



1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU
04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNDE YAPI-ZEMİN-KAZIK ETKİLEŞİMİ KAVRAMLARI

Dr. Yasin Fahjan

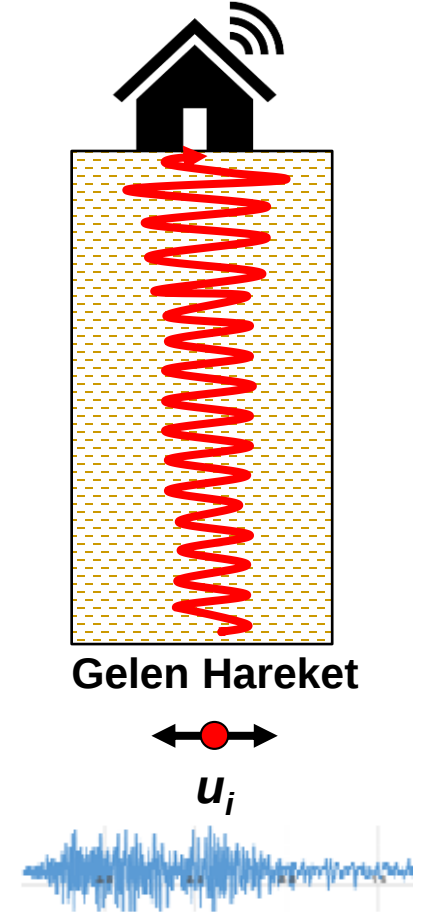
İstanbul Teknik Üniversitesi

İnşaat Mühendisliği Bölümü



Zemin-Yapı Etkileşimine Genel Bakış

Yapı-Zemin Etkileşimi deprem sırasındaki yapı davranışında ve tasarımında büyük etkiye sahiptir. Bu alanda bir çok çalışma yapılmış/yapılıyor olmasına rağmen bunların pratik mühendislikte uygulamaları son dönemde artan yazılım teknolojileri ve mühendislik tasarım bilgisinin yaygınlaşmasıyla artmaktadır.



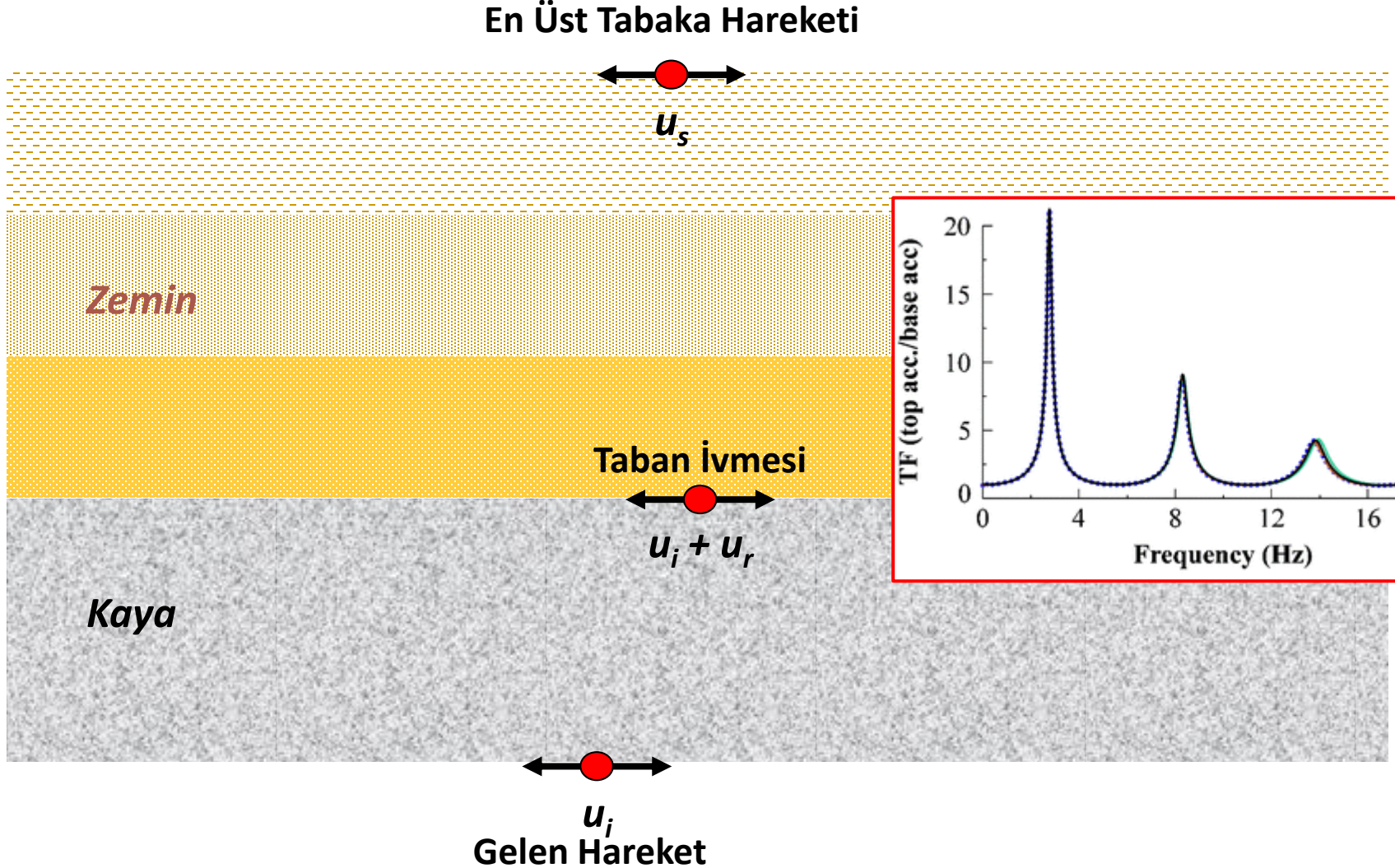


1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



Tek-Boyutlu Saha Tepki Analizi



- Yatay katmanlı zeminler üzerinde yukarıya doğru olarak yayılan S (Kayma) dalgalarının oluşturduğu deprem yer hareketinin analizi, basit bir tek boyutlu kayma dalgası yayılma problemidir ve kolaylıkla çözülebilir.
- (SHAKE – Schnabel, Lysmer, & Seed, 1972).(DEEPSOIL – Youssef Hashash, 2002).



1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU

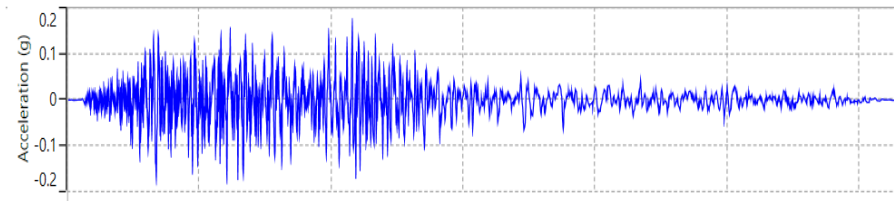
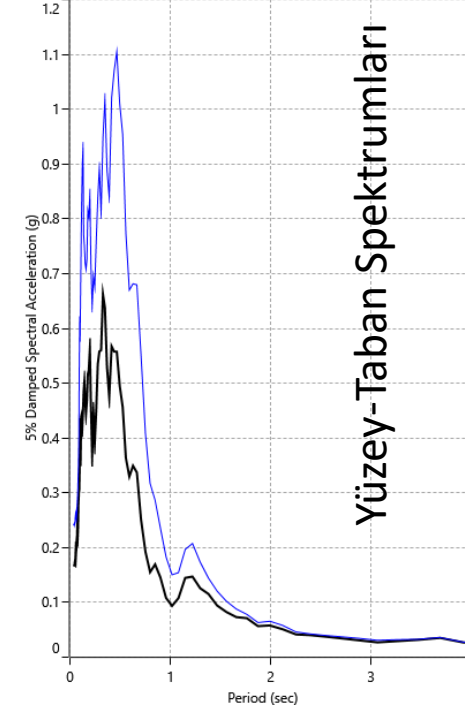
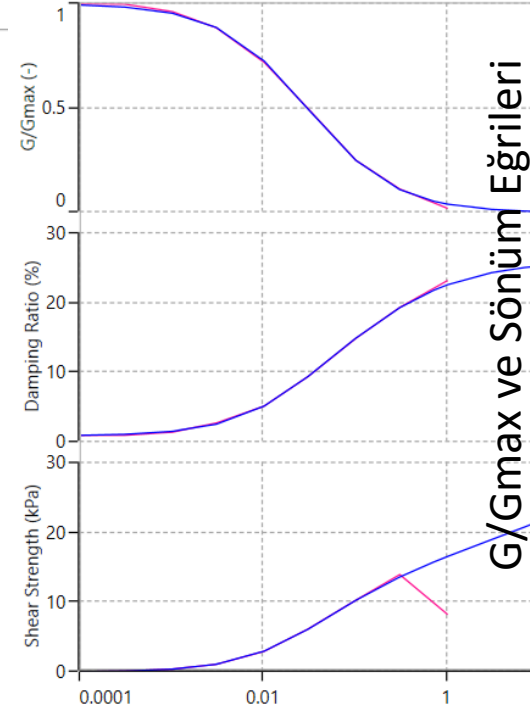
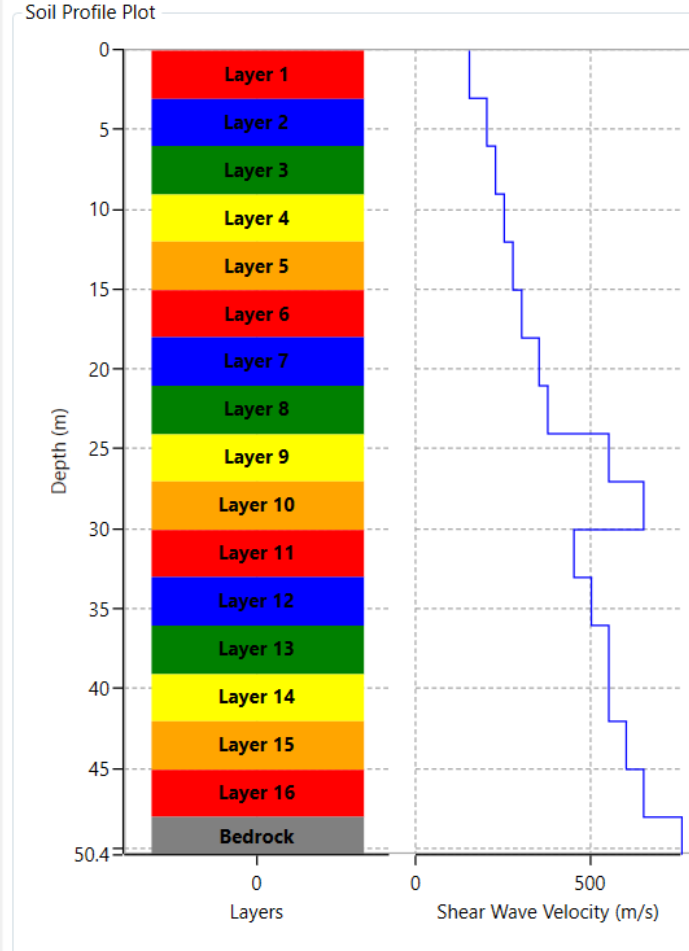
04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



Tek-Boyutlu Saha Tepki Analizi

Soil Profile Definition

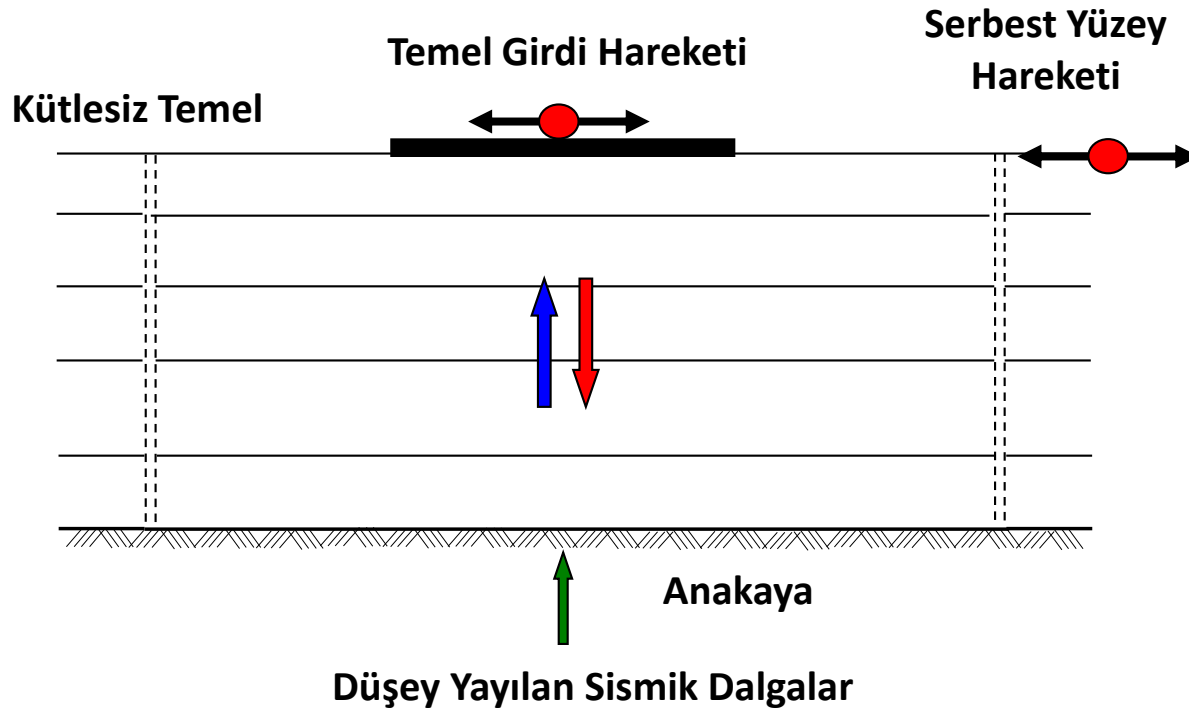


Taban ivme-zaman grafiği

- Bu tür analizler sonucunda, anakayada tanımlanan depreme bağlı olarak serbest zemin yüzeyindeki deprem yer hareketi ve buna karşılık gelen ivme spektrumu elde edilir.
- Zemin büyütmesi (zemin amplifikasyonu)
- Zemin azaltması (zemin de-amplifikasyonu)



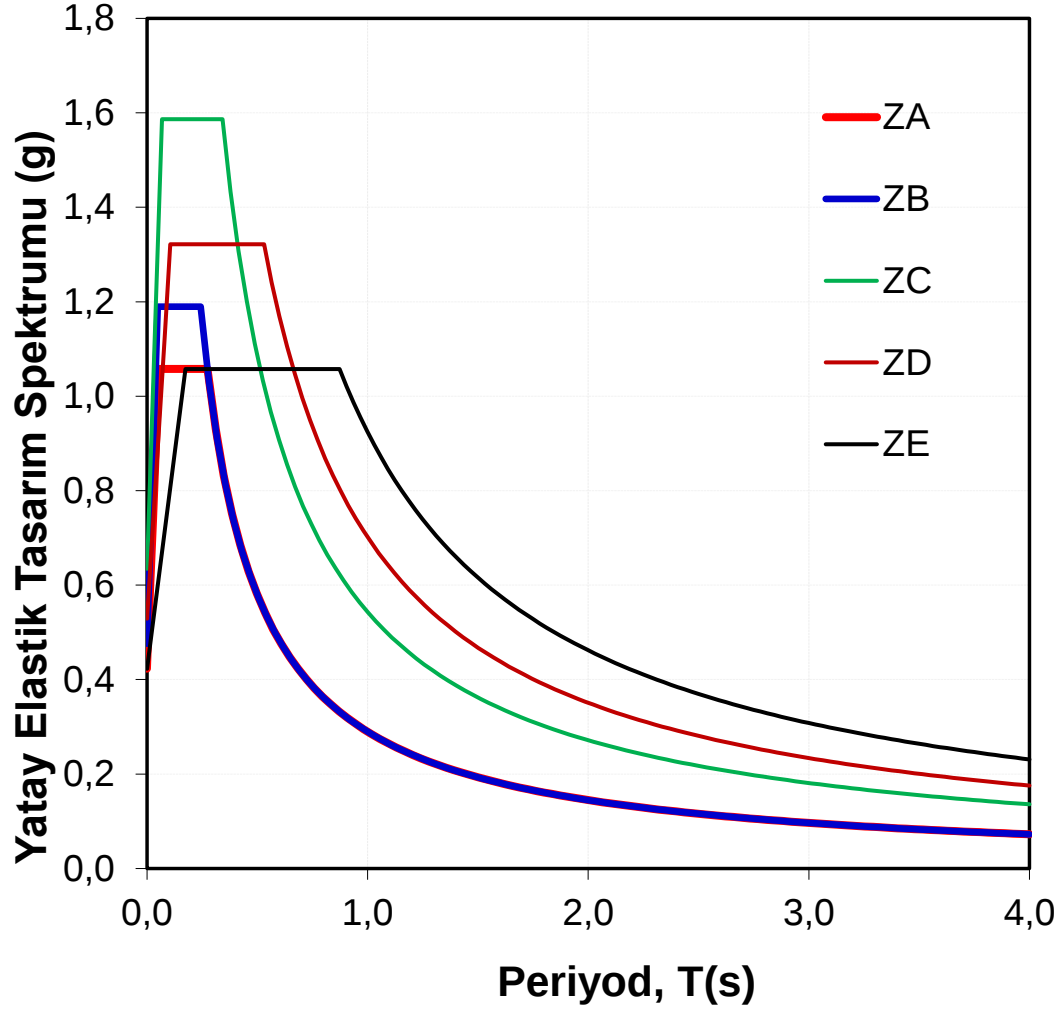
Kütlesiz Temel Kabulü



- Üst yapı temelinin Yüzeysel olması ile birlikte bina ve temelinin ataletinin (kütlesi) dikkate alınmaması durumunda, zemin yüzeyine ve temele dikey olarak ilerleyen deprem dalgaları (S dalgaları), serbest zeminden yüzeyinden yansıdığı gibi yansır ve zemine geri döner.
- Diğer bir deyişle, rijit temel üzerindeki deprem yer hareketleri ile serbest zemin yüzeyi aynı aynı olduğundan “kinematik etkileşim” söz konusu olmaz.



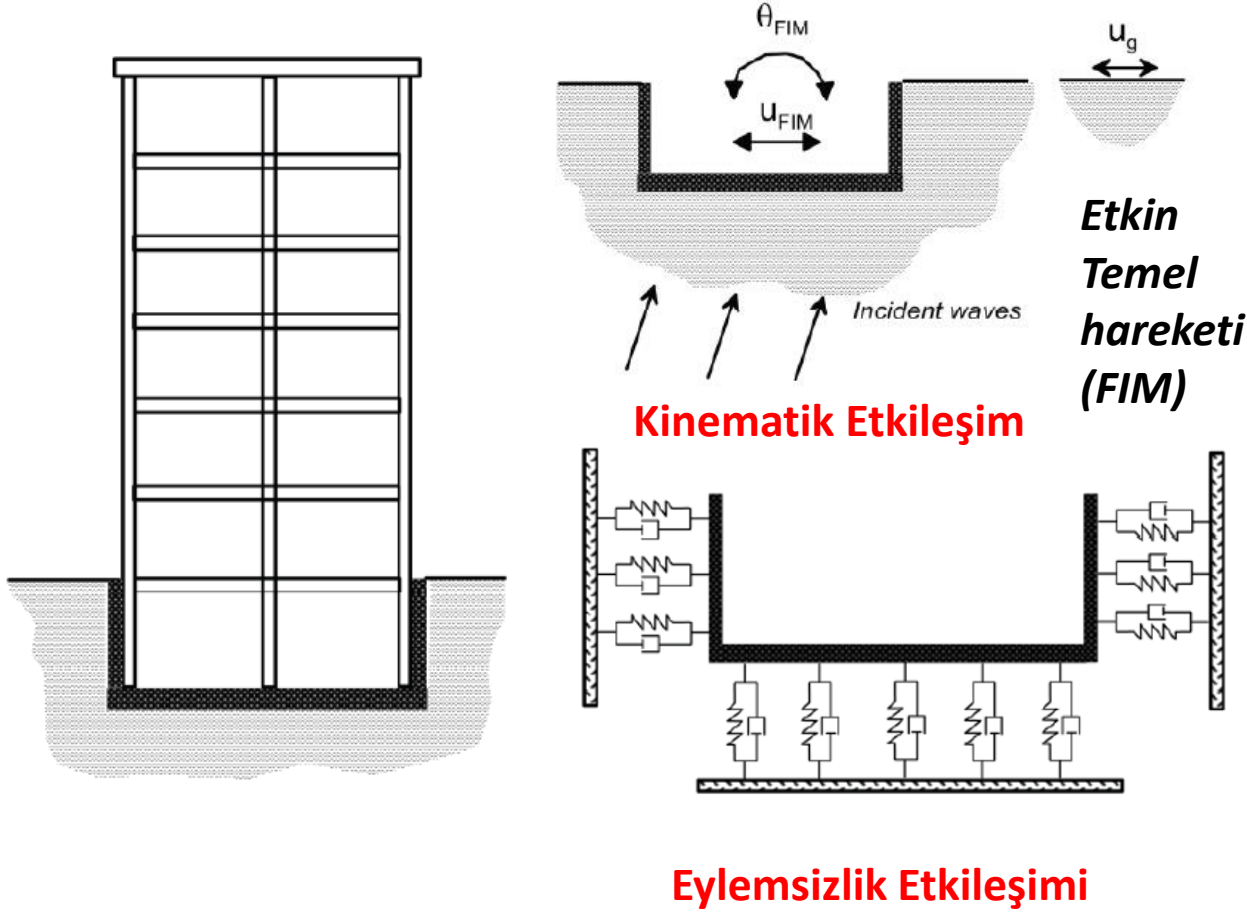
Yönetmeliklerdeki Tasarım Spektrumundaki Zemin Etkisi



- Tasarım ivme spektrumu, serbest zemin yüzeyindeki deprem yer hareketini tanımlar. Bu bağlamda zeminin yapı üzerindeki tek yönlü etkisini gösterir. Ancak bu tek taraflı etki sadece Yüzeysel temelli yapılar için geçerli olabilir.



Yüzeysel Temel için Zemin-Yapı Etkileşimi

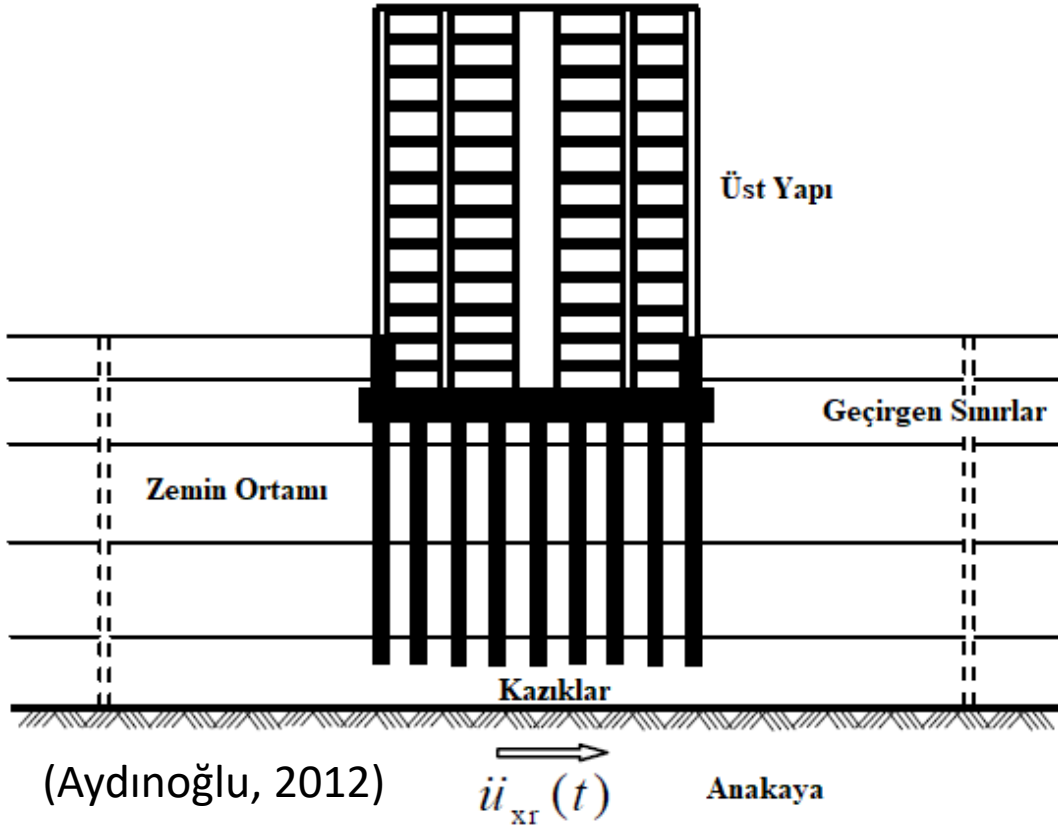


Anakayada tanımlanan deprem verilerinin etkisi altında temel seviyesinde. “**Etkin Temel Hareketi**” tanımlaması öngörülmüştür. Bu hareket, genellikle serbest zemin yüzeyinde hesaplanan deprem hareketinden farklıdır. Ancak, bina temeli Yüzeysel ise, yukarıda belirtildiği gibi, temel üzerindeki deprem yer hareketleri ile serbest zemin yüzeyi aynı olduğu için. "Kinematik etkileşim" yoktur.

Empedans fonksiyonları: Eylemsizlik etkileşiminde frekansa bağlı zemin yayların rijitliği ve sönümlmeyi temsil eder.



Kazıklı Temel için Zemin-Yapı Etkileşimi



Yapı-zemin etkileşimi, deprem dalgalarını değişime uğratmanın ötesinde hem üstyapının, hem de zeminin mekanik özelliklerini de etkiler ve bu değişen özellikler deprem dalgalarının değişimini ayrıca etkiler.

Üstyapı temelinin kazıklı olması durumunda, kazıklar da taban kayasından gelen ve yansıyan deprem dalgalarının değişimine katkıda bulunurlar ve karşılığında kendileri de önemli derecede deformasyona uğrarlar ve hatta nonlineer davranış göstererek kendi mekanik özelliklerini değiştirirler.

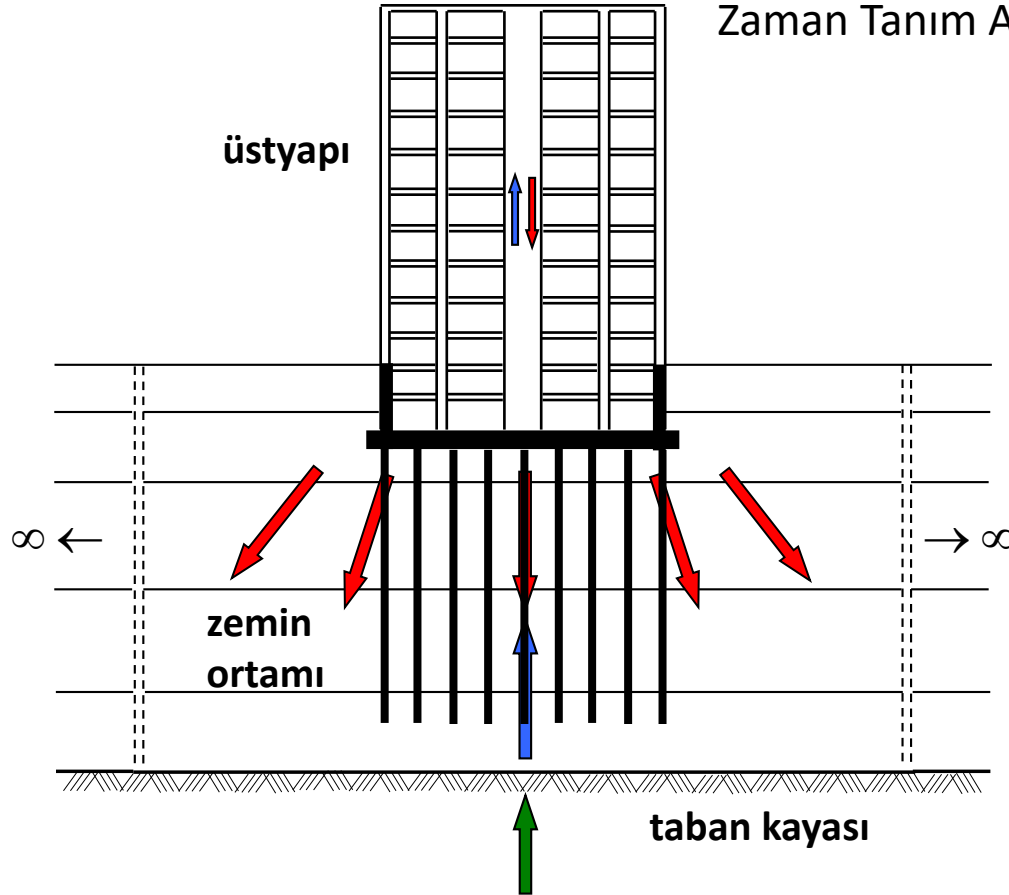


Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde Yapı-Kazık-Zemin Etkileşimi

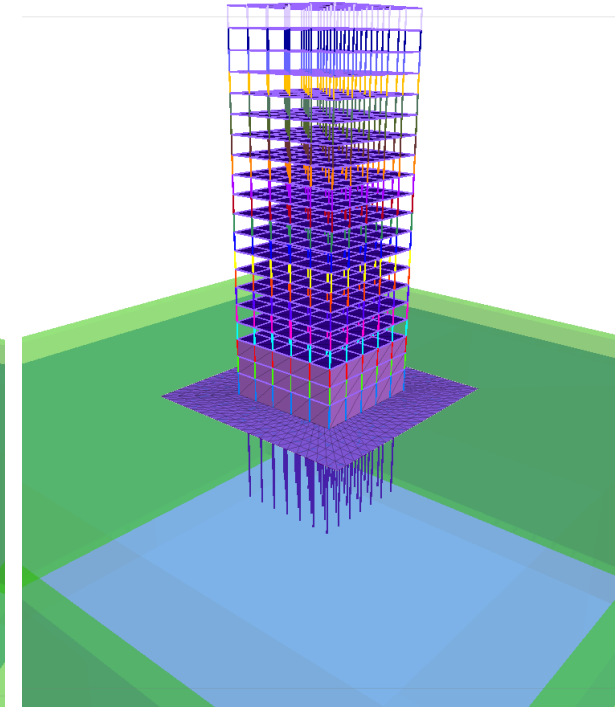
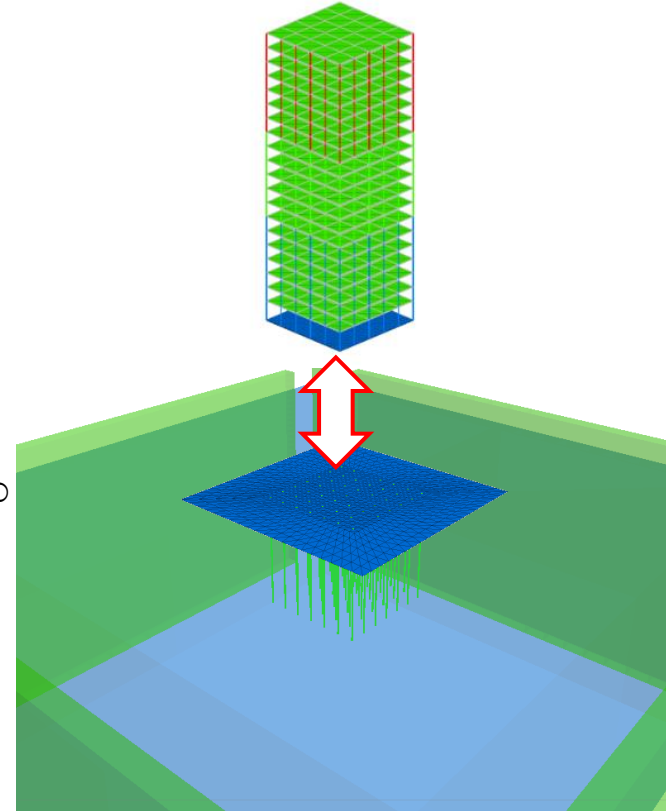
Analiz Yöntemi	Deprem Tasarım Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfı	Yerel Zemin Sınıfı
Yöntem I	DTS = 1, 1a, 2, 2a	BYS = 1	ZD, ZE, ZF
Yöntem II	DTS = 1a, 2a	BYS = 2, 3	ZD, ZE, ZF
	DTS = 3, 3a, 4, 4a	BYS = 1	
Yöntem III	DTS = 1a, 2a	BYS ≥ 4	ZD, ZE, ZF
	DTS = 1, 2, 3, 3a	BYS ≥ 2	

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	$42 < H_N \leq 56$
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	$28 < H_N \leq 42$
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	$17.5 < H_N \leq 28$
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	$H_N \leq 10.5$

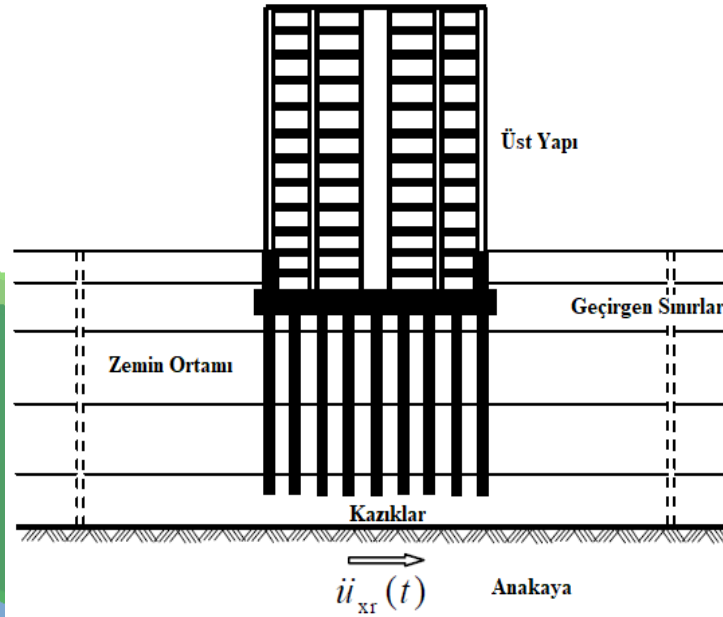
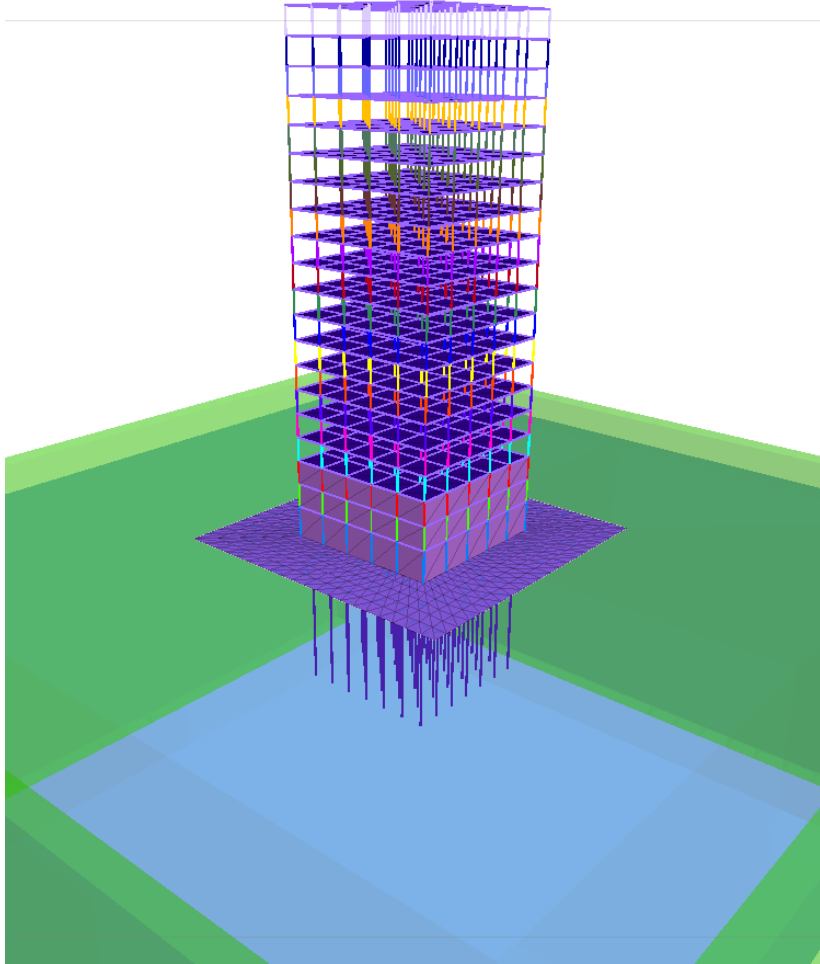


DD-1 deprem yer hareketi düzeyi: 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl)





DİREKT (DOĞRUDAN) YÖNTEM



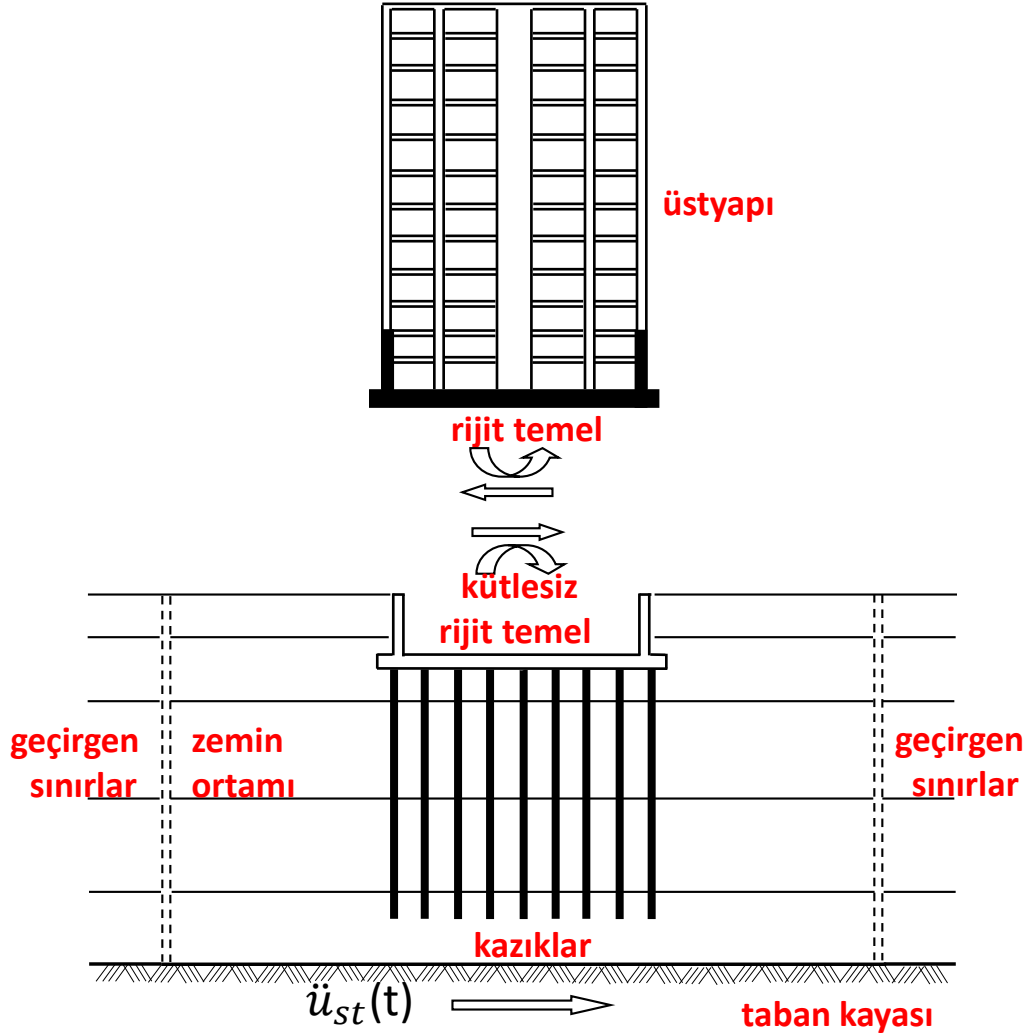
Direkt Yöntem için hazırlanan
model örneği (Aydınoglu, 2012)

Üstyapı ile zeminin tek bir ortak sistem olarak sonlu eleman modeli ile idealleştirildiği ve taban kayasında tanımlanan depremin etkisi altında analiz edildiği yönetime “Direkt (Doğrudan) Yöntem” adı verilir.

Bu yöntemde zemin ve üstyapıdaki tüm geometrik ve mekanik özellikler ile nonlineer davranış uygun bir biçimde gözönüne alınabilir.



Yöntem I ile Yapı-Kazık-Zemin Etkileşim Hesabı



Altsistem Yöntemiyle YKZE'nin incelenmesi (Aydınöğlu, 2012)

ALTSİSTEM YÖNTEMİ

- Altsistem Yöntemi'nde kazıklarla birlikte zemin ortamı ve üstyapı ayrı ayrı birer altsistem olarak modellenir.
- Bu modelleme pratikteki işbölümüne de uygundur.
- Gerçekten uygulamada zemin-kazık altsistemi ile üstyapı altsistemi, farklı uzmanlık alanlarındaki mühendislik grupları tarafından ayrı ayrı modellenir ve farklı bilgisayar yazılımları ile analiz edilir.

16.C.2.2 Kinematik
Etkileşim Hesabı

16.C.2.3 Eylemsizlik
Etkileşimi Hesabı

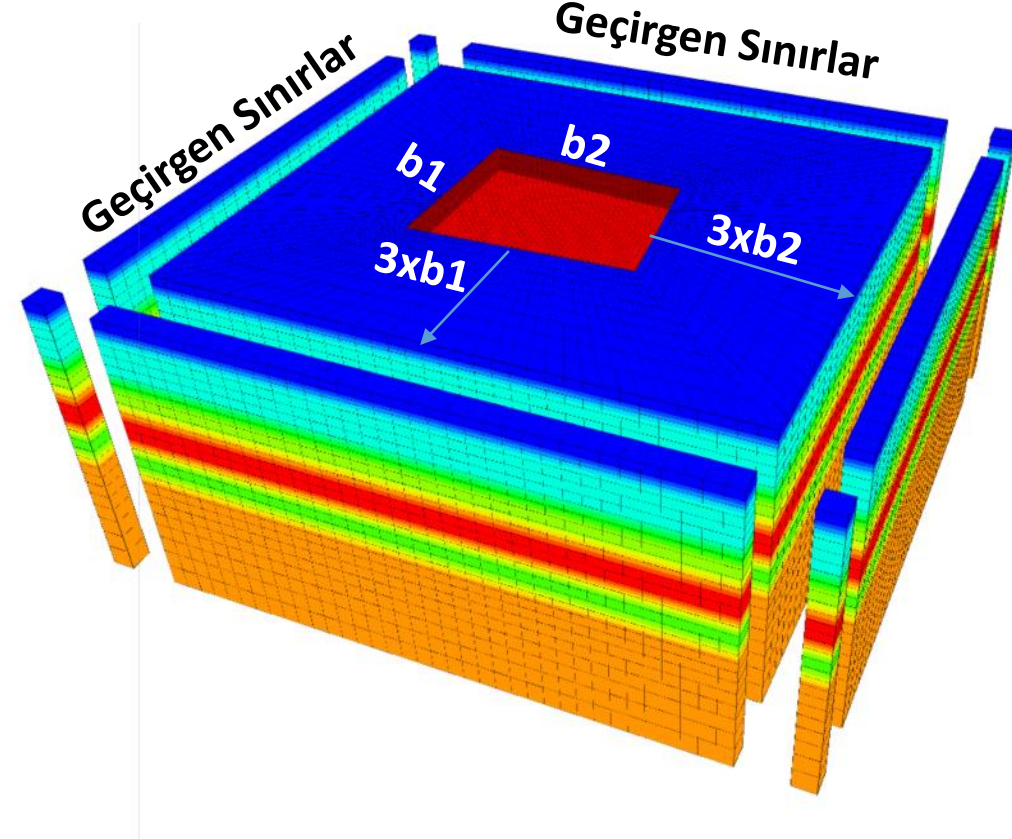
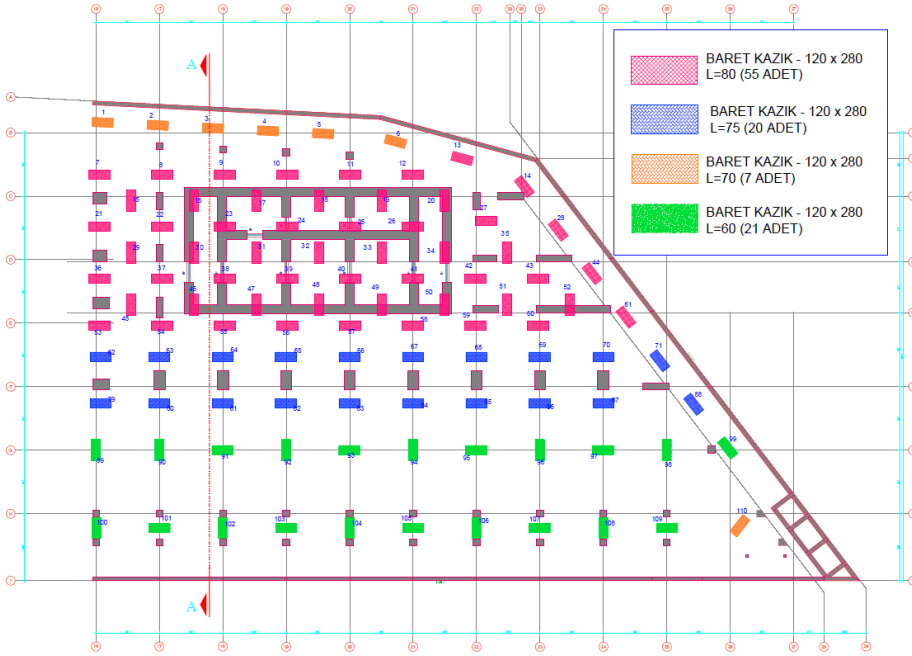


Altsistem Yöntemi – Kinematik Etkileşim Aşamaları

- Temel Planı, Zemin Modeli, Zemin Katmanları ve Parametreler
- Baret/Kazık Geometrisi ve Kesit Özellikleri
- Baret/Kazık—Zemin Arayüz Parametrelerinin Belirlenmesi
- Girdi Deprem Hareketlerinin Belirlenmesi
- Çift yönlü (Bi-directional) deprem verilerinin Zaman Tanım alanında doğrusal olmayan analizlerinin gerçekleştirilmesi
- Analiz Çıktıları: Temel Etkin Hareketi (Üst yapı Analizlerinde kullanılacak)
- Analiz Çıktıları: Baret/Kazık İç Kuvvetleri



Temel Planı ve Baret Kazık Konumları ve 3 Boyutlu Zemin Modeli



16C.2.2.1 (b) Zemin ortamı, 16.5.2.3'e göre tanımlanan mühendislik taban kayası'nın üzerinde, ayırık analiz yöntemleri (sonlu elemanlar veya sonlu farklar) ile analiz edilecek şekilde üç boyutlu olarak modellenecektir.

16C.2.2.1(c) Geçirgen sınırların binaya yatay uzaklığı, her iki doğrultuda ve her iki tarafta ayrı ayrı olmak üzere, bina temel genişliğinin üç katından daha az olmayacaktır.

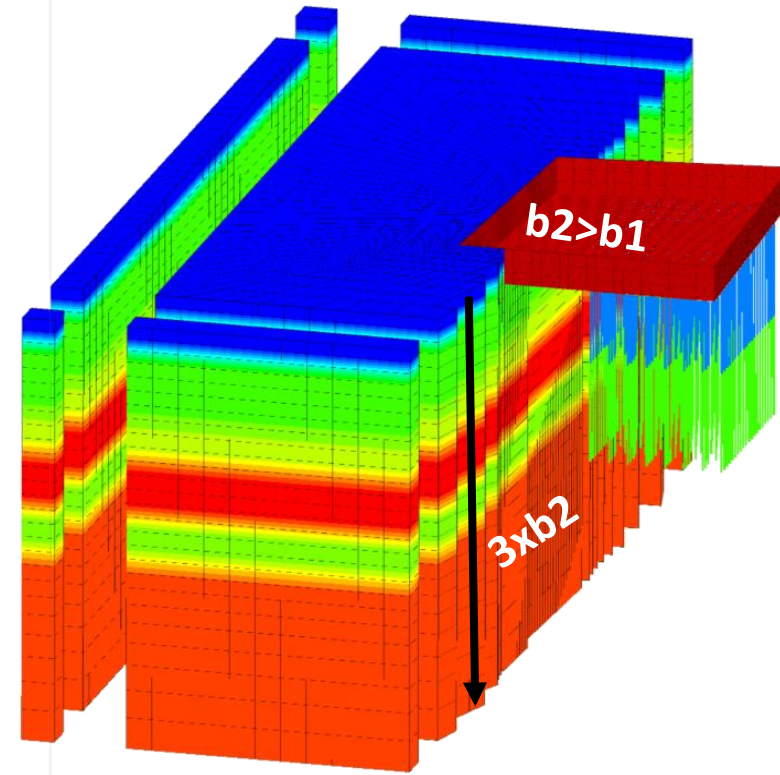
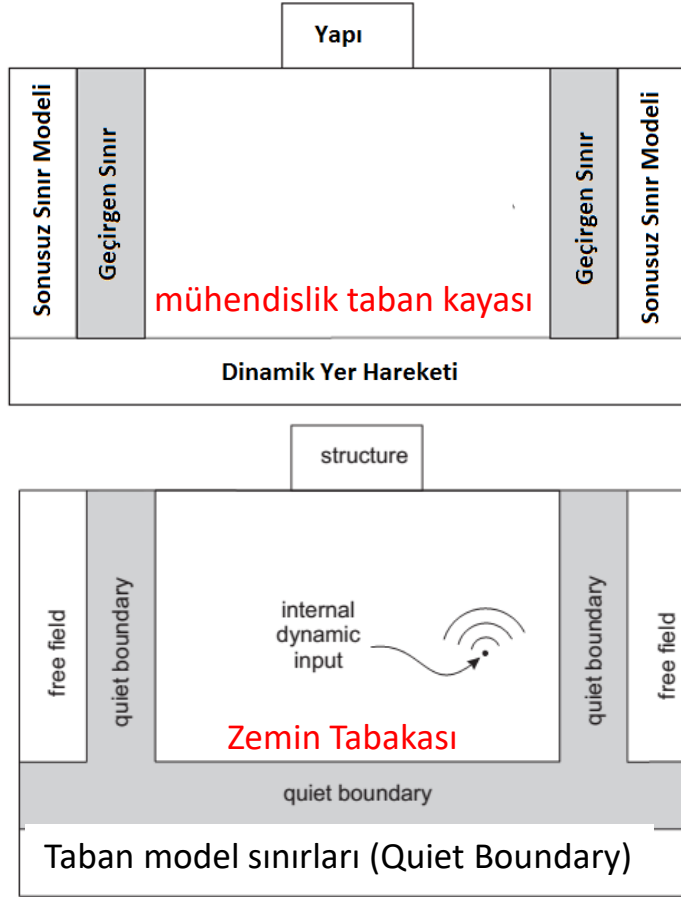


1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



Hesabı: Sınır Şartların Modelleme



16C.2.2.1 (b)
Mühendislik taban kayasının bina temelinden itibaren derinliği, en büyük bina genişliğinin üç katından ve en uzun kazık boyundan daha az olmayacaktır.

16C.2.2.1 Sonlu zemin modelinin dış çevresi boyunca ve ZA veya ZB olarak sınıflandırılmayan *mühendislik taban kayası*'nda, zemin ortamından dışa doğru yayılan dalgaların içeriye yansımalarını önlemek için uygun olarak seçilmiş *geçirgen sınırlar* kullanılacaktır.

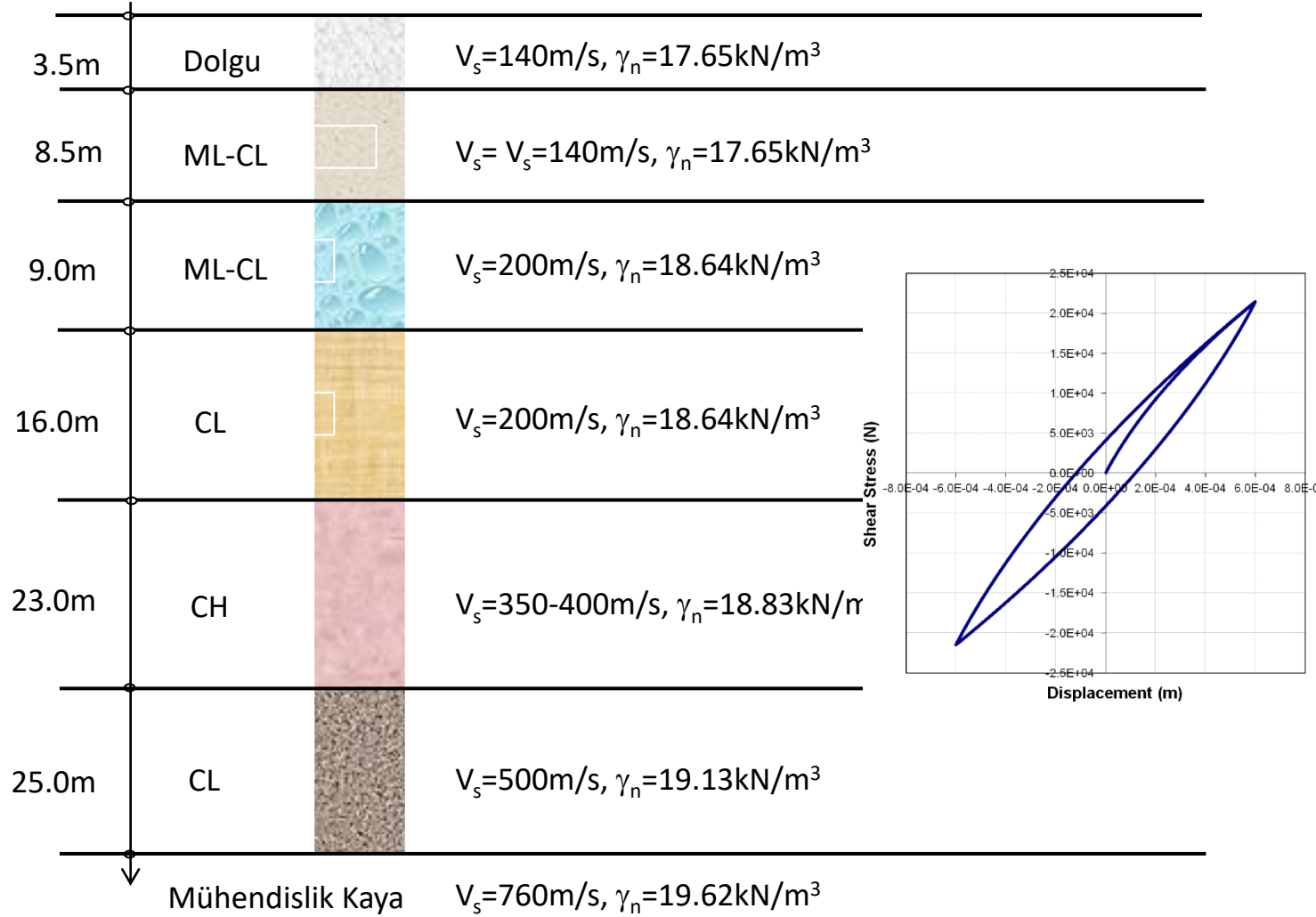


1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

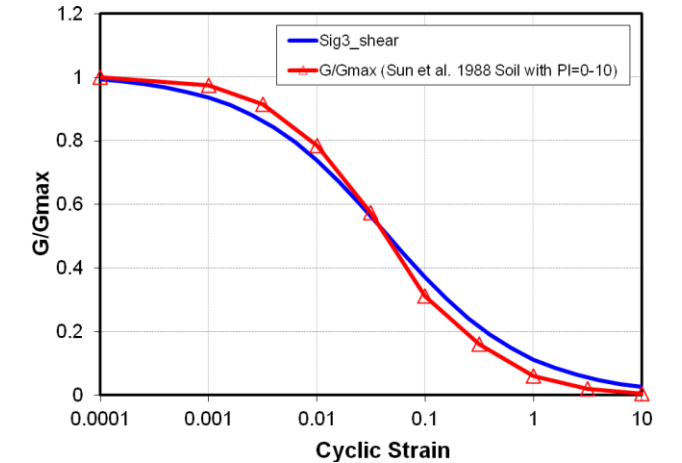
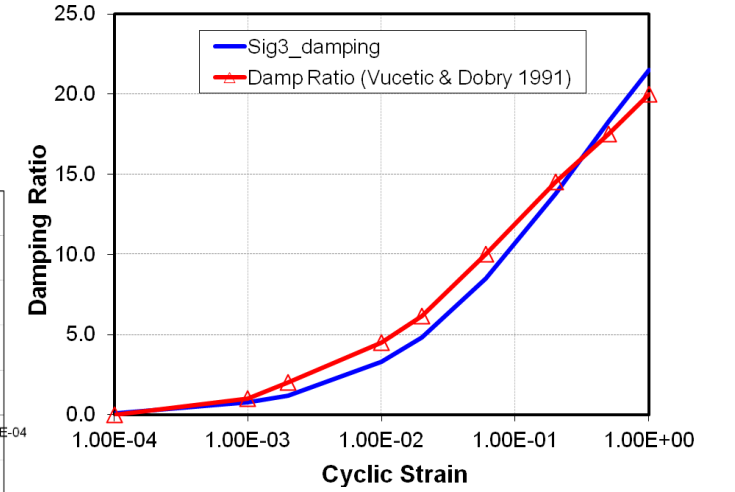
TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



Zemin Tabakaları için Doğrusal olmayan Malzeme Modeli

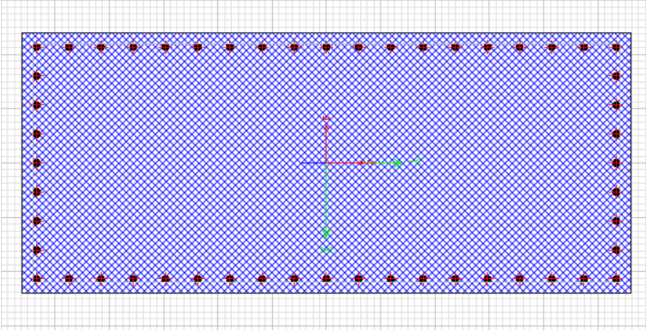


Gerinime Bağlı Kayma Modülü Azalım Ve Sönüm Eğrileri

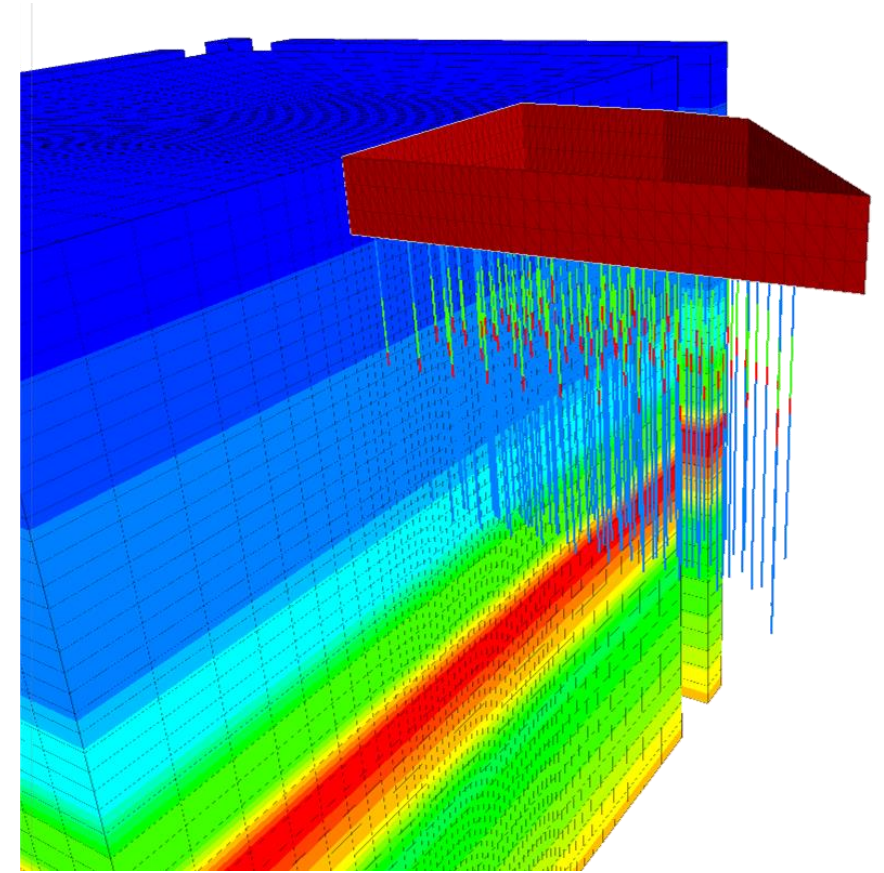
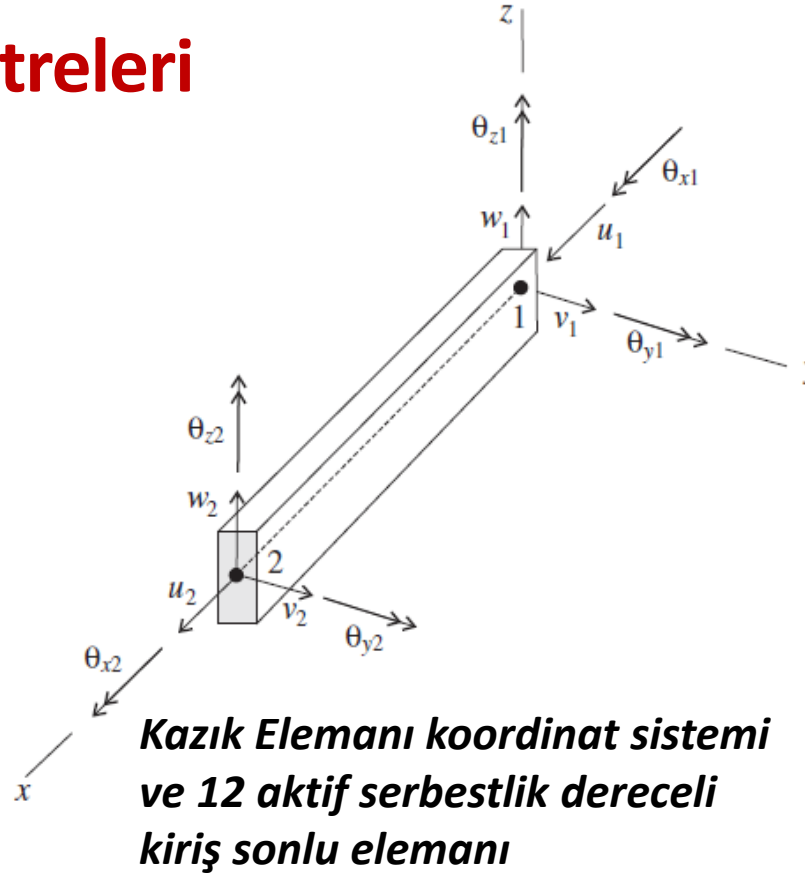




Baret/Kazık Parametreleri



Boyutlar=1.2x2.8 m
Beton : C40,
Çelik Donatı: S420
Moment Kapasitesi(Mp)



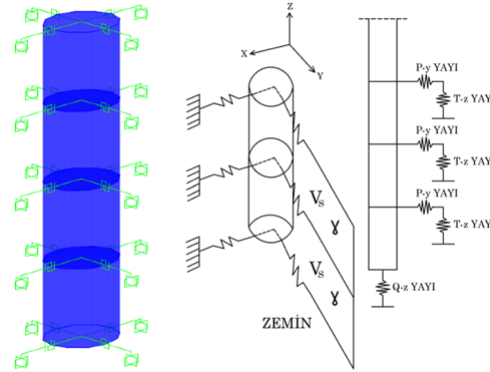
16C.2.2.1 Kazıklar, 5.3.1'de tanımlanan plastik mafsalların derinlik boyunca uygun aralıklarla yerleştirildiği çubuk elemanlar olarak modellenecektir. Kazıklarla zemin ortamı arasında uygun seçilmiş *arayüz elemanları* kullanılacaktır.



Kazık-Zemin Arayüz Modellemesi

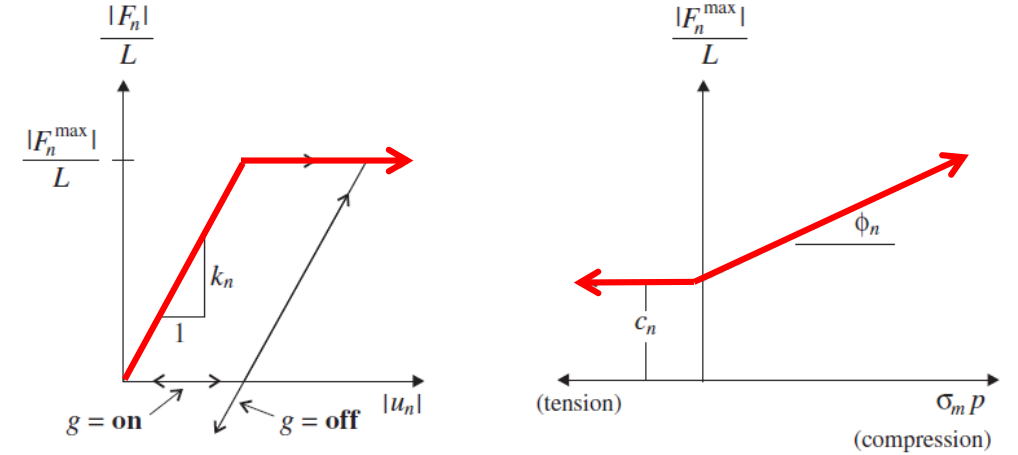
Kesme ve Normal yayların mekanik davranışları aşağıdaki parametreler bağlamında ele alınmaktadır:

- 1) Rijitlik, K_t , K_n
- 2) Kohezyon, c
- 3) İçsel Sürtünme Açısı, ϕ

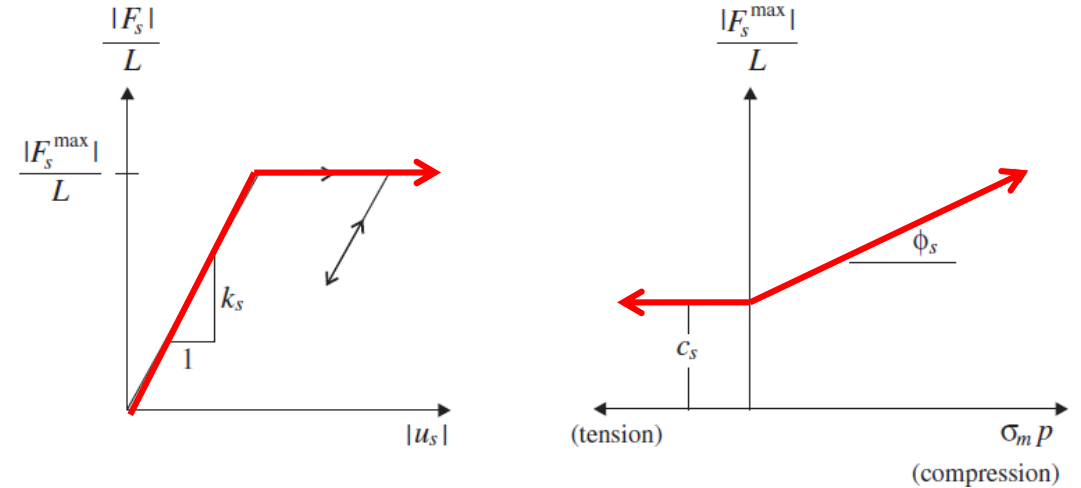


16C.2.2.1 Kazıklar, 5.3.1'de tanımlanan plastik mafsalların derinlik boyunca uygun aralıklarla yerleştirildiği çubuk elemanlar olarak modellenenecektir. Kazıklarla zemin ortamı arasında uygun seçilmiş *arayüz elemanları* kullanılacaktır.

Normal Bireşim Yay Davranışı (K_n)



Kayma Bireşim Yay Davranışı (K_t)



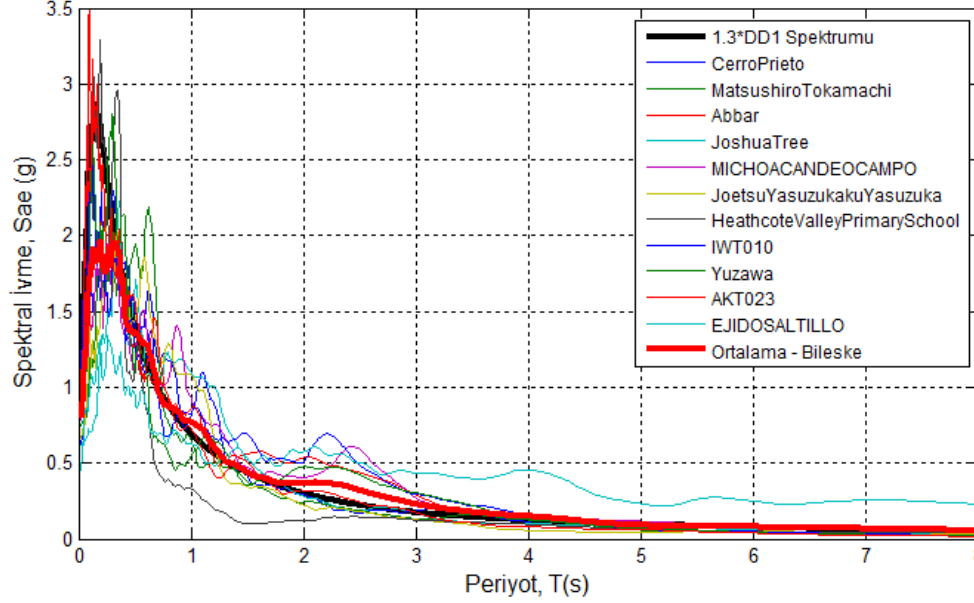


1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

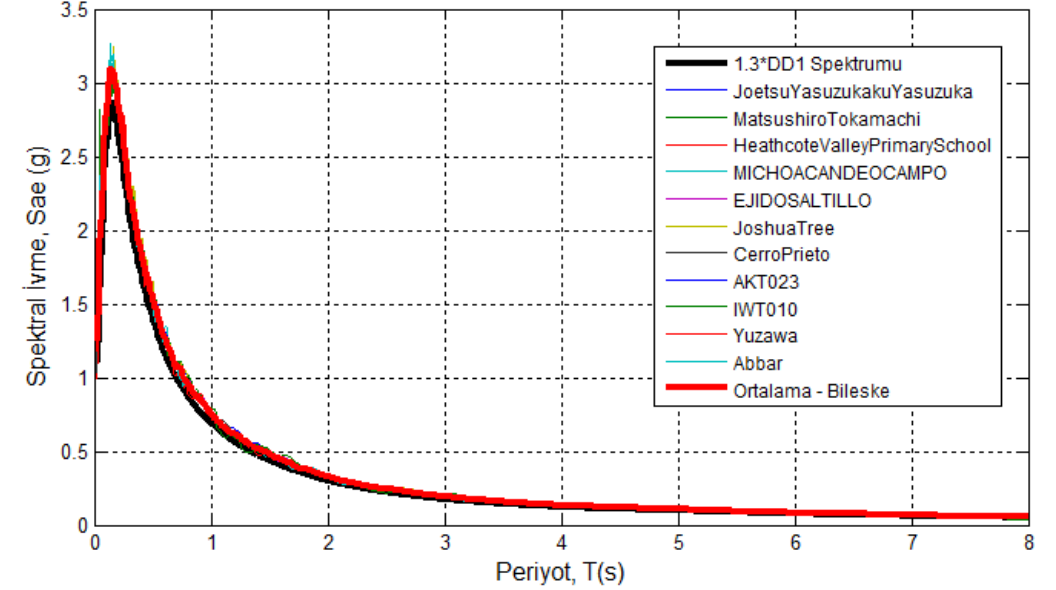
TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



Basit Ölçeklendirme



Spektral Uyuşum



16C.2.2.1 Deprem kayıtları, en az onbir (iki bileşenli) çift olmak üzere 2.5.3'e göre seçilecek ve mühendislik taban kayasından sisteme etki ettirilecektir.

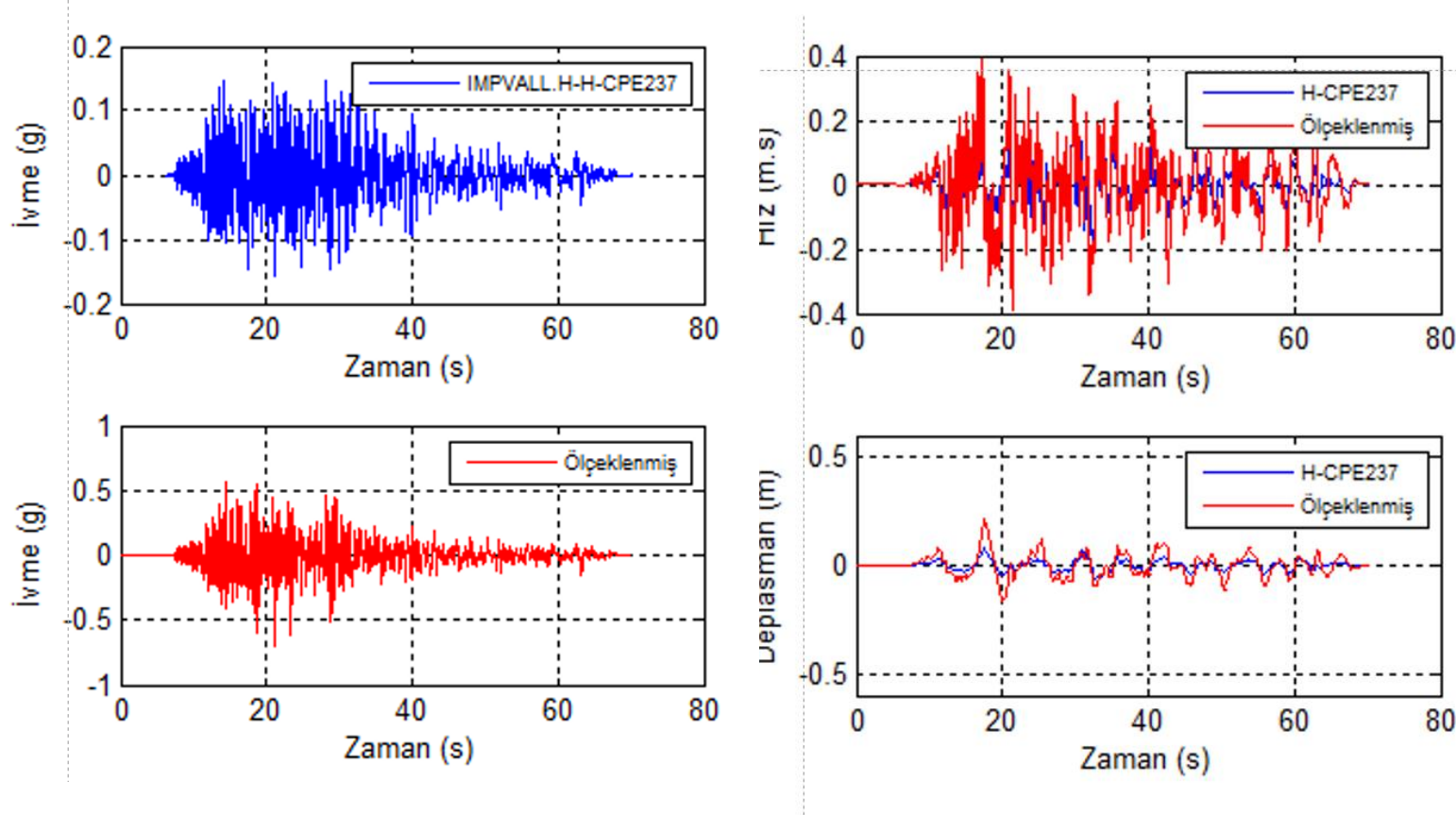
2.5.3. Seçilen deprem kayıtlarının 2.3.4 veya 2.4.1'e göre tanımlanan tasarım spektrumuna spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülmesi ile de elde edilebilir. Dönüştürülen deprem yer hareketlerinin spektrumlarının ortalamaları, tüm periyotlar için tasarım spektrumu ordinatlarından daha küçük olmayacaktır.

Deprem Kayıtların Seçimi ve
Ölçeklendirilmesi



Deprem Kayıtların Ölçeklendirilmesi
(Spektral Uyuşum)

Deprem Kayıtlarının Spektral Uyuşum Sağlanacak
Şekilde Dönüştürülmesi



- Ölçeklendirilen kayıtların ivme, hız ve deplasman-zaman grafiklerini kontrol edilmesi gerekmektedir.
- Seçilen kayıtlarda kalıcı deplasman yoksa, ölçeklendirilen kayıtlarda da kalıcı deplasman olmamasına dikkat edilecektir.

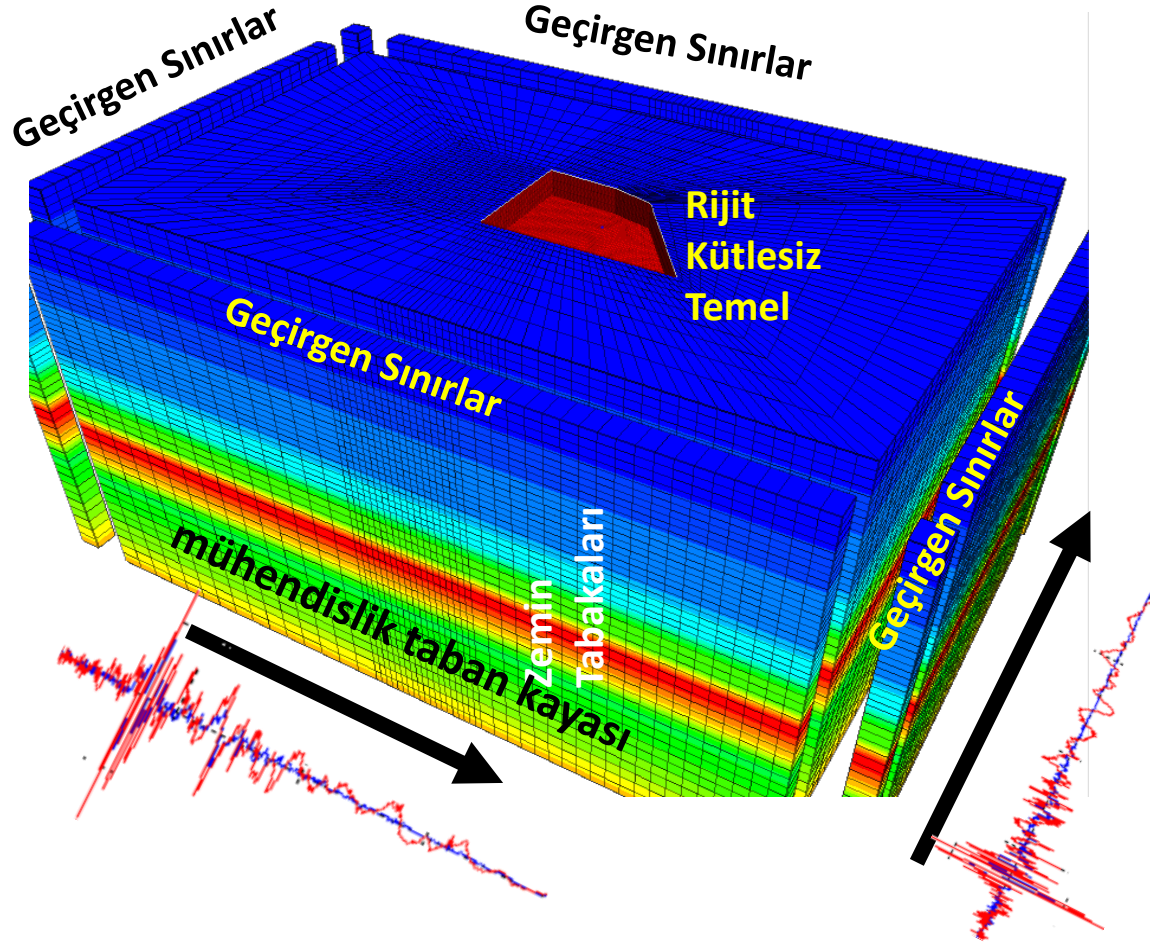


1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



Çift yönlü (Bi-directional) deprem verilerinin Kaya seviyesinden sisteme eş-zamanlı etktilmesi



16C.2.2.1 (d) Deprem kayıtları, en az onbir (iki bileşenli) çift olmak üzere 2.5.1'e göre seçilerek 2.5.3'e göre dönüştürülecek ve mühendislik taban kayasından sisteme etki ettirilecektir

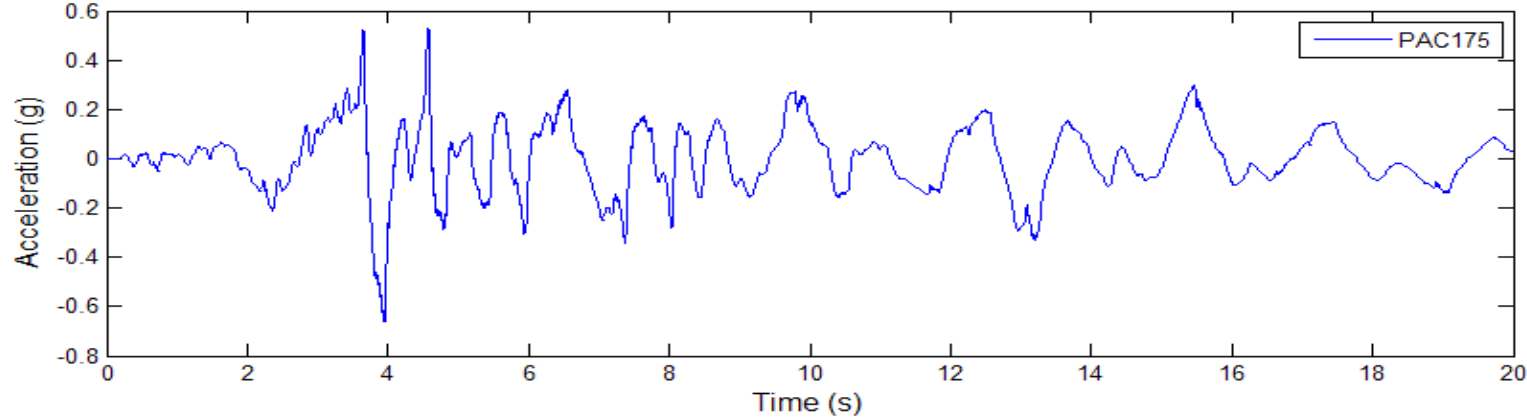
16C.2.2.2 Zaman tanım alanında yapılacak temel – kazık – zemin kinematik etkileşim analizi sonucunda, aşağıdaki çıktılar elde edilecektir:

- Kazıklardaki iç kuvvet ve şekildeğiştirme talepleri
- Temel seviyesi deprem spektrumları

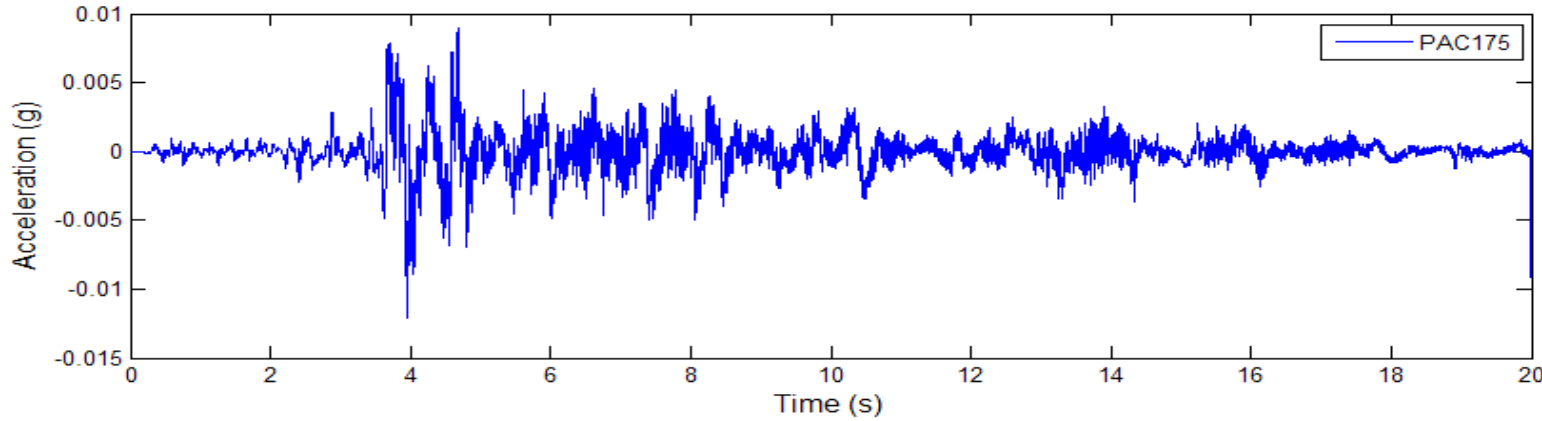
Üstyapının eylemsizlik özelliği gözönüne alınmadığı ve bina temeli rijit alındığı için kinematik etkileşimden üstyapıda iç kuvvet meydana gelmez.



Etkin Temel Yatay ve Dönme İvmeleri



Yatay Bileşeni



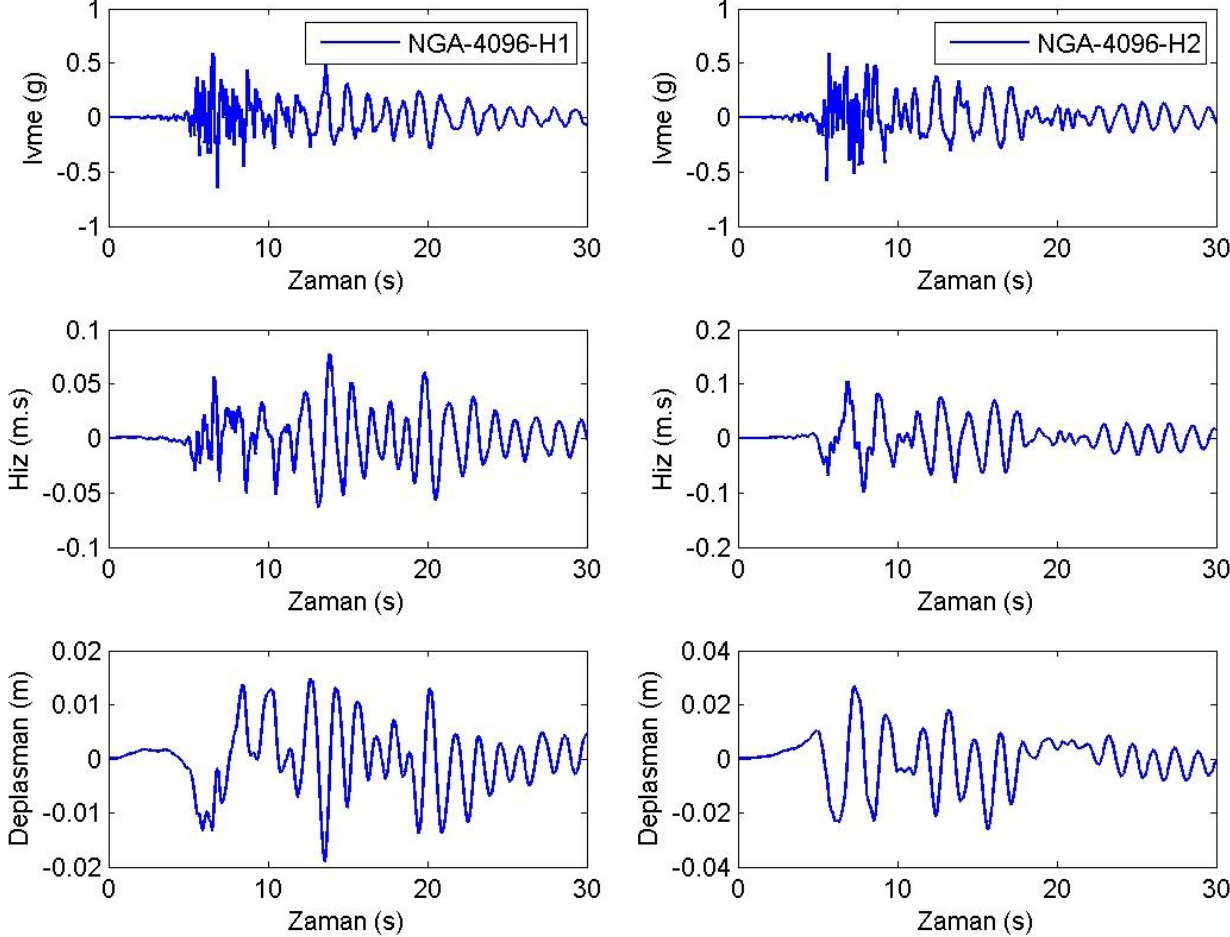
Dönme Bileşeni

- Zaman tanım alanında yapılacak temel - kazık - zemin kinematik etkileşim analizi sonucunda iki yatay eksen doğrultusunda ve bu eksenler etrafında dönme olarak tanımlanan serbestlik dereceleri için *etkin temel hareketleri* elde edilecektir



Etkin Temel İvme, Hız Ve Yerdeğiştirmelerin Zamana Göre Değişimleri

Çıktı Sonuçları: Temel Seviyesindeki İvme-Zaman Grafikleri



- 2x11=22 analiz için **16C.2.2.1(c)**'ye göre modellenen rijit temelin tabanında, iki yatay eksen doğrultusunda ve bu eksenler etrafında dönme olarak tanımlanan serbestlik dereceleri için *etkin temel hareketlerine* ilişkin ivme, hız ve yerdeğiştirmelerin zamana göre değişimleri (*temel seviyesi deprem kayıtları*) ile bunlardan üretilen ivme spektrumları (*temel seviyesi deprem spektrumları*) elde edilecektir

Deprem Tehlikesi Seviyesine Bağlı Temel Etkin Hareketi (%2 @ 50 yıl)



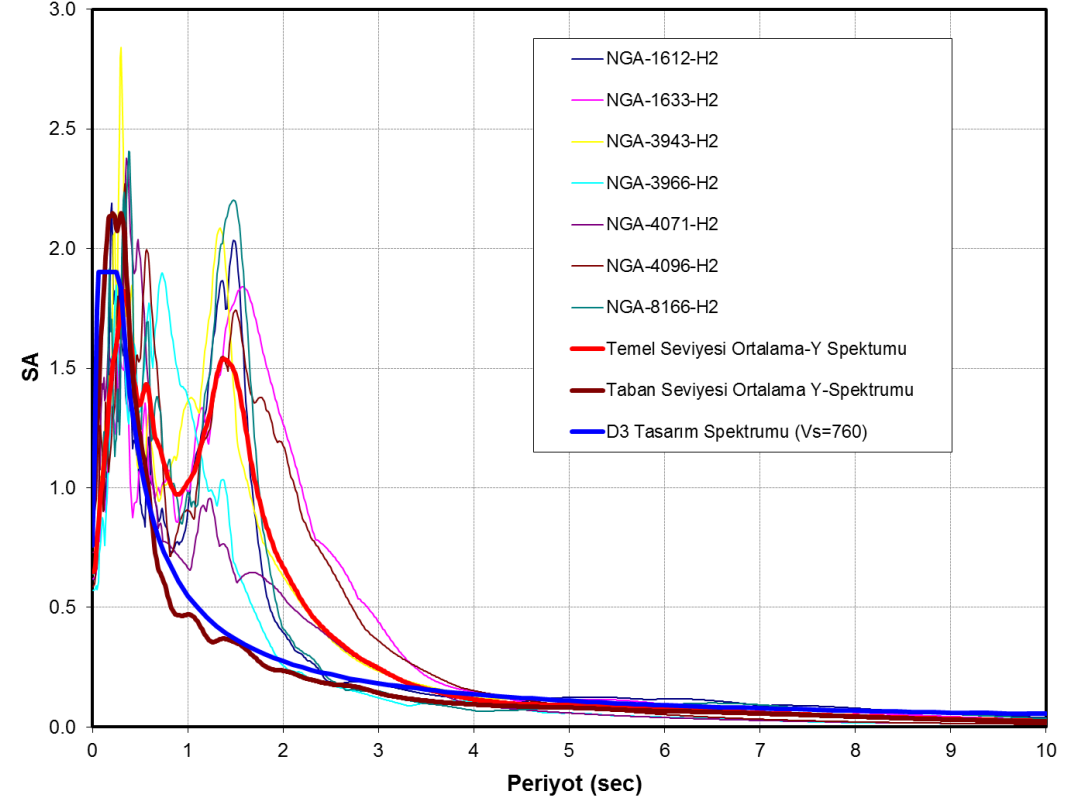
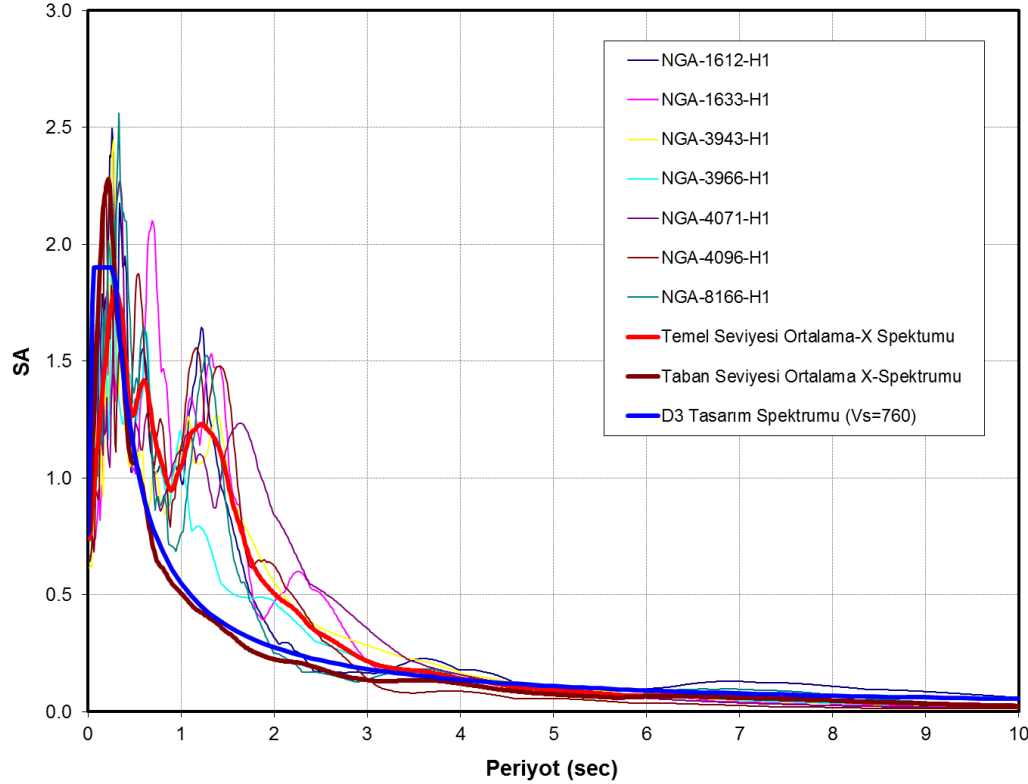
1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



Altsistem Yaklaşımı: temel seviyesi deprem spektrumları

Temel Seviyesi Deprem İvme Spektrumları



16C.2.2.2 Bu çıktılar, **16C.2.3**'te açıklanan *eylemsizlik etkileşimi hesabı*'nın girdileri olarak kullanılacaktır.

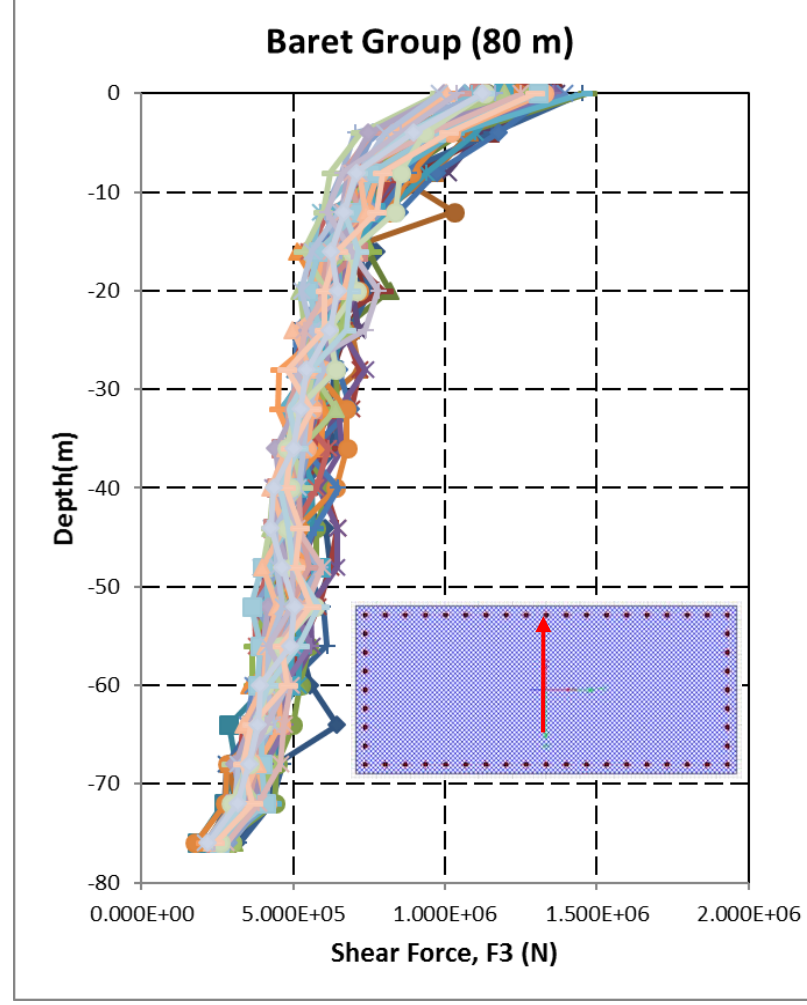
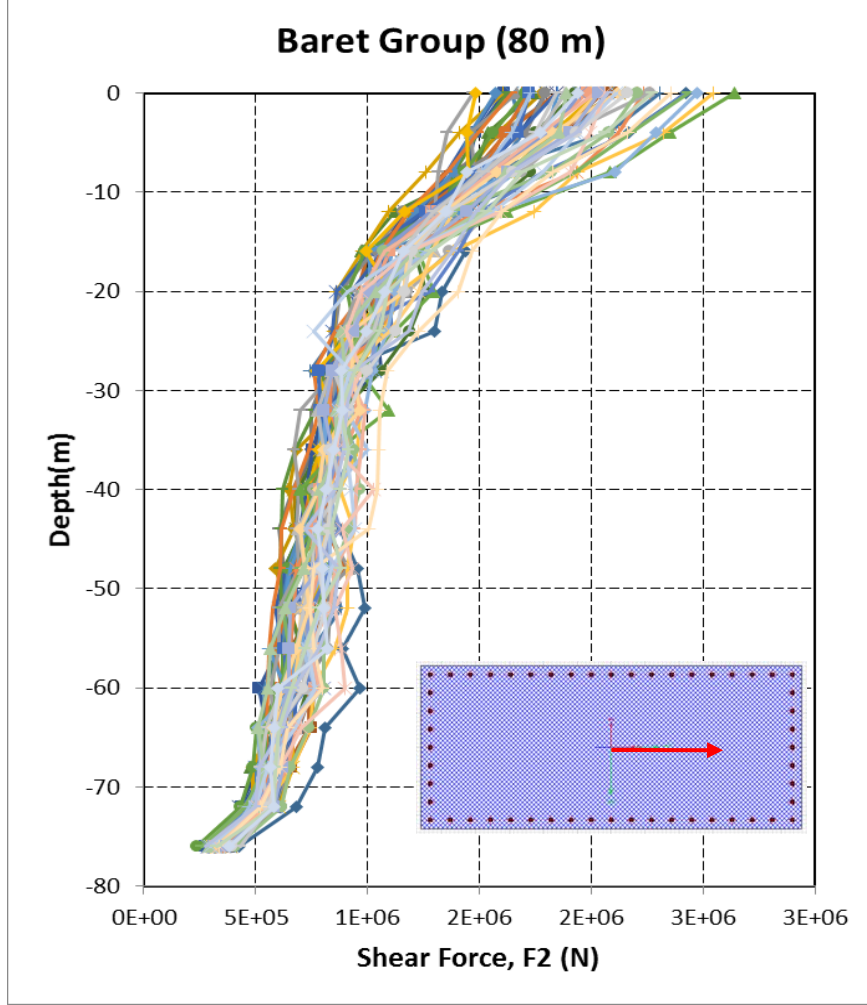


1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



Çıktılar: Baret/Kazık Kesme Kuvveti Değerleri, F2, F3



- Kazıklardaki iç kuvvet ve şekil değiştirme talepleri, yapılan analizlerin (en az $2 \times 11 = 22$ analiz) her birinden elde edilen sonuçların enbüyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak hesaplanacaktır

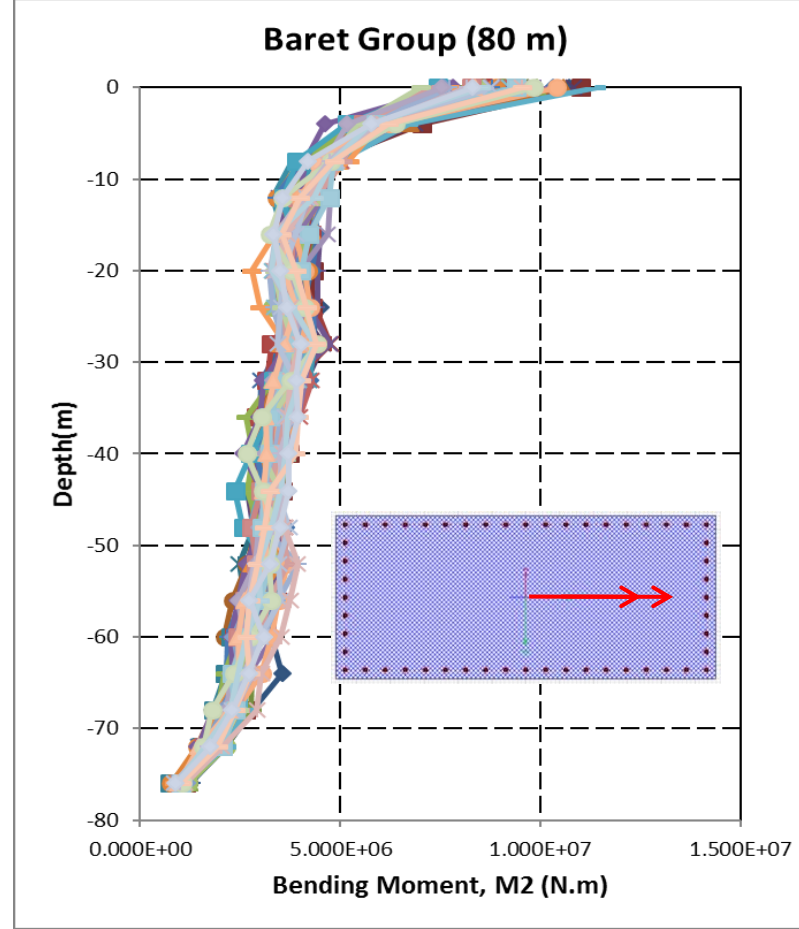
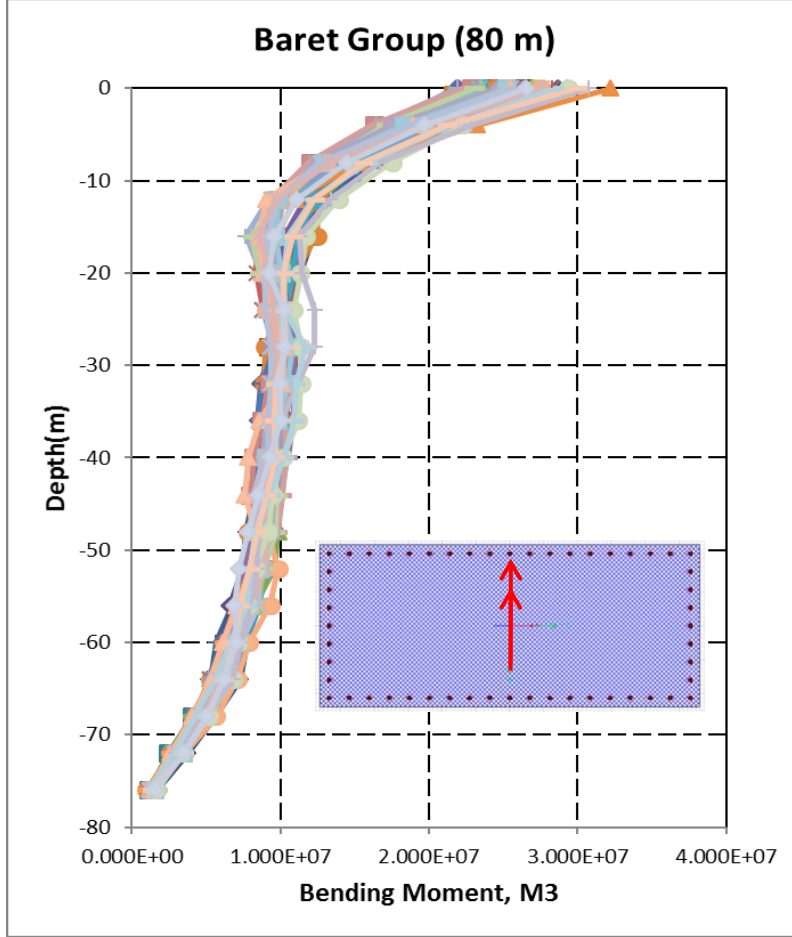


1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



Çıktılar: Baret/Kazık Moment Değerleri, M2, M3



- (Eylemsizlik etkileşimi hesabı sonucunda kazıklarda elde edilen iç kuvvetler ve şekildeğiştirmeler, kinematik etkileşim hesabından elde edilenlerle **16C.5'e** göre birleştirilecektir.



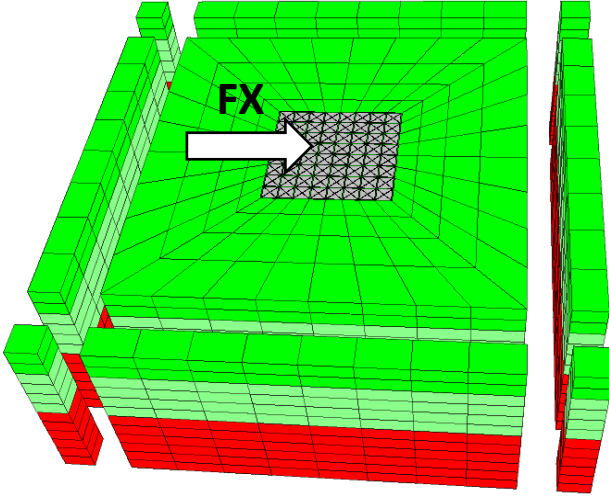
1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI

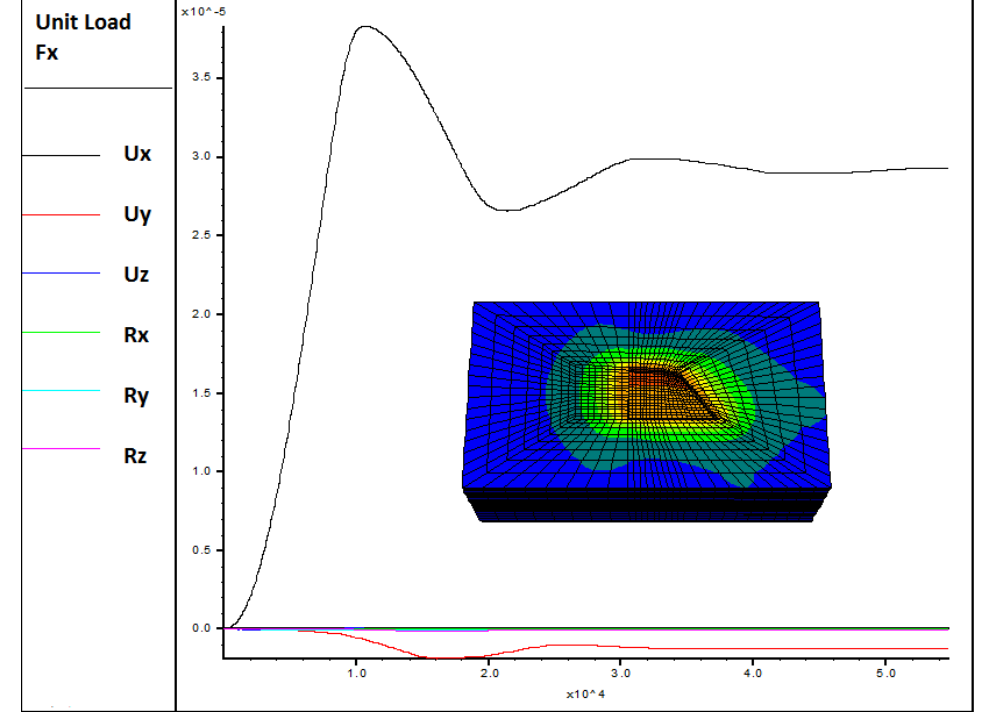


Altistem Yaklaşımı ile Etkileşim Hesabı: Eylemsizlik Etkileşimi

Temel Rijitlik Matrisi



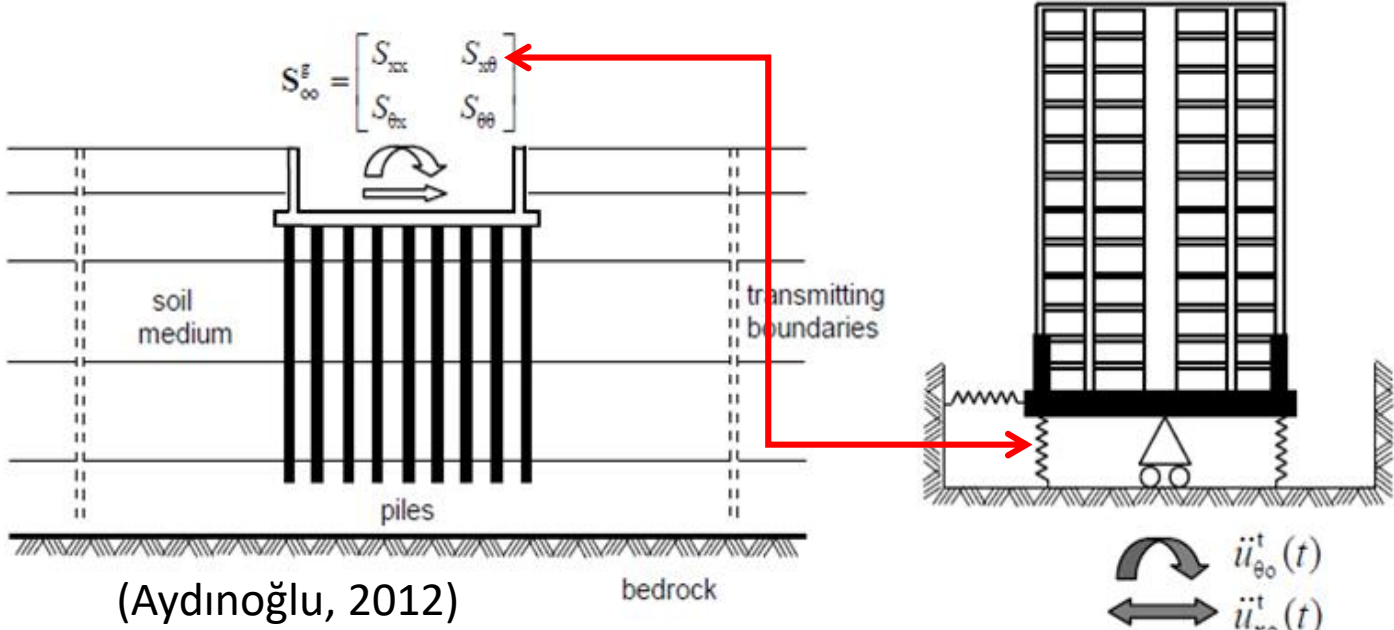
X Yönünde uygulanan
ayrı statik tekil
kuvvetler artımsal
Yükleme sonucunda
oluşan Temel
Deplasman çıktıları



16C.2.3.1 Temel – kazık – zemin sisteminde **16C.2.2.2(b)**'de etkin temel hareketlerinin tanımlandığı serbestlik derecelerine (rijit temelin tabanında iki yatay eksen doğrultusunda ve bu eksenler etrafında dönme için) ayrı ayrı statik tekil kuvvetler artımsal olarak etki ettirilerek, her bir serbestlik derecesi için doğrusal olmayan artımsal statik hesap yapılacaktır. Bu analizlerden, temel – kazık – zemin sistemini temsil eden etkileşim yayları'na ait doğrusal olmayan kuvvet – yerdeğiştirme ilişkilerinin iskelet eğrileri elde edilecektir



Altistem Yaklaşımı ile Etkileşim Hesabı: Eylemsizlik Etkileşimi

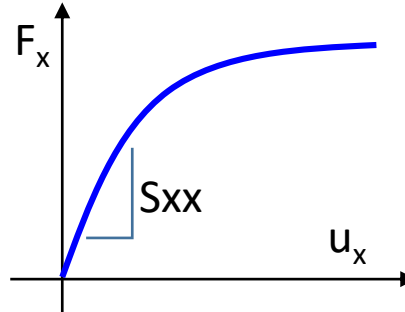


(Aydinoğlu, 2012)

Zemin Dinamik rijtlik Matrisi (kN/m)

X Yönü $S_{x\theta}^g = \begin{bmatrix} S_{xx} & S_{x\theta} \\ S_{\theta x} & S_{\theta\theta} \end{bmatrix}$

Y Yönü $S_{y\theta}^g = \begin{bmatrix} S_{yy} & S_{y\theta} \\ S_{\theta y} & S_{\theta\theta} \end{bmatrix}$



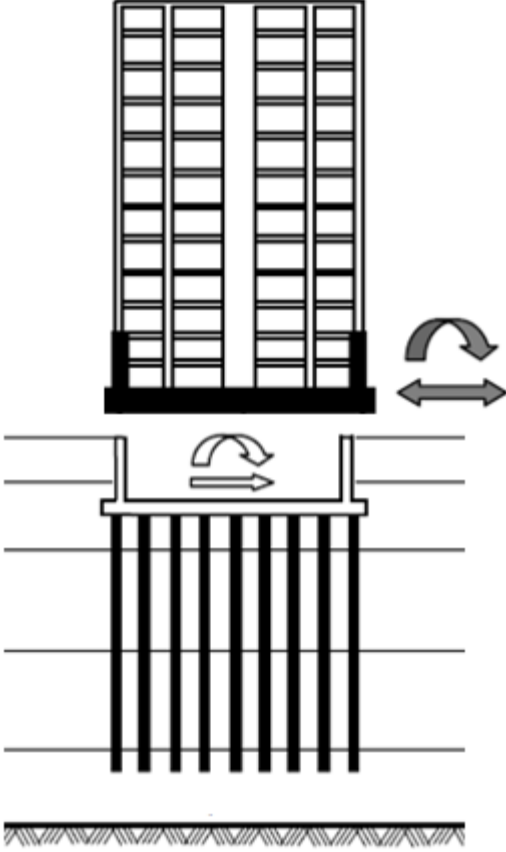
Etkileşim Yayları

16C.2.3.2 Bina (üstyapı) taşıyıcı sistemi, 16C.2.2.1(c)'de tanımlanan *bina temeli ve bodrum katları ile birlikte*, ve bunların kütleleri de gözönüne alınarak, 13.6.2'ye göre modellenecektir.

16C.2.3.1'de tanımlanmış bulunan **etkileşim yayları** bina temelini tabanına yerleştirilecek ve bu yaylara uygun birer **histeretik davranış** modeli uyarlanacaktır. Bu şekilde oluşturan üst yapı temel sistemine 16C.2.2.2(b)'de tanımlanmış bulunan *etkin temel hareketleri*'ne ait ivme kayıtları uygulanarak sistemin zaman tanım alanında doğrusal olmayan *eylemsizlik etkileşimi hesabı* yapılacaktır



Eylemsizlik Etkileşimi: iç kuvvetler ve şekildeğişiklikler hesaplanacaktır.



16C.2.3.4 – Yöntem I’de *eylemsizlik etkileşimi* hesabı sonucunda aşağıdaki çıktılar elde edilecektir:

- Üsyaıda ve üstyapı temelinde (bodrumlar dahil) iç kuvvet, yerdeğişiklik ve şekildeğişiklik taleplerinin zamana bağlı değişimleri elde edilecektir.
- Temel tabanında tanımlanan yaylarda oluşan *etkileşim yerdeğişiklikleri*’nin ve *etkileşim kuvvetleri*’nin zamana bağlı değişimleri elde edilecektir. Bunlardan ve **16C.2.3.1**’de yapılmış bulunan *artımsal statik hesap* sonuçlarından yararlanılarak, eylemsizlik etkileşiminde kazıklarda oluşan iç kuvvetler ve şekildeğişiklikler hesaplanacaktır.



Yöntem I ile Yapı-Kazık-Zemin Etkileşim Hesabı (Altsistem Yöntemi)

16.C.2.2 Kinematik
Etkileşim Hesabı

16.C.2.3 Eylemsizlik
Etkileşimi Hesabı

A

Kazık Şekil Değiştirmeleri ve İç
kuvvetleri

B

Kazık Şekil Değiştirmeleri ve İç
kuvvetleri

Yapılan hesaplar sonucunda kazıklarda değerlendirmeye / tasarıma esas şekildeğiştirmeler ve iç kuvvetler, kinematik ve eylemsizlik etkileşimi sonuçlarının mutlak değerlerinin toplamı olarak hesaplanacaktır



Karşılaşılan Zorluklar

- Kazıklar temele bağlanmadığı zaman etkileşimin önemi yok mu?
- Sıvılaşma potansiyeli olan zeminlerde, etkin gerilme analizi yapılabilmesine olanak sağlayan doğrusal olmayan zemin bünye modelleri kullanılması öneriliyor fakat bunun detaylarına yer verilmediği için mühendisin tecrübesine bırakılıyor.
- TBDY'nin öne sürdüğü Yöntem I haricindeki diğer Yöntemlerle alakalı kapsamlı ve karşılaştırmalı bir çalışma ya da bu Yöntemlerin referansı olmadığı için ne kadar YKZE'yi dikkate aldığı veya gerçekçi sonuçlar elde edilip edilmediği muğlaktır. Bu yüzden yine bu yöntemler mühendislik tecrübesi ve bu alandaki tecrübeye dikkatle kullanılmalıdır



Kaynakça

- TBDY-2018, İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Türkiye bina deprem yönetmeliği, Ankara, 2018.
- NIST GCR 12-917-21, Soil-Structure Interaction for Building Structures
- ASCE 7.10
- Aydınoğlu et al, 2012, 'Soil-Pile-Structure interaction: a practical approach for performance-based seismic design of tall buildings', 2nd Inter. Conference on performance-based design in earthquake geotechnical engineering may 28-30, 2012 - Taormina (italy)
- İzmir İMO 'Yapı Zemin Etkileşimi Kurs Notları', Prof Dr. Nuray Aydınoğlu, Dr. Ş Şeref Polat, Dr. Cüneyt Tüzün, Dr. Eren Vuran
- Fahjan Y, 2A case study for site response analyses using FLAC3D', GeoGrup-Flac3D Course Notes, 2014