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
ÖNSÖZ iii
İÇİNDEKİLER iv
AKADEMİK BEYAN vi
ŞEKİLER DİZİNİ vii
ÇİZELGELER DİZİNİ ix
1. GİRİŞ 1
1.1. Tanım 1
1.2. Amaç ve Kapsam 3
1.3. Tezin Organizasyonu 4
2. KAYNAK TARAMASI 5
2.1. Giriş 5
2.2. Köprü Oyulmasının İncelenmesi 5
2.2.1. Oyulma tanımı 5
2.2.2. Oyulma türleri 5
2.3. Oyulma Etkisindeki Köprü Kazıklarının Davranışı 8
2.4. Kazıklı Temeller 9
2.4.1. Yanal sürtünme için eksenel t-z eğrisi 10
2.4.1.1. Kireçtaşı için eksenel yüzey sürtünmesi 10
2.4.1.2. Kum için eksenel yüzey sürtünmesi 11
2.4.2. Yanal yük tepkisi 12
2.4.3. Yanal yük altında bir kazığa zeminin tepkisi 12
2.4.4. P-y eğrisinin karakteristik özellikleri 14
2.4.4.1 Su tabakasının üstünde ve altında kumun tepkisi 14
2.5. Yanal Yüklü Kazık Grubunda Kazıkların Grup Etkisi 17
2.6. Sismik Değerlendirme Yöntemi 19
2.6.1. İtme analizi 19
2.6.2. ATC-40 20
2.6.3. Geliştirilmiş kapasite spektrum yöntemi 20
2.6.4. Katsayı yöntemi 21
2.6.5. Gelişmiş katsayı yöntemi 21

2.6.6. Davranış spektrum analizi (RSA) 21
3. MATERYAL VE METOT 22
3.1. Köprü Çalişmasinin Modelleme ve Metodolojisi 22
3.2. Yazılım 22
3.3. Çalışma Alanının Tanımı ve Köprü Geometrisi 22
3.4. Elastomerik Mesnetler 27
3.5. Genleşme Bağlantıları 28
3.6. Köprülerin Modellemesi 29
3.7. Doğrusal Olmayan Davranışı Modelleme 30
3.8. Malzeme Özellikleri 31
3.8.1. Beklenen malzeme özellikleri 31
3.9. Malzeme Modelleri 32
3.10. Zemin Yapısı Etkileşim Modellemesi 32
3.11. Sismik Etkiler 36
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 37
4.1. Modal Analiz Sonuçları 37
4.2. İtme Analizi Sonuçları: 41
5. SONUÇ 48
6. KAYNAKLAR 50
ÖZGEÇMİŞ

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "OYULMA ETKİSİ ALTINDAKİ KÖPRÜ KAZIKLARININ MODELLENMESİ VE ANALİZİ" adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

08/01/2018

Abdulfitah ALİ ABDİ

.....

ŞEKİLER DİZİNİ

Şekil 1.2. Boğaçay köprüsü 2003 yılında felaket sonucunda hasarlı görünümü 2
Şekil 1.1. Ocak ayında selden sonra yayakent köprü görünümü 2
Şekil 1.3. Çaycuma Köprüsü 2012 yılında taşkın sonrası görünümü 3
Şekil 1.4. Devrek'teki köprünün oyulma nedeniyle göçmesi 3
Şekil 2.1. Logan Nehri üzerinde kazık yerel oyulma hasar 5
Şekil 2.2. Bir köprüde meydana gelen oyulma türleri 6
Şekil 2.3. Yerel oyulma şematik diyagramı 7
Şekil 2.4. İdealleştirilmiş t-z & q-z yük transfer analizide kullanılan modeler 10
Şekil 2.5. Kum sondaj mili yan Sürtünme için eğilim çizgileri 11
Şekil 2.6. Yanal kazık davranışını değerlendirmek için p-y eğrisi yaklaşımı 13
Şekil 2.7. Dış kuvvet ile toprak kama hareketi 13
Şekil 2.8. Kum için p-y eğrilerinin gösterimi 14
Şekil 2.9. Kum için katsayıların değerleri (A) 16
Şekil 2.10. Kum için katsayıları değerleri (B) 16
Şekil 2.11. Yanal olarak yüklenen bir kazık grubundaki gölgenin ve kenar etkilerinin gösterimi 18
Şekil 2.12. P değerinin belirlenmesi kazık grubu 18
Şekil 2.13. İtme eğrisi 19
Şekil 2.14. Talep diyagramı, standart formatı, ivme-yer değiştirme biçimi 20
Şekil 3.1. Boğaçayı köprüsü uydu görüntüsü 22
Şekil 3.2. Köprünün üç boyutlu görünümü 24
Şekil 3.3. Köprünün boy kesiti 25
Şekil 3.4. Köprü tabliye enine kesit: a) Köprü üst yapı kesiti b) Başlık kirişi c) Kolon kesiti d) Kazık kesiti e) Taban kesiti 26
Şekil 3.5. Köprü kesit görünümü 27
Şekil 3.6. Elastomerik mesnet boyutları (40cm x 25cm x 7cm) 28
Şekil 3.7. Sap2000 ile köprünün yapısal modellemesi 29
Şekil 3.9. Kazık kesit modeli 30
Şekil 3.8. Kolon kesit modeli 30
Şekil 3.10. Çoklu doğrusal p-y eğrileri yaklaşımı 33

Şekil 3.11. Kazık boyunca yay karakterizasyon için kullanılan yanal kuvvet ve yer değiştirme arasındaki ilişki: a) Oyulmasız b) Tam oyulma (6m) 34
Şekil 3.12. Eksenel kuvvet ve yer değiştirme arasındaki ilişki için kullanılır kazık boyunca yay karakterizasyon: a) Oyulmasız b) Tam oyulma (6m) 35
Şekil 3.13. Türkiye sismik bölgenin haritası 36
Şekil 3.14. Spektral İvme – Periyot Eğrisi, T_{sc}-2007 fonksiyon tanımı 36
Şekil 4.1. Mod şekli 1, T_1=3.048 s oyulma olmayan durumu için 37
Şekil 4.2. Mod şekli 10, T_{10}=0.458 s tam oyulma durumu için 38
Şekil 4.3. Mod şekli 1, T_1=3.820 s tam oyulma durumu için 38
Şekil 4.4. Mod şekli 20, T_{20}=0.2277 s oyulma olmayan durumu için 39
Şekil 4.5. Mod şekli 10, T_{10}=0.3182 s oyulma olmayan durumu için 39
Şekil 4.6. Mod şekli 20, T_{20}=0.3182 s tam oyulma durumu için 40
Şekil 4.7. Oyulma derinliği ile periyot değişimi 40
Şekil 4.8. Köprünün boyuna doğrultusunda itme analizi taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirmesi ilişkisi 41
Şekil 4.9. Köprünün enine doğrultusunda itme analizi taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirmesi ilişkisi 42
Şekil 4.10. Oyulma olmayan altindaki şarti itme sonuçları için kapasite-talep karşılaştırmaları boyuna doğrultuda, enine doğrultuda 43
Şekil 4.11. Oyulma 4.5 m altındaki şarti itme sonuçları için kapasite-talep karşılaştırmaları boyuna doğrultuda, enine doğrultuda 44
Şekil 4.12. Oyulma 1.5 m altındaki şarti itme sonuçları için kapasite-talep karşılaştırmaları boyuna doğrultuda, enine doğrultuda 44
Şekil 4.13. Oyulma 5 m altındaki şarti itme sonuçları için kapasite-talep karşılaştırmaları boyuna doğrultuda, enine doğrultuda 45
Şekil 4.14. Boyuna doğrultuda performans noktasının oyulma derinliği ile değişimi .. 46
Şekil 4.15. Enine doğrultuda performans noktasının oyulma derinliği ile değişimi….. 47

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. K_{py}'nin kum için temsili değeri 15

Çizelge 3.1. Kazık / kolon takviyesi için kesit gerekli analizi..... 30

Çizelge 3.2. İlgili bölümlerin malzeme özellikleri 31

Çizelge 4.1. Boyuna doğrultuda..... 45

Çizelge 4.2. Enine doğrultuda..... 46

1. GİRİŞ

1.1. Tanım

Köprüler, karayolu ve demiryolu ulaşım sistemlerinin önemli bileşenleridir. Geçmiş deneyimlerin de gösterdiği üzere, köprüler deprem, sel, aşırı rüzgâr ve ayaklarına çarpan araç/gemi etkileri gibi doğal ve yapay tehlikelere karşı oldukça savunmasızdır. Bu tür aşırı olaylardan kaynaklanan köprü hasarları, ulaşım sistemlerinin normal işlevselliğinde önemli aksaklıklara neden olabilmekte ve bu nedenle büyük ekonomik kayıplara neden olabilmektedir. Bu nedenle, köprülerin güvenliği ve bakımı her zaman inşaat mühendisliği mesleği ve uygulamları için önemli bir ilgi odağı olmuştur. Köprü ayaklarında oluşan oyulma, köprü temelleri etrafında akış kaynaklı erozyon olarak tanımlanır ve nehir köprülerinde oluşan göçmenin en yaygın nedenlerindendir. Oyulma derinliğindeki artış temelin yanal taşıma kapasitesinin azalmasına, iç kuvvetlerin artmasına ve sonuç olarak köprünün göçmesine neden olmaktadır. Burada, sismik etkiler altında köprü performansı olumsuz etkilenmekte ve yapı güvenliği için potansiyel bir tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle, sismik olarak aktif ve taşkın eğilimli bölgelerde bulunan köprüler için taşkın kaynaklı oyulma sonrasında oluşabilecek bir deprem çok tehlikeli neticeler doğuracaktır.

Lagasse (2007) 'e göre, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki köprü göçmelerinin % 60'ının oyulma sonucu oluştuğu belirtilmiştir. Wardhana ve Hadipiriono (2003), ABD'de 503 köprünün göçmesinin sel ve oyulmadan kaynaklandığı ve bu sayının toplam köprü sayısının yaklaşık %50'sini oluşturduğunu belirtmiştir. Ayrıca köprülerde göçmenin %3.38'ine depremin neden olduğu saptanmıştır. Deprem ve oyulmanın köprü performansı üzerindeki birleşik etkisi üzerine diğer araştırmalar Alipour (2010) ve John (2015) tarafından yapılmıştır. Türkiye'de son yıllarda meydana gelen taşkın olayları, birçok köprüde çökme veya ciddi hasarlara neden olmuştur. Coşar (2010) ’a göre Antalya’da 2003 Aralık ayında meydana gelen fırtına sonrasında Boğaçayı Nehri mansabında bulunan karayolu köprüsü büyük hasar görmüştür (Şekil 1.1). Burada, köprüde meydana gelen hasarın nehrin taşkın debisinin köprü ayağı temellerinde meydana getirdiği yerel oyulmadan kaynaklandığı belirtilmiştir. Ayrıca, 23–26.12.2003 tarihleri arasında meydana gelen taşkın 200 yıllık periyoda sahip taşkın en büyük taşkındır. Orta Akdeniz üzerinden gelen cephe sistemleri, Antalya Boğaçayı ve kollarında taşkınlara sebep olmuştur. Taşkın anında, 25.12.2003 günü Boğaçayı üzerinde karayolu köprüsünde Boğaçayı debisi 1606 m^3/s olarak ölçülmüştür. Ancak taşkın sonrası yapılan incelemelerde, Boğaçayı’ndan geçen su seviyesinin ölçümdeki seviyeden daha fazla olduğu köprü ayaklarında gözlemlenen izler kullanılarak saptanmıştır. Bu durum da dikkate alınarak Boğaçayı’ndan geçen maksimum debi 1899,94 m^3/s olarak hesaplanmıştır. Bu debi, 194 yıllık tekerrür süresine karşılık gelmektedir. İzmir'deki Yayakent Köprüsü'nün, Ocak 2016'da Şekil 1.2'de gösterildiği üzere (Kızılduman 2016) aşırı sel nedeniyle çökme riski yaşamıştır.



Şekil 1.2. Ocak ayında selden sonra yayakent köprü görünümü 2016 (Tuna 2016)



Şekil 1.1. Boğaçay köprüsü 2003 yılında felaket sonucunda hasarlı görünümü (Coşar 2010)

Bir başka göçme örneği Filyos Nehri üzerinde bulunan ve 2012'de çökerek 15 ölüme neden olan Çaycuma Köprüsü'dür (Şekil 1.3) ve Türkiye Köprü ve İnşaat Cemiyeti tarafından yayımlanan bir rapora göre, arızanın hidrolik nedenlerden kaynaklandığı belirtilmiştir (Yanmaz ve Caner 2012). Son olarak, Şekil 1.4'te gösterildiği üzere Devrek'teki köprü hasar, 1998'de oyulmaya uğramış bir köprüsü hasar görmüştür (Yanmaz 2002).



Şekil 1.3. Çaycuma Köprüsü 2012 yılında taşkın sonrası görünümü (Sondevir 2012)



Şekil 1.4. Devrek'teki köprünün oyulma nedeniyle göçmesi (Yanmaz 2002)

1.2. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmanın amacı, deprem öncesi akış kaynaklı olarak ayaklarında oyulma oluşan bir köprü için aşağıdaki alt hedeflere değinerek incelenen köprünün sismik performansının doğrusal olmayan statik analiz (Non Linear Statıc Analysis) yöntemleri ile belirlenmesi ve kazıklı köprülerin yanal davranışının oyulma koşulları altında değerlendirilmesidir. Oyulmanın köprü yanal performansı üzerindeki etkileri zemin, temel ve üstyapı etkilePşimlerini içeren bütünleşmiş bir sistemde analiz edilmiştir. Analizlerde, p-y ve t-z eğrileri kullanılarak oyulma koşullarınını da dikkate alınmasıyla, zemin-temel etkileşimi NLS analiz yöntemleri kullanılarak köprü yanal yük ve yer değiştirme kapasitesi belirlenmiştir. Bu çalışmada, taşkın nedeni ile oluşan köprü göçmesi ve deprem etkisinin birleşimiyle akarsu üzerine inşa edilen bir BA köprünün sismik performansı değerlendirilmiştir. İkinci derece deprem bölgesinde (Türkiye 1996) bulunan Antalya Boğaçayı üzerinde inşa edilmiş Boğaçayı Köprüsü vaka çalışması örneği

olarak seçilmiştir. Boğaçay Köprüsünün 3 Boyutlu Sonlu Eleman Modeli (3D-FEM), doğrusal olmayan geliştirilmiş (Computer ve Structures, Inc. 2000), akış kaynaklı oyulmanın varlığında ve yokluğunda köprü yanal kapasitesi değerlendirilmiştir. Model, doğrusal olmayan mafsalları ve zemin-yapı etkileşimini içermektedir. Bu araştırmada, hidrolik etmenler köprü yanal davranışının değerlendirilmesi için girdi değişkenleri olarak düşünülmüştür.

1.3. Tezin Organizasyonu

Giriş bölümünde sorunun açıklaması sunulmakta olup projenin hedefleri ve kapsamı belirtilmiştir. Bölüm 2'nin, oyulma etkisi altındaki kazıkların davranışı ile ilgili olarak kaynak taraması, kazıklı temelin ve yanal yük altındaki bir kazığa zemin tepkisinin incelenmesi ve sismik değerlendirme yöntemleri üzerine yapılan kaynak taramalarını ele almıştır. Bölüm 3, itme analizi için kullanılan doğrusal olmayan plastik mafsal modellerini de içermek üzere köprü modellemesiyle ilgili farklı konuları belirtmektedir. Bölüm 4, NLS analiz sonuçlarını ve sonuçların farklı yorumlamaları sunulmaktadır. Son olarak, Bölüm 5'de özet ve sonuçlar verilmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Giriş

Köprü altyapılarında oluşan oyulma, köprü temelinin yanal kapasitesinin azalmasına neden olabilmektedir. Oyulma koşulları altında köprü kararlılığının tam olarak araştırılması, su, toprak, kazık sistemleri ve köprü üstyapı analizlerinin uyumunu gerektirir.

2.2. Köprü Oyulmasının İncelenmesi

Köprünün ayaklarının oyulması, oyulma tanımını, oyulma türlerini ve tahmin denklemini özetleyerek incelenmiştir.

2.2.1. Oyulma tanımı

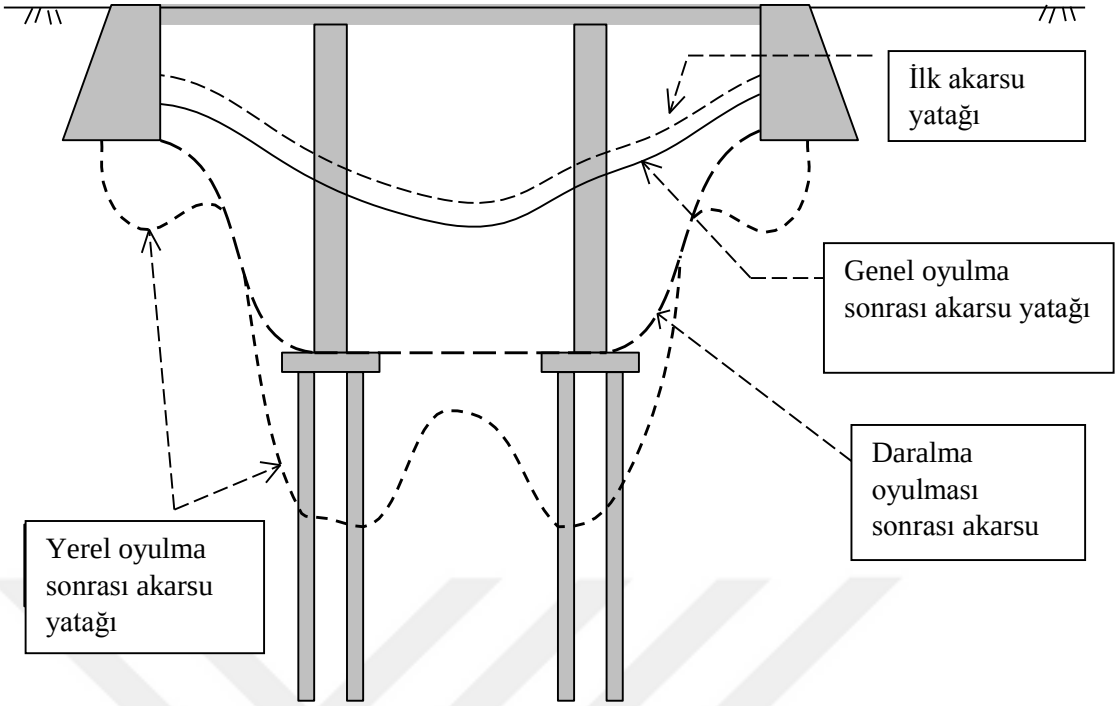
Köprü ayaklarının oyulması, akan suyun dere yataklarından ve akarsu kenarından, temellerin, iskelelerin ve köprülerin ayaklarının çevresinden geçmesi ile oluşur. Akımın aşındırıcı gücü Şekil 2.1'de gösterildiği gibi yatak malzemelerinin erozyon direncini aştığında ortaya çıkar. Oyulma oranı, akım oranları, akım yönelimleri, dere yatağı malzemelerinin özellikleri ve köprü iskeletlerinin şekli ve boyutları gibi çok çeşitli değişkene bağlıdır (Richardson ve Davis 2001).



Şekil 2.1. Logan nehri üzerinde kazık yerel oyulma hasar (Lança vd. 2013)

2.2.2. Oyulma türleri

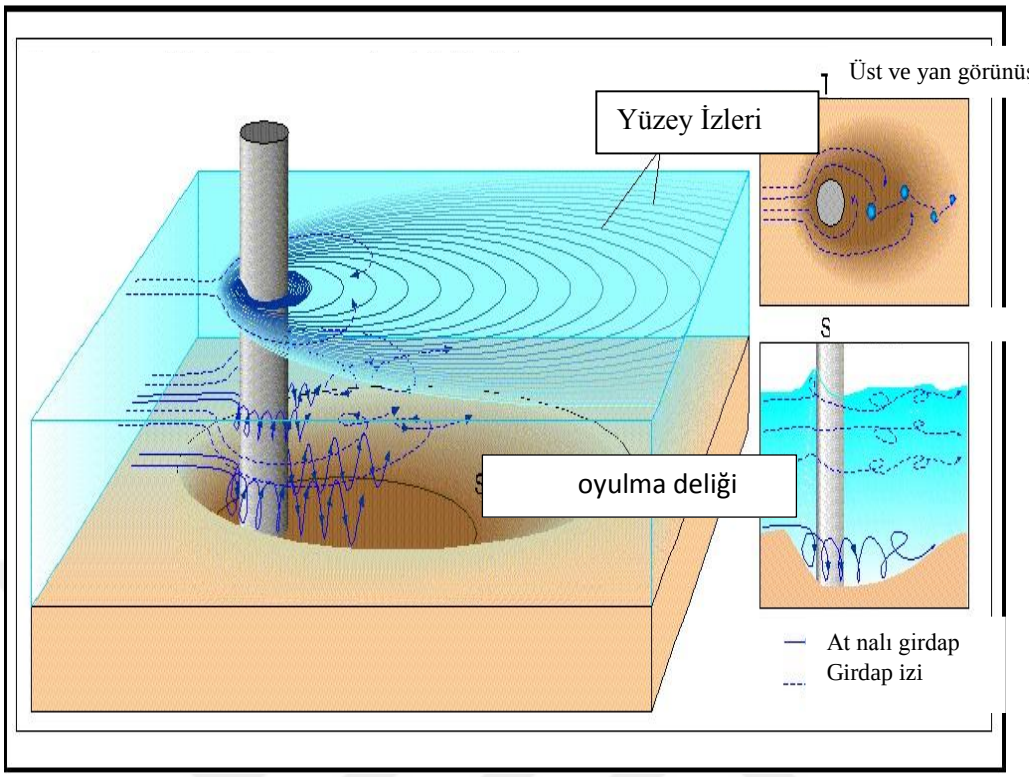
Analiz amaçlı olarak köprü ayaklarında gözlemlenen oyulma Melville ve Coleman (2000) 'e göre Şekil 2.2'de gösterildiği gibi genel oyulma, daralma oyulması ve yerel yapıyla uyarılan iskele ve köprü ayağı oyulması (yerel oyulma) olarak üçe ayrılmaktadır. Genel oyulma, akar su yatağında herhangi bir engel bulunmasa bile uzun süre içerisinde gerçekleşen doğal veya insan eseri akarsu yatağının yükselmesinin bir sonucudur.



Şekil 2.2. Bir köprüde meydana gelen oyulma türleri (Lin 2012)

Daralma oyulması, köprülerin yerleştirildiği yerde veya doğal bir daralmanın meydana geldiği bir dere yatağında gerçekleşir. Akarsu yatağının alçalması, ortalama akış hızının ve daralma boyunca yatak kesme gerilmesinin artmasına neden olan akışın daralmasından kaynaklanabilir. Daralma oyulması, tüm kanal kesiti boyunca akarsu yatağından malzeme kaybına neden olmaktadır. Köprü ayakların ve kenar/ayakların bulunması girdaplara ve su altındaki yapıların tabanındaki dere yatağı malzemelerinin aşınmasına neden olmaktadır.

At nalı şeklinde oluşan girdap, akışın köprü ayaklarının ve kenarayaklarının yukarı yüzeyinde yığılması ile meydana gelir ve bu da akışın hızlanmasına ve köprü ayakları etrafındaki zeminin aşınmasına neden olur. Gidap izi, akış yönünde köprü ayağında oluşan düşey erozyon olup ayaktan akış yönündeki uzaklık arttıkça tedricen azalır. Girdaplar, girdabın taşıma oranı nehir yatağındaki biriktirme oranından daha büyük olduğunda veya oyulma dayanımı berrak su oyulmasında zemin direncini aştığı durumda oyulma çukuru oluşturur. Akış kaynaklı nehir yatağı oyulması, kaynak yönünde nehir yatağı malzemeleri oyulma çukuruna taşındığında oluşurken, temiz su oyulması kaynak yönünde nehir yatağı malzemelerinin oyulma çukuruna taşınması olmadığında oluşur. Girdaplardan kaynaklanan erozyon dayanımı ile yatak malzemesinden kaynaklanan direnç arasında denge sağlandıktan sonra yerel oyulma durur (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Yerel oyulma şematik diyagramı (Anonymous 1)

Bununla birlikte, yerel oyulma derinliği, toplam oyulma derinliği üzerinde genellikle daha büyük bir etkiye sahip olduğu için, genel ve daralma oyulmasından daha fazla dikkat çekmiştir. Bu nedenle, bu çalışmada köprü kolonu etrafındaki yerel oyulmaya odaklanılmıştır. Ayrıca, köprü ayaklarındaki oyulmanın öngörülmesi için kapsamlı araştırmalar yapılmıştır ve bazı denklemler önerilmiştir (Laursen 1963; Shen vd. 1969; Jain ve Fischer 1979; Raudkivi 1986; Melville 1997; Johnson 1995). Colorado Devlet Üniversitesi (CSU) tarafından önerilen (HEC-18, 1993) oyulma hesaplama denklemleri ile karşılaştırmalı bir çalışma yapmıştır (Briaud vd. 1999; Richardson ve Davis 2001; Briaud vd. 2004). Bu yöntemler arasında, HEC-18 denklemi (Richardson ve Davis 2001), yerel oyulmayı, nehir yatağı malzemelerinin, yatak konfigürasyonunun, akış karakteristikleri, akışkan özellikleri ve iskelenin geometrisini ve tabanın bir fonksiyonu olarak gören en yaygın kullanılan araçtır. Denklem ayaklarda oluşabilecek en büyük oyulma derinliğini tahmin etmektedir. HEC-18 denklemine göre, yerel oyulma y_s aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$y_s = y_1 2K_1K_2K_3K_4\left(\frac{a_{pier}}{y_1}\right)^{0.65}Fr^{0.43} \qquad (2.1)$$

Burada; y_s: oyulma derinliği (m), y_1: doğrudan köprü ayağının yukarısına doğru akış derinliği (m), $K_1K_2K_3K_4$ sırasıyla köprü ayağının burun şekli, akış aşındırma açısı, yatak durumu ve tanecik boyutunu temsil eden düzeltme faktörleridir, a_{pier}: köprü ayağı genişliğidir (m). Froude sayısı $Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}}$ olarak tanımlanmıştır, V ve g sırasıyla doğrudan köprü ayağının yukarısına doğru akış hızını (m/s) ve yer çekimi ivmesini (9.81 m/s^2) ifade etmektedir. Yukarıda bahsedilen dört düzeltme faktörü, HEC-18 tablolarından elde edilebilir. K1, K2, K3 ve K4 değerleri HEC-18 ile belirlenmiştir.

Debi, Q ve köprü ayağının bulunduğu yerdeki kanal şekli kullanılarak akış derinliği ve hızı, temel hidrolik denklemleri ile hesaplanabilir. Hız, hidrolik yarıçapı kavramı kullanılarak Denklem 2' de ifade edildiği üzere kesit alanına bölünen toplam debi ve hız ile akım derinliği arasındaki ilişki olarak tanımlanabilir.

$$V = \frac{1}{n}\left(\frac{by}{b+2y}^{\frac{2}{3}}\right)s^{\frac{1}{2}} \tag{2.2}$$

$$Q = \frac{by}{n}\left(\frac{by}{b+2y}^{\frac{2}{3}}\right)S^{\frac{1}{2}} \tag{2.3}$$

Burada n = Manning pürüzlülük katsayısı; S = enerji hattı; Q = debi (m^3/s); b geçiş genişliği; V= taşkın akım hızı ve h is sel boşaltma hızının akış derinliğidir.

Belli bir sel olayı için, yıllık en büyük debi olan Q, bilinen tek değişkendir. Buna karşı gelen akım hızı V ve akım derinliği h'yi hesaplamak için geçiş genişliği b köprünün toplam uzunluğuna eşit olarak alınabilir. Burada belirtilen oyulma derinliği hesabının bölgesel sel olaylarından kaynaklanan köprü ayaklarında oyulmanın hızlı bir şekilde tahmin edilmesini sağlamakta olduğundan köprü ayağı oyulmasının tam olarak hesaplanması için, her bir köprü ayağında ayrı hidrolik analiz yapılması gereklidir.

2.3. Oyulma Etkisindeki Köprü Kazıklarının Davranışı

Köprü oyulması ile ilgili olan karmaşıklıklar, oyulmanın inşaat mühendisliği araştırmalarının en aktif konularından biri olmasına neden olmuştur. Bunların çoğunluğu, yerel oyulma laboratuvar modelleme çalışmaları ile ilgilidir. Son yirmi yılda, köprü ayaklarındaki yerel oyulmanın çeşitli kapsamlı özetleri yayımlanmıştır. Oyulma her an gerçekleşse dahi taşkın sırasında oyulma etkileri belirgin olarak ortaya çıkar. Bunun nedeni, taşkının genelde normal akışa göre daha yüksek akarsu akış hızına sahip olmasıdır. Yüksek akış hızı, köprü temelleri çevresinde oyulma derinliğini arttırma eğilimindedir. Buna ek olarak, taşkın olaylarına çoğu zaman birikinti eşlik eder, çünkü büyük taşkınlarda hidrolik kuvvetleri nehir boyunca kütükleri ve diğer birikintileri kolaylıkla taşıyabilir.

Temellerindeki oyulmadan dolayı köprülerde gözlemlenen göçme oldukça yaygındır. Bennett vd. (2009), yanal olarak yüklenen kazık grubunun davranışını belirlemek için yaptığı analitik çalışmada, 0.25 m çapında ve 10.97 m uzunluğunda 8 adet kazık bulunan kazık grubunu incelemiştir. Kazık grubu, Mokwa vd.'nde (2000) tanımlanan yönteme göre grup eşdeğer kazığa dönüştürülmüştür. Zemin seviyesinden

ölçülen beş farklı oyulma derinliği, oyulma derinliklerinin kazık sistem üzerindeki etkisini değerlendirmek için ele alınmıştır. Sonuç oyulma derinliği kazık başlığının derinliğinden az olduğu durumlarda kazık başlığı yer değiştirmesinin etkisiz olduğunu ortaya koymuştur. Burada, oyulma kazık başlığına ulaşamadığı saptanmıştır. Oyulma derinliğinin kazık başlığına ulaşması ve ilerlemesi durumunda kazıkta önemli oranda yer değiştirme gözlemlenmiştir. Kazık başlığının iki mesnetlenme şartında (ankastre ve serbest) yer değiştirmesi karşılaştırılmıştır. Serbest başlık koşulunda kazık başlığının yer değiştirmesinin ankastre başlık durumuna göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Oyulma derinliğinin artması, kazıkların yanal taşıma kapasitesinin azalmasına neden olmuştur. Ankastre başlık durumunda, kazık başlığında maksimum kesme kuvveti ve eğilme momentini artmış ve bu değerlerin oyulma derinliğindeki artış ile arttığı gözlenmiştir.

Tsai ve Chen (2006), oyulmuş grup kazıkları sahip üç açıklıklı BA bir köprünün sismik kapasitesini incelemiştir. Köprü kolonlarının uzunluğu ve çapı sırasıyla 10 m ve 2.2 m ve köprü 0.7 m çapında ve 30 m'ye eşit uzunluğa sahip dokuz kazıktan oluşan bir grup kazıklı temel ile desteklenmiştir. Sayısal analizde kazık zemin etkileşimini yansıtmak için kazıkların yanal doğrultusunda zemin yayları kullanılmıştır. Oyulma durumu için bu yaylar oyulma derinliğine kadar kaldırılmıştır. Bu sayısal çalışmadan elde edilen sonuçlar, kazık grubundaki oyulmanın köprünün sismik kapasitesinde azalmaya neden olduğunu göstermiştir. Kazıkların oyulmaya maruz kalması, plastik mafsalları köprü ayağının altından kazığın tepesine kaydırarak köprü yanal yük kapasitesinde düşüşe neden olmuştur.

Bununla birlikte, kazıklarda oluşan genel oyulmanın ve yerel oyulmanın kazıklar üzerindeki etkilerinin farklı olduğu Diamantidis ve Arnesen (1986) tarafından saptanmıştır. Burada, oyulma sadece kazık etrafında yerel olarak oluşursa daha büyük bir derinlikteki yanal dirençin etkilenmediği belirlenmiştir. Ayrıca, genel oyulmanın sadece etkili gerilmeleri değil aynı zamanda yanal zemin direncini daha büyük bir derinliğe indirgediği belirtilmiştir.

2.4. Kazıklı Temeller

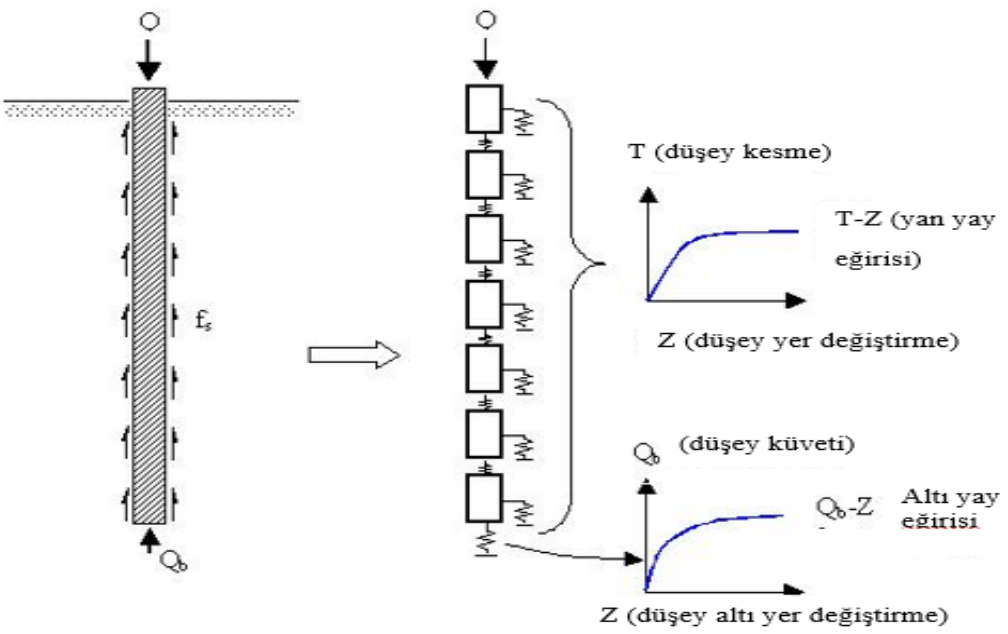
Kazıklı temeller yüzey zemini çok zayıf veya sıkıştırılabilir olduğunda, aşırı oturma veya yanal yer değiştirme olmaksızın büyük düşey yükleri desteklemek için sıklıkla kullanılır. Köprüler genelde zayıf ve sıkıştırılabilir zemin bulunan yerlerde bulunur ve bu nedenle genellikle kazık temeller tarafından desteklenir. Kazıklı temel tasarımı, temelin tüm potansiyel yükleme koşullarında kararlılığını koruması ve yeterli kapasiteye sahip olmasını sağlamalıdır. Kazık grupları, büyük yapılar için yaygın olarak kullanılan ve yapısal yüklerin uygulandığı ortak bir kazık başlığı ile bağlanan derin temelin özel bir türüdür.

Kazıklı temeller hem dikey hem de yatay yüklere ve devrilme momentlerine maruz kalabilir. Bu yanal yükler, rüzgâr kuvvetleri, çarpışmalar, dalga veya buz etkisi, deprem, sıvılaşma ve şev kayması gibi çeşitli kaynaklardan gelebilir. Taşınacak yük türüne, alt zemin koşullarına ve su tabakasının konumuna bağlı olarak farklı kazık türleri ortaya çıkmıştır. Kazıklar çelik, beton, ahşap ve kompozit kazıklar olarak ayrılabilir (Das 2007).

2.4.1. Yanal sürtünme için eksenel t-z eğrisi

Kazıklar, aşağı doğru etkiyen düşey yükleri karşılamak için sıklıkla kullanılır. Bu tür yükler genellikle yerçekiminden kaynaklanır ve ölü/hareketli yükler olarak ayrılabilir. Bu yükler kazık tabanında uç direnci olarak (q-z) veya düşey kenarları boyunca kayma gerilmesi (t-z) tarafından taşınır.

Bu yöntemde, kazık çevresindeki toprağın düşey tepkisi, lokalize yaylar ile modellenmiştir. Kazık boyunca düşey doğrultuda oluşasn sürtünme tepkisi t-z eğrileri ile, kazık ucundakı uç direnci ise Q-z eğrisi ile modellenmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. İdealleştirilmiş t-z & q-z yük transfer analizide kullanılan modeler

2.4.1.1. Kireçtaşı için eksenel yüzey sürtünmesi

Kireçtaşı tabakaları içerisinde bulunan kazıklar için kullanılan t-z eğrileri kayaya gömülü miller üzerinde yapılan testlere dayanmaktadır (Denklem 2.6-2.8).

$$\frac{f_s}{f_{smax}} = 0.96R^{0.33} \qquad 0 \leq R \leq 0.5 \qquad (2.6)$$

$$\frac{f_s}{f_{smax}} = 0.89R^{0.16} \qquad 0.5 \leq R \leq 3 \qquad (2.7)$$

$$\frac{f_s}{f_{smax}} = 1 \qquad 3 \leq R \qquad (2.8)$$

R = z/D*100.

f_s = yüzey sürtünmesi; $f_{fmax} =$ *N*ihai birim yüzey sürtünmesi.

2.4.1.2. Kum için eksenel yüzey sürtünmesi

Delinmiş ve yerinde dökme kazıklar / miller için kullanılan t-z eğrileri kum zeminleri Wang ve Reese'in (1993) bulgularına dayanmaktadır. Özellikle, eğriler eğilim çizgilerine dayanmaktadır (Denklem 2.9-2.13). Denklemler derinliklerin 1.5 m'den 26.7 m kadar olduğu durumlarda geçerlidir.

φ ≥ 30° için

$$f_s = \mathrm{K}\sigma_z' \tan\emptyset = \beta\sigma_z' \leq 2tsf \quad (2.9)$$

$$\beta = 1.5 - 0.135\sqrt{z(ft)} \quad (2.10)$$

$$0.25 \leq \beta \leq 1.2$$

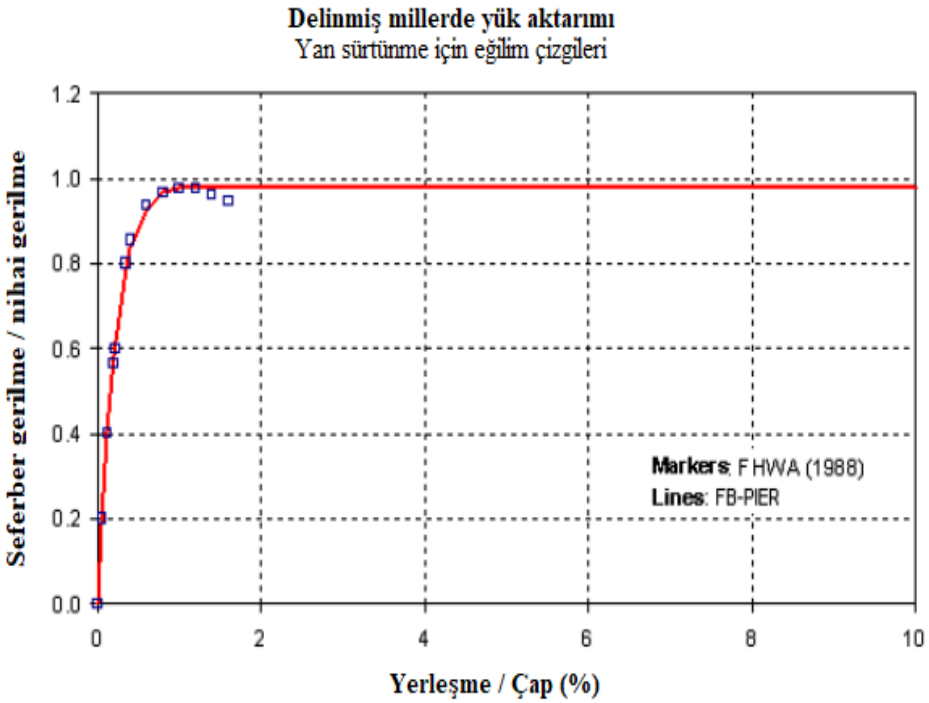
Ani oturmalar, Şekil 2.5'de doğrusal olmayan t-z yaylar kullanılarak hesaplanmıştır. Belirtilen denklemler kullanılırken eğilim çizgisi çevresinde kayda değer bir dağılımın olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

$$\frac{f_s}{f_{smax}} = -2.16\mathrm{R}^4 + 6.34\mathrm{R}^3 - 7.36\mathrm{R}^2 + 4.15\mathrm{R} \;/\; \mathrm{R}\leq 0.908333 \quad için \quad (2.11)$$

$$\frac{f_s}{f_{smax}} = 0.978112 \quad \mathrm{R}>0.908333 \quad (2.12)$$

Burada

$$\mathrm{R}=\frac{y_3}{D}100 \quad (2.13)$$



Şekil 2.5. Kum sondaj mili yan sürtünme için eğilim çizgileri (Wang ve Reese 1993)

Kazıklar statik ve dinamik yanal yüklere de maruz kalabilir. Statik yanal yükler yapısal şekillerden veya eğimli zeminin varlığından kaynaklanabilir. Dinamik yanal yükler depremlere ek olarak rüzgâr, trafik, akım ve çarpımalardan oluşabilir. Kazıklar, eğilmede eksenel yüklemede maruz kaldığı durumdan çok daha esnek olduklarından, eksenel kapasitenin tahmini için kullanılan limit analiz yaklaşımlarını kullanarak yanal yük kapasitesinin tahmin edilmesi daha zordur.

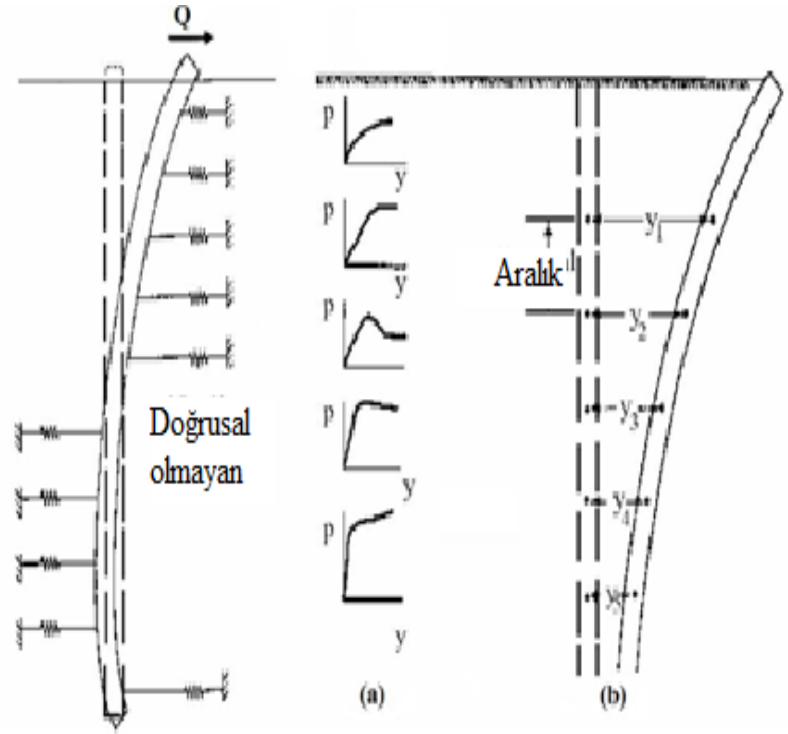
2.4.2. Yanal yük tepkisi

Kazıklar yanal etkiyen yatay yükleri karşılamak için sıklıkla kullanır. Bu tür yükler genellikle taşkın, deprem gıbı kaynaklanır ve ölü/hareketli yükler olarak ayrılabilir. Bu yükler kazık boyunca P-y eğrileri ile derinlikle değişeşek şekilde modellenin.

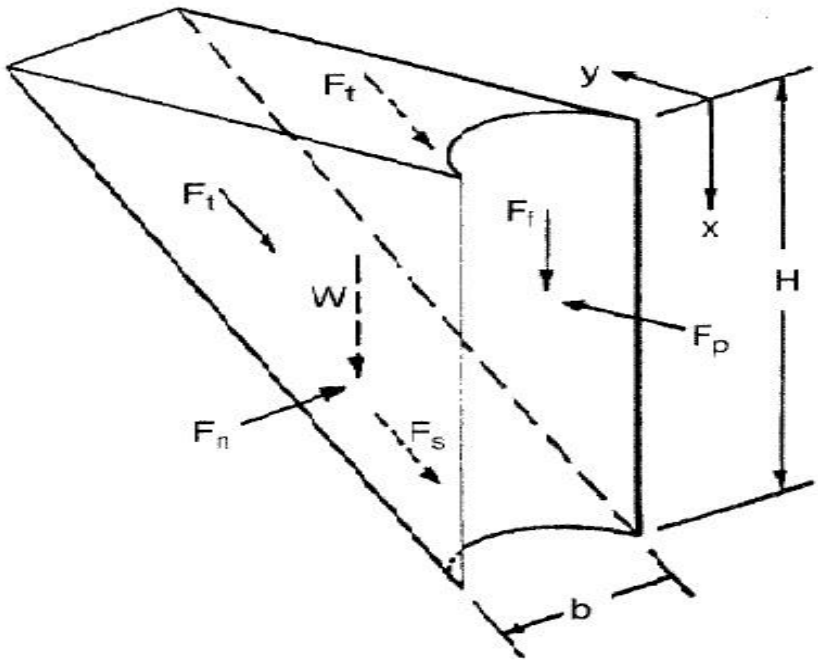
2.4.3. Yanal yük altında bir kazığa zeminin tepkisi

Zemin yatağı yaklaşımının doğrusal olmayan zemin özelliklerini hesaba katması, McClelland ve Focht (1958) tarafından geliştirilen p-y yöntemini ortaya çıkarmıştır. Belirli bir yanal yüke verilen zemin tepkisi, kazığın yanal yer değiştirmesi ile zeminin direnci arasında bir ilişki geliştirerek modellenmiştir. Bu ilişki, y'nin kazık yanal yer değiştirmesini temsil ettiği ve p'nin her bir kazık birim uzunluğuna göre zemin direncini temsil ettiği bir p-y eğrisinde grafiksel olarak gösterilebilir. Kazıkların geçtiği her zemin tabakası, zeminin dayanımına bağlı olarak farklı bir dayanıma ve dolayısıyla da farklı bir p-y eğrisine sahip olmasına neden olmaktadır. Bu p-y eğrileri, Şekil 2.6'de gösterildiği üzere kazık uzunluğu boyunca çeşitli zemin katmanlarını temsil eden doğrusal olmayan yaylar olarak modellenmiştir. Son birkaç on yılda çeşitli toprak türleri ve yükleme koşulları (statik ve çevrimsel) için bu eğrileri oluşturma yöntemleri geliştirilmiştir. P-y yönteminin geliştirilmesi ve pratik uygulaması Reese ve Van Impe (2001) tarafından özetlenmiştir. Elasto-plastik p-y eğrilerinin kullanılması hem statik hem de çevrimsel yanal yük esnasında kazık performansının tahminini makul derecede iyi verebilmektedir. P-y yöntemi, yanal yük altındaki kazık temellerin analizi ve tasarımı için en kullanışlı yöntemdir. Nispeten basit bir analiz olanağı sağlayan ve doğrusal olmayan bu davranış, derinlik ile zemin sertliğinin değişimi ve zemin katmanlanması gibi unsurların dikkate alınmasını sağlamaktadır.

Modelleme açısından bakıldığında, kazık yanal olarak yer değiştirdiğinde yaklaşık olarak benzer bir davranış ortaya çıkmaktadır. Zemin yüzeyinden belirlenen derinlik h'ye kadar zeminin bir kama şeklinde zemin yüzeyinde yukarı ve aşağı hareket ettiği varsayılmaktadır. Şekil 2.7'da dış kuvvetlerle yukarı doğru hareket eden bir zemin kaması gösterilmektedir. Kama yukarıya doğru hareket ettikçe kazık yüzeyinin pasif tarafına bir yüzey sürtünmesi F_f oluşturmakta ve bu da kazık eksenine önemli kuvvetler oluşturmaktadır.



Şekil 2.6. Yanal kazık davranışını değerlendirmek için p-y eğrisi yaklaşımı (Christensen 2006)



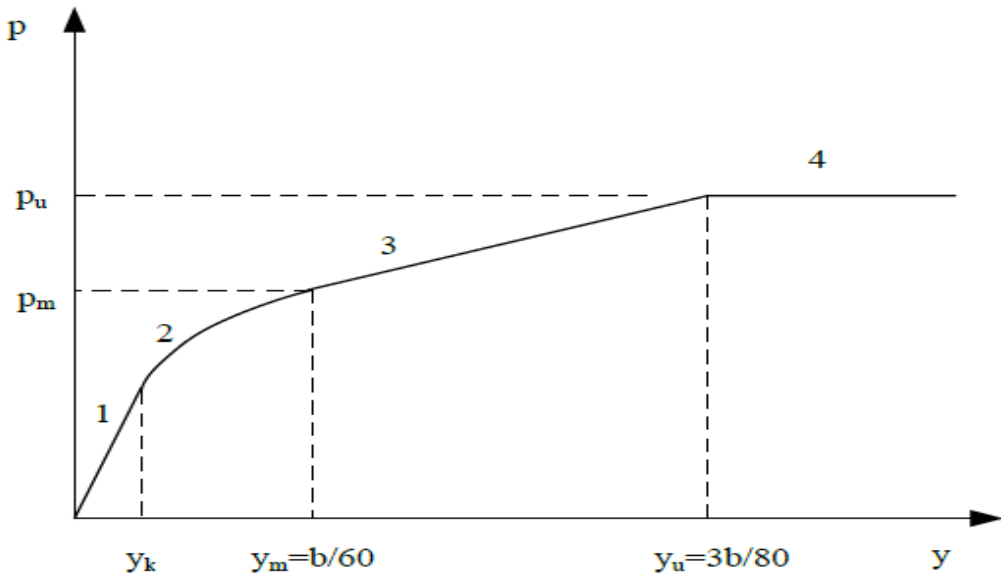
Şekil 2.7. Dış kuvvet ile toprak kama hareketi (Reese ve Lymon 2006)

2.4.4. P-y eğrisinin karakteristik özellikleri

Zemin yatağı yaklaşımından kaynaklanan p-y eğrisi, kazık zemin içerisinde yanal olarak y yer değiştirme yaptığında kazık parçası üzerine etkiyen normal ve kesme gerilmelerinin integrali olan birim kazık uzunluğu için yanal yük p'yi temsil etmektedir (Matlock 1970). Kullanılan denklemler büyük oranda matematiğe ve granül toprak ve konsolide kil üzerinde tam ölçekli deneylere dayanmaktadır. P-y eğrilerinin belirli bir çözüm için tahmininde zeminler hakkındaki verilerin edinilmesinden başlamak üzere suyun rolüne özellikle atıf yapılarak ve sahadaki yükün niteliği hesaba katılarak mümkün olduğunca zemin mekaniğinin kullanılmasına ayrıntılı dikkat gösterilmelidir.

2.4.4.1 Su Tabakasının Üstünde ve Altında Kumun Tepkisi

Kullanılan yöntem kısa süreli statik yüklemede su tabakasının üstünde veya altında kum için bir p-y eğrisi oluşturmaktadır. Şekil 2.8'de açıklandığı üzere eğri 4 bölümden oluşmaktadır.



Şekil 2.8. Kum için p-y eğrilerinin gösterimi (Reese ve Van Impe 2001)

Birinci bölüm yukarıda verilen p-y eğrisinin doğru kısmı Çizelge 2.1'den uygun K_{py} değerini göz önünde bulundurlarak kullanılmalıdır.

$$p = (K_{py}z)y \quad (2.14)$$

Burada:

$p =$ Yanal zemin direnci

$K_{py} =$ Alt temel reaksiyon katsayısı

Z = zemin altı derinliği

y = yanal kazık sapması

Çizelge 2.1. K_{py}'nin kum için temsili değeri (Reese vd. 2006)

Bağıl yoğunluk (Dr)	Gevşek	Normal	Yoğun	Birim
Su üstünde	6.8	24.4	61	MN/m^3
Su altındakı	5.4	16.4	34	MN/m^3

İkinci bölüm Yukarıda verilen p-y Eğrisinin parabolik kısmı Denklem 2.15-2.18 ile hesaplanmaktadır. Burada C ve n. Denklem 2.16, 2.17, ve 2.18'de belirlenmiştir

$$p = Cy^{1/n} \tag{2.15}$$

Üçüncü Bölüm Yukarıda verilen p-y Eğrisinin ikinci doğrusal kısmı

$$C = \frac{p_m}{{y_m}^{1/n}} \tag{2.16}$$

$$n = \frac{p_m}{m y_m} \tag{2.17}$$

$$m = \frac{p_u - p_m}{y_u - y_m} \tag{2.18}$$

Burada $y_u = {3b}/{80}$; $y_m = {b}/{60}$; $p_u = A_{sps}$; $p_m = B_{sps}$; p_{st} 2.19 ve 2.20 denklemlerde hesaplanan küçük değerler seçilerek belirlenenen nihai zemin direncidir; As ve Bs ise Şekil 2.9 ve 2.10 kullanılarak belirlenebilir.

Burada:

$$p_{st} = \gamma' z \left[\frac{K_0 z \tan\varphi' \sin\beta}{\tan(\beta - \varphi')\cos\alpha} + \frac{\tan\beta}{\tan(\beta - \varphi')} (b + z\tan\beta\tan\alpha) + K_0 z \tan\beta(\tan\varphi' \sin\beta - \tan\alpha) - K_a b \right] \tag{2.19}$$

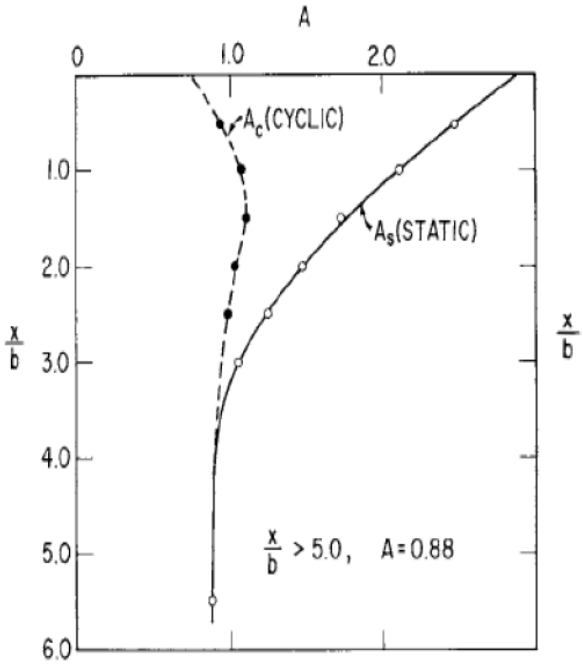
$$p_{sd} = K_a b \gamma' z (tan^s \beta - 1) + K_a b \gamma' z \tan\emptyset' tan^4 \beta \tag{2.20}$$

Burada:

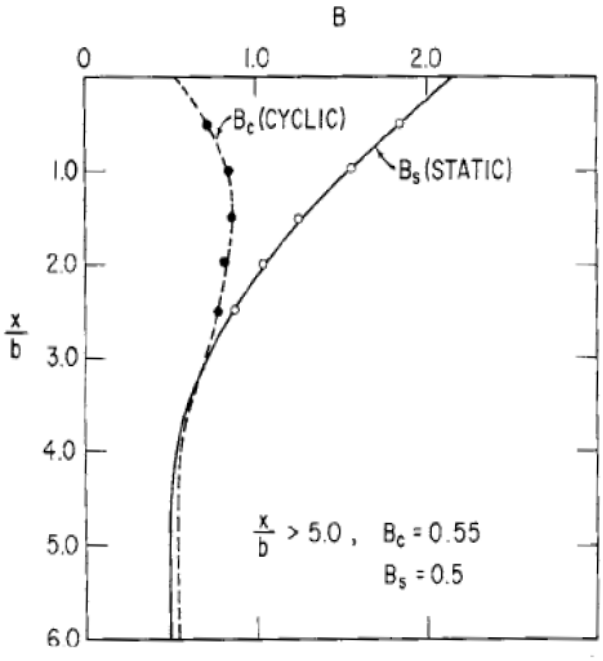
$$\alpha = \frac{\varphi'}{2};\ \beta = 45 + \frac{\varphi'}{2};\ K_0 = 0.4;\ K_a = tan^2(45 - \frac{\varphi'}{2})$$

Dördüncü bölüm başlangıç doğrusal kısmının parabolik bölüm ile kesiştiği ve Denklem 2.21 ile belirlenebildiği yer değiştirme Denklem 2.21 ile hesaplanmaktadır.

$$y_k = \left(\frac{C}{k_{py}z}\right)^{\frac{n}{n-1}} \quad (2.21)$$



Şekil 2.9. Kum için katsayıların değerleri (A) (Reese ve Van Impe 2001)



Şekil 2.10 Kum için katsayıları değerleri (B) (Reese ve Van Impe 2001)

2.4.4.2 Kireçtaşı için P-Y Direnci

Aşağıda sunulan kireçtaşı için p-y eğrilerinin oluşturulma yöntemi McVay vd. (2004) araştırmasına dayanmaktadır. Burada, önerilen eğrileri doğrulamak için tam ölçekli alan testlerinin kullanılmasını önerilmektedir. Her yanal yük testi, birden fazla p-y eğrisi vermiş ve bir temsili eğri elde etmek için ortalaması alınmıştır. P-y eğrileri birime bağlıdır. Metrik sistem için, kayaçların serbest basınç dayanımları (q_u), mil çapı ve kaya yanal direnci p, sırasıyla kn/m^2; m ve kn/m olmalıdır. Normalleştirilmiş eğriler aşağıdaki denklemlerle elde edilebilir (Denklem 2.22, 2.23).

$$P=13750D^{0.85}q_u^{0.15}\left[\frac{y}{D}\right] \qquad 0<\frac{y}{D}<0.004 \quad (2.22)$$

$$P=D^{0.85}q_u^{0.15}\left[1083\left[\frac{y}{D}\right]+51\right] \qquad 0<\frac{y}{D}<0.004 \quad (2.23)$$

Burada:

D = Kazık çapı

q_u = Nihai taşıma gücü

y = Kazık yer değiştirmesi

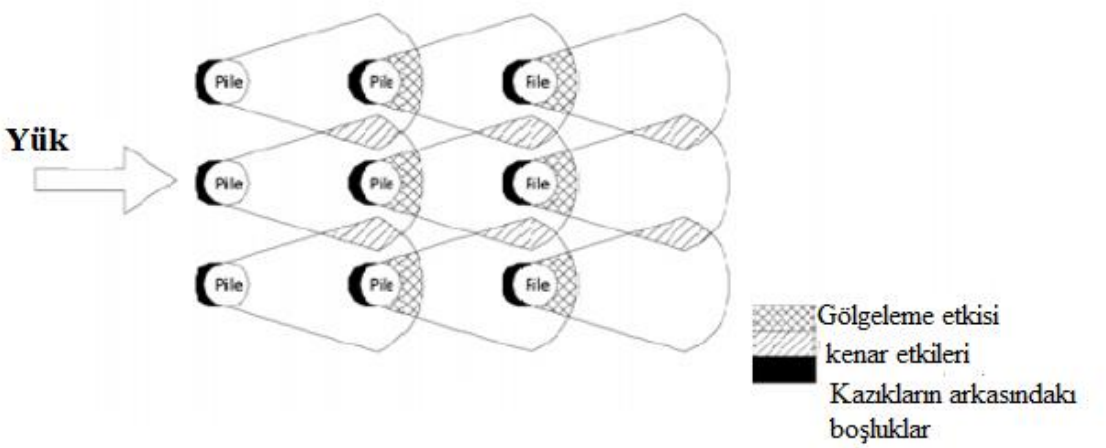
2.5. Yanal Yüklü Kazık Grubunda Kazıkların Grup Etkisi

Kazıklı temellerin çoğunluğu tek bir kazıktan daha fazlasını ve bu nedenle kazık grubu etkilerini ve kazık grubunun etkinliğini içermektedir, ancak bazen tek kazık kullanılmaktadır. Her ne kadar bir kazık grubu genel yanal yük direncini güçlendirse de gruptaki kazıkların tek tek kazık tepkilerini zayıflatabilir. Bir grup kazık dikey veya yanal bir yüke (yani rüzgâr ve deprem) maruz kaldığında, bunların düşey veya yanal direnci genel olarak tek bir kazık direncinin toplamına eşit değildir. Genellikle, grup direnci tek tek kazık direncinden daha azdır ve grup içindeki kazık konumunun ve kazık aralığının bir fonksiyonudur.

Kazık grubu tepkisi, bireysel kazık kapasitesi, kazık aralığı, grup yerleşimi, kazık yükleme yöntemi, kazık başlığı direnci, kazık başlığı bağlantısı ve diğer değişkenlere bağlıdır. Bunlardan, kazık boşluğu ve kazık başlığı direnci en önemlileridir. Sayısal analizler ve saha testlerinden elde edilen veriler, yer değiştirme alanlarının üst üste bindiği bu tür aralıklı gruplardaki kazıkların, aynı yükleme koşulları altında tek kazıklardan daha fazla yer değiştirmeye uğradığını göstermiştir (Matlock vd. 1980; Meimon vd. 1986; Brown vd. 1987, 1988; McVay vd. 1996; Rollins vd. 1998).

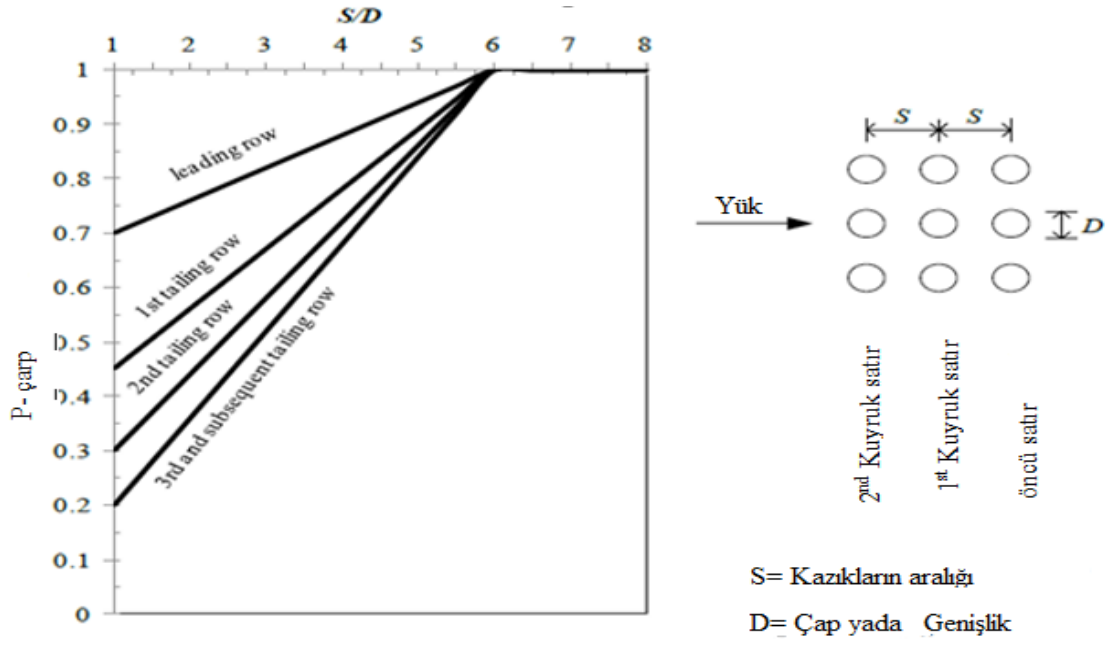
Toplam yanal yük, gruptaki her bir kazık arasında bölünür. Her bir kazık, arkasındaki toprağa karşı iterek toprakta kayma bölgesi oluşturur. Bu kayma bölgeleri, yanal yük arttıkça genişlemeye ve üst üste binmeye başlar. Kazıklar birbirine çok yakın mesafedeyse, üst üste binme meydana gelir. Bütün bu grup etkileşim etkileri, kazık başına daha az yanal dirençle sonuçlanır. Şekil 2.11 kayma bölgelerini ve yanal olarak yüklenen bir kazık grubunda meydana gelen çeşitli grup etkilerini göstermektedir. Kazıkların önde gelen sırası, yalnızca kenar etkilere maruz kaldığı için grubun herhangi birinde en yüksek direnç seviyesine sahiptir. Önde gelen sıradaki kazıklar, aynı yüklemede, tek izole edilmiş bir kazığa göre daha az dirençlidir.

Diğer sıralardaki kazıklar, 2 ve 3, bile daha düşük dirence sahiptir çünkü kenar ve gölgeleme etkilerine maruz kalırlar. Kazıkların arkasındaki boşluklar, arkalarındaki kazıkların direncinin azalmasına neden olurlar. P-y yöntemi, grup etkileşim etkilerine yaklaşık olarak uyacak şekilde uyarlanabilmektedir. Bir gruptaki kazıkların tepkisini elde etmek için, analizde grup etkinlik değişkenleri göz önünde bulundurulur ve nihai yanal direnci azaltmak için kullanılırlar. Gölgeleme etkisi için hesaba katılan bir yöntem p çarpanları eklemektir (Brown vd. 2001).



Şekil 2.11. Yanal olarak yüklenen bir kazık grubundaki gölgenin ve kenar etkilerinin gösterimi (Walsh 2005)

P çarpanı, kazık grubunda bulunan tek bir kazığın yanal zemin direncini azaltarak, kazık grubu etkilerini hesaba katmak için kullanılır. Bir kazık grubunda kazıklar arasındaki küçük aralık, kazıkların arkasında çakışan zemin bölgelerine neden olduğu için, bir gruptaki bir kazık üzerindeki zemine direnç, kazık grubunda olmayan özdeş tek bir kazığınkinden daha küçüktür. P çarpanı, kazık grubundaki bir kazık için zemin direncinin, kazık grubunda bulunmayan özdeş bir tek kazık için direnç oranı olarak tanımlanır. P çarpanı değeri, bir kazık grubundaki kazıklar arasındaki aralığa bağlıdır. Mokwa (2000) kazık aralığının kazık grubu etkileşimini etkileyen baskın bir değişken olduğunu gözlemlemiştir. Daha yakın aralıklı kazıklar daha fazla müdahale ve dirençte daha büyük bir azalma geliştirir. Şekil 2.12, p çarpanı, kazıkların merkezden merkeze olan aralığının kazığın çapına veya genişliğine oranına (S / D) göre belirlenmesini göstermektedir.



Şekil 2.12. P değerinin belirlenmesi kazık grubu (Rollins vd. 2006)

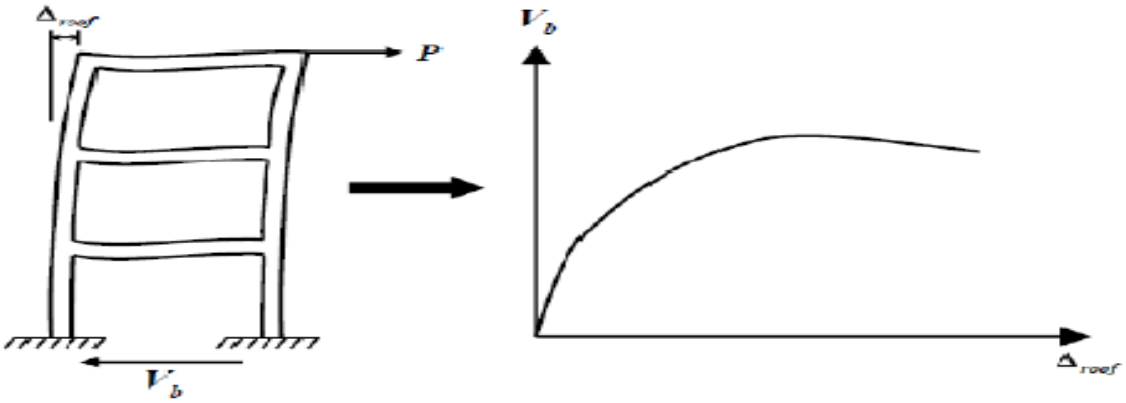
2.6. Sismik Değerlendirme Yöntemi

Yapısal analiz yöntemleri, iki genel- doğrusal ve doğrusal olmayan, statik ve dinamik olarak alt bölümlere ayrılabilen, gruba ayrılır. Eşdeğer statik analiz doğrusal statik yöntemlerinin tipik bir örneğidir. Diğer taraftan spektral analizde doğrusal dinamik işlemler altında süperpozisyon uygulanmaktadır. Yapısal model ile zemin hareketi kayıtlarının birleşimin kullanarak doğrusal olmayan dinamik analiz (zaman tanım alanında analiz, THA), teorik olarak nispeten yüksek doğrulukla sonuçlar üretebilir ancak THA çok zaman alıcıdır ve sismik tepkinin önemli yönlerini maskelerken geniş çıktıyı yorumlamak zor olabilir. Doğrusal olmayan statik (NLS) analiz mevcut ve yeni yapılar için sıöça kullanılan bir yöntemdir. NLS analizini taşımak için bir yöntem yerdeğiştirme katsayısı yöntemidir (DCM) FEMA-356 (2000). DCM temel olarak, ilk doğrusal özellikleri varsayarak ve sönümleyerek, elastik tepkiyi çarparak osilatörün maksimum yerdeğiştirmesini bir veya daha fazla katsayıyla tahmin eden bir yöntemdir. NLS analizi için işlem kapasite spektrum yöntemi (CSM) ATC-40 (1996) 'dur.

Her iki yöntemde de yapı üzerindeki ana yer değiştirme (elastik ve esnek olmayan), itme analizinden saptanan yük – yer değiştirme özelliklerine sahip eşdeğer bir tek serbestlik dereceli sistemin tepkisinden hesaplanır. Bununla birlikte, en büyük yer değiştirme talebini (elastik ve elastik olmayan) tahmin etmekte kullanılan teknik bakımından farklılık gösterirler (ElGawady ve Greenwood 2009). Çeşitli araştırmacılar, DCM ve CSM'nin aynı zemin hareketi ve aynı yapı için hedef yer değiştirmesinin esasen farklı tahminlerini sağlayabileceğini saptamış ve hedef yer değiştirmeyi tahmin etmek için geliştirilmiş yöntemler önermiştir. FEMA-440 (2005), DCM ve CSM yöntemlerini revize etmiş ve her iki yönteme iyileştirmeler önermiştir.

2.6.1. İtme analizi

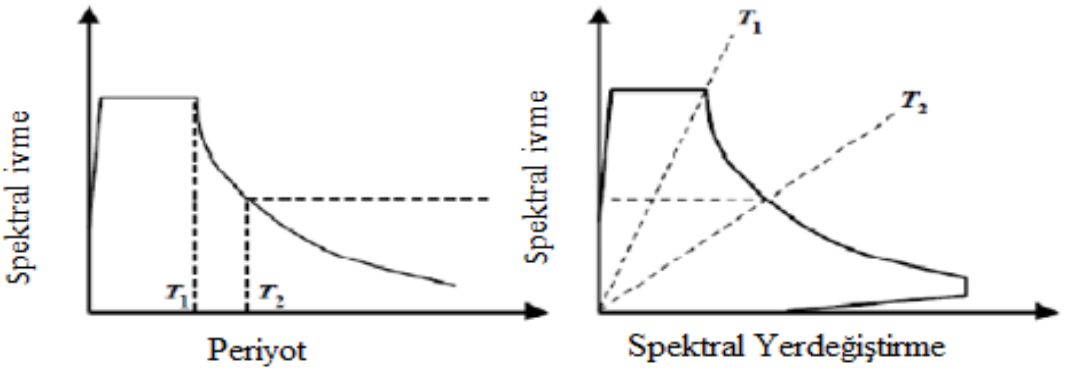
İtme analizi, yapısal yüklemenin büyüklüğünün, önceden tanımlanmış bir referans yük örneğine göre art arda arttırıldığı statik, doğrusal olmayan bir yöntemdir. Yüklemenin büyüklüğündeki artış ile köprü yapısının zayıf bağlantıları ve göçme şekilleri belirlenir. Statik itme analizinin amacı, taban kesme kuvveti, akma ve en büyük yer değiştirme ve



Şekil 2.13. İtme eğrisi

ayrıca köprü yapısının süneklik kapasitesi yoluyla ölçülen yapı dayanımını değerlendirmektir. Şekil 2.13 çok serbestlik dereceli sistemin temel kayma ve çatı yer değiştirmesi açısından karakteristik doğrusal olmayan kuvvet-yer değiştirme ilişkisi ile sunulmaktadır.

Amaç, yapının gerçek davranışını yakalamak olduğundan, itme analizi modellenen elemanların beklenen malzeme özelliklerini kullanarak gerçekleştirilir. İtme analizi, sınır durumlarının sırasını, plastik mafsalların oluşumunu ve yapı boyunca kuvvetlerin yeniden dağıtılmasını yan yüklerin veya yer değiştirme talebinin artmasıyla inceleyebilir. CSM, köprü kapasitesinin Mahaney vd. (1993) tarafından adlandırılan İvme – Yer değiştirme (AD) formatında temsil edilmesini gerektirir. AD formatı, yaygın olarak kullanılan spektrumlarda olduğu gibi, periyotla spektral ivme veya periyotla spektral yerdeğiştirme karşılaştırıldığında, spektral yer değiştirmeye (Şekil 2.14) karşı spektral ivme çizilerek elde edilir. AD formatındaki kapasite eğrisinin gösterimi kapasite diyagramı olarak adlandırılır. Fajfar (2000), itme eğrilerinin nasıl elde edileceği ve kapasite diyagramlarına dönüştürülmesi için kullanılan denklemlerin türetilmesi hakkında çalışmalar yapmıştır.



Şekil 2.14. (Solda) talep diyagramı: Standart formatı (sağda): Ivme-Yer değiştirme biçimi

2.6.2. ATC-40 CSM

CSM (ATC-40, 1996), A, B ve C yöntemleri olmak üzere üç benzer fakat farklı yöntem önermektedir. C Prosedürü tamamen grafikseldir ve programlamaya katkı sağlamaz ve A yöntemi, CSM'nin en doğrudan uygulamasını vermektedir ve seçilen performans noktasına bağlı olarak kapasite diyagramının çift doğrusal gösteriminin güncellenmesi içermektedir. A ve B yöntemleri sadece çift doğrusal gösterimin güncellenmesinde farklılık göstermemekte aynı zamanda El Gawady vd. (2009) belirttiği gibi yapısal performansı belirlemek için farklı yöntemlerden yararlanmıştır.

2.6.3. Geliştirilmiş kapasite spektrum yöntemi (FEMA 440 CSM)

FEMA-440 (2002) belgesinde sunulan geliştirilmiş Kapasite Spektrum Yöntemi, etkin periyodu ve etkili sönümlemeyi belirlemek için yeni ifadeler içermektedir. Orijinal ATC-40 (1996) yöntemine uygun olarak, hedef yer değiştirmeyi tahmin etmek için üç yineleme yöntemi de ana hatlarıyla belirtilmiştir. Son olarak, dinamik kararsızlıktan

kaçınmak için dayanıma bir sınırlama getirilir. Etkili periyot ve sönümleme oranı için geliştirilmiş formüller FEMA-440'da bulunmaktadır.

2.6.4. Katsayı yöntemi (FEMA 356)

Yerdeğiştirme katsayısı yöntemi FEMA-356 (2000) CSM'ye benzerdir ve amaç doğrusal olmayan tepkinin yer değiştirme büyüklüğü üzerindeki etkilerini hesaba katan bir yöntemi kullanarak performans noktasını hesaplamaktır. CSM'deki elastik olmayan tasarım spektrumlarının kullanımı ile benzer şekilde, yer değiştirme talebi, elastik yer değiştirme spektrumundan elde edilen elastik olmayan yer değiştirme spektrumlarından, istatistiksel analize dayalı birtakım düzeltme çarpanları kullanılarak belirlenir (ElGawady ve Cofer 2009).

2.6.5. Gelişmiş katsayı yöntemi (FEMA 440 CM)

FEMA-440 (2002), hedef yer değiştirmeyi tahmin etmek için FEMA-356 katsayı yönteminde değişiklikler önermektedir. Bu değişiklikler çarpanların tanımları üzerinde yapılan iyileştirmeleri kapsamaktadır (El Gawady vd. 2009).

2.6.6. Davranış spektrum analizi (RSA)

Tepki spektrumu kavramı, deprem mühendisliğinde yer hareketlerinin özelliklerini ve yapılar üzerindeki etkilerini ifade etmek için yaygın kullanılan bir araçtır. Tepki spektrumu, tek serbestlik dereceli sisteminin (SDOF) doğal frekans ve sönüm oranının bir fonksiyonu olarak bir deprem hareketine olan maksimum tepkisini temsil eder (Kramer 1996). Tepki spektrumu eğrileri, bir SDOF sisteminin, belirli bir sönüm oranı için farklı doğal frekanslarda (veya periyotlarda) belirli bir uyarılma maksimum tepkilerinin (ivme, hız ve yer değiştirme) çizimidir. Tepki spektrum analizi (RSA), bu tepki spektrum eğrilerini kullanarak çok serbestlik dereceli sistemin (MDOF) en büyük tepkilerinin hesaplanmasını sağlar. RSA, yapının doğal frekanslarını, mod şekillerini ve modal sönüm oranlarını ve uyarımın dinamik özelliklerini hesaplamada kullanan statik bir elastik analiz yöntemidir (Sevgili 2007). Sismik davranış katsayısı, depremsellik için elastik analizde kullanılacak deprem yükünü karakterize eder. Elastik sismik katsayı, AASHTO (2006)'da boyutsuz formüle göre verilmiştir:

$$C_S = \frac{1.2A}{T^{2/3}} \tag{2.24}$$

Burada:

A = ivme katsayısı

S = sahanın zemin profil karakteristiklerinin katsayısı

T = köprü süresi (saniye)

ve Cs'nin $2.5A$'yı aşmamalıdır. Zemin profilleri için III ve IV $A \geq 0.30$, $Cs \leq 2.0A$.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. KÖPRÜ ÇALIŞMASININ MODELLEME VE METODOLOJİSİ

Oyulma etkileri altında yapı kararlılığının eksiksiz olarak sağlanması, suyun, zemin tiplerinin, temel sistemlerinin ve köprü üstyapı analizlerinin bütünleştirilmesini gerektirdiğinden hidrolik analiz ve oyulma hesaplama yöntemleri açıklanmıştır. Bu çalışmada hidrolik değişkenler sadece daha önce belirtilen değişkenlere göre değerlendirilmiştir. Burada, hesaplama, program yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Çalışma bölgesi, köprü geometrisini tanımlayan çeşitli parametreler, temel varsayımlar ve bu çalışma için düşünülmüş hesaplama modelleri ve ayrıca nokta plastik mafsalların özellikleri belirlenmiştir.

3.2. Yazılım

Bu çalışmada, oyulmanın köprülerin sismik performansına etkisini belirlemek için SAP2000 yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım ağırlıklı olarak Antalya Boğaçayı üzerindeki köprünün oyulmuş kazıklarının analitik modellemesi ve sismik performans değerlendirmesinde kullanılmıştır. SAP2000, yapısal sistemlerin statik veya dinamik, doğrusal veya doğrusal olmayan analizini gerçekleştiren genel amaçlı bir sonlu elemanlar programıdır. Aynı zamanda, sıkça kullanılan yapı tasarım kodlarına göre yapıları tasarlamak için güçlü bir tasarım aracıdır. Reese vd. (2001) ve McVay vd. (2004) tarafından önerilen yöntemlere göre iki tabakadan (çakıl ve kum) oluşan zeminin p-y ve t-z eğrileri hesaplanmıştır.

3.3. Çalışma Alanının Tanımı Ve Köprü Geometrisi

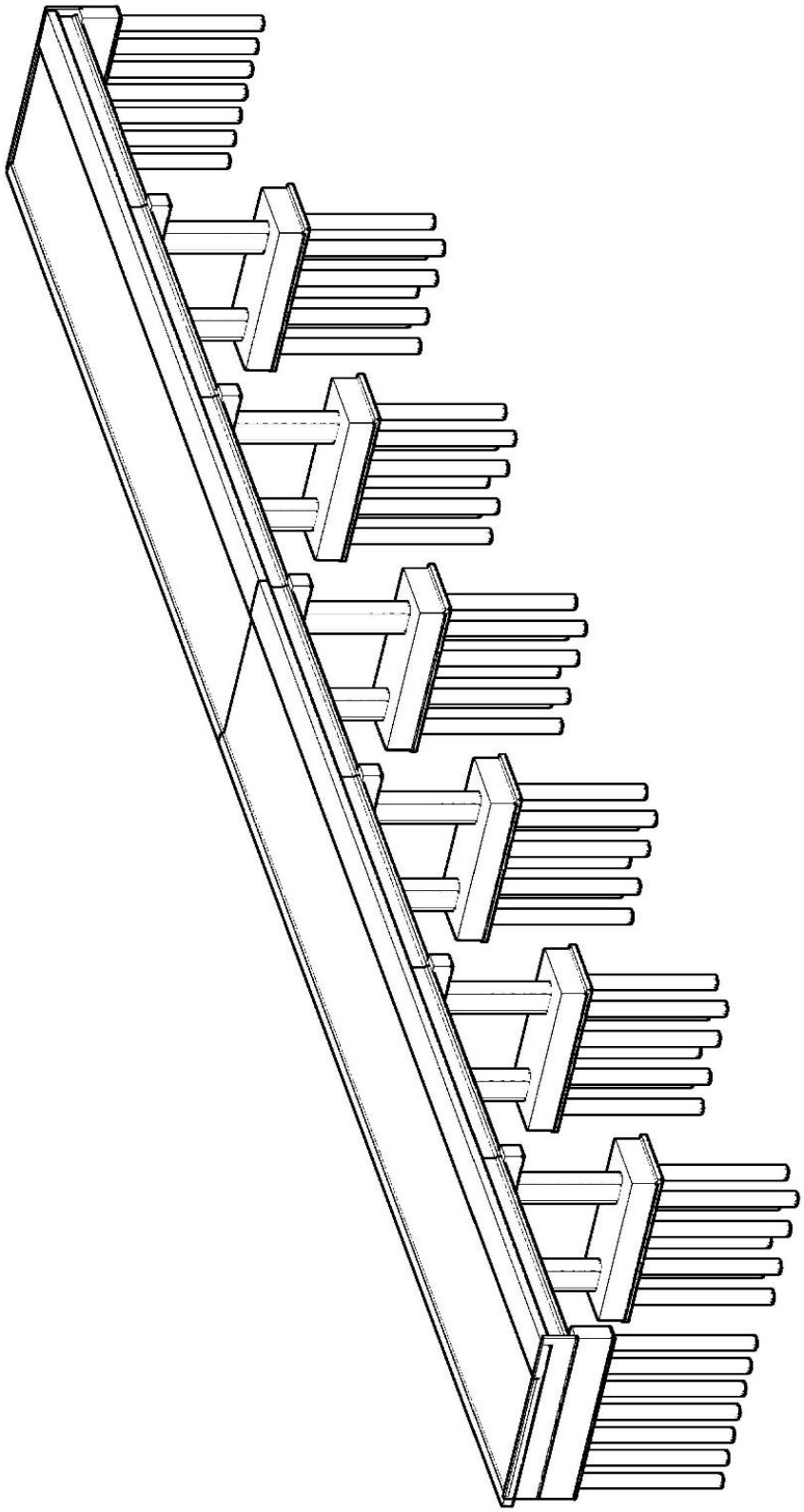
Boğaçay Köprüsü, Antalya'nın Konyaaltı İlçesinde yer almaktadır. Köprü, Devlet Karayolu Akdeniz Bulvarını taşımaktadır ve Boğaçay'ı Koordinat (enlem ve boylam) olarak: 36 ° 51'9 "N30 ° 37'31" E'de düzenle geçer. Köprünün uydu görüntüsü Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



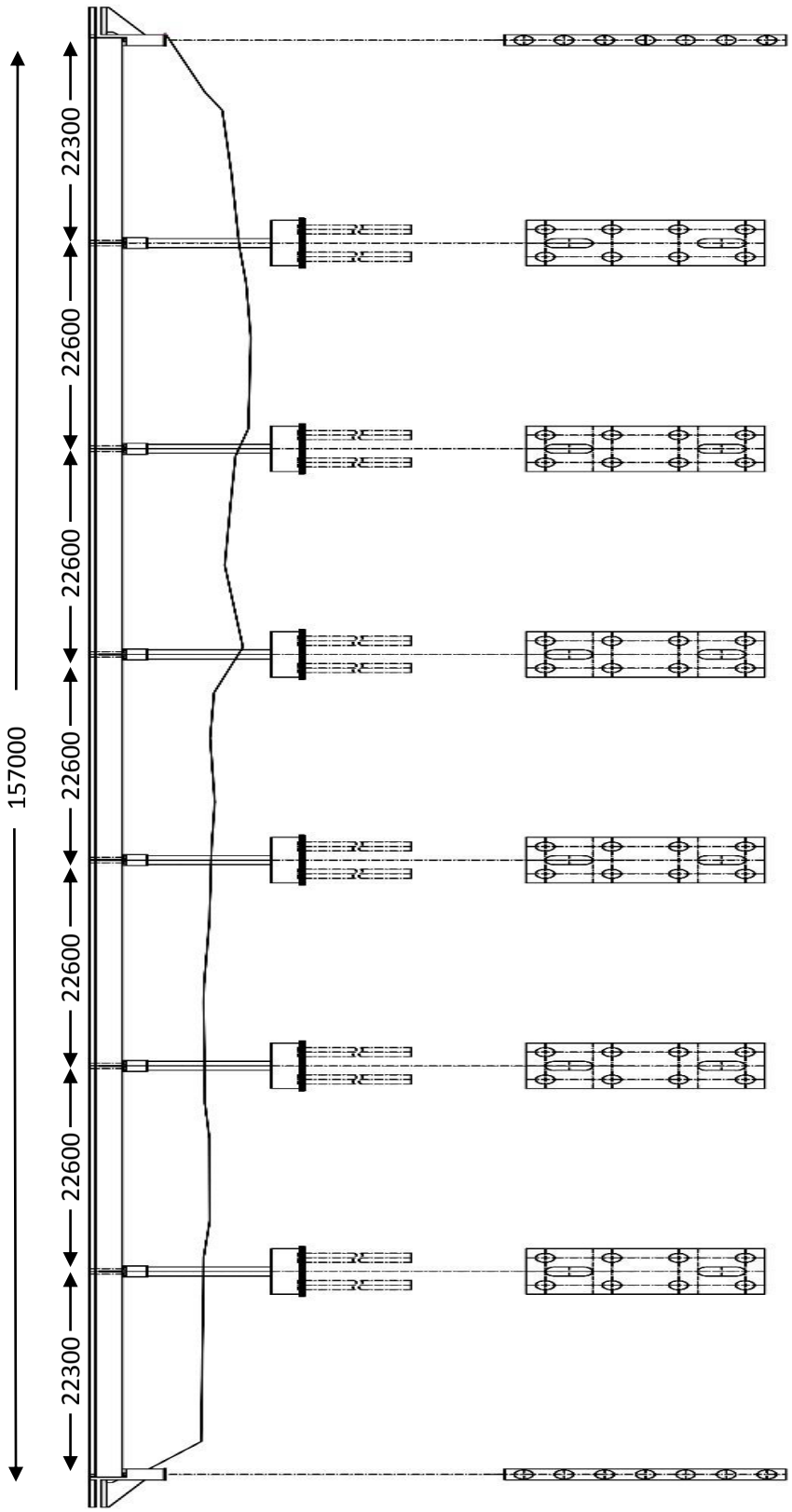
Şekil 3.1. Boğaçayı köprüsü uydu görüntüsü

Köprü 157.6 m uzunluğundadır ve yedi açıklığa sahiptir. Köprünün üç boyutlu (3D) ve ön görünümü sırasıyla Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te sunulmaktadır. Üst yapı, Şekil 3.4'te gösterildiği gibi, 22 cm kalınlıkta yerinde dökme BA tabliyeyi destekleyen ve ağırlık merkezleri arasında 1.65 m mesafeye sahip dokuz adet basit mesnetli I şeklinde öngerilmeli beton (ÖG) kirişlerden oluşmaktadır. Köprü kirişleri deprem sırasında genellikle elastik kaldıklarından, köprülerin sismik performans analizlerinde detaylandırılmamışlardır.

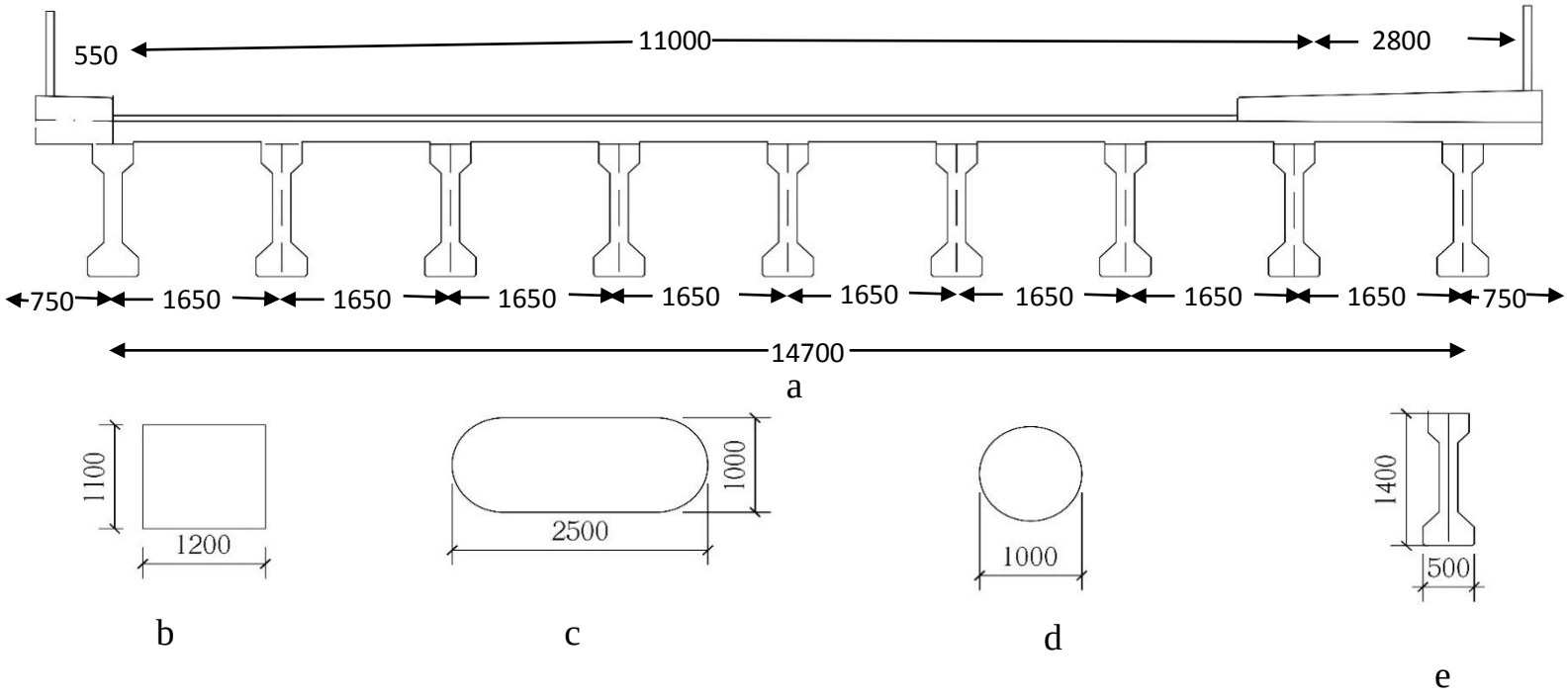
ÖG kirişler, çapraz kiriş üstünde 40 cm x 25 cm x 7 cm ebatlarındaki köprü ayağı oturma yerlerinde lamine elastomerik yatak pedleri üzerine oturmaktadır. Kirişler deprem takozları ile enine doğrultuda tutulmuşlardır. Her ayak ve kenarayaklarda, köprü tabliyesi monolitik olmayan bir yapıdadır. Kauçuk genleşme derzleri her ayak ve kenarayakta 5 cm genişliğinde ve yolun genişliğini boyunca yerleştirilmiştir. Boğaçay Köprüsü, 12 tanesi ayak olmak üzere BA köprü ayağına sahiptir. Her ayakta, üst yapıyı sütunlara bağlayan bir başlık kirişi, 1.2 metrelik bir genişliğe, 1.1 metre yüksekliğe ve 13 m uzunluğa sahiptir. Modellenen kolon uzunluğu, kolonun net yüksekliğine eşittir ve üst yapının merkezi ve üst yapının temeli arasındaki düşey uzaklık 7.8 m ve (2.5 mx1 m) kesitlere sahiptir, köprü ayağı ve başlık kirişleri monolitik olarak dökülmüştür ve her ayak Şekil 3.5'te gösterildiği gibi ortalama uzunluğu 27 m olan sekiz kazık grubu ile desteklenmektedir. Köprü ayağı merkez hattından merkez hatına kadar 22.6 m uzanmaktadır. Her bir köprü ayağı, her kolonda boyuna donatı olarak 44 Ø 26 nervürlü donatıya sahiptir. Enine donatı, 10-15 cm aralıklarla Ø16 çubuklarla sağlanmıştır. Kazık başlığının kalınlığı 1.5 m, uzunluk ve genişliği 12.5 x 5 m'dir. Kazık başlığının kazıklarla rijit olarak bağlandığı kabul edilmiştir. Her kazığın çapı 100 cm'dir. Her bir kazık içinde boyuna donatı için 16 Ø 26 çubuk kullanılmıştırr. Enine donatı, merkezde 10-15 cm'lik aralıklarla Ø 12 spiral fret ile sağlanmıştır. Kazıklar zemine yaklaşık 27 m. Köprü genişliği boyunca uzanan köprü ayakları 2 m derinliğinde ve 1.2 m uzunluğundadır. Grup kazıkları köprü ayaklarını desteklemekte ve ayakların yaklaşık 21 m derinliğine inmektedir.



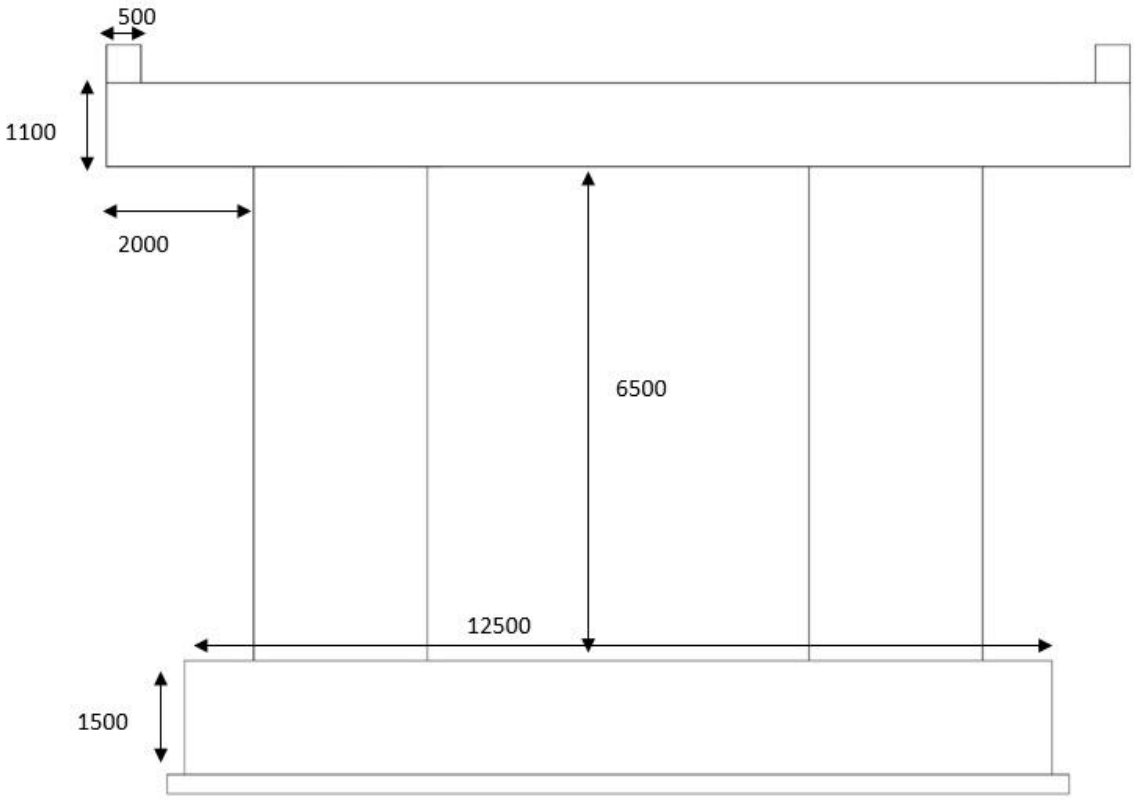
Şekil 3.2. Köprünün üç boyutlu görünümü



Şekil 3.3. Köprünün boy kesiti



Şekil 3.4. Köprü tabliye enine kesit: a) Köprü üst yapı kesiti b) Başlık kirişi c) Kolon kesiti d) Kazık kesiti e) Taban kesiti



Şekil 3.5. Köprü kesit görünümü

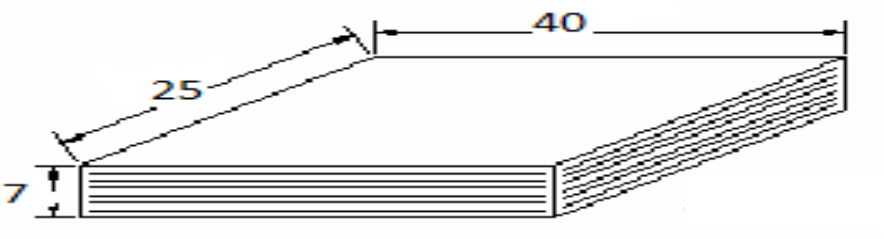
3.4. Elastomerik Mesnetler

Elastomerik mesnetler, üst yapı ve alt yapı arasında, Şekil 3.6'da şematik olarak gösterildiği gibi, kauçuk yastığı ve dahili olarak yerleştirilmiş ince çelik takviye plakalarından oluşan yalıtım elemanları olarak sıklıkla kullanılır. Mesnetler, üst yapının öngerilmeli kirişinin her birinin altına yerleştirilir. Ara sacı denilen dahili çelik levhalar, mesnetin yanal şişmesini azaltır ve dikey sertliği önemli ölçüde artırır. Bununla birlikte, mesnetlerin yatay sertliği bitişik altyapı ve üstyapıya kıyasla çok düşüktür. Mevcut karayolu köprülerinde, elastomerik mesnetler, üst yapı ve altyapı bileşenleri arasında herhangi bir bağlantı elemani olmaksızın basitçe yerleştirilir; bu da, mesnetlerin taşınmasının serbest olduğunu gösterir. Bu nedenle, elastomerik mesnetlerin modellenmesinde herhangi bir sabitleme düşünülmemektedir. Elastomerik mesnedi yanal yüklere karşı tutan tek direnme kuvveti kauçuk ve beton yüzeyler arasındaki sürtünme kuvvetidir. Bu nedenle, mesneteki yatay kuvvet, sürtünme kuvveti aşılıncaya kadar sismik yükleme nedeniyle mesnet yer değiştirmesi ile orantılı olarak artar. Bu noktadan sonra, mesnetler tarafından ek bir yatay kuvvetin taşınmadığı varsayılır, böylece kuvvet sabit kalır. Elastomerik mesnetlerin davranışı, mükemmel elastik olan plastik model ile karakterize edilir. Elastomerik pedin modellenmesi, mükemmel elastoplastik malzemenin uygulanmasıyla gerçekleştirilebilir. Araştırılan modelde kullanılan her mesnet, her biri 2 mm kalınlığa sahip yedi takviye tabakasından ve 8 mm kalınlığa sahip altı elastomerik iç katmandan oluşturulmuştur. Ayrıca, elastomerik mesnedin üstünde ve altında 4 mm kalınlığında elastomerik dış katmanlar vardır. Mesnetlerin boyutları Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

Elastomerik mesnedin başlangıçtaki sertliği (3.1) 'de verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanır. Burada, G, A ve hrt sırasıyla kayma modülü, alan ve elastomerik mesnetlerin toplam kauçuk yüksekliğidir. Elastomerik mesnetlerin kayma modülü, her bir AASHTO (1996)'ya göre sertliklerine belirlenir. Genel olarak, elastomerik mesnetlerin nominal sertliği, incelenen otoyol köprüleri için Shore A ölçeğinde 60'dır. Elastomerik mesnetlerin G kayma modülü, 1.1 MPa olarak hesaplanır; AASHTO (1996) tarafından tavsiye edilen aralığın ortalama değeridir.

$$K_{bearing} = \frac{G \times A}{h_{rt}} \tag{3.1}$$

kt= mesnetin sertliği (kN/m)
G = elastomerin kayma modülü (kN/m^2)
A = mesnedin plan alanı (m^2)
hrt = elastomerik katmanların toplam kalınlığı (m)



Şekil 3.6. Elastomerik mesnet boyutları (40cm x 25cm x 7cm)

3.5. Genleşme Bağlantıları

Karayolu köprülerinin üstyapı ve altyapı bileşenleri uzunlamasına veya enine doğrultuda kesintisiz değildir ve aralarında belirli bir aralık bulunan eklemler mevcuttur. Köprü bileşenleri arasındaki genleşme bağlantılarının açılması ve kapanması, yük yolunu ve dolayısıyla köprülerin dinamik tepkisini etkileyen doğrusal olmayan süreksizlikleri getirir. Bu çalışmada, SAP2000'in boşluk elemanı, uzunlamasına deformasyonlar, 10 cm açıklığı kapattığında ve aynı zamanda, 5 cm açılmış köprü ayağı boşluklarını kapattığında vurma olasılığını hesaba katmak için kullanılmıştır. Boşluk elemanı, elemanın boşluğun kapanmasından önce herhangi bir direnç uygulamayacağı şekilde bir "sıkıştırma amaçlı" bağlantı olarak ayarlanmıştır. Tabliye ve köprü ayağı arasındaki boşluk kapandığında, vurma meydana gelmiştir. Temas noktasında boşluk elemanının sonsuz sertliğe sahip olduğu varsayılabilir (Caltrans 2008). Köprü bileşenlerinin etkisinden dolayı köprü sismik tepkisi önemli ölçüde yükseltilebildiğinden analitik modelde vurma etkisi hesaba katılmalıdır.

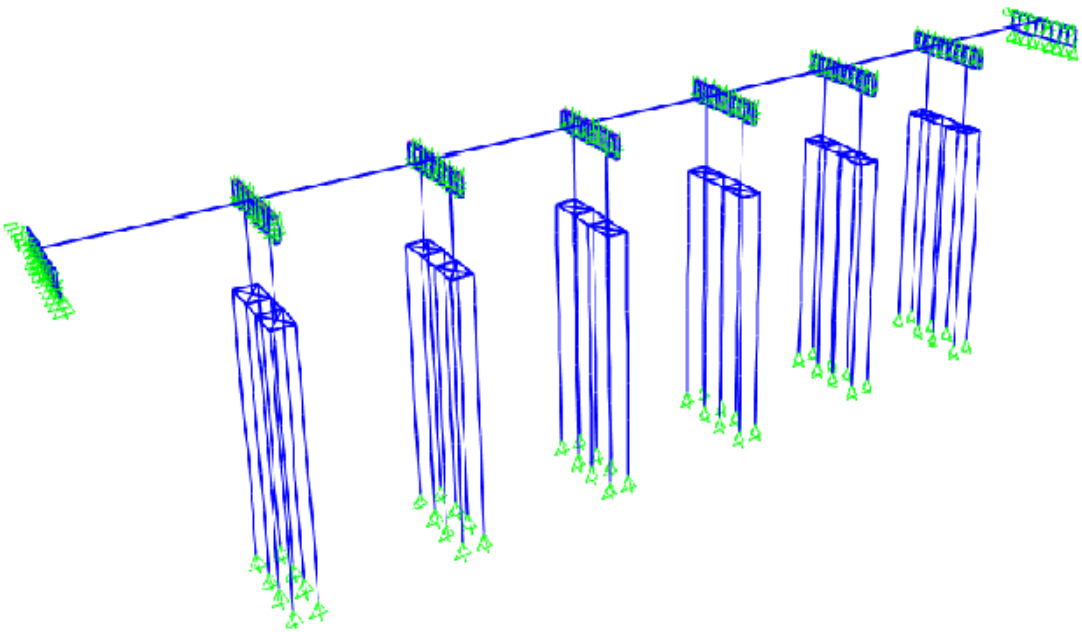
3.6. Köprülerin Modellemesi

Köprünün sismik tepkisi üzerindeki oyulma etkileri, SAP2000'de gerçekleştirilen bir dizi doğrusal olmayan tepki itme analizi ile araştırılmıştır. 3D-Köprü sisteminin sonlu elemanlar modeli, Şekil 3.7'de gösterildiği gibi doğrusal olmayan statik analizi yapmak için Sap2000 yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Köprünün analitik bir modeli, çerçeve elemanları ve doğrusal olmayan yaylar kullanılarak zemin-yapı etkileşimini taklit etmek için oluşturulmuştur.

Köprü kirişleri ve köprü tabliyesi bir araya getirilir ve bu yaklaşım köprünün efektif sertlik ve kütle dağılımı özelliklerini sağladığı için bir satır elastik kiriş elemanı olarak modellenir. Süper yapı ve başlık kirişinin Caltrans (2013) 'a göre elastik aralıkta kalması ve böylece elastik elemanlar olarak modellenmesi beklenmektedir. Köprü sütunlarını ve kazıklarını modellemek için bir inelastik kiriş sütun elemanı kullanılır. Sınırlanmış betonun gerilme-gerinme ilişkisi için Mander'ın modeli, köprü ayak ve kazıklarının kapasitelerini ve davranışlarını yakalamak için benimsenmiştir.

İki ileri uçta köprü kirişleri genellikle, kirişlerin bu konumlarda dikey hareketine (translasyon) karşı tam bir kısıtlama sağlayan dayanaklar üzerinde desteklenmektedir. Bu bölgelerdeki kirişlerin yatay (boyuna) hareketi, kiriş ile köprü ayağı arasında başlangıçta sağlanan bir boşluğa kadar izin verilir.

Köprü arızasını sayısal olarak simule etmek için, bu çalışmada kirişlerin uzunlamasına hareketi için köprü ayak lokasyonlarında herhangi bir sınırlama kabul edilmemektedir. Bu, köprü modellerinin bu yönde serbestçe translasyon yapmasına izin vermiştir. Bu nedenle, köprü ayaklarında, köprü kirişleri, boyuna translasyon boyunca (köprünün ekseni boyunca) sınırlanmamış serbestlik derecelerine sahip olacak şekilde modellenmiştir.

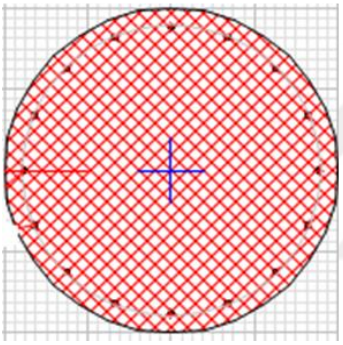


Şekil 3.7. Sap2000 ile köprünün yapısal modellemesi

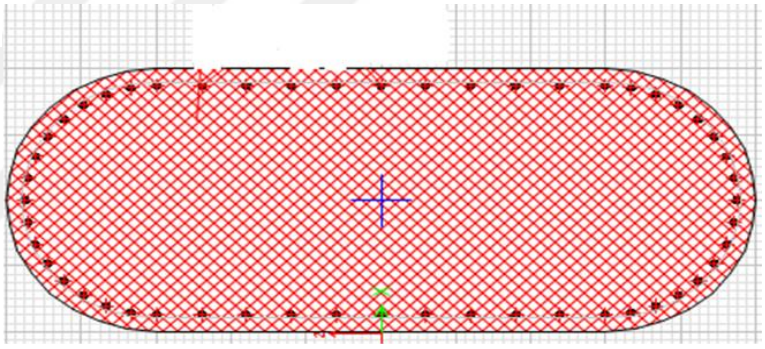
Kazık ve köprü ayağı kesitleri, SAP2000'de Bölüm Tasarımcısı olarak adlandırılan altprogram kullanılarak doğru bir şekilde modellenmiştir. Bölüm Tasarımcısı, kullanıcının kesit şeklini çizmesine ve ayrıca çelik takviyeleri içermesine izin verir. Şekil 3.8 ve Şekil 3.9, analizde kullanılan sütun / kazık ve kiriş için bölümleri göstermektedir. Kayma takviyeleri şekillerde görülmez, ancak bunlar bilgisayar modeline dahil edilmiştir ve Çizelge 3.1 kazık / köprü ayağı takviyesini göstermektedir.

Çizelge 3.1. Kazık / kolon takviyesi için Kesit gerekli analizi

Pier		Pile	
Takviye C22, S220	Iskele kesiti (2x1m)	Takviye C25, S420	Kazik kesiti (1m diameter)
Boylamasına	44 Ø 26	Boylamasına	16 Ø 26
Enine	Ø16 aralıklı (10-15cm)	Enine	Ø12helezonik aralıklı (10-15cm)



Şekil 3.8. Kazık kesit modeli



Şekil 3.9. Kolon kesit modeli

3.7. Doğrusal Olmayan Davranışı Modelleme

Köprü ayağı ve kazık bileşenlerin doğrusal olmayan modellenmesi, belirli kontrol noktalarında üye uzunluğu boyunca dağınık yoğrulabilmeyi temsil etmek için fiber esaslı doğrusal olmayan elemanlar kullanılarak yapılır. Betonarme elemanların elyaf modellenmesi, iki eksenli büküm ile kesitin eksenel kuvveti arasındaki etkileşimi otomatik olarak hesaba katma avantajına sahiptir.

SAP2000'deki fiber mafsal seçeneği kullanılarak sütun ve kazık plastik mafsal daha doğru bir şekilde modellendi. Fiber mafsal, statik veya dinamik bir analiz boyunca çeşitli eksensel yük seviyeleri için herhangi bir bükülme yönünde bir moment-eğrilik ilişkisi hesaplar. Fiber mafsal modeli, belirli bir noktada elastik bir elemana verilen karakteristik uzunluk ve sayıdaki fiber sayısına sahip dağıtılmış bir yoğrulma modelidir. Bu modelin kullanımı, doğrudan entegrasyon ile modal analiz, doğrusal olmayan statik (itme) ve doğrusal olmayan zaman öyküsü analizine kadar genişletilebilir. Fiber modeli, beton kırılmasından kaynaklanan sertlik kaybını, eğilme verimine bağlı takviye edici çelik verimini ve gerinim sertleşmesini temsil edebilir. Verimden sonra bozunmayı ve yumuşamayı temsil etmede başarılıdır.

Farklı eksenel yük seviyeleri (SAP2000'deki Etkileşim PMM Mafsal) için idealleştirilmiş bir moment döndürme modeli yanında bir fiber modeli (SAP2000'deki Fiber PMM), uygulanan eğrilik ve eksenel gerinme altında kolon davranışının kesit alanına doğru şekilde değerlendirilmesini sağlayacaktır. Bu nedenle, bu modellerin kullanılması, üç boyutlu statik ve dinamik analiz için önerilir. Kaliforniya'daki köprü yapılarının doğrusal olmayan analizi için Kılavuzlar tarafından yayınlanan bir rapora göre. Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (Aviram ve Mackie 2008).

3.8. Malzeme Özellikleri

TS 500'e göre betonarme ve çelik takviye için tasarım malzeme özellikleri ve yapısal elemanların elastikiyet değerleri modülü, 3.2.'de listelenmiştir. Birim ağırlık ve betonun Poisson oranı sırasıyla 25 kn / m^3 ve 0.2 olarak alınmıştır. Boyuna ve enine takviyeli çeliklerin minimum tasarım akma dayanımı ve elastikiyet modülü sırasıyla fy = 420 Mpa ve 220 MPa, Es = 200 000 Mpa olarak alınır.

Çizelge 3.2. İlgili bölümlerin malzeme özellikleri

Tablo: 3.1	Malzemeler	
Kesit	Basınç dayınımı (Mpa)	Sneklik mödülü (N/mm2)
Üst kısım	25	30000
Taban	40	34000
Baş kiriş	25	30000
kolon	25	30000
kazık	20	280000

3.8.1. Beklenen malzeme özellikleri

İtme analizinde beklenen malzeme özellikleri kullanılır. TS500, kayma hariç yapısal bileşenlerin kapasitesi için daha iyi bir tahmin elde etmek için tasarım değerlerinden ziyade beklenen malzeme özelliklerini kullanmanızı önerir.

TS5000 'te beklenen malzeme özellikleri için önerilen değerler:

Betonun beklenen basınç dayanımı $f_{c'e} = 1.5 f_c'$ (3.2)

Takviye çeliğinin beklenen akma mukavemeti $f_{ye} = 1.15 f_y$ (3.3)

Burada:

f'_c: Asgari beton basınç dayanım mukavemeti

f_y: Takviye çeliğinin asgari tasarım akma mukavemeti

3.9. Malzeme Modelleri

Betonarme elemanların doğrusal olmayan davranışları doğrudan çelik ve beton fiberlerin doğrusal olmayan gerilme-gerinme ilişkisinden elde edildiğinden, doğrusal olmayan köprü elemanlarının güvenilirliği, kullanılan malzeme modellerinin doğruluğuna büyük ölçüde bağlıdır. Mander'in Caltrans (2006) malzeme modeli basınç altında hem sargılı ve hem de sargılı olmayan betonun gerilme-gerinme ilişkisi için kullanılır. Maksimum basınç dayanımı için kapalı beton basınç dayanımı ve nihai kapalı sıkştırma gerinimi sırasıyla εco = 0.002 ve εsp = 0.005 olarak alınır. Çelik takviye işlemi için kullanılan malzeme modeli üç bölümden oluşur: doğrusal modül gerilme sertleşmesinin başlangıcına kadar sıfır eğimi ve kopmasına kadar doğrusal olmayan bir gerinim sertleştirme kısmı olan bir verici bölüm. Maksimum çelik gerilmesi sonrasında gerinim yumuşatma dikkate alınmaz. Sertleşme bölümünün gerilme-şekil değiştirme ilişkisi tarif edildiği gibi alınır. Caltrans-SDC (2006) farklı çubuk çapları için gerinim sertleşmesinin (εsh) başlangıcında nihai gerinim (εsu) ve gerinim önerir. Belirgin miktarda takviye çubuktan farklı çaplarla elde edilebileceği için, nihai gerinim için εsu = 0.1 ve gerinim sertleşmesinin başlangıcında gerinim değeri olarak ortak değerler εsh = 0.008 olarak kullanılır.

3.10. Zemin Yapısı Etkileşim Modellemesi

Bu çalışma kazıkların çevresindeki zeminin alınmasıyla kazının etkileri üzerine odaklanmıştır.

Köprü için temel olarak beton kazığı kullanılır. Bu vaka çalışmasında kazık, kazık ve zeminin ara yüz unsuru bulunan katı bir silindirik kiriş olarak modellenmiştir. Bu çalışmada, kazıkların boyu 1m olan 27m uzunluğunda ele alınmıştır. Bükülme sertliği EpIp kazık uzunluğu boyunca sabit tutulur. Bu, yanal yük uygulandığında derinlik boyunca tekdüze yer değiştirmeyi elde etmek için yapılır.

Esnek plâstik p-y ve t-z eğrilerinin kullanılması hem statik hem de döngüsel yanal yükleme esnasında kazık performansının makul derecede iyi tahminini verebilir. P-y yöntemi, yanal yük altında kazık temellerin analizi ve tasarımı için en kullanışlı prosedürdür. Nispeten basit bir analiz olanağı sağlar ve doğrusal olmayanlık, derinlik ile zemin sertliğinin değişimi ve zeminin profilinin katmanlanması gibi unsurları dikkate almasını sağlar.

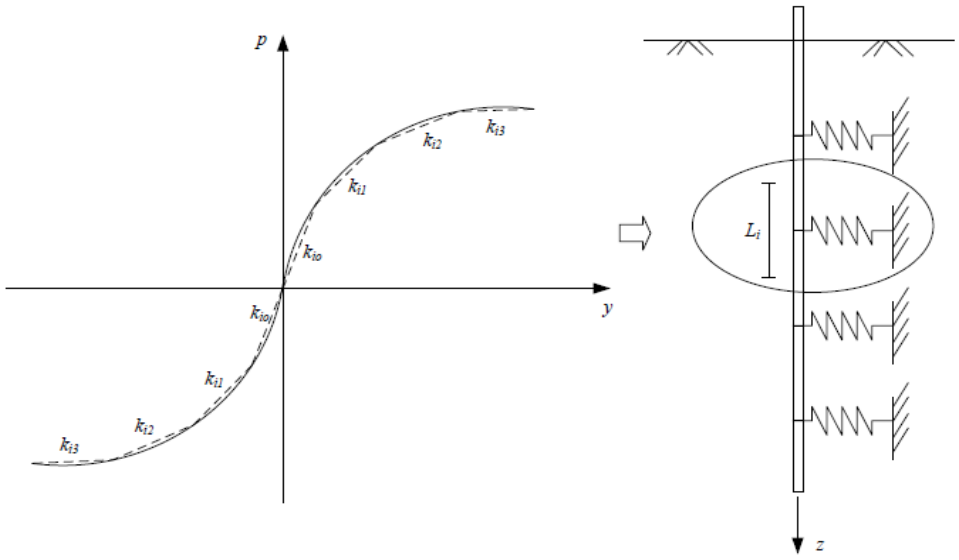
Kazık temelinin karşılaştığı zeminde tutarlılık azdır. Reese vd. (2001) ve McVay vd. (2004) tarafından önerilen prosedürler; iki farklı zeminde yani çakıl, kumda kazıklar için p-y ve t-z ve eğrilerini hesaplamak için kullanılmıştır ve p-y ve t-z ve eğrileri kavramı ikinci bölümde izah edilmiştir. Su tabakasının zemin yüzeyinde olduğu kabul edildi. Toprağın etkin birim ağırlığı 17 kN / m^3 olarak alındı.

Kenardan yüklemeli kazıklar için grup efekti, ikinci bölümde özetlendiği gibi birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır.

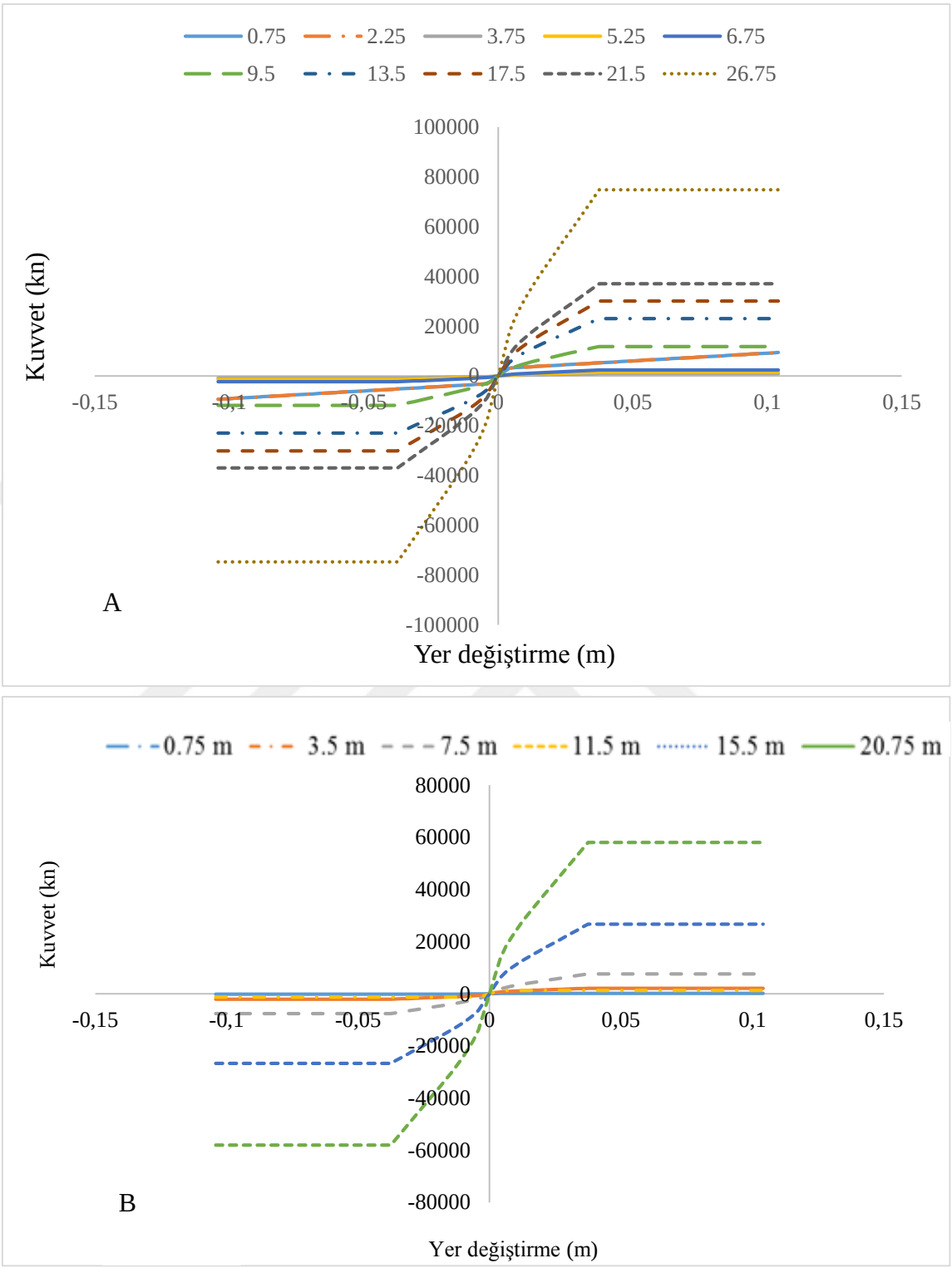
Zemin katkısı da dahil olmak üzere kazık grubu sertliği, bir gruptaki kazıkların sayısıyla çarpılan tek kazık tepkisinden daha az olabilir. Böyle bir durumda, kazık grubunda alt sınıf modülü azaltılabilir. Bununla birlikte, bu çalışmada, tavsiye edilen Caltrans-SDC (2013) gibi kazık grubuna hiçbir kapasitede azalma uygulanmamaktadır. Bu dokümanlarda, statik yük testleri grup etkisi üzerindeki tahminlerden fazla olduğu için, üç merkezden merkeze veya daha yüksek bir seviyedeki deprem yükü için grup etkisinin ihmal edilebileceği belirtilmektedir. Kazık başlığının sağladığı yanal direnç genellikle uygulamada olduğu gibi göz ardı edilir.

Kazığın çeşitli derinliklerinde p-y eğrileri elde edildiğinde, Şekil 3.10'a benzer şekilde, kuvvetin yerdeğiştirme ilişkisi, p'yi yaylar arasındaki kazığın kol uzunluğu ile çarpılarak hesaplanabilir. Potansiyel bir plastik mafsala yakın olan uzunluk başına daha fazla yay göz önüne alınmıştır.

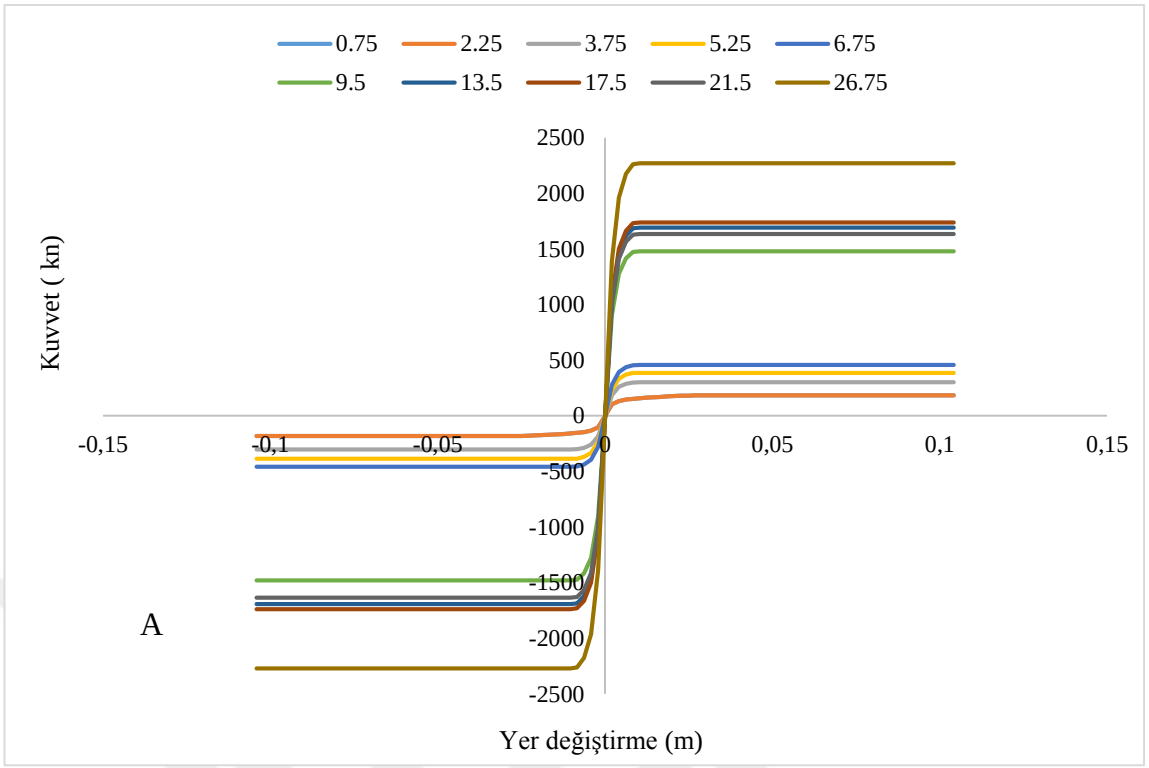
Şekil 3.11 ve 3.12, orta kum ve kalker zeminleri için farklı derinliklerde ikidoğrusallaştırılmış yanal kuvvet-yer değiştirme ilişkisini göstermektedir. Zemin-temel-yapı etkileşimini modellemek için kazıkların uzunluğu boyunca doğrusal olmayan p-y yaylar kullanılır. Oyulmanın varlığında, köprü temel sisteminin bir kısmı zemindeki yanal desteğini kaybeder. Bu yanal destek kaybını modellemek için kazıkların üstünden ys uzunluğundaki yaylar çıkarılır. Örneğin, sel 1 m, 2 m ve 3 metrelik derinlikte köprü oyulmalarına neden oluyorsa p-y bağlantıları kazığın üstünden bu derinliklere kadar olan kısımlar model oyulmama işlemi için kaldırılır. Bu çalışmada, oyulma derinliklerinin veya oyulma genişliklerinin hesaplanması düşünülmemiştir ve hidrolik faktörler sadece yanal köprü davranışının değerlendirilmesi için girdi parametreleri olarak düşünülmüştür.

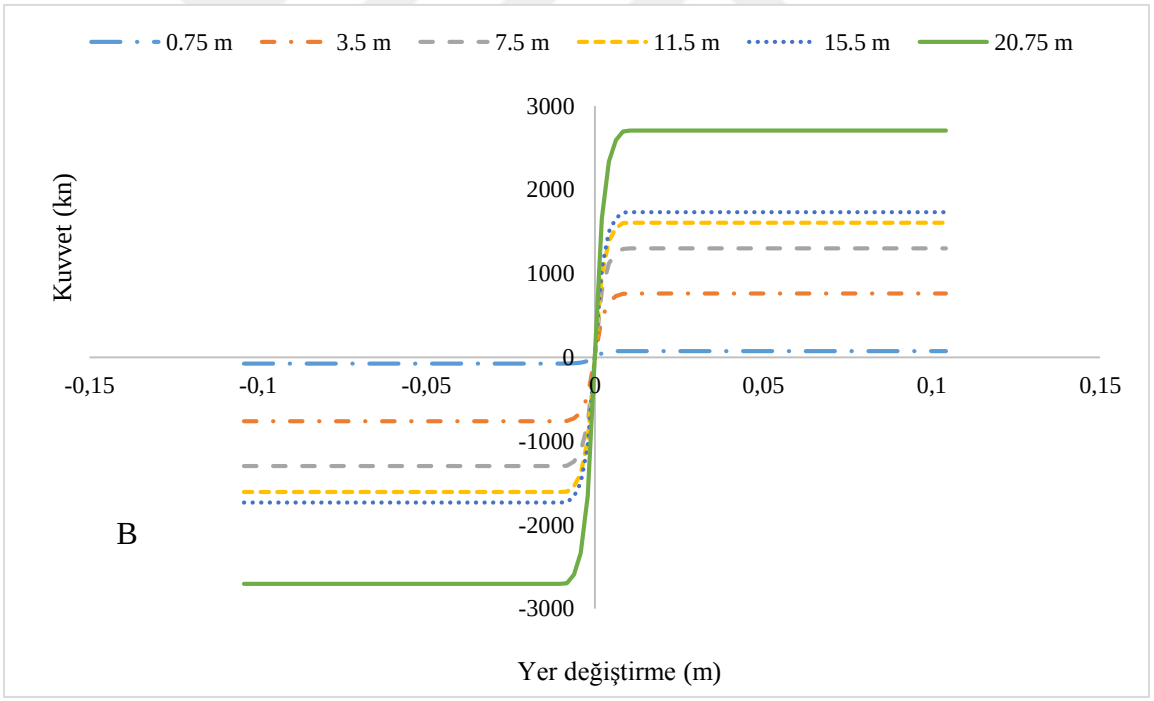


Şekil 3.10. Çoklu doğrusal p-y eğrileri yaklaşımı



Şekil 3.11. Kazık boyunca yay karakterizasyon için kullanılan yanal kuvvet ve yer değiştirme arasındaki ilişki: a) Oyulmasız b) Tam oyulma (6m)



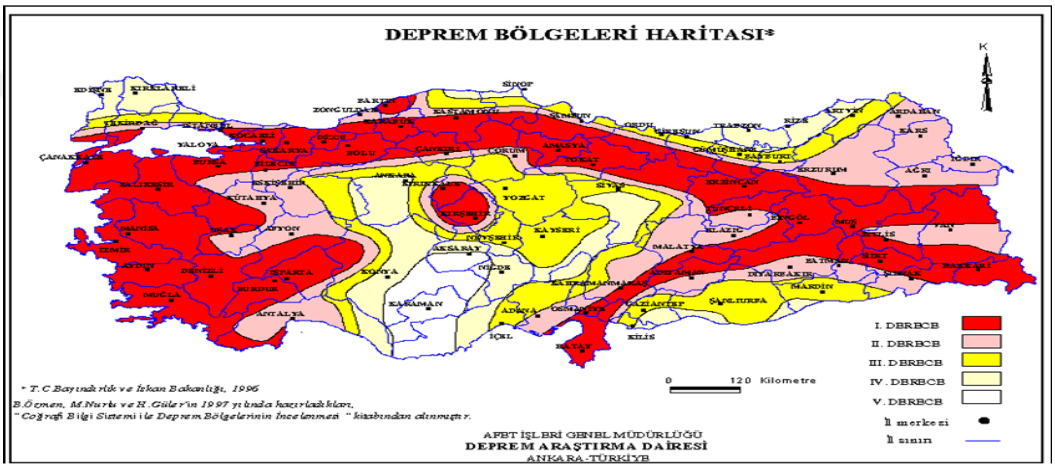


Şekil 3.12. Eksenel kuvvet ve yer değiştirme arasındaki ilişki için kullanılır kazık boyunca yay karakterizasyon: a) Oyulmasız b) Tam oyulma (6m)

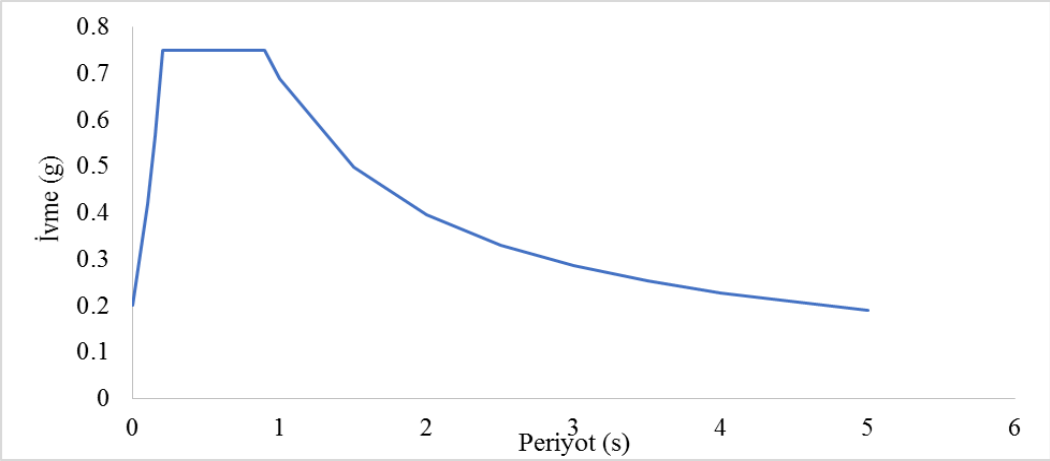
3.11. Sismik Etkiler

Araştırılan köprünün RSA'sı, TSC-2007'de önerilen tasarım tepki spektrumuna dayanmaktadır. Bu çalışmada, sismik tehlike tanımı, depreme yatkın bir bölgeyi yansıtan bölgeye bağlıdır. Bu bölge Şekil 3.14'te gösterildiği gibi Türkiye sismik haritasında tanımlandığı üzere deprem bölgesi 2 olarak kabul edilmiştir [www.deprem.gov.tr]. Bu çalışmada, Tsc-2007'nin 4 nolu zemin profili ve ivme katsayısı Türkiye'nin sismik haritasından tespit edilmiştir. 2. Bölge zemin için pik zemin ivmesi, 1997 yılında 475 yıl geri dönüş süresi olarak Türk Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar için Şartname'de 0.3 g olarak belirlenmiştir (Bayındırlık ve İskân Bakanlığı 2007).

Tepki spektrum fonksiyonlarında, zemin sınıfı Z4 için elastik Tepki Spektrumlar Analizi (RSA), 475 yıllık dönme periyotlarına ve ξ =%5 sönüm oranlarına sahip oluşturulmuştur. Tepki spektrumu fonksiyonu Şekil 3.13'te sunulmuştur.



Şekil 3.13. Türkiye sismik bölgenin haritası (1996)



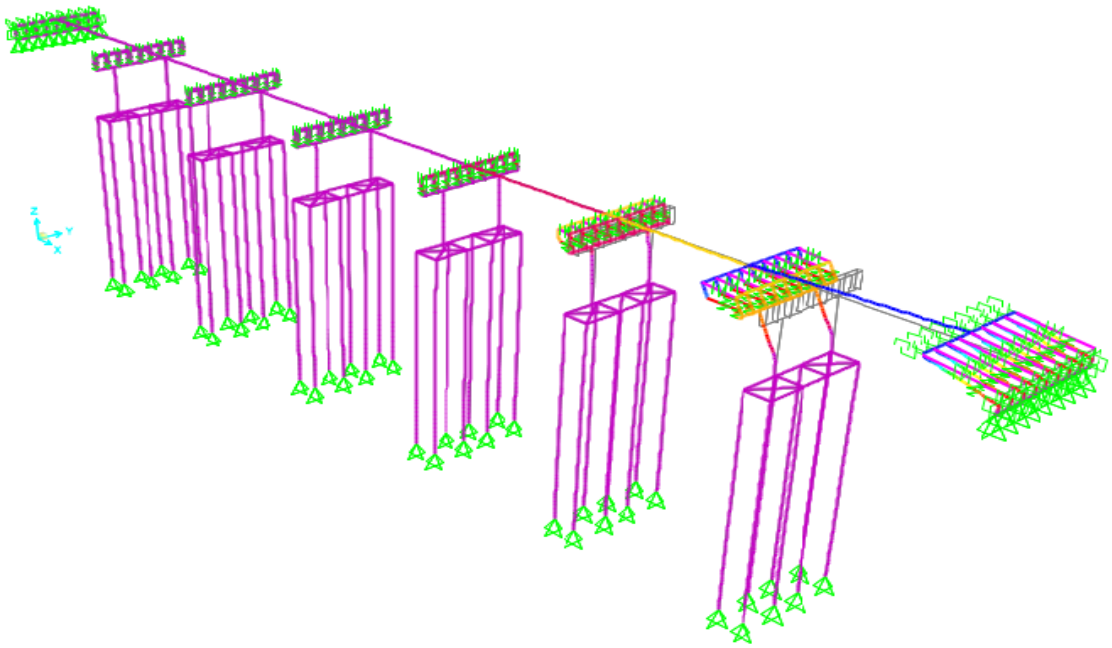
Şekil 3.14. Spektral İvme – Periyot Eğrisi, Tsc-2007 fonksiyon tanımı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

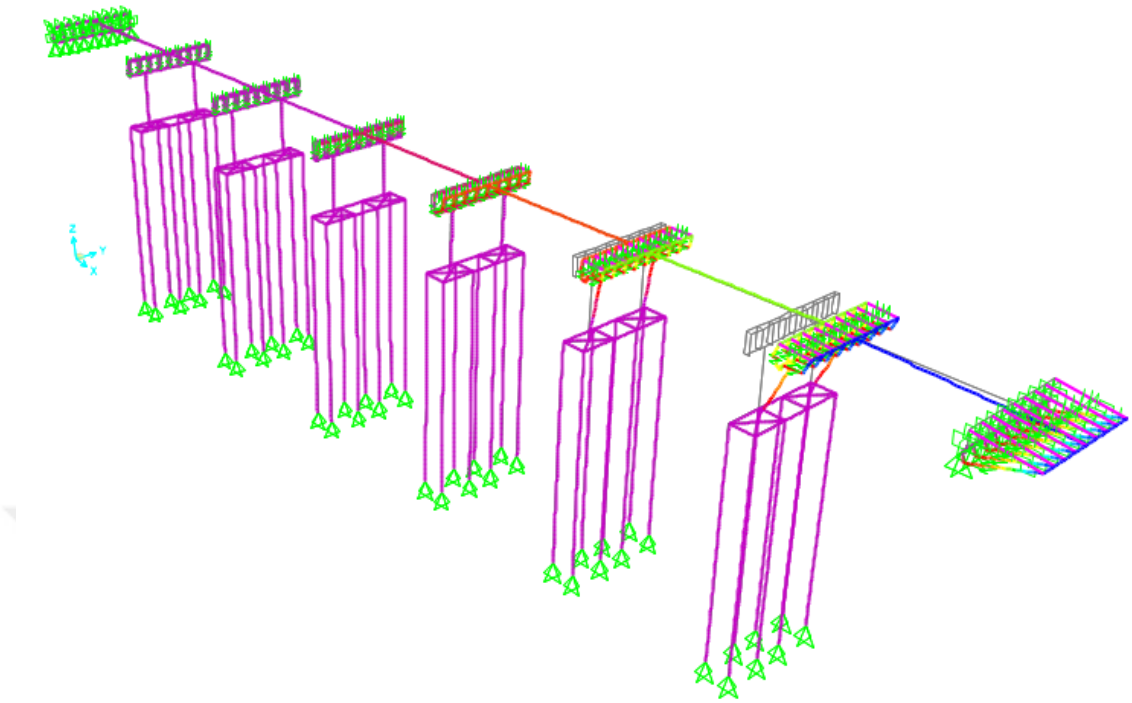
Köprülerin yapısal tepkileri üzerine kombine doğal tehlikeler (deprem ve taşkınlar) altındaki oyulma etkilerini belirlemek için iki tür analiz yapılmıştır: (i) boyuna ve enine itme analizi ve (ii) modal analiz. 5 oyulma senaryosu düşünülmüştür. İlk önce yapı oyulma olmamış haliyle modellenmiş ve analiz edilmiştir. Daha sonra oyulma derinliği 1.5 metrelik artışlarla 6 m oyulmaya kadar arttırılmış ve yapının tepkisi bu oyulma hallerinin her birinde incelenmiştir.

4.1. Modal Analiz Sonuçları

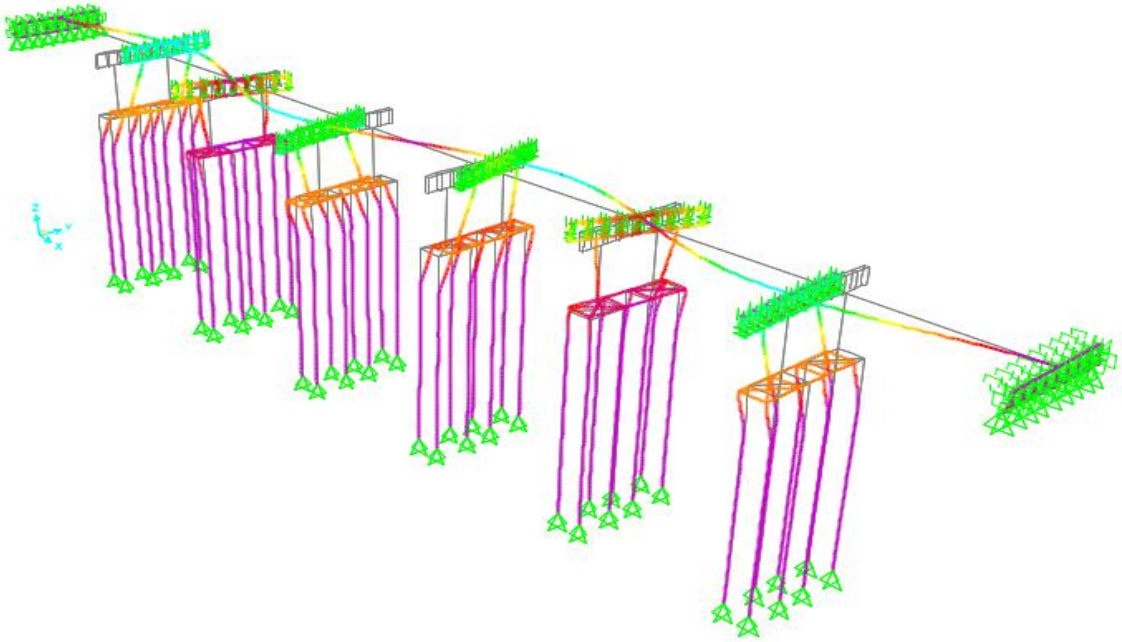
Modal analizde, kütle katılımının 90'dan fazla olması gerekmektedir (Ganbat 2008). Boyuna ve enine doğrultudaki en uzun periyotlar ve her oyulma koşulunun sistemin karşılık gelen Modal Katılım Kütle Oranı (MPMR) Çizelge 4.1'de sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Beş yüz mod, iki temel yönde %90'dan fazla kütle katılım sağlamak için kullanılmıştır. Modal analiz sonucunda oyulma vakası olmayan ve en fazla 6 m'lik oyulma olan her oyulma şartları için yapının farklı temel periyotları elde edilmiştir. Şekillerde temel periyotlar ve mod şekilleri görülebilir.



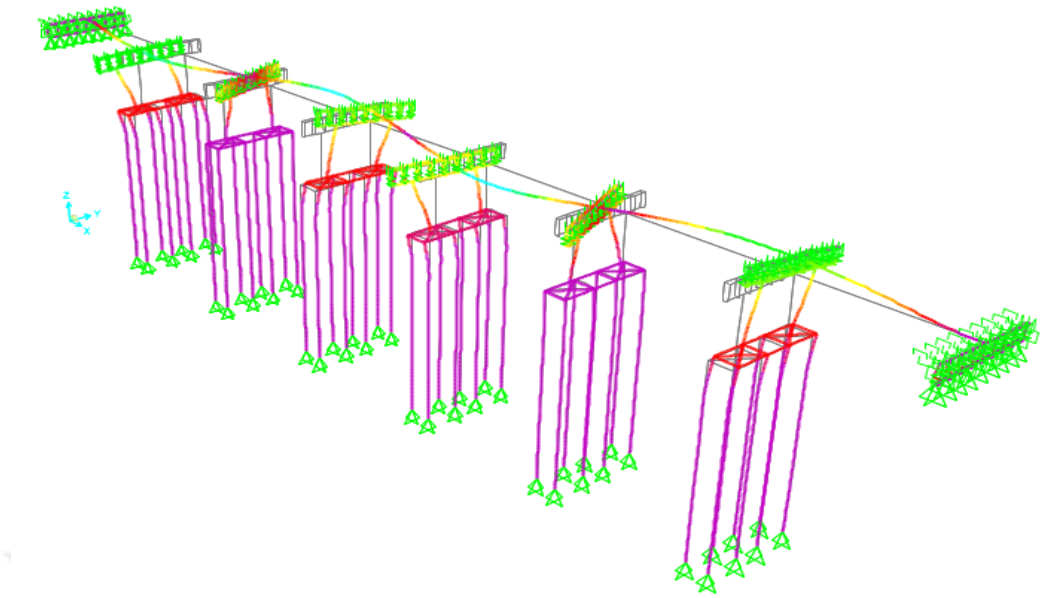
Şekil 4.1. Mod şekli 1, T1=3.048 s oyulma olmayan durumu için



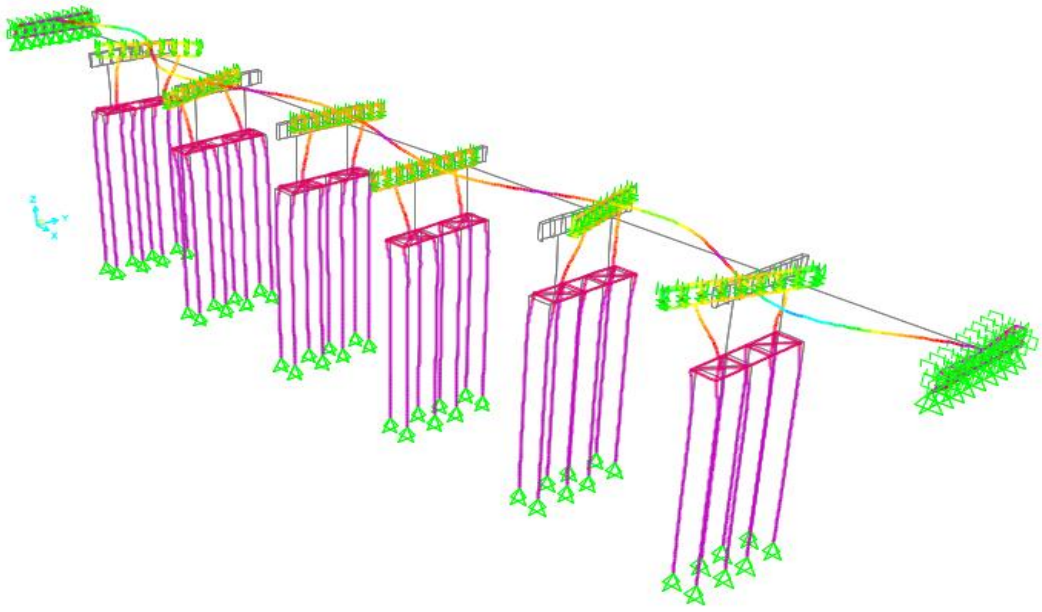
Şekil 4.2. Mod şekli 1, T1=3.820 s tam oyulma durumu için



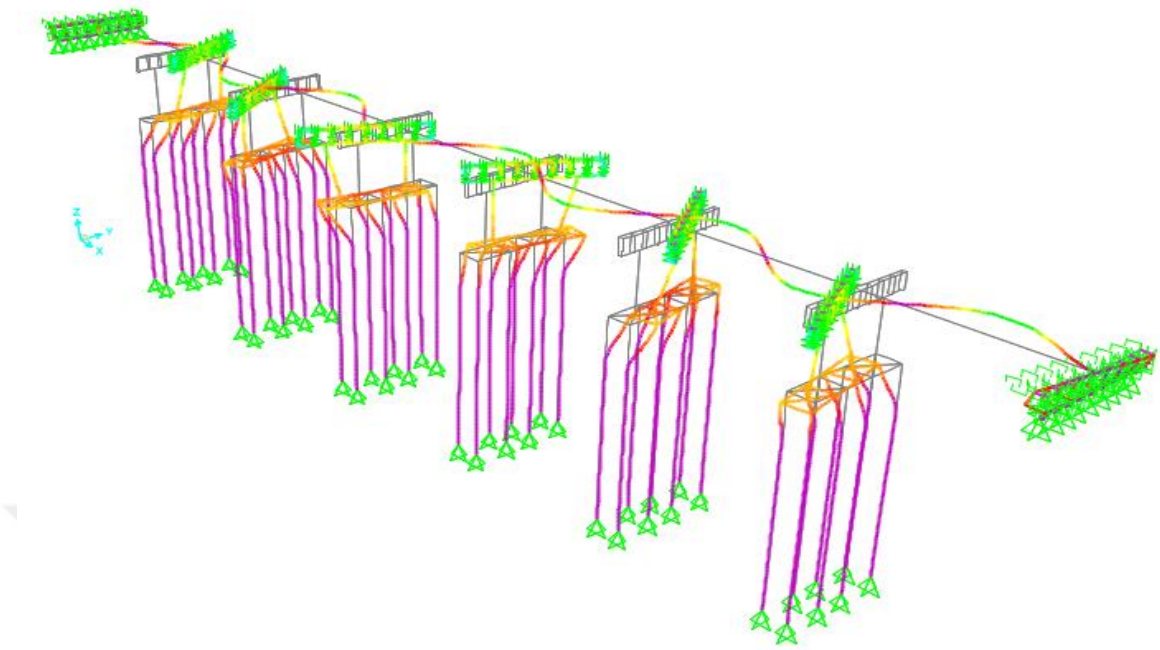
Şekil 4.3. Mod şekli 10, T10=0.458 s tam oyulma durumu için



Şekil 4.4. Mod şekli 10, T10=0.3182 s oyulma olmayan durumu için

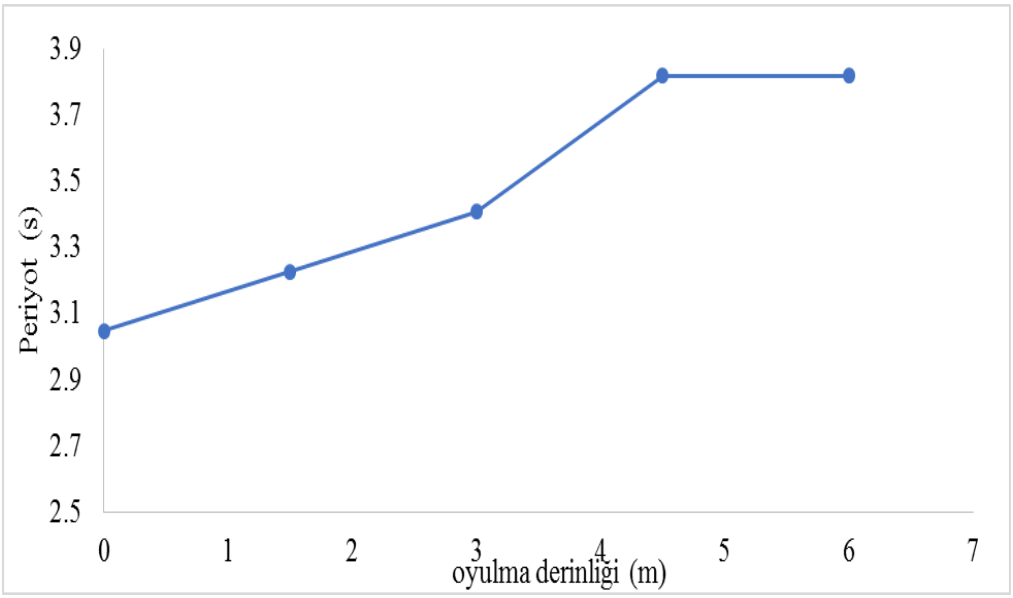


Şekil 4.5. Mod şekli 20, T20=0.2277 s oyulma olmayan durumu için



Şekil 4.4. Mod şekli 20, T20=0.3182 s tam oyulma durumu için

Şekil 4.7'de. Köprünün temel periyodundaki değişim, oyulma derinliğinde artış ile sunulmuştur. Oyulma yapının kazık temelleri etrafında malzemeleri ortadan kaldırmıştır. Temel zaman periyodu, köprü oyulmasının artmasıyla birlikte artmakta olup temellerde yanal direncin serbest bırakılması nedeniyle daha yüksek esnekliğe sahip köprülerin elde edildiğini göstermektedir. Böylece, bu ek esneklik köprünün temel periyodunu arttırmıştır.

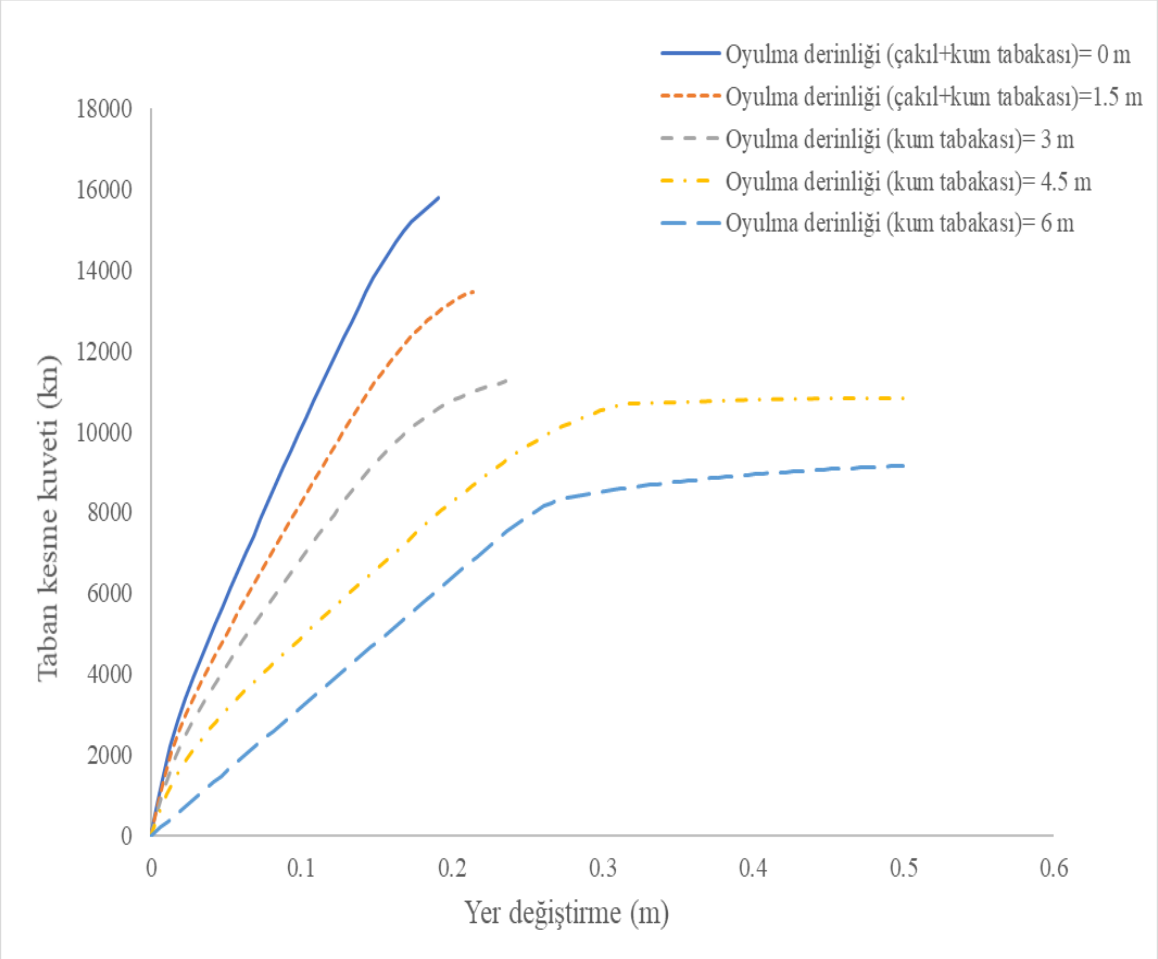


Şekil 4.5. Oyulma derinliği ile periyot değişimi

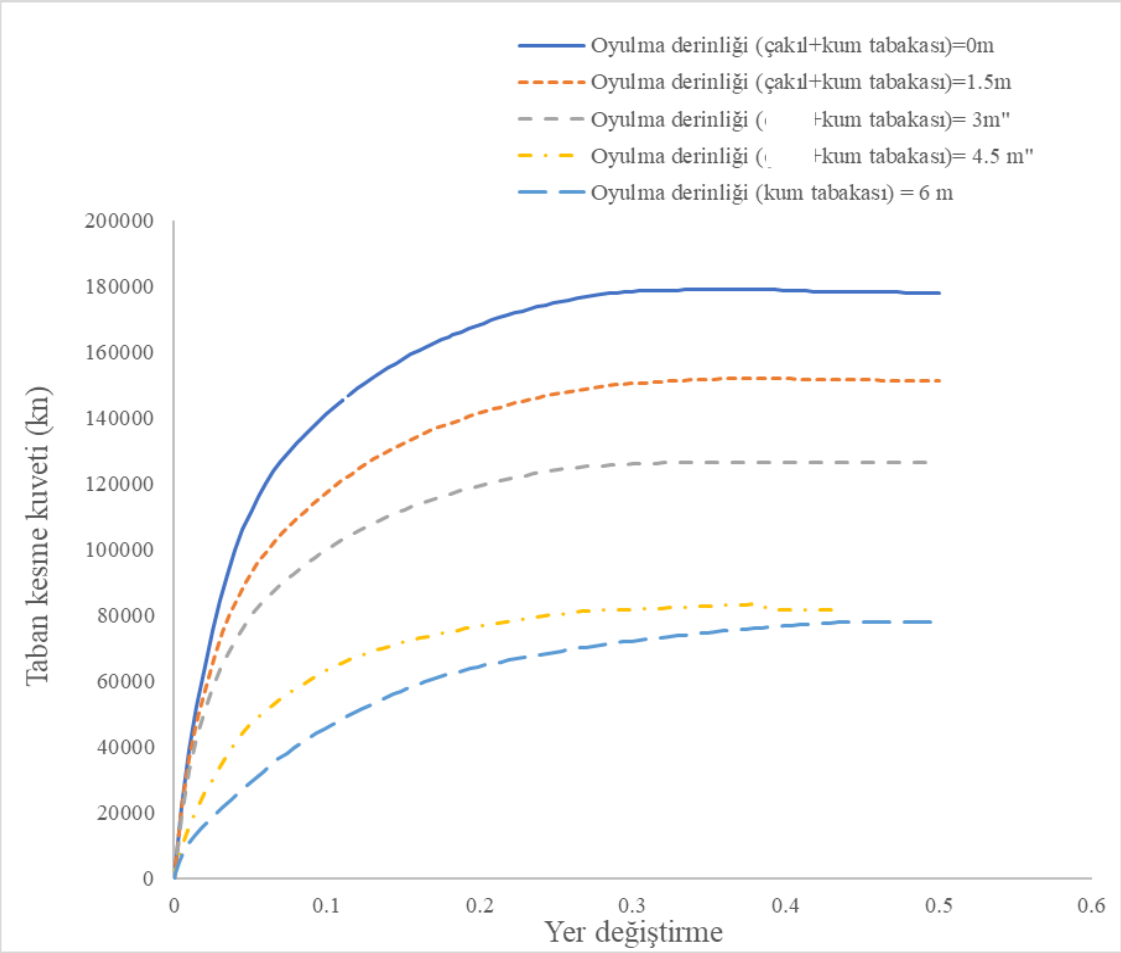
Oyulma olmadığı durumda temel periyodu uzunlamasına yaklaşık olarak 3.048 s iken tam kapsamlı oyulma durumunda 3.820 s'ye ulaşır. Temel periyodundaki artış yaklaşık% 25'tir.

4.2. İtme Analizi Sonuçları:

Yer değiştirme kontrollü itme analizi, köprü sistem yapısının davranışını araştırmak için yürütülmüştür. İtme analizine dair kayma kuvveti- kontrol noktası yer değiştirme eğrilerinin ilişkisine ilişkin sonuçlar oluşturuldu. İtme eğrileri şekil 4'te gösterildiği gibi elde edilmiştir.



Şekil 4.6. Köprünün boyuna doğrultusunda itme analizi taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirmesi ilişkisi



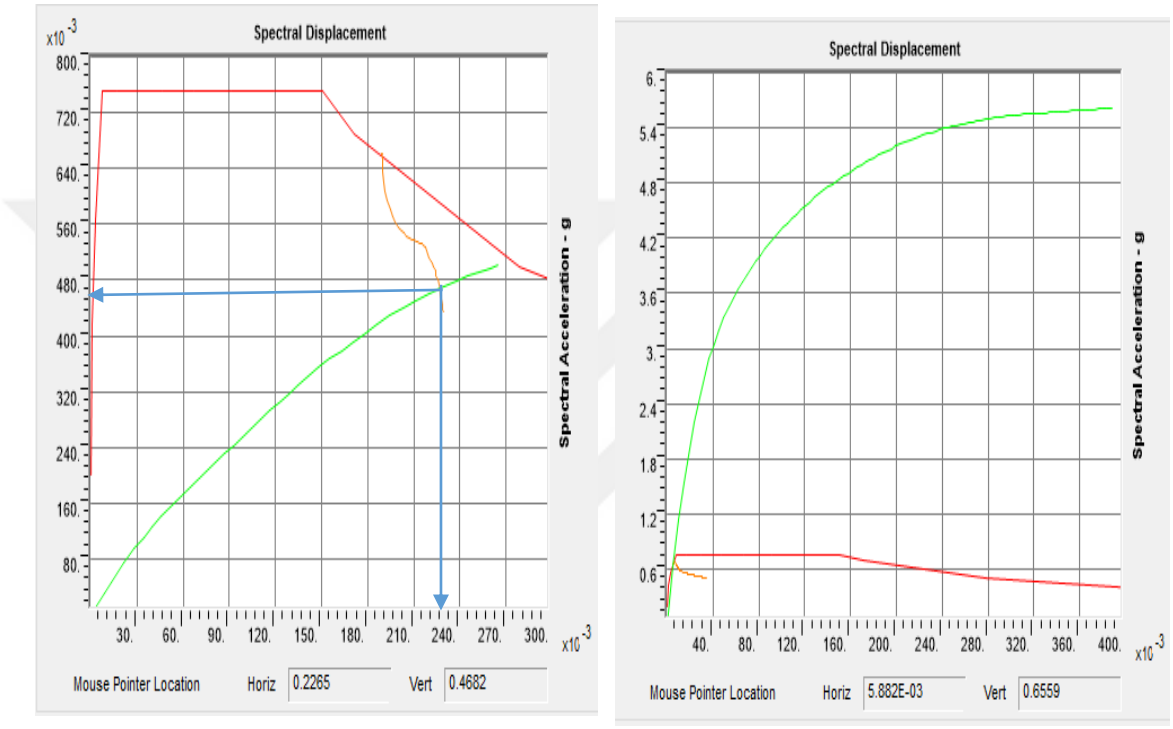
Şekil 4.7. Köprünün enine doğrultusunda itme analizi taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirmesi ilişkisi

Düşey doğrultularda her iki temel kesme kuvveti köprünün her bir oyulmuş durumu için sunulmuştur. Genel olarak, taban kayma kuvvetleri ile oyulma derinliği arasında azalma eğilimi vardır. Her oyulma durumu için analiz sonuçları sismik yükün ayrı ayrı etkileri altında incelendiğinde, köprüdeki kesme kapasitesi, oyulma derinliği arttıkça azalmaktadır. Taban kesme kuvveti azalması, tam oyulma, oyulmanın olmadığı durum ile karşılaştırıldığında yaklaşık%50'nin üzerindedir. Böyle bir davranışın başlıca nedeni, plastik mafsalların, köprü ayağı / kazıkların net yüksekliklerinin yükselmesinin bir sonucu olarak daha düşük kesme kuvvetlerinde oluşmasıdır.

Bu bölümde köprünün kapasitesi ve deprem talebi, Performans noktasını ve buna bağlı gerilme eylemlerini elde etmek için Bölüm 2'de açıklanan yapısal değerlendirme yöntemleri ile birlikte kullanılmıştır. Bu yöntemlerin uygulanabilmesi için itme eğrileri, Fajfar (2000) 'de özetlenen yöntemler kullanarak kapasite diyagramlarına dönüştürülmüştür.

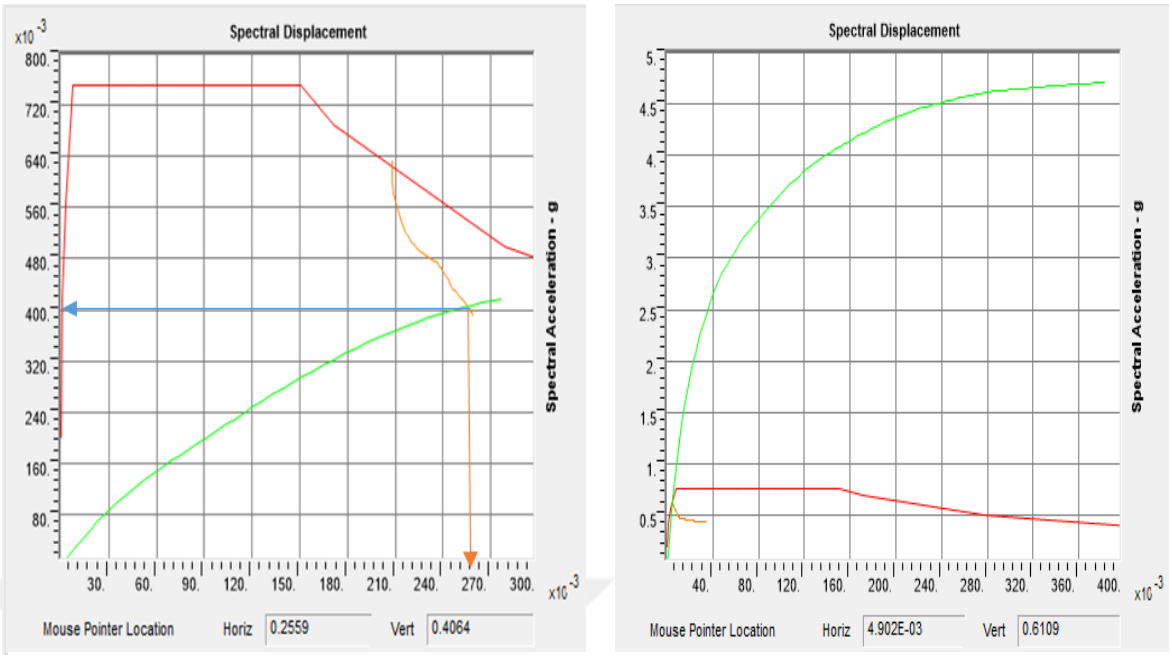
Yapının performans noktası, elde edilen itme eğrilerini kullanarak belirlenebilir. İtme analiz sonuçları, davranış talep ve kapasite cinsinden elde edilmiştir. Talep eğrisi, kapasite zarfını elastik bölgede kesiyorsa, yapı iyi bir dayanıma sahiptir. Talep eğrisi kapasite eğrisini az kapasite ve deformasyon kapasitesi ile kesiyorsa, dayatılan sismik uyarılma esnasında yapının zayıf davranacağına ve gelecekte büyük hasar veya göçmeden kaçınmak için yapının yenilenmesi gerektiği sonucuna varılabilir.

Performans noktası tarafından daha önce belirtilen ATC-40, FEMA 356 (Katsayı Metodu) yöntemi kullanılarak SAP 2000 ile otomatik olarak belirlenmiştir.

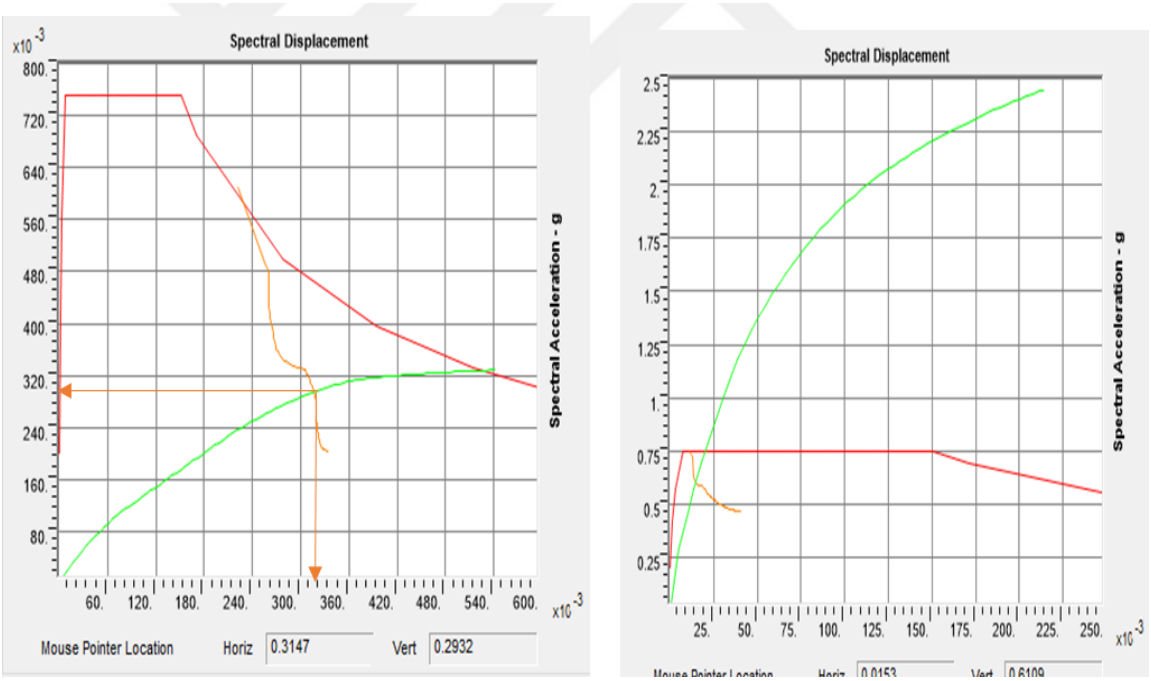


Şekil 4.8. Oyulmasız altindaki şarti itme sonuçları için kapasite-talep karşılaştırmaları boyuna doğrultuda (sağda) enine doğrultuda (solda)

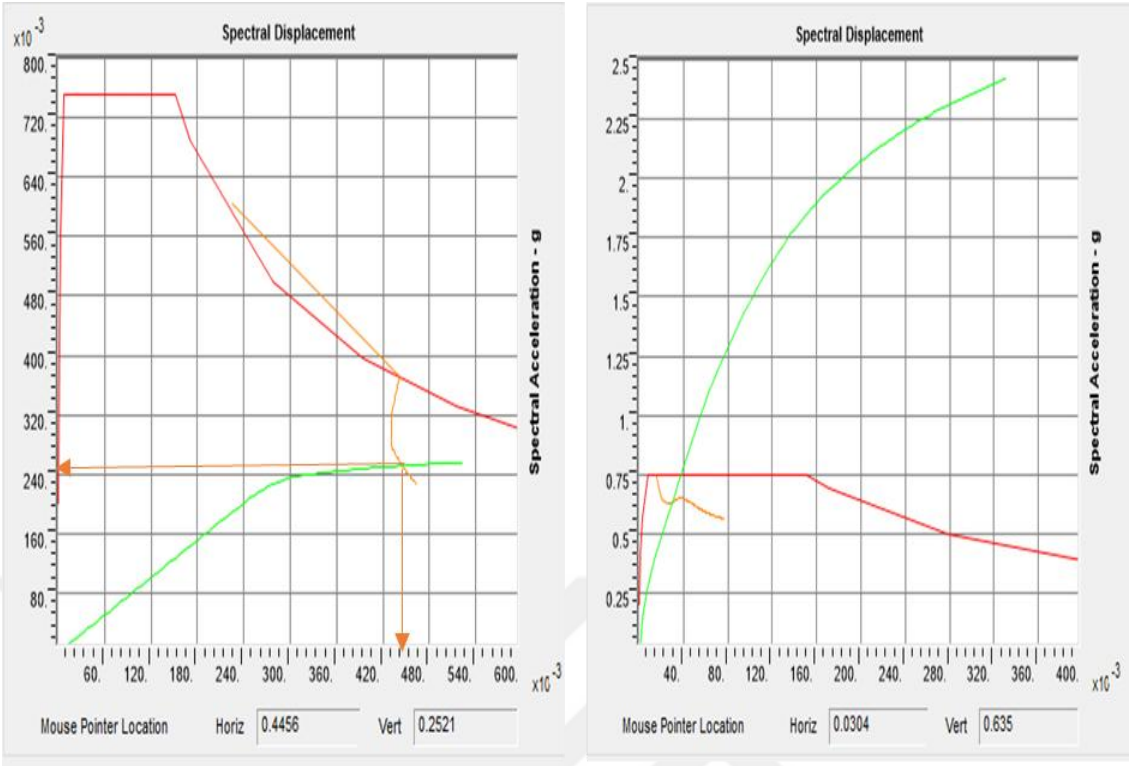
Kapasite eğrisinin azaltılmış talep eğrisiyle kesiştiği nokta, kapasite ve talebin eşit olduğu performans noktasını temsil eder. Yer değiştirme arttıkça, yapının süresi uzar ve talep azalır. Bu nedenle, optimum nokta, daha az yer değiştirme için daha yüksek bir kapasiteye sahip olmalıdır. Şekil 4.10'dan Şekil 4.15'e kadar olan süreçte sunulmuştur. Sonuçlar CSM ATC-40'a göre belirlenmiş olup, boyuna ve enine doğrultudaki köprü ayaklarının hiç oyulmadığı durumdan tam oyulduğu 6 m oyulmaya kadar belirlenmiştir.



Şekil 4.9. Oyulma 4.5 m altındaki şarti itme sonuçları için kapasite-talep karşılaştırmaları boyuna doğrultuda (sağda), enine doğrultuda (solda)



Şekil 4.10. Oyulma 1.5 m altındaki şarti itme sonuçları için kapasite-talep karşılaştırmaları boyuna doğrultuda (sağda), enine doğrultuda (solda)



Şekil 4.11. Oyulma 5 m altındaki şarti itme sonuçları için kapasite-talep karşılaştırmaları boyuna doğrultuda (sağda), enine doğrultuda (solda)

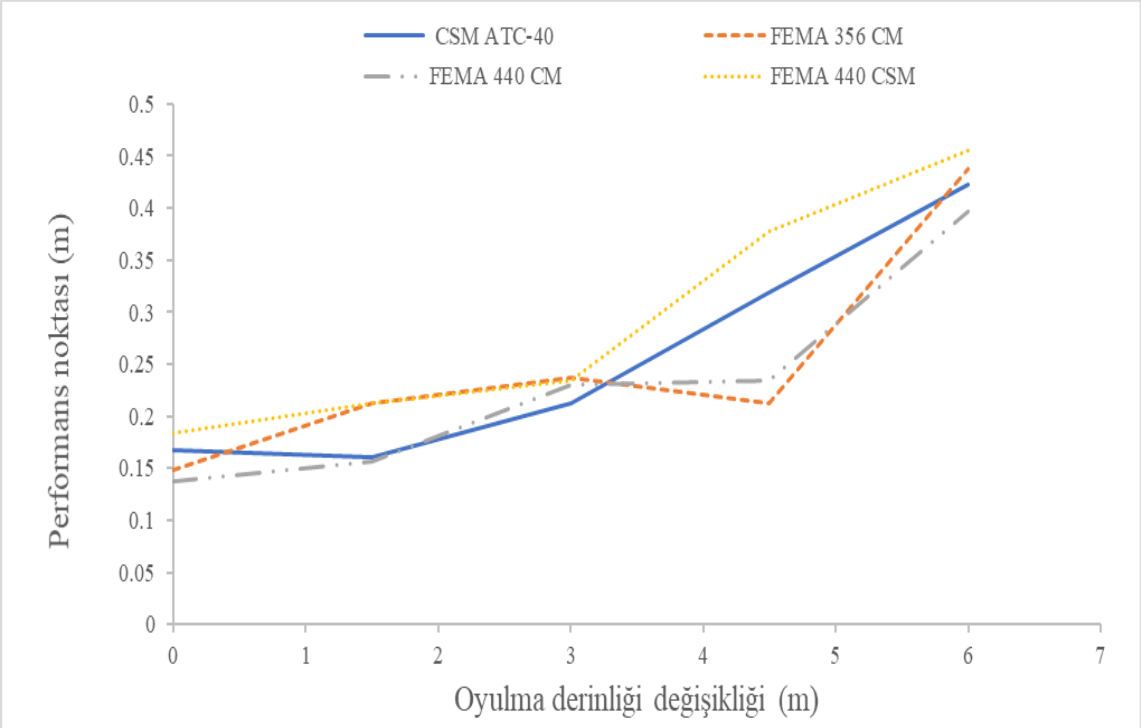
Esnek köprülerin temeldeki oyulmadan dolayı yanal olarak yer değiştirme eğiliminin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Deprem sırasında tüm köprü bileşenleri boyuna ve enine doğrultuda yer değiştirebildiğinden dolayı köprü performans noktası, beş oyulma koşuluyla birlikte deprem etkileri için ATC-40, FEMA-356 (Katsayı Yöntemi), FEMA-440'da geliştirilmiş kapasite spektrumu metodu temel alınarak hesaplanmıştır ve Genel olarak, FEMA440'daki geliştirilmiş CSM, en doğru doğrusal olmayan statik analiz sonuçlarını verdi. Bu sonuçlar Çizelge 4.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.1. Boyuna doğrultuda performans noktaları

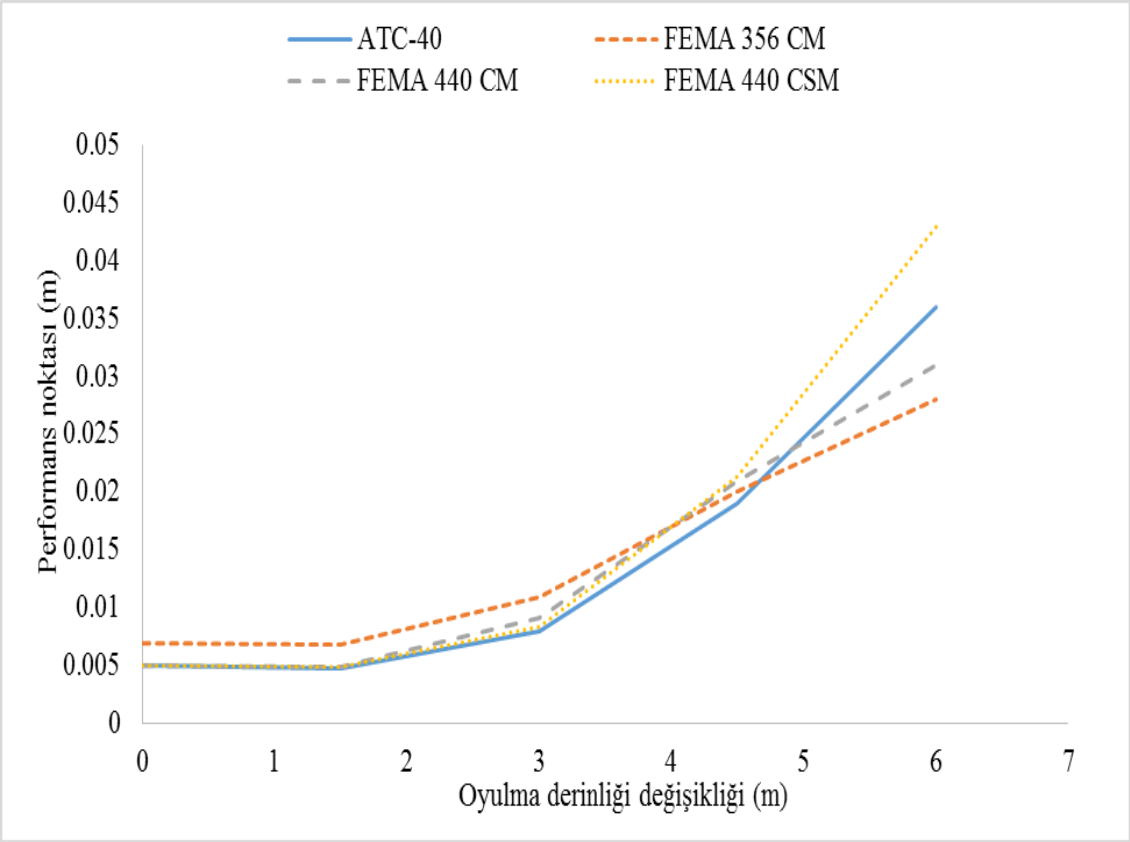
Oyulma durumu	Modal Analiz		Performans noktası (yer değiştirme) (m)			
	Periyot T1(s)	MPMR (%)	ATC-40	FEMA 356 CM	FEMA 440 CM	FEMA 440 CSM
Oyulma = 0 m	3.048	22.5%	0.167	0.149	0.138	0.184
Oyulma= 1.5 m	3.226	23.5%	0.161	0.212	0.157	0.212
Oyulma = 3 m	3.408	26.4%	0.213	0.237	0.23	0.235
Oyulma =4.5 m	3.823	29.7%	0.319	0.213	0.234	0.378
Oyulma =6 m	3.820	29.6%	0.422	0.438	0.397	0.455

Çizelge 4.2. Enine doğrultuda performans noktaları

Oyulma durumu	Modal Analiz		Performans noktası (yer değiştirme) (m)			
	Periyot T1(s)	MPMR (%)	ATC-40	FEMA 356 CM	FEMA 440 CM	FEMA 440 CSM
Oyulma = 0 m	0.378	60.7%	0.005	0.0075	0.005	0.005
Oyulma = 1.5 m	0.361	66.6%	0.00475	0.00686	0.0049	0.0049
Oyulma = 3 m	0.409	66.3%	0.008	0.011	0.00832	0.0092
Oyulma = 4.5 m	0.561	62.4%	0.019	0.02	0.021	0.0213
Oyulma = 6 m	0.653	61.5%	0.036	0.028	0.031	0.043



Şekil 4.12. Boyuna doğrultuda performans noktasının oyulma derinliği ile değişimi



Şekil 4.13. Enine doğrultuda performans noktasının oyulma derinliği ile değişimi

Yer değiştirmelerin performans noktalarında meydana gelen değişim, sismik olayların etkisi altında olan her oyulmuş koşul için gösterilmiştir. Köprünün boyuna ve enine yöndeki yer değiştirmeleri değişik oyulma derinlikleri için sırasıyla Şekil 4.14 ve 4.15'te gösterilmiştir. Her iki yönde de maksimum tam yer değiştirme koşulları tam oyulma koşullarında çok değiştiği saptanmıştır. Uzunlamasına yöndeki maksimum performans noktası yer değişimi, ATC-40 için elde edilen oyulma olmayan durum sonucuna kıyasla, tam oyulma durumunda üç kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

5. SONUÇ

Oyulmaya dayalı köprü arızaları, diğer başarısızlık nedenlerinin en yaygın sebebidir. Deprem etkileri yapısal tasarımlarda göz önüne alınmış olsa da savunmasız durumlara karşı yeterli değildir. Ayrıca, yapısal tasarım süreci boyunca oyulma dikkate alınmalıdır, zira hem deprem hem de oyulmanın birleşmiş eylemi olasılığı yüksektir. Oyulmaya nedenli göçmeler, depreme dayalı göçmelere göre daha yaygın olduğundan oyulmanın ihmal edilmesi köprü tasarımını dinamik etkilere karşı savunmasız hale getirmektedir. Bu çalışmada, sismik olarak aktif, taşkın etkilerine maruz kalmış bir bölge olan Antalya'nın Boğaçay Köprüsü'nde; sismik ve nehir köprüsü, hizmet ömrü boyunca taşkın kaynaklı oyulmaya maruz kalmıştır.

Bu çalışmada köprü yapısının modellenmesi ve analizi için SAP2000 yazılımı kullanılmıştır. Oyulma derinliği yapılan çalışmada değişken olarak kullanılmış olup 1.5 maralıklı olarak 6 adet oyulma derinliği kullanılmıştır. Köprünün sismik performansını araştırmak için doğrusal davranış spektrum analizi yapılmıştır. Bu yöntem tam sonuçları vermese de, maksimum tepkiyi belirlemek kabul gören bir yöntemdir.

Bir senaryo ile, sıfır oyulma derinliği (oyulmasız) ve maksimum oyulma derinliği 6 m arasında değişen oyulma derinliğinden oluşan boğaçay köprülerinin sonlu elemanlar modelleri geliştirilmiştir. Kazık-zemin etkileşimi, p-y yayları olarak bilinen çok-doğrusal elastik bağlantıları kullanarak modele dahil edildi. Bu p-y yayları köprü kazıklarının tüm uzunluğu boyunca 1.5 m aralıklarla konulmuştur. Taşkın kaynaklı oyulma durumunda, bu p-y yayları yer altı zemini tarafından sağlanan yanal dayanım kaybını modellemek için köprü oyulma derinliğine kadar kaldırılmıştır.

Köprünün modal analizi köprü temellerinde taşkın kaynaklı oyulmanın varlığı ve yokluğundan ötürü temel dinamik özelliklerin (yani, temel zaman periyodunun) değişimini göstermektedir. Doğrusal olmayan itme analizleri birleşik etkiler altında yapılmış ve köprü tepkisi üstyapının üstündeki yer değiştirme göz önünde bulundurularak ölçülmüştür.

Analiz sonuçları, köprü ayağı / kazık etrafında destekleyici zeminin kaldırılması sonucu köprü ayağı / kazığın zemin tarafından kuşatılmamış kazık uzunluğu arttıkça, sismik eylemlere atfedilebilecek üstyapı yer değişiminin de arttığını göstermektedir. Oyulmanın oluşumu için iki aşırı durum göz önüne alındığında, araştırılan köprüden, deprem yükleri altındaki yatay üst yapı yer değiştirmelerinin, tam oyulma durumunda, oyulma bulunmayan vakayla karşılaştırıldığında yaklaşık iki katına çıktığı görülmüştür. Köprü yatay yer değiştirmelerindeki artış, köprünün ağır bir deprem sırasında maruz kalacağı sismik hasarın köprü geometrisinin oyulma nedeniyle değişmesi durumunda muhtemelen daha fazla olacağı anlamına gelmektedir.

Oyulmaya bağlı geometri değişiklikleri, özellikle üstyapı yer değiştirmelerinde köprü sismik tepkisi üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. Oyulma derinliğine bağlı olarak, oyulma etkileri köprülerin sismik tepkisinde kayda değer bir değişikliğe neden olabilir. AASHTO, temeller ya da derin temel sistemleri etrafında taşkın koruma sistemleri sağlamayı önerse de, kara köprülerinin tasarım sürecinde, oyulma ve depremlerin birleşik etkileri birlikte göz önüne alınmalıdır.

Bu çalışmada depremin, taşkın sonrası oyulma durumunda, oyulma olmadığı zamankinden daha fazla zarar verici etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Düşük yoğunluklu bir deprem durumunda köprü tepkisi, önceden var olan taşkın sonucundan ötürü doğrusal esnek olabilen durumdan doğrusal olmayan aralığa gidebilmektedir. Öte yandan, çok az miktarda oyulmasına neden olabilecek düşük yoğunluklu (yani daha sık olan) taşkın olayı, köprülerin sismik performansında önemli düşüşe neden olabilmektedir. Bu nedenle, orta ve yüksek sismik bölgelerde bulunan köprülerin sismik tasarımında, taşkın nedenli köprü oyulmasının etkisini değerlendirmek önem arz etmektedir.

6. KAYNAKLAR

AASHTO. 1996. LRFD Seismic Bridge Design. American Association of State Highway and Transportation Officials 16th Ed, with 2001 Interims, Washington D.C.

AASHTO. 2007. LRFD Bridge Design Specifications. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C.

Alipour, A., Shafei, B. and Shinozuka, M. 2010. Evaluation of Uncertainties Associated with Design of Highway Bridges Considering the Effect of Scouring and Earthquake. *Proceeding of Structure Congress 2010*, Section. Bridges I:288-297.

Anonymous 1: https://www.mo.water.usgs.gov/current studies/Scour/index.htm).

ATC, A. 1996. Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. Applied Technology Council, report ATC-40. Redwood City

Aviram, A., Mackie, K. R., and Stojadinović, B. 2008. Guidelines for nonlinear analysis of bridge structures in California. Pacific Earthquake Engineering Research Center.

Bennett, C.R., Lin, C., Parsons, R., and Han, J. 2009. Evaluation of behavior of a laterally loaded bridge pile group under scour conditions. *Proceedings of SEI 2009 Structures Congress*, Texas, pp. 290-299.

Briaud, J. L. 2004. Pier and contraction scour in cohesive soils (Vol. 516). Transportation Research Board, Washington, D.C.

Brown, D.A., O"Neill, M.W., Hoit, M., McVay, M., El Naggar, M.H., and Chakraborty, S. 2001. Static and Dynamic Lateral Loading of Pile Groups. NCHRP Report 461, Transportation Research Board, Washington, D.C.

CALTRANS. 2006. Seismic Design Criteria Version 1.4., California Department of Transportation, California.

CALTRANS. 2008. Seismic Design Criteria 1.4., California Department of Transportation, California.

CALTRANS-SDC. 2013. Seismic Design Criteria Version 1.4., California Department of Transportation, California.

Christensen, D. S. 2006. Full scale static lateral load test of a 9 pile group in sand. Master of Science Thesis, Brigham Young University, Provo,166 pp.

Coşar, A. 2010. Meskûn yerlerde dere islah çalişmalari ve boğa çayi. İnşaat Mühendisleri Odası (İMO) e-kütüphane.

Das, B. 2007. Principles of Foundation Engineering. Cengage Learning, 8 Mar 2010, 794 pages. U.S.A.

Diamantidis, D., and Arnesen, K. 1986. Scour effects in piled structures—A sensitivity analysis. *Ocean engineering*, 13(5), 497-502.

ElGawady, M., and Greenwood, S. M. 2009. Seismic Assessment of WSDOT Bridges with Prestressed Hollow Core Piles–Part 2. Washington, DC.

Fajfar, P. 2000. A Nonlinear Analysis Method for Performance-Based Seismic Design.*Engineering of Structures*.16 (3), pp. 573-592.

FEMA 440, 2005. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures. Federal Emergency Management Agency. Washington, District of Columbia.

FEMA-356, 2000. Commentary for the seismic rehabilitation of buildings. Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.

Ganesh, G.P. 2011. Analysis of bridge performance under the combined effect of earthquake and flood-induced scour. Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science, Pennsylvania State University, Pennsylvania, 116 p.

Jain, S.C. and Fischer, E. E. 1979. Scour around Circular Bridge Piers at High Froude Numbers. Rep. No. FHwa-RD-79-104, Federal Hwy. Administration (FHWA), Washington, D.C.

John V. Klinga, Alice Alipour. 2015. Assessment of structural integrity of bridges under extreme scour Conditions". Department of Civil and Environmental Engineering, University of Massachusetts, Amherst, MA 01003-9293, United States.

Johnson, P. A. 1995. Comparison of Pier-Scour Equations Using Field Data. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 121, No. 8, pp. 626-629.

Kizilduman, H.S. 2016. A study on seismic behavior of scour-vulnerable bridges. PhD Thesis, middle east technical university, Ankara, 131 p.

Kramer, S. 1996, Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey.

Lagasse, P. F., Clopper, P. E., Zevenbergen, L. W., andg Girard, L. W. 2007. Countermeasures to protect bridge piers from scour. NCHRP Report 593, National cooperative highway research program, Transportation Research Board of The National Academies. Washington, D.C.

Lança, R., Fael, C., Maia, R., Pêgo, J. P., and Cardoso, A. H. 2013. Clear-water scour at pile groups. *Journal of Hydraulic Engineering*, 139(10), 1089-1098.

Laursen, E. M., and Toch, A. 1956. Scour around Bridge Piers and Abutments. Bulletin No. 4, Iowa Highway Research Board, Ames, Iowa.

Lin, C. 2012. Evaluation of lateral behavior of pile-supported bridges under scour conditions. PhD Thesis, University of Kansas, Kansas, 91 p.

Matlock, H. 1970. Correlations for design of laterally loaded piles in soft clay. Offshore Technology in Civil Engineering's Hall of Fame Papers from the Early Years, 77-94.

McClelland, B. and Focht, J. A. 1958. Soil modulus for laterally loaded piles. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 123(1), 1049-1063.

McVay, M. C. and Niraula, L. 2004. Development of p-y curves for large diameter piles/drilled shafts in limestone for FBPIER (No. Final Report).Research Center florida Departtment of Transportation.

McVay, M., Shang, T., and Casper, R., Centrifuge Testing of Fixed-Head Laterally Loaded Battered and Plumb Pile Groups in Sand. *Geotechnical Testing* Journal, Vol. 19, No. 1, 1996, pp. 41-50.

Melville, B. W. 1997. Pier and abutment scour: integrated approach. *Journal of hydraulic Engineering*, 123(2), 125-136.

Melville, B. W. and Coleman, S. E. 2000. Bridge scour, Water Resources Publications, LLC, Highlands Ranch, Colorado.

Ministry of Public Works and Settlement, Government of Republic of Turkey, 1998. Specification for Structures to be Built in DisasterAreas. Ankara.

Ministry of Public Works and Settlement, Republic of Turkey, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Ankara.

Ministry of puplic works and settlement, General Directorate of Disaster Affairs. 1996. . http://www.deprem.gov.tr/en/Category/earthquake-zoning-map-96531.

Mokwa, R. L., Duncan, J. M., and Charles, E. V. 2000. Investigation of the resistance of pile caps and integral abutments to lateral loading. Virginia Transportation Research Council, Charlottesville, Virginia, 2000.

Reese, L. C. and Van Impe. W.F. 2001. Single Piles and Pile Groups Under Lateral Loading, AA Balkema, Rotterdam.

Reese, L. C.and Van Impe, W. F. 2010. Single piles and pile groups under lateral loading. *CRC Press*.

Reese, L. C. and Wang, S. T. 2006. Analysis and design of shallow and deep foundations (Vol. 10). Hoboken, NJ: Wiley.

Reese, L. C. and Fouse, J. L. 1993. Use of drilled shafts in stabilizing a slope. *In Stability and Performance of Slopes and Embankments* II (pp. 1318-1332). ASCE.

Richardson, E.V. and Davis, S. R. 2001. Evaluating Scour at Bridges. Publication No. FHWA NHI 01-001, Hydraulic Engineering Circular No – 18, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., 2001.

Rollins, K. M., Olsen, K. G., Jensen, D. H., Garrett, B. H., Olsen, R. J., and Egbert, J. J. 2006. Pile spacing effects on lateral pile group behavior: Analysis. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 132(10), 1272-1283.

Sevgili, G. İ. Z. E. M. 2007. Seismic performance of multisimple-span skew bridges retrofitted with link slabs. Degree of master of scıence thesis, Mıddle East Technıcal Unıversıty, Ankara, 161 p.

Shen, H.W., Schneider, V. R., and Karaki, S. 1969. Local Scour around Bridge Piers. Asce Proc, *Journal of Hydraulic Division*, Vol. 95, No. 6, pp. 1919-1940.

Sondevir, 2012. Köprü Bir Kez Daha Çöktü. Retrieved from Son Devir Ekonomi:http://ekonomi.dunyabulteni.net/gundem/65171/kopru-bir

Kez daha.-coktu

TS500. 2000. TS500 Requirements for design and construction of reinforced concrete structures. Ankara -Turkey.

Tsai, C. and Chen, Y. 2006. "Seismic Capacity Evaluation of Bridges with Scoured Group Pile Foundations." *4th International Conference on Earthquake Engineering*, Taipei, Taiwan, Paper No. 053.

Tuna, T. 2016, June 18. Köprü Çökme Noktasında. Retrieved July 20, 2016, from haberhurriyeti:http://www.haberhurriyeti.com/kopru-cokme-noktasinda 159293.html.

Walsh, J. M. 2005. Full-scale lateral load test of a 3 x 5 pile group in sand. Master Thesis, Brigham Young University, Provo.

Wardhana, K., & Hadipriono, F. C. 2003. Analysis of recent bridge failures in the United States. *Journal of performance of constructed facilities*, 17(3), 144-150.

Yanmaz, A. and Caner, A. 2012. Çaycuma Köprüsünün Çökmesi Üzerine Görüşler. Ankara: Türkiye Köprü ve İnşaat Cemiyeti.

Yanmaz, A. M. 2002. Köprü Hidroliği, First Edition. Ankara: Metu Press, ISBN 975-7064-55-6.

ÖZGEÇMİŞ



ABDULFITAH ALI ABDI

E-posta: abdifitah_120@hotmail.com

ÖĞRENİM VE MESLEK BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2014-2017	Akdeniz Üniversitesi Antalya. Türkiye Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği.
Turkçe 2013-2014	Yapancı diler yüksek okulu Türkçe hazırlık
Saha mühendisi 2011-2013	East Africa Modern Engineering Company Saha Mühendisi
Lisans 2006-2011	Benadir Üniversitesi. Mogadishu, Somali Mühendislik Fakültesi, İnşaat Bölümü.