mühendislikdergisi
Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Cilt: 8, Sayı: 4, 661-673
Eylül 2017

Farklı yapı davranış katsayıları için zemin koşullarının yapı performansına etkisi

İbrahim Baran KARAŞİN[*,1], Ercan IŞIK[1]

[1] *Bitlis Eren Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis*

Makale Gönderme Tarihi: 30.01.2017 Makale Kabul Tarihi: 30.03.2017

Öz

Medeniyet tarihinin deprem geçmişine kıyasla yakın zamanda ortaya çıkan performansa dayalı tasarım ve yapıların deprem davranışları ile deprem performanslarının hesaplanması kavramları günümüzde inşaat mühendisliği açısından oldukça önemli bir araştırma konusu olagelmiştir. Bu çalışmada farklı zemin sınıfları ve farklı yapı davranış katsayılarının yapı performansına etkilerinin ortaya koyulması amaçlanmıştır. Bu amaç çerçevesinde 1 Mayıs 2003 Bingöl depreminde yıkılan Çeltiksuyu Yatılı Bölge İlköğretim Okulu örnek bina olarak seçilmiştir. Yapı performansı hesaplanırken statik adaptif pushover analiz metodu kullanılmıştır. Çalışmada farklı zemin sınıfları Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (2007)'e göre tarif edilmiş ve farklı yapı davranış katsayılarıyla birlikte spektral ivme değerleri alınarak analiz gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler neticesinde Z1-R4, Z2-R4, Z3-R4, Z4-R4 ve Z1-R8, Z2-R8, Z3-R8 ile Z4-R8 olmak üzere 8 ayrı sayısal hesap yapılmıştır. Bu hesaplar neticesinde zemin sınıflarının ve yapı davranış katsayılarının yapı performansına etkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Zemin sınıfı, Davranış Katsayısı, Betonarme, Deprem Performansı*

[*]Yazışmaların yapılacağı yazar: İbrahim Baran KARAŞİN. ibkarasin@*beu.edu.tr*; Tel: (434) 222 00 00 (3613)

Giriş

Türkiye; jeolojik özellikleri, topografik yapısı ve iklim özellikleri nedeniyle doğa olaylarının sıkça yaşandığı ülkelerden birisidir. Doğa olaylarının; bilgisizlik, ihmalkârlık ve denetimsizlik gibi faktörler neticesinde doğal afetlere dönüşmesi ve akabinde neden oldukları can kayıplarının yanında Türkiye için önemli ekonomik kayıplar da meydana getirmektedirler. Doğal afetlere dönüşen doğa olaylarından en önemlilerinden biri ise depremdir. Deprem; yerkabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle ani olarak çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri yüzeyleri ve yeryüzünü sarsması olayıdır. Depremin yeryüzüne ulaştığı bölgelerde; toprak kaymaları, yapılarda hasar ve göçmeler meydana getirmesi, can kaybına ve maddi hasarlara neden olması muhtemeldir. Birçok insanı etkileyen depremler en yıkıcı doğal afetlerden biridir. (Öncü vd. 2016) Deprem etkisinin doğal afete dönüşmesi ile meydana gelen can kayıplarının ve maddi hasarların hemen hepsi yapıların göstermiş olduğu davranış ile doğrudan ilgilidir. Bu çerçevede yapıların deprem davranışlarının incelenmesi oldukça önem kazanmıştır.

Yapıların deprem davranışlarının öneminin kavranması ve bunu takiben yapıların deprem performansının hesaplanması kavramı yeni sayılabilecek bir kavramdır. Bir binanın doğrusal elastik bölgeden akma ve göçme bölgesine kadar olan davranışını gösteren bir yönteme ihtiyaç vardır.(Öncü, Yön. 2016) Deprem performansı, depremin oluşturduğu sarsıntıların etkisi altında kalan yapının davranışı ve davranış neticesinde ortaya çıkan hasar durumuna bağlı olarak belirlenen güvenlik seviyesi olarak tanımlanabilir. Bu yöntem öncelikle mevcut yapılar için kullanılırken yapı tasarımında da kullanılabilir hale gelmiştir.

Performansa dayalı tasarım metodunda tasarım zemin hareketi etkisinde taşıyıcı sistem elemanlarında oluşabilecek hasar seviyelerinin sayısal olarak belirlenmesi mümkün olmaktadır. Bahsedilen hasarların ilgili elemanlar için kabul edilebilir hasar sınırlarının altında kalıp kalmadığı kontrol edilir. Kabul edilebilir hasar sınırları, çeşitli deprem seviyelerinde yapı için öngörülen performans hedefleri ile uyumlu olacak şekilde tanımlanmaktadır (Sucuoğlu, 2006; Aydınoğlu, 2007; Doran vd., 2011)

Betonarme yapıların depreme karşı dayanıklılığının araştırılması, yapıların deprem güvenliğinin ve güvenliğine etki eden parametrelerin belirlenmesi ve incelenmesi son yıllarda yaşanılan yıkıcı depremlerin de etkisiyle daha da önem kazanmıştır. Bu nedenlerle, betonarme yapıların deprem davranışlarının ve güvenliklerinin belirlenmesi deprem mühendisliğinin güncel konuları arasında kendine yer bulmuştur. Yaşadığımız depremlerden yola çıkarak yapılarda oluşan ağır hasarların ve göçmeler yapılarımızın yeterli emniyete sahip olmadığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle yapıların deprem etkileri altındaki davranışları incelenirken yapıların depreme karşı dayanıklılığına etki edecek faktörlerin bilinmesi önem kazanmaktadır. Bu faktörler yapı tasarımında da dikkate alınmaktadır.

İnşaat Mühendisi herhangi bir yapıyı tasarlarken sistemde bulunan tüm üst yapı yüklerini zemine aktarmaktadır. Aynı zamanda zeminden gelen tepkimelere de cevap verebilecek şekilde tasarım yapılmalıdır. Dolaysıyla tüm üst yapı yükleri zemin tarafından karşılanmaktadır. Bu bağlamda zemin özelliklerinin doğru ve gerçekçi olarak tespit edilmesi ve hesaplamalarda zemin – yapı etkileşiminin doğru ifade edilmesi ile projeler anlam kazanacaktır. Bu çalışmada yerel zemin koşullarının değişiminin yapı performansına etkisi ortaya konmaya çalışılmıştır.

Yapı performans hesabında genellikle yapının üzerine oturduğu zeminin, gelen yüklerden etkilenmeyen rijit bir tabaka olduğu varsayılarak hesaplamalar yapılmaktadır. Ancak bu hesaplar, yapı zemin etkileşiminin ihmal edilebileceği kadar sağlam zeminlerde gerçekleştirilmelidir. Zemin, şekil değiştirebilen ve yapının davranışına eylemsizlik yönünden etkide bulunabilen dinamik bir sistem olarak ele alınmalıdır. Zemin etüdü neticesinde alınan

raporun iyi analiz edilmesi bu bağlamda çok elzem bir husustur. Eğer zemin etüdü neticesinde zemin ile ilgili sorunlar mevcut ise gerekli ıslah çalışmalarının tamamlanıp zeminin yapı zemin etkileşiminin ihmal edilebileceği seviyeye getirilmesi gerekmektedir. Bunlarla birlikte zemin sınıflarına bağlı olarak, daha yumuşak zeminlerde inşa edilen yapının tepe noktası yer değiştirmesi de daha fazla olabilmektedir (Kutanis, 2001).

Yapıların deprem performansının saptanması ve akabinde gerekli önlemlerin alınması inşaat mühendisliği açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Türkiye'de yaşanan son depremler neticesinde ortaya çıkan oldukça başarısız sayılabilecek yapı performansları ise bu durumun acı bir kanıtı niteliğindedir. Yapıların deprem performanslarını etkileyen nitelikli mühendislik hizmeti ve nitelikli işçilik parametreleri maalesef yeterli değildir.

Yapı tasarımı yapılırken, yapı temeli ile zeminin birlikte mümkün olduğunca uyum içerisinde çalışması, gerek geoteknik gerekse yapısal anlamda tasarım ölçütlerini sağlaması hedeflenir. Genellikle üst yapı ve temel çözümlemeleri ayrı yapılmaktadır. Üst yapı, en alt kata kolon ve perdeleri ankastre mesnetli olarak çözümlenmekte ve dolayısıyla zeminin yapıdan yapının da zeminden etkilenmediği varsayılmaktadır. Böylesi bir durumda, yapı-zemin etkileşimi yalnızca yapı temelinin çözümüne indirgenmektedir. Oysa yapı-zemin etkileşimi yüzeysel ve derin temeller, tüneller ve istinat yapıları gibi mühendislik yapılarının tasarımında oldukça önemli bir kıstastır (Kutanis, 2001).

Deprem sırasında hasar gören veya yıkılan yapılar üzerinde yapılan araştırmalar, hasar ve yıkılmanın birçok farklı nedene dayanabildiğini göstermektedir. Genellikle, hasarın nedeni olarak; bilgisizlik, gerekli zemin etütlerinin yapılmamış olması, bina geometrisinin ve taşıyıcı sistemin yetersiz veya eksik yapılmasından kaynaklandığı görülmüştür. Yapılara etki edebilecek deprem kuvvetleri zemin sınıfına, bölge deprem ivmelerine ve yapı türüne bağlı olarak değişebilmektedir. (Tuncer, 2008).

Yerel zemin koşulları tasarım spektrumunu değiştirecek ve değişen tasarım spektrumu ile bina performansı daha gerçekçi olarak hesaplanacaktır. Bu durumun yer değiştirme istemlerini önemli oranda değiştireceği açıktır. Daha yüksek değerlerde yer değiştirme talepleri karşılanmayan yapılarda hasar tahminlerinin ve bina performansının gerçek değerlerden uzaklaşacağı açıktır (Işık vd., 2015).

Materyal ve Yöntem

Dünyada ve Türkiye'de özellikle yaşanan depremler sonrası mevcut yapıların deprem güvenliğinin tespiti önem kazanmıştır. Mevcut betonarme yapılar için performansa bağlı analiz yöntemleri yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Yapıların inşa edileceği temel zemini ve bu zeminin özellikleri, yapıların depreme karşı dayanıklılıklarının belirlenmesinde dikkate alınması gereken en önemli unsurlardan biridir. Yerel jeolojik zemin koşullarının sismik hareketlerin karakterlerini doğrudan etkilediği ve değiştirdiği bilinmektedir. Zeminin karmaşık ve katmanlı bir yapıya sahip olmasına bağlı olarak bozulmalar ve çökmeler artabilir. (Yön vd. 2015) Bir deprem sırasında oluşan zemin titreşimleri, deprem odağından çevreye yayılacak ve etkileri zemin koşullarına bağlı olarak odaktan uzaklaştıkça değişecek ve genellikle azalacaktır. Yerel zemin koşullarının deprem etkisindeki yapıların davranışını değiştirmektedir. Bu çalışmada Türk yapı yönetmeliklerinde belirtilen zemin sınıflarının farklılaşmasının yapı performansına etkisi ortaya konmaya çalışılmıştır.

Çalışmada dikkate alınan parametrelerden biri de yapı davranış katsayısıdır. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 2007 'de (DBYYHY 2007, 2007) tarif edilen yapı davranış katsayısı (R) , taşıyıcı sistemin türü ve malzeme çeşidine bağlı olan ve süneklik derecesine göre değişken olarak saptanan bir değerdir.

Bu çalışma kapsamında farklı zemin sınıflarının ve farklı yapı davranış katsayılarının yapı performansına etkisi incelenmiştir. Bu amaç çerçevesinde 1 Mayıs 2003 Bingöl depreminde yıkılan Çeltiksuyu Yatılı Bölge İlköğretim Okulu örnek bina olarak seçilmiştir. Yapı performansı hesaplanırken statik adaptif pushover ile dinamik zaman tanım analiz metodu kullanılmıştır. Çalışmada farklı zemin sınıfları Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (DBYYHY-2007)'ne göre tarif edilmiş ve farklı yapı davranış katsayılarıyla birlikte spektral ivme değerleri alınarak analiz gerçekleştirilmiştir. Yapı performansına etkisini gözlemlemek amacıyla spektral ivme değerleri ayrı ayrı hazırlanıp Z1-R4, Z2-R4, Z3-R4, Z4-R4,Z1-R8,Z2-R8,Z3-R8 ve Z4-R8 olmak üzere sekiz farklı parametre ile sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu hesaplar neticesinde zemin sınıflarının ve yapı davranış katsayılarının yapı performansına etkisinin ortaya koyulması amaçlanmıştır.

Bu çerçevede farklı zemin sınıfları ve bina önem katsayılarının yapı performansına ne raddede etki ettiğinin gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Bunların yanı sıra çalışmada, depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılan performans hesaplama yöntemleri tanıtılmış ve haklarında bilgi verilmeye çalışılmıştır. Spektral ivme değerleri hazırlanırken; Etkin yer ivmesi katsayısı (A_0) yapı 1. Derece deprem bölgesinde yer aldığından A_0=0.4 olarak alınmış ve yapı okul binası olduğundan bina önem katsayısı I = 1.4 olarak alınmıştır (DBYYHY 2007, 2007).

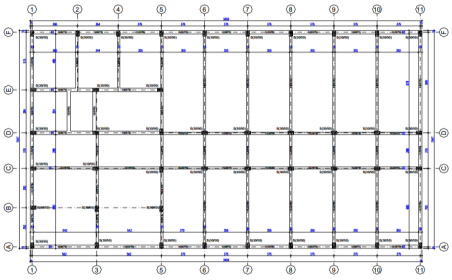
Sonuçların gerçekçi olarak elde edilebilmesi adına 1 Mayıs 2003 Perşembe günü saat 03.29'de Bingöl'de yaklaşık 6.2 Richter büyüklüğünde meydana gelen depremde (Karaşin vd., 2005) göçme oluşan Bingöl Yatılı Bölge İlköğretim Okulu çalışmanın odak noktasını oluşturmaktadır. Okul projesinin tip proje olması münasebetiyle, hazırlanan deprem raporlarında benzer tip projeler ile yapılmış ancak depremi çok daha az hasarla atlatmış yapılar olduğu görülmüştür. Bu durum çalışmanın esas motivasyonu olmuştur.

Performans analizi yapılırken, deprem sırasında yapılardaki en büyük hasarların genellikle yatay deplasman yapan elemanlarda olduğu göz önünde bulundurulmuştur. Bu çerçevede yapının performans analizi için kullanılan metot olan '' Statik Adaptif Pushover'' metodu sonuçları X ve Y doğrultusu için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Statik adaptif pushover metodu kullanılırken kuvvet esaslı değil deplasman esaslı analiz yapılmıştır. Oldukça sık olarak kullanılan kuvvet esaslı metotta düğüm noktalarının yaptığı deplasmanlar analiz sonrası kontrol edildiklerinden potansiyel hasarların kontrol edilmesi güçleşmektedir. Yapıların performanslarının hedef bir deplasman için yapılması hasar potansiyelinin kontrol altında tutulmasını kolaylaştırmaktadır (Yavaş, 2004). Bu çerçevede çalışmada deplasman esaslı statik adaptif pushover metodu kullanılmıştır. Adaptif itme analizi, yapının deformasyonu ve tanımlanan yer hareketinin frekans içeriğinin yapının dinamik davranış özelliklerine olan etkilerini tamamıyla dikkate alarak, yapının yatay kapasitelerini tahmin etmekte kullanılır. Hem binaların hem köprülerin değerlendirilmesinde kullanılabilir. Adaptif itme analizi yaklaşımında, yatay yük dağılımı sabit tutulmak yerine, analiz boyunca her adımda gerçekleştirilen öz değer (eigen value) analizlerinden elde edilen mod şekilleri ve katılım faktörlerine göre güncellenmektedir. Bu yöntem tamamıyla çok modludur ve yapının yumuşaması, periyodun uzaması, spektral amplifikasyona bağlı olarak atalet kuvvetlerinin değişmesi (sahaya uygun spektrum uygulanmasıyla) gibi etmenleri dikkate almaktadır. (SeismoSoft User Manual, 2014)

Sayısal Uygulama

Çalışmada örnek olarak seçilen bina Çeltiksuyu Köyü'nde yer alan ilköğretim okuludur. Bu okul ile ilgili literatürde yer alan bilgiler kullanılarak yapı modellemesi yapılmıştır. Okul binasının taşıyıcı sistemi düzenini veren döşeme kalıp planı Şekil 4.4'te ve okul binasının temel planı ise Şekil 4.5'te verilmiştir. Bina; zemin kat ve iki normal kattan meydana gelmekte olup, toplam üç katlıdır. Plan ise boyutları 17.17m×33.74m olan düzgün bir dikdörtgen

biçimindedir. Kolonlar 0.30m×0.50m, iç kirişler 0.20m×0.70m ve dış kirişler 0.30m×0.70m kesitinde tespit edilmiştir. Döşeme kalınlığı 0.12m'dir. (Celep, 2003)



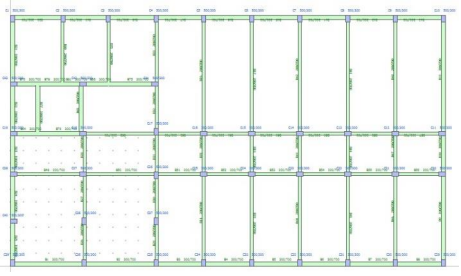
Şekil 1. Okul binasının kalıp planı (Celep, 2003)

Deprem neticesinde okul binasında oluşan deprem hasarı, zemin katın tamamen çökmesi ve diğer iki katta ağır hasar meydana gelmesi şeklinde gözlemlenmiştir. Özellikle kiriş-kolon birleşim bölgelerinde etriyenin bulunmaması ve betonda büyük boyutlarda agrega bulunması, etkiyen yükler karşısında zorlanan kolon ve kiriş kesitlerin kolayca dağılmasına sebep olmuştur. Ayrıca kesitin eğilme momenti kapasitesinin daha depremin başlangıcında kaybolması ve kesitin mafsal türünden bir davranış göstermesine sebep olmuştur. Binanın ağır hasar görmesine bu iki kusurun etkili olduğu tahmin edilmektedir. Genel olarak beton kalitesinin düşük olması ve yeterli donatının bulunmaması, ağır hasara sebep olabilirse de, kat göçmesine ancak büyük deprem etkilerinin sebep olacağı kabul edilebilir. Bu çerçevede betonun düzgün dağılımda ve yeterli dayanımda bulunmasının ve uygun donatı düzeninin sağlanmasının öneminin bir defa daha vurgulanması yerinde olacaktır (Celep, 2003).

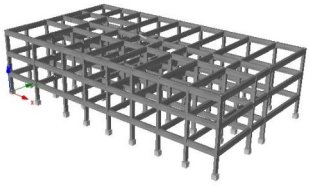
Çeltiksuyu Köyü'nde yer alan Bingöl Yatılı İlköğretim Bölge Okulu'nun taşıyıcı sistemi Bingöl 2003 depreminde önemli hasar görmüş ve yıkılmıştır. Binada en önemli hasar donatı düzenindeki yetersizlik ve beton kalitesindeki olumsuz dağılım olarak görülmüştür. Okulun düzgün bir taşıyıcı sisteme sahip olmasına rağmen, taşıyıcı sistemdeki bu zayıflıklar sonucu ağır hasar meydana gelmiştir. Bu ve benzeri okulların bir kısmının 1998 den sonra inşa edildiği bildirilmiştir. Buna göre Deprem Yönetmeliği'nde daha sıkı kuralar konularak yapılan değişikliğin proje ve imalat bakımından binaya olumlu bir etkisi olamamıştır (Celep, 2003).

İncelenen Binanın Yapısal Özellikleri

Çalışmada incelenen yapı, Bingöl ilinde bulunan Çeltiksuyu Yatılı İlköğretim Bölge Okulu'na ait okul binasıdır. 3 katlı olan okul binası, X doğrultusunda 8 ve 9, Y doğrultusunda ise 3 ve 4 açıklıklı olacak şekilde dizayn edilmiştir. Yapı performansı farklı zemin sınıfları ve yapı davranış katsayıları parametreleri değişken olarak seçilerek hesaplanmıştır. Yapıda kullanılan malzeme C16-S220 olarak belirlenmiştir. Kullanılan kolonlar 30cm*50cm olarak belirlenmiştir. Kirişler ise 30cm*70cm ve 20cm*70cm olarak boyutlandırılmıştır. Yazılım programından elde edilen kalıp planı Şekil 2' de gösterilmiştir. Yapının üç boyutlu modeli ise Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 2. Yazılım programından elde edilen yapı kalıp planı (SeismoStruct v7.0, 2014)



Şekil 3. İncelenen yapının üç boyutlu modeli

Seçilen betonarme bina için yapılan analizlerde tüm zemin sınıfları için (Z1, Z2, Z3, Z4), yapı davranış katsayısının R=4, yapı önem katsayısı I=1.4 olarak seçilmesi durumunda X ve Y doğrultusunda elde edilen tepe noktası yer değiştirmesi ve taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması Tablo 1 ve Tablo 2'de 'de gösterilmiştir.

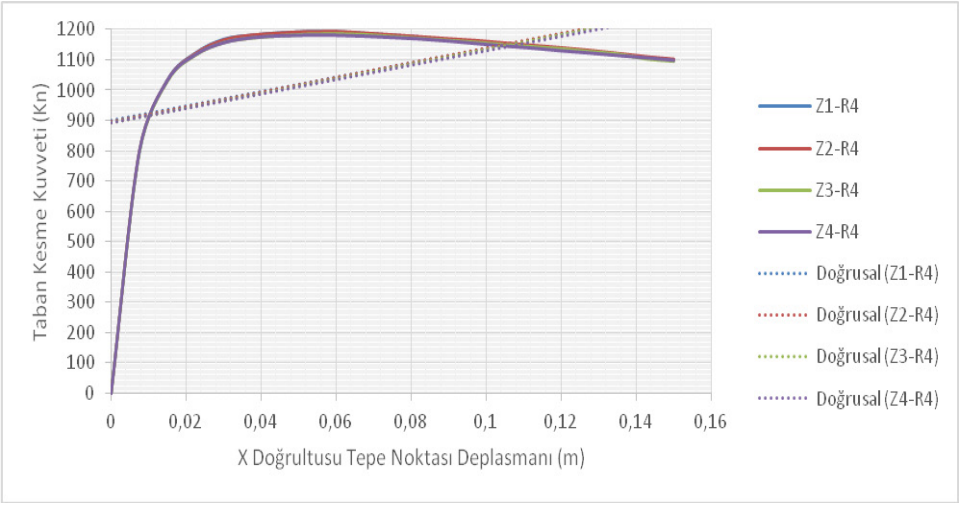
Tablo 1. Tüm zemin sınıflarında R=4 için X doğrultusunda elde edilen tepe yer değiştirme ve taban kesme kuvvet değerleri

Z1-R4		Z2-R4		Z3-R4		Z4-R4	
Tepe Yer Değiştirme (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Yer Değiştirme(m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Yer Değiştirme (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Yer Değiştirme (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
0.0075	794.3911	0.0075	797.4639	0.0075	797.4639	0.0075	797.4645
0.015	1035.391	0.015	1031.907	0.015	1031.018	0.015	1030.454
0.0225	1123.325	0.0225	1120.039	0.0225	1117.608	0.0225	1115.551
0.03	1169.004	0.03	1164.432	0.03	1158.366	0.03	1154.939
0.0375	1182.464	0.0375	1180.742	0.0375	1173.914	0.0375	1171.322
0.045	1190.451	0.045	1187.235	0.045	1180.933	0.045	1177.569
0.0525	1194.618	0.0525	1192.022	0.0525	1185.927	0.0525	1179.976
0.06	1194.225	0.06	1192.327	0.06	1187.263	0.06	1179.404
0.0675	1188.972	0.0675	1187.641	0.0675	1184.649	0.0675	1176.484
0.075	1182.556	0.075	1181.783	0.075	1178.56	0.075	1172.079
0.0825	1176.499	0.0825	1175.288	0.0825	1172.176	0.0825	1167.161
0.09	1166.651	0.09	1168.781	0.09	1165.792	0.09	1160.398
0.0975	1160.118	0.0975	1162.826	0.0975	1159.115	0.0975	1152.128
0.105	1151.024	0.105	1154.849	0.105	1151.377	0.105	1143.97
0.1125	1143.775	0.1125	1147.065	0.1125	1144.815	0.1125	1136.978
0.12	1135.088	0.12	1139.099	0.12	1137.883	0.12	1128.279
0.1275	1125.95	0.1275	1130.66	0.1275	1128.866	0.1275	1121.043
0.135	1118.38	0.135	1120.583	0.135	1120.739	0.135	1113.008
0.1425	1109.283	0.1425	1109.807	0.1425	1104.987	0.1425	1105.503
0.15	1100.824	0.15	1101.406	0.15	1097.307	0.15	1097.113

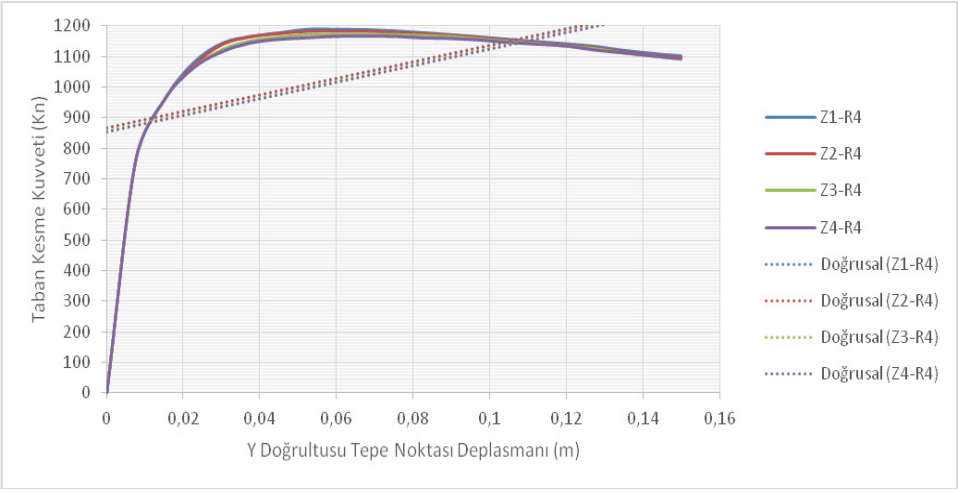
Tablo 2. Tüm zemin sınıflarında R=4 için Y doğrultusunda elde edilen tepe yer değiştirme ve taban kesme kuvvet değerleri.

Z1-R4		Z2-R4		Z3-R4		Z4-R4	
Tepe Yer Değiştirme (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Yer Değiştirme (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Yer Değiştirme (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Yer Değiştirme (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
0.0075	757.222	0.0075	758.7272	0.0075	758.7272	0.0075	758.7346
0.015	958.7896	0.015	959.0421	0.015	959.6261	0.015	957.9498
0.0225	1078.838	0.0225	1070.133	0.0225	1063.279	0.0225	1062.062
0.03	1143.562	0.03	1139.964	0.03	1123.334	0.03	1115.602
0.0375	1166.297	0.0375	1165.585	0.0375	1152.268	0.0375	1144.964
0.045	1178.341	0.045	1176.355	0.045	1165.069	0.045	1156.927
0.0525	1189.671	0.0525	1183.828	0.0525	1173.973	0.0525	1161.968
0.06	1189.57	0.06	1184.104	0.06	1173.364	0.06	1166.554
0.0675	1188.571	0.0675	1183.89	0.0675	1174.362	0.0675	1167.292
0.075	1184.592	0.075	1180.267	0.075	1173.477	0.075	1166.412
0.0825	1178.785	0.0825	1176.123	0.0825	1170.481	0.0825	1161.317
0.09	1172.264	0.09	1170.416	0.09	1166.744	0.09	1159.551
0.0975	1165.066	0.0975	1162.702	0.0975	1159.007	0.0975	1154.35
0.105	1157.1	0.105	1154.152	0.105	1150.883	0.105	1146.46
0.1125	1149.37	0.1125	1146.313	0.1125	1143.814	0.1125	1140.743
0.12	1142.297	0.12	1138.58	0.12	1135.788	0.12	1135.133
0.1275	1133.909	0.1275	1130.023	0.1275	1127.308	0.1275	1121.57
0.135	1120.816	0.135	1116.464	0.135	1113.01	0.135	1112.513
0.1425	1110.882	0.1425	1106.152	0.1425	1103.045	0.1425	1102.325
0.15	1102.654	0.15	1098.307	0.15	1092.884	0.15	1093.551

R=4 ve Z1, Z2, Z3 ve Z4 için X doğrultusunda elde edilen statik adaptif itme eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 4'te verilmiştir. Ayrıca, R=4 ve Z1, Z2, Z3 ve Z4 için Y doğrultusunda elde edilen statik adaptif itme eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 4. R=4 için farklı zemin sınıflarında X doğrultusundaki statik adaptif itme eğrileri



Şekil 5. R=4 için farklı zemin sınıflarında Y doğrultusundaki statik adaptif itme eğrileri

Seçilen betonarme bina için yapılan analizlerde tüm zemin sınıfları için (Z1, Z2, Z3, Z4), yapı davranış katsayısının R=8, yapı önem katsayısı I=1.4 olarak seçilmesi durumunda X doğrultusunda elde edilen tepe noktası yer değiştirmesi ve taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması Tablo 3'te gösterilmiştir. Yapılan analizler neticesinde elde edilen Y yönünde tepe noktası yer değiştirmesi ve taban kesme kuvveti değerleri Tablo 4'de gösterilmiştir.

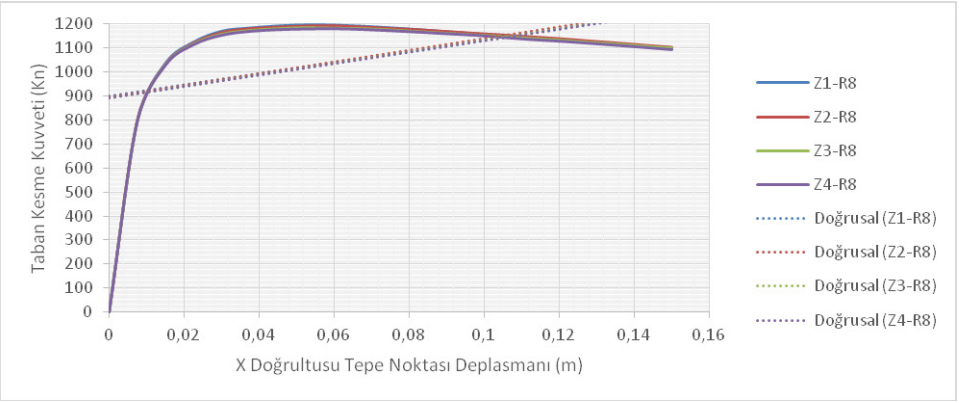
Tablo 3. Tüm zemin sınıflarında R=8 için X doğrultusunda elde edilen tepe yer değiştirme ve taban kesme kuvvet değerleri

Z1-R8		**Z2-R8**		**Z3-R8**		**Z4-R8**	
Tepe Yerdeğiştirme (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Yerdeğiştirme (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Yerdeğiştirme (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Yerdeğiştirme (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
0.0075	794.3911	0.0075	797.464	0.0075	797.464	0.0075	797.4697
0.015	1035.401	0.015	1031.912	0.015	1031.018	0.015	1030.431
0.0225	1123.322	0.0225	1120.043	0.0225	1117.608	0.0225	1115.754
0.03	1169.007	0.03	1164.435	0.03	1158.366	0.03	1155.144
0.0375	1182.705	0.0375	1180.738	0.0375	1173.912	0.0375	1171.267
0.045	1191.131	0.045	1187.089	0.045	1181.463	0.045	1178.412
0.0525	1195.483	0.0525	1191.819	0.0525	1185.617	0.0525	1181.286
0.06	1194.444	0.06	1192.29	0.06	1183.427	0.06	1182.325
0.0675	1189.835	0.0675	1187.532	0.0675	1181.684	0.0675	1179.003
0.075	1183.353	0.075	1181.703	0.075	1176.354	0.075	1174.126
0.0825	1175.726	0.0825	1175.942	0.0825	1169.249	0.0825	1168.023
0.09	1166.77	0.09	1168.954	0.09	1162.467	0.09	1161.448
0.0975	1158.691	0.0975	1161.116	0.0975	1155.653	0.0975	1155.124
0.105	1149.935	0.105	1154.488	0.105	1149.2	0.105	1145.93
0.1125	1141.703	0.1125	1146.789	0.1125	1141.124	0.1125	1137.083
0.12	1133.95	0.12	1139.165	0.12	1134.114	0.12	1130.194
0.1275	1125.331	0.1275	1130.108	0.1275	1125.302	0.1275	1122.16
0.135	1116.432	0.135	1121.252	0.135	1117.419	0.135	1113.365
0.1425	1106.761	0.1425	1112.002	0.1425	1108.81	0.1425	1104.334
0.15	1098.911	0.15	1103.145	0.15	1101.174	0.15	1095.092

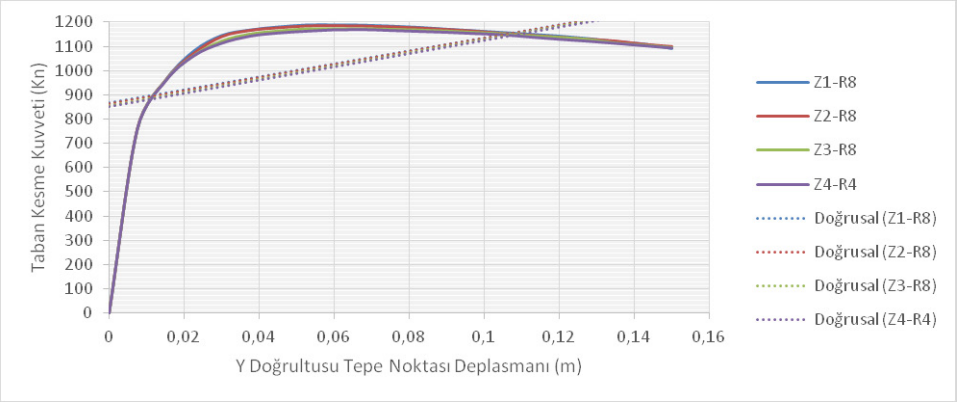
Tabo 4. Tüm zemin sınıflarında R=8 için Y doğrultusunda elde edilen tepe yer değiştirme ve taban kesme kuvvet değerleri

Z1-R8		**Z2-R8**		**Z3-R8**		**Z4-R8**	
Tepe Yerdeğiştirme (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Yerdeğiştirme (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Yerdeğiştirme (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Tepe Yerdeğiştirme (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
0.0075	757.222	0.0075	758.7273	0.0075	758.7273	0.0075	758.7951
0.015	958.7956	0.015	959.0411	0.015	959.6262	0.015	958.0279
0.0225	1078.828	0.0225	1070.131	0.0225	1063.279	0.0225	1062.08
0.03	1143.561	0.03	1139.964	0.03	1123.334	0.03	1114.871
0.0375	1166.401	0.0375	1165.585	0.0375	1152.268	0.0375	1143.928
0.045	1178.925	0.045	1176.353	0.045	1165.119	0.045	1157.016
0.0525	1187.048	0.0525	1183.8	0.0525	1174.008	0.0525	1164.428
0.06	1187.234	0.06	1184.978	0.06	1173.684	0.06	1170.13
0.0675	1186.395	0.0675	1183.533	0.0675	1174.497	0.0675	1171.109
0.075	1182.263	0.075	1180.449	0.075	1172.003	0.075	1167.484
0.0825	1177.132	0.0825	1175.535	0.0825	1169.345	0.0825	1163.807
0.09	1169.912	0.09	1169.365	0.09	1164.797	0.09	1160.016
0.0975	1163.285	0.0975	1162.493	0.0975	1159.391	0.0975	1154.853
0.105	1155.916	0.105	1153.186	0.105	1153.564	0.105	1149.713
0.1125	1149.102	0.1125	1145.64	0.1125	1145.587	0.1125	1139.986
0.12	1141.382	0.12	1137.824	0.12	1139.175	0.12	1131.025
0.1275	1131.329	0.1275	1129.537	0.1275	1130.933	0.1275	1123.254
0.135	1119.075	0.135	1121.743	0.135	1116.073	0.135	1114.473
0.1425	1109.042	0.1425	1108.624	0.1425	1106.872	0.1425	1104.688
0.15	1090.398	0.15	1099.131	0.15	1096.74	0.15	1095.056

R=8 ve Z1, Z2, Z3 ve Z4 için X doğrultusunda elde edilen statik adaptif itme eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 6'te verilmiştir. R=8 ve Z1, Z2, Z3 ve Z4 için Y doğrultusunda elde edilen statik adaptif itme eğrilerinin karşılaştırılması ise Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 6. R=8 için farklı zemin sınıflarında X doğrultusundaki statik adaptif itme eğrileri



Şekil 7. R=8 için farklı zemin sınıflarında Y doğrultusundaki statik adaptif itme eğrileri

Sonuç

İnşaat mühendisliğinin temel amaçlarından biri de üst yapıdan dolayı oluşan yüklerin zemine doğru bir şekilde aktarılmasını sağlamaktır. Bu bağlamda zeminden gelecek tepkimelerinde temel tarafından karşılanması söz konusudur. Dolayısıyla yapı–zemin etkileşimi yapı tasarımında önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada farklı zemin sınıfları ve farklı yapı davranış katsayılarının yapı performansına etkilerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu amaç çerçevesinde 1 Mayıs 2003 Bingöl depreminde yıkılan Çeltiksuyu Yatılı Bölge İlköğretim Okulu örnek bina olarak seçilmiştir. Yapı performansı hesaplanırken statik adaptif pushover analiz metodu kullanılmıştır. Statik adaptif pushover analizi ile yapı özellikleri dikkate alınmaktadır. Çalışmada farklı zemin sınıfları Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 2007'ye göre tarif edilmiş ve farklı yapı davranış

katsayılarıyla birlikte spektral ivme değerleri alınarak analiz gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler neticesinde Z1-R4, Z2-R4, Z3-R4, Z4-R4 ve Z1-R8, Z2-R8, Z3-R8, Z4-R8 olmak üzere 8 ayrı sayısal hesap yapılmıştır.

Dünyanın pek çok yerinde depremlerin beşeri faaliyetler üzerinde oluşturduğu tehdit, yapı ve tesislerin tasarımında depremlerin dikkatli bir şekilde göz önüne alınması için yeterli bir sebeptir. Yerel jeolojik zemin koşullarının sismik hareketlerin karakterlerini doğrudan etkilediği ve değiştirdiği, bu zeminler üzerindeki mevcut yapılar üzerinde hasara sebep olabileceği bilinen bir gerçektir. Bir deprem sırasında oluşan zemin titreşimleri, deprem odağından çevreye yayılacak ve etkileri zemin koşullarına bağlı olarak odaktan uzaklaştıkça değişecek ve genellikle azalacaktır. Zemin koşullarının deprem etkisindeki yapıların davranışını değiştirmektedir. Yöreye özgü zemin hesaplamaları hassasiyetle yapılmalıdır. Özel zemin koşullarına sahip yerleşim bölgelerindeki yapıların maruz kalacakları deprem etkilerinin farklı olabileceği açıkça görülmektedir.

Yapı periyodunu değiştirmek rijitliği etkiler, bu etki ise yapı davranışını doğrudan etkileyen bir faktördür. Yapı kütlesi sabit olmak kaydıyla, rijitlik arttıkça periyot azalmaktadır. Tasarımı yapılan yapının zemin hakim periyodunu dikkate alarak, yapıyı rezonans durumuna getirecek periyodu oluşturacak rijitlik değerinden kaçınmak gerekmektedir. Taşıyıcı sistemin rijitliğine bağlı olarak, yapı periyodu azaltılabilir veya artırılabilir. Bu durum göz önüne alındığında periyodu büyük olan zeminler üzerinde rijit yapıların, küçük olan zeminler üzerinde ise daha esnek yapıların inşa edilmesi rezonans oluşmaması açısından uygun olacaktır. Zemin taşıma gücü azaldıkça yani zemin özellikleri zayıflaştıkça yapı periyot değerlerinde artış meydana gelmiştir. Bu durumda, yumuşak zeminler üzerinde inşa edilen yapılarda, zemin yapı etkileşimin önemli olduğu ve tasarımda mutlaka dikkate alınması gerektiği görülmüştür.

Yapı–zemin etkileşimi denilince üst yapı ile temel zemini arasındaki karşılıklı etkileşim söz konusu olmaktadır. Zemin özellikleri, yapının deprem gibi yüklerden dolayı etkilenmesine sebep olurken, üst yapı yüklerinden dolayı da zeminin dinamik hareketleri etkilenmektedir. Çalışmada kullanılan farklı zemin sınıfları için aynı kalıp planına ve taşıyıcı sisteme sahip ve 2003 Bingöl depreminde ağır hasar görmüş Çeltiksuyu Yatılı Bölge İlköğretim Okulu binası seçilmiştir. Bu bina için farklı zemin sınıflarında farklı kesit tesirlerinin meydana geldiği belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda taşıma gücü düşük olan zemin türleri için taban kesme kuvvetleri Tablo 1-2-3 ve 4'te görüleceği üzere hem X hem de Y doğrultularında azalma meydana gelmiştir. Yapılan çalışmalarda farklı zemin sınıflarının yapı deprem performansına etkileri incelenmeye çalışılmıştır. Çalışmalar süresince kullanılan SeismoStruct yazılımından elde edilen sonuçlar neticesinde ilk hasar bölgelerinin zemin kat kolonlarında olduğu gözlenmiştir. Nitekim Mayıs 2003 Bingöl depreminde yıkılan Çeltiksuyu Yatılı Bölge İlköğretim Okulu'nun yıkılma şekli de zemin katta oluşan göçme ve kısmi göçmeler neticesinde oluşmuştur. Bu durum; suni olarak oluşturulan matematiksel modelin gerçek hayata kıyaslanmasını mümkün kılmakta ve matematiksel modelin başarısını ortaya koymaktadır.

İncelenen yapının matematiksel modelinde ortaya çıkan ilk hasar bölgeleri tüm zemin sınıfları için kat sayısı az olması sebebi ile şekil 3-4-5 ve 6'da gözlemlenebileceği üzere oldukça benzer olarak gözlenmiştir. Gözlemler neticesinde; yapının her ne kadar C16 beton sınıfı ve S220 donatı sınıfı gibi ciddi yapısal problemleri olsa dahi, aynı tip projenin farklı zeminlerde farklı performanslar gösterebileceği fikrini vermektedir.

Katkı Belirtme

Bu çalışma, İbrahim Baran Karaşin'in devam etmekte olan yüksek lisans tezinden alınmıştır.

Kaynaklar

Aydınoğlu M.N, (2007). A Response Spectrum-Based Nonlinear Assessment Tool Practice: Incremental Response Spectrum Analysis (IRSA), *ISET Journal of Earthquake Technology*, 4(1): 169-172.

Celep Z, (2003). *Seismic Safety of the Regional School Building of Bingöl*, http://web.itu.edu.tr/celep/files/18.pdf (Erişim tarihi : 20.10.2016)

DBYYHY 2007, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara*.

Doran B, Akbaş B, Sayım İ, Fahjan Y, Alacalı S.N, (2011). Uzun Periyotlu Bir Yapıda Yapısal Sağlık İzlemesi ve Deprem Performansının Belirlenmesi. *1.Türkiye Deprem Müh. ve Sismoloji Konferansı*, 11-14 Ekim 2011 ODTÜ, Ankara, 43-51.

Işık E., Kutanis M., Bal İ. E., (2015). Displacement of the Buildings According to Site-Specific Earthquake Spectra. *Periodica Polytechnica Civil Engineering,* 60(1), 37-43.Bougrain, L.,

Karaşin A, Karaesmen E, (2005). Bingöl Depreminde Meydana Gelen Yapısal Hasarların İrdelenmesi. *Kocaeli Deprem Sempozyumu, Kocaeli,* 2005. 386-396

Kutanis M. (2001). Yapı-Zemin Dinamik Etkileşimi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora Tezi.*

Liang,N., (2009). Band specific features improve finger flexion prediction from ECoG, *Jornades Argentinas Sobre Interfaces Cerebro Computadora.*

Öncü, M.E. and Şahin Yön, M. (2016), Assessment of nonlinear static and incremental dynamic analyses for RC structures, Computers and Concrete, 18 (6), 1195-1211.

Öncü, M.E. ve Şahin Yön, M., (2016), Betonarme binaların deprem davranışlarının artımsal dinamik analiz yöntemiyle değerlendirilmesi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 7 (1), 23-32.

SeismoStruct v7.0, (2014). A Computer Program for Static and Dynamic Nonlinear Analysis of Framed Structures, *SeismoSoft*. Çevirim içi erişim: http://www.seismosoft.com (Erişim Tarihi : 08.08.2016).

Sucuoğlu H, (2006). 2007 Deprem Yönetmeliği Performans Esaslı Hesap Yöntemlerinin Karşılıklı Değerlendirmesi, *Mühendislik Haberleri*. 444-445: 267-284.

Tuncer Ö, (2008). Betonarme Yapıların Deprem Performansının Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerle Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. *Yüksek Lisans Tezi.*

User Manual S. (2014). Version 7.0. 1. Pavia, Italy. Seismo-Soft Inc. *Supporting Services.*

Yavaş A, (2004). Betonarme Yapıların Deplasman Esaslı Sismik Dizaynı. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora Tezi.*

Yön, B., Öncü, M.E. and Calayır, Y., (2015), Effects of seismic zones and site conditions on response of RC buildings., Gradevinar, 67 (6), 585-596.

The Effect of Soil Conditions on The Seismic Performance of Buildings For Different Structure Behavior Factors

Extended abstract

One of the main objectives of civil engineering is to ensure that the loads caused by the superstructure are transferred to the ground. In this context, ground reactions may covered by foundation. So, structure-ground interaction has an important place in building design. In this study, it is aimed to reveal the effects of different soil classes and different building behavior coefficients on building performance. For this purpose, Çeltiksuyu Regional Boarding Primary School, which was destroyed during the Bingöl earthquake of 1 May 2003, was chosen as a sample building. Static adaptive pushover analysis method is used when building performance is calculated. Static adaptive pushover analysis takes structural features into account. In this study, different ground classes were described according to the Turkish Seismic Code-2007 and analyzed by taking spectral acceleration values together with different building behavior coefficients. As a result of the analyzes made, 8 different numerical calculations are made as Z1-R4, Z2-R4, Z3-R4, Z4-R4 and Z1-R8, Z2-R8, Z3-R8, Z4-R8.

Changing of building period affects rigidity, which is a factor affecting building behavior. By keeping the mass of the structure constant, the period decreases as the stiffness increases. It is necessary to avoid the value of stiffness which will create the period that will lead to the resonance by taking into consideration the ground dominant period of the designed structure. Depending on the rigidity of the structural system, the construction period can be reduced or increased. In this case, it would be appropriate to construct rigid structures on the grounds with large periods and to construct resilient structures on the grounds with small periods. As bearing capacity of soil decreased, the building period values increased. In this case, it has been understood that in buildings constructed on soft floors, the ground structure interaction is important and that design must be taken into consideration.

Structure-ground interaction is the interaction between the superstructure and the foundation ground. Soil properties cause the structure to be affected by loads such as earthquakes. Dynamic behavior of the ground is also affected by the superstructure loads. The Çeltiksuyu Boarding District Primary School building, which had the same formwork plan and carrier system for the different ground classes used in the study and which was heavily damaged in the 2003 Bingöl earthquake, was selected. For this building; It has been determined that different cross-sectional effects occur for different soil classes. As a result of the analyzes made, the base shear forces for the soil types with low carrying capacity decreased in both the X and Y directions.

In the studies done, the effects of different soil classes on the structural earthquake performance have been tried to be investigated. The results obtained from the SeismoStruct software used throughout the studies show that the first damage areas are located on the ground floor columns. As a matter of fact, the demolition of the Çeltiksuyu Regional Boarding Primary School, which was destroyed in the May 2003 earthquake of Bingöl, occurred on the ground floor as a result of collapse and partial collapse. This makes it possible to compare the artificial mathematical model to real life, and demonstrates the success of the mathematical model. The first damage zones emerged in the mathematical model of the studied structure were observed to be quite similar because the storey number for all ground class was few. As a result of observations; Although the construction has serious structural problems such as the C16 concrete class and the S220 reinforcement class, It gives the idea that the same type of project can perform differently on different ground types.

Keywords: *Soil condition, behavior coefficient, RC , Çeltiksuyu, performance*