

DEPREM ETKİSİNDE ZEMİN PARAMETRESİ VE TAŞIMA GÜCÜ DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Ali ATEŞ¹, Burak YEŞİL^{2*}, Baran TOPRAK³

¹Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi,
Konuralp/Düzce, Türkiye

^{2*}Düzce Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye

³Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

Özet

Kaynaşlı (Düzce), Kuzey Anadolu Fay zonunun önemli segmentlerinden Mudurnu civarında 2 kola ayrılan Düzce fayının Kuzey segmenti zonunda yer alan, birinci derece deprem bölgesi niteliklerine sahip bir Pliyo-Kuvaterner çökelme alanıdır. Arazide Standart Penetrasyon Testi (SPT) çalışması yapılmış, laboratuvar deneyleri ile zemin örneklerinin fiziksel-mekanik özellikleri belirlenmiştir. Çalışma alanının deprem etkisinde geoteknik parametrelerinin ve buna bağlı zemin taşıma gücü değerlerinin değişimi araştırılmıştır. Ayrıca deprem etkisinde zemin parametrelerinin değişeceği düşüncesiyle, zeminin içsel sürtünme açısından yola çıkılarak yapıların tasarımına teşkil edecek taşıma gücü parametreleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler:Taşıma gücü, SPT, Kaynaşlı ilçesi(Düzce), Zemin parametreleri

STUDY OF THE INFLUENCE OF EARTHQUAKE GROUND PARAMETER CHANGES AND BEARING CAPACITY

Abstract

Kaynaşlı (Düzce), significant segments of the North Anatolian Fault zone around Mudurnu two bifurcated Düzce fault zone in the northern segment, with the first one Plio-Quaternary depositional characteristics of the seismic zone area. Field Standard Penetration Test (SPT) of the experimental study of physical-mechanical properties of the samples were ground with laboratory experiments. Geotechnical parameters of the study area and the effect of the earthquake on the ground bearing

capacity values were investigated. Also the thought of an earthquake will change under the influence of parameters of the ground floor in the design of structures will form the basis of internal friction bearing capacity in terms of the parameters studied.

Keywords: Bearing capacity, SPT, Kaynaşlı town, soil parameters

1. Giriş

Ülkemizin büyük bir bölümü deprem kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Düzce, tarih boyunca maruz kaldığı depremlerde çok büyük can ve mal kaybına uğramıştır. Ancak, 17 Ağustos 1999 depreminden sonra can ve mal kaybını en aza indirmek için Düzce Belediyesi ile Düzce Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü ortak bir çalışma başlatmıştır. Bu çalışma ile Düzce’de inşa edilen yapılarda bir kalite standardına ulaşılmaya çalışılmaktadır. Ancak, bu aşamada sadece kullanılan malzeme ve betonun miktar ve kalite bakımından yeterli olup olmadığı, inşaatın her aşamasında titizlikle kontrol edilmekte ve gerekli laboratuvar deneyleri ile test edilmektedir

Düzce, son otuz yıl içinde 1999 12 Kasım deprem öncesine kadar çarpık ve hızlı yapılaşmaya maruz kalmıştır. Çalışma alanı, Kaynaşlı Havzası’nın etrafında bulunan Dağlardan kaynaklanan kalın alüvyon yelpazelerle (Kuvaterner) örtülmüştür. Yerleşim alanı birinci derece deprem bölgesinde yer alması ve ilçenin aktif faylar tarafından kesilen alüvyon yelpazeler üzerinde gelişmiş olması nedeniyle deprem tehlikesiyle karşı karşıya kalmış bir durumdadır. Bu çalışma ile olası büyük bir depremde hasarın en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Kaynaşlı alüvyon zemini zayıf jeomühendislik parametrelerine sahiptir. Bu nedenle kuvvetli yer hareketleri ($M > 5.0$) sırasında olumsuz zemin-yapı etkileşimine yol açmaktadır. Çalışmalar yüzeyde yer alan üst toprak zeminle beraber altta yer alan birbirine geçişli olan formasyonların bulunduğunu göstermiştir. Üst zeminde kalınlığı 1.0 m civarında değişen bitkisel toprağın altında kalınlığı 5-8 m arasında değişen siltli kum ve çakıldan oluşan alüvyon tabakası bulunmaktadır. Bu tabakanın altında ise konkordans olarak çakıl ve siltli kum katmanları yer almaktadır.

Gösterilen bu duyarlılık yapıların projelendirilmesi aşamasında başlatılmadığı sürece, amaçlanan hedefe ulaşılması mümkün değildir. İyi bir projelendirme için zemin-yapı etkileşiminin, dolayısıyla da zeminin geoteknik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Düzce Kaynaşlı ilçesinde TOKİ konutları için inşası

planlanan alanda zemin özellikleri ve temel tasarımına teşkil edecek zemin parametrelerinin değişimi araştırılmıştır.

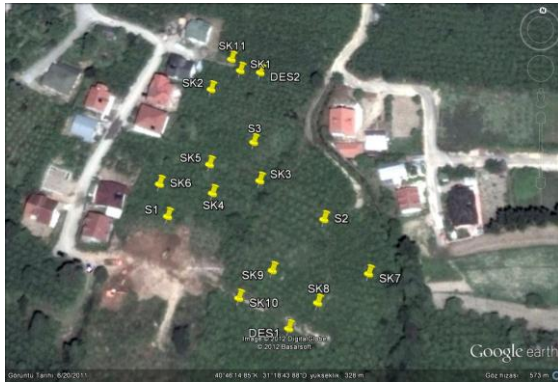
2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma alanı

Düzce İli, Kaynaşlı İlçesi, 1 Pafta ve 294, 295, 596 Parselinde 16.656,44 m² inşaat alanında yapılacak olan 2B+Z+4 katlı 110 konutluk TOKİ inşaat alanının zemin özelliklerini belirlemek amacıyla jeolojik, jeofizik ve jeoteknik zemin ölçümleri yapılmıştır. Çalışma alanı Düzce iline 15 km mesafede, D-100 karayoluna doğu-batı uzanımlı olup bu karayolun güney ve kuzeyi boyunca yayılmış durumdadır. Bu çalışma alanını gösteren harita, Şekil 1’de, uydu görüntüsü ve SPT sondaj görüntüsü Şekil 2 ve 3’te verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanını (Düzce) haritası



Şekil 2. Çalışma alanı uydu görüntüsü [1]

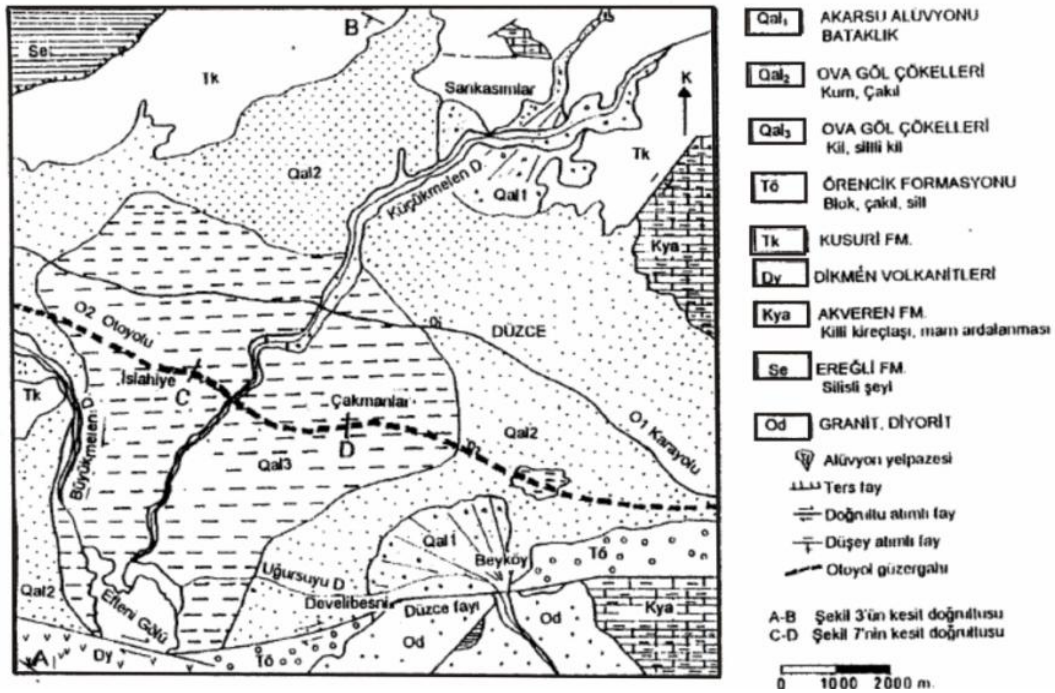


Şekil 3. Çalışma alanında SPT sondaj çalışması

Çalışma alanında, mevsimlere bağlı olarak yüzeysel sular görülmekle beraber yeraltı suyuna rastlanılmamıştır.

2.2. Çalışma alanının jeolojisi

Düzce jeolojik bakımdan IV. Zaman (kuarterler) alüvyon teşekküllerini kapsamaktadır. Alüvyon malzemeler akarsular boyunca oluşmuştur. Ova genel olarak toprak arazi ile kaplıdır. Yamaç, arazi ve tepelerde yer yer volkanik, andazit ve diabaz kayalar ile kesilmiştir. Çalışma alanında, kuvaterner yaşlı alüvyonlar gözlenmektedir ve geniş yayılım gösteren ince elemanlı alüvyonlar, küçük boyutlu, çakıllı, kumlu, siltli, killi, az bloklu, yanal ve düşey geçişli seviyeler birbirleri içinde merceklenmeli, kamalanmalı, gevşek ve tutturulmamıştır. Çalışma alanının olduğu bölgelerde yaklaşık 1.00 m kalınlığında dolgu ve toprak yüzlek verir. Açılan sondajdan alınan örneklerin gözle yapılan tanımlamalardan yukarıdan aşağıya doğru; az kumlu siltli kil, siltli kil kum, siltli iri kumlu kil çakıl, iri kum çakıl serileri geçmektedir (Şekil 4), [2]. Bölgenin kuzeydoğu kısmında da kalker örtülerine rastlanmıştır. Çalışma alanı birinci derece deprem kuşağı üzerinde bulunmaktadır.

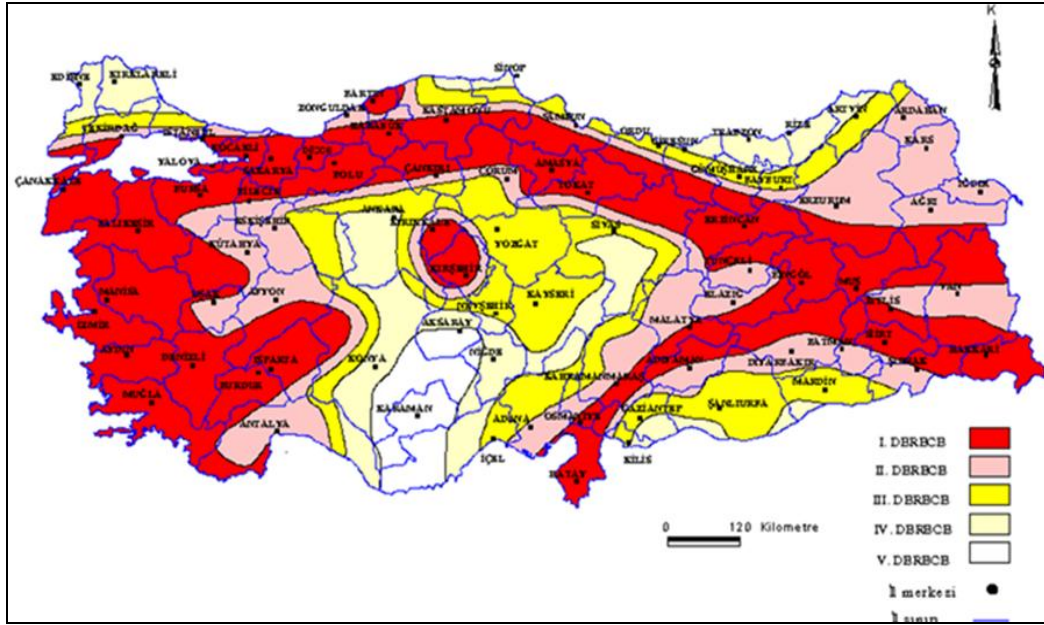


Şekil 4. Çalışma alanının jeoloji haritası [11]

2.3. Depremsellik

Çalışma alanı ve yakın çevresi Bayındırlık ve İskan Bakanlığınca yayınlanan ve 5 bölgeye ayrılmış olan "Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (1996)" na göre 1.

derecede Deprem Bölgesi içinde kalmaktadır (Şekil 5.). Bölgede oluşan depremlerin magnitudü ortalama olarak 7.0 veya daha yüksek olabileceği düşünülmelidir.



Şekil 5. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (1996) [3]

2.3.1. Çalışma alanı ve çevresi diri fayları

Aşağıda çalışma alanını etkileyebilecek en yakın diri faylar hakkında genel bilgiler verilmiştir. Türkiye Diri Fay Haritasında çalışma alanı ve çevresinde 3 adet diri fay mevcuttur [4]. Bunlar;

a) Kuzey Anadolu Fayı

Düzce Havzasım morfolojik olarak Güneyden sınırlandıran bu fay, Akyazı, Kaynaşlı arasında toplam 70 km uzunluğundadır. Birbirini bütünleyen üç alt parçadan (segment) oluşan Düzce Fayı sağ yönlü doğrultu atımlı aktif bir faydır. Akyazı bölümünde Kuvaterner öncesi temel kayalar içerisinde izlenmektedir. Kuzeyde Asya-Avrupa levhası ile güneyde Anadolu levhacığının birbirinden ayıran Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), yaklaşık uzunluğu 1200 km. olan doğrultu atımlı bir fay sistemi olup ülkemizin en önemli tektonik yapılarından biridir. Düzce ve Bolu havzası bu fay üzerinde bulunmaktadır. KAFZ Bolu'nun batısında iki kola ayrılmıştır. Güneydeki kol ise Dokurcun'un batısında tekrar iki kola ayrılmıştır. Kuzey koldaki fay Düzce Fayı diye isimlendirilmiştir. 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremlerinin bu zon üzerinde meydana gelmesi aktivitenin devam ettiğinin bir göstergesidir. Kuzey Anadolu Fay zonunun batı segmentinin Çalışma alanı içindeki kesimi yaklaşık Doğu-Batı doğrultusunda Düzce-Akyazı- Sapanca gölü ve İzmit arasında genellikle sağ yönlü

doğrultu atımlı faylardan oluşan dar bir zon biçiminde gözlenmektedir. Çalışma alanının deprenselliğini bu zon belirlemektedir [2].

b) Düzce Fayı

Düzce Havzasının morfolojik olarak Güneyden sınırlandıran bu fay, Akyazı, Kaynaşlı arasında toplam 70 km uzunluğundadır. Birbirini bütünleyen üç alt parçadan (segment) oluşan Düzce Fayı sağ yönlü doğrultu atımlı aktif bir faydır. Akyazı bölümünde Kuvaterner öncesi temel kayalar içerisinde izlenmektedir. Fayın aktivitesini 17 Ağustos ve 12 Kasım depremleriyle de ortaya çıkmıştır. 17 Ağustos depreminde (M=7.4) gelişmiş olan 130 km. uzunluğundaki yüzey kırığının 30 km'lik doğu bölümü Düzce Fayı bölümünde yer almaktadır. Bu deprem Düzce Fayının Efteni Gölü'ne kadar olan kesiminde gerçekleşmiştir. Düzce Havzası bölümünde ise genelde yine Kuvaterner yaşlı alüvyonlarla temel kayalar arasında dokanak oluşturmaktadır. Günümüz morfolojisinde izlenen drenaj özellikleri, fay sarplıkları, ötelenmiş dere ve sırtlar bu fayın aktivitesini gösteren verilerdir [2].

c) Hendek Çilimli fayı'dır.

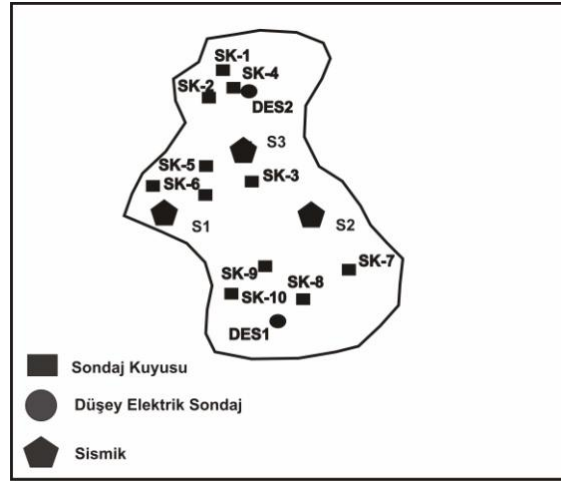
Düzce Havzası batısında Sapanca Gölü- Hendek-Cumayeri arasında uzanan KD-GB uzamlı fay Hendek Fayı olarak bilinmektedir. Sağ yönlü doğrultu atımlı olan bu fay yaklaşık 50 km. uzunluğundadır. Adapazarı Ovasında olası olarak haritalanmış olan bu fay Hendek-Cumayeri arasında 25 km'lik bölümünde morfolojik olarak çok belirgindir. Morfolojide sağ yönde ötelenmeler ve büyük boyutlu basınç sırtlarının gelişmiş olduğu zonda Pliyo-Kuvaterner yaşlı Karapürçek formasyonu fay tarafından kesilmekte, fay bu formasyonla temel kayalar arasında dokanak oluşturmakta, doğu bölümünde ise temel kayalar içerisinde yer almaktadır. 1994 Düzce-Hendek depremi (M=6.5) olasılıkla bu fay üzerinde gerçekleşmiştir. Fay üzerinde son depremlerde Hendek'in kuzeybatısında yüzey yarığı oluşmuştur. Oluşan bu kırık sağ yönlü doğrultu atımlıdır. Kırık boyunca küçük boyutlu deformasyonlar, 2-5 cm. arasında sağ yönlü ötelenmeler gelişmiştir. Fay üzerinde geline ve boyutu ile oransız olan bu yüzey kırılması 17.08.1999 depremiyle Hendek fayı üzerinde aşırı stres birikiminin olduğunu gösteren bir veri olarak kabul edilebilir [2].

Çalışma alanında inceleme sahasının yaklaşık 22,5 km güneyinden KAF'ın güney kolu geçmektedir, bu fay Akyazı, Kaynaşlı arasında toplam 70 km. uzunluğundadır. Kaynaşlı ilçesinin kuzeyinden ise ise 13 km mesafede 72 km

uzunluğundaki düzce fayı geçmektedir. Yaklaşık 63,5 km mesafe kuzeyinden ise 50 km uzunluğundaki hendek fayı geçmektedir.

2.4. Arazi verileri

Zemin araştırmaları yapılan alanda zemin profili ve zemin özelliklerini belirlemek amacı ile statik ve temel mühendislik çalışmaları için gerekli olan parametrelerin belirlenmesine yönelik ASTM ve TSE standartlarına uygun olarak toplam derinliği 220 m olan, 11 örnek noktasında (Şekil 6) alüvyon zemini oluşturan kumlu çakıl tabakalarından örselenmiş örnek, ince taneli siltli çakıllı kum mercceklerinden ise örselenmemiş zemin örneği silindirik tüp numune alıcılar ile açılmış olan temel çukurlarından alınmış ve zeminin fiziksel parametreleri incelenmiştir.



Şekil 6. Çalışma alanı sondaj dağılımı

Sahada gerçekleştirilen sondajlarda her 1,5 m'de bir SPT testleri ile örselenmiş numune ile belirli seviyelerden örselenmemiş (UD) numuneler alınmış ve kuyu içlerinde Standard Penetrasyon Testi uygulanmıştır [12]. Bu teste dış çapı 50.00 mm iç çapı 34.90 mm olan Standard yarık tüp 63,50 kg ağırlığında bir tokmak ile 76,20 cm yükseklikten serbest olarak düşürülmüş ve zemine 15'er cm olarak 3 giriş (45 cm) için vurulması gereken darbe sayıları saptanmıştır.

Sondajların tamamlanmasından 24 saat sonra yeraltı suyu ölçümleri yapılmış ve açılan sondaj kuyularında yeraltı suyuna rastlanmamıştır.

3. Analiz Yöntemi

Deprem etkisinde zemin taşıma gücü hesaplarında kullanılmak üzere ve temel tasarımına esas teşkil edecek parametre değişimlerinin incelenmesi amacıyla Krinitzsky,

Gould ve Edinger [5] Eş.1'i önermiş ve içsel sürtünme açısı parametresi (ϕ) elde edilmiştir.

$$\phi' = \phi - \frac{20 - N}{15} \arctg K_d \quad (1)$$

Daha sonra temel tasarımına teşkil edecek ve taşıma gücü faktörleri değişimlerinin nümerik değerlerini bulmak için Terzaghi [6]'nin önerdiği eşitlik (Eş.2) kullanılmıştır.

$$q_u = K_1 c N_c + \gamma_1 D_f N_q + K_2 \gamma_2 N_\gamma \quad (2)$$

Şekil katsayıları Eş.3 ve Eş.4'de verilmiştir.

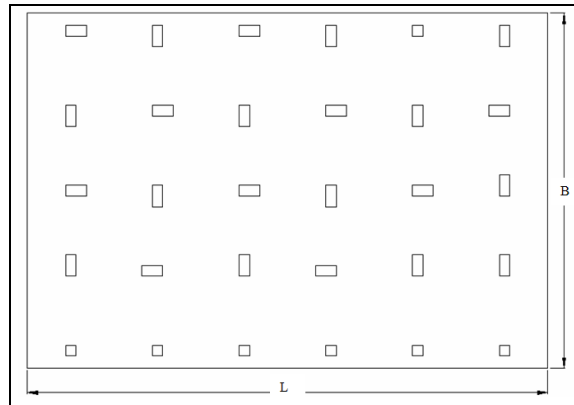
$$K_1 = 1 + 0.2 \frac{B}{L} \quad (3)$$

$$K_2 = 0.5 - 0.1 \frac{B}{L} \quad (4)$$

Bu aşamalardan sonra yukarıdaki parametreler (Eş.1-4) elde edildikten sonra Eş.5 kullanılarak bu çalışmada örnek olarak seçilmiş olan tekil ve radye temelin taşıyabileceği emniyetli yük oransal değişimleri hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{q_u}{F} A \quad (5)$$

Bu çalışmada Kaynaşlı ilçesinde TOKİ konutlarının yapıldığı alanda B1 bloğuna ait yerleşim alanında yapılan SK-1 ve SK-2 sondajlarına ait SPT-N değerleri baz alınmış ve temel tipi olarak plak temel seçilmiş (Şekil 7), aşağıdaki geometrik plak geometrisi baz alınarak sismik parametre değişimleri hesaplanmıştır.



Şekil 7. Deprem esnasında Radye (plak) temelin emniyetle taşıyabileceği yük durumu

4. Arazi Çalışmalarının Değerlendirilmesi

4.1. Deprem tasarım parametrelerinin hesaplanması

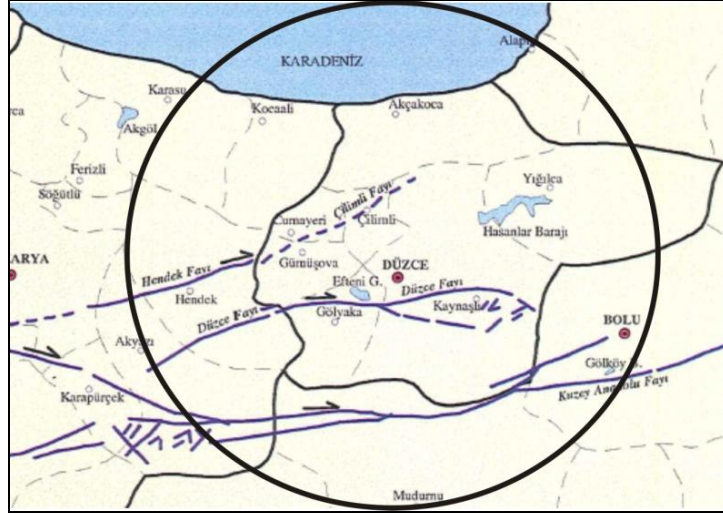
Deprem tasarım parametrelerinin bulunması için, çalışma alanını çevreleyen 100 km yarıçapında bir daire çizilerek, daire içinde kalan ve çalışma alanını etkileyebileceği düşünülen aktif sismik kaynaklara dik çizilerek bu sismik kaynakların çalışma sahasına en kısa mesafeleri kilometre (km) cinsinden ölçülmüştür (Şekil 8) [4]. Çalışma sahasında en yüksek ivme yaratabilecek olan Düzce fay zonu, Mark [7] yaklaşımına göre olası bir depremde 1/3'nün kırılabilmesi yaklaşımıyla, olası tasarım depreminin moment büyüklüğü, Wells ve Coopersmith [8]'in eşitliği kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

$$M_w = 4,86 + 1,32 \log L \quad (6)$$

Bu yaklaşıma göre Fay uzunluğunun, 1/2'nün kırılması durumunda, "Moment Büyüklüğü" 6.9 olarak hesaplanmıştır. Yatay deprem ivmesi ise Türkiye'deki depremleri esas alan ve normal atımlı faylar için geliştirilen deprem atenasyon ilişkisi kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır [9].

$$PGA = 2,18e^{0,0218(33,3M_w - R_e + 7,8427S_A + 18,9282S_B)} \quad (7)$$

Burada; yumuşak zeminler için $S_A=0$, $S_B=1$ alınır, R_e yerleşim alanından ilgili fay zonuna en yakın dikey mesafedir, M_w Deprem büyüklüğüdür. Buna göre, tasarım depreminin meydana getirebileceği "Yatay deprem ivmesi" 0,527g olarak hesaplanmıştır.



Şekil 8. Çalışma sahasına 100 km çap içinde bulunan sismik kaynakların belirlenmesi [4]

4.2. Deprem esnasında B1 bloku plak temelinin emniyetle taşıyabileceği yük ve taşıma gücü değerinin hesaplanması

Çalışma alanı olarak Düzce Kaynaşlı ilçesinde TOKİ konutlarının yapılacağı alan seçilmiştir. Burası Düzce Fayının Kuzey segmenti etki alanına girmektedir, bölge ve alan seçimi deprem riski açısından riskli bir bölgedir. İlgili alanda B1 Blokunun oturacağı alanda 2 adet SPT-N sondajı yapılmış ve bu çalışmanın esas girdisi olmuştur. İlgili Plak temel in oturacağı derinlik kazı derinliği ile 4,5m olarak tasarlandığı için, bu zemin seviyesinde kaydedilen SK-1 ve SK-2'e ait SPT-N değerlerinin ortalaması kullanılmıştır.

Ayrıca bu çalışmada dikkat çekilmesi gereken diğer bir nokta ise depremin oluşturacağı yatay deprem ivmesi, depreme dayanıklı yapı tasarımı hakkındaki yönetmelikte [10], 1. Derece deprem bölgesi için 0,4g hesaplarda kullanılması zorunlu kılınmıştır, ancak deterministik hesaplamalarda (Eş.5) ilgili yönetmelikte belirtilen değer in oldukça üzerinde 0,527g olarak hesaplanmıştır.

Çalışma alanında deprem etkisinde zemine oturan temellerin taşıma gücünün ve emniyetle taşıyabileceği yük değişimlerinin durumu incelenmiş deprem kuvvetlerinin ne kadar attığı ve plak temellerin taşıma gücünün ne kadar düştüğüne dikkat çekilmek istenmiş ve hesaplanarak B1 bloku örnek olarak seçilmiş ve Tablo 1'de sunulmuştur. (B: 19,5 m, L:20,4 m radye temel boyutları olarak alınmıştır.)

Tablo 1. B1 bloku plak temel ine ait sismik parametre ve yük değişimi [11]

Derinlik (m)	SK-1	SK-2	SK-1 N60	SK-2 N60	N60 ort.	Ø	Ø'	Depremden ÖNCE		
	SPT N30	SPT N30						N _c	N _q	N _γ
1,5	13	15	8,775	10,125	9,45	20	6,38	17,7	7,4	5
3,5	15	17	10,125	11,475	10,8	25	13,13	25,1	12,7	9,7
4,5	28	36	18,900	18,000	18,45	28	26,00	31,61	17,81	15,15

Tablo 1.(devam) B1 bloku plak temeline ait sismik parametre ve yük değişimi [11]

Depremden SONRA			q _u	q _u '	P	P'	Değişim Oranı
N _c	N _q	N _γ					
7,73	1,81	0,62	137,034	53,984	18170,57	7158,24	0,606
12,11	4,02	2,23	203,577	89,418	26994,27	11856,79	0,560
27,09	14,21	11,35	264,668	222,072	35094,94	29446,75	0,160

5. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, 2007 Deprem Yönetmeliği'nde zorunlu kılınan deprem riski altındaki yerleşim bölgelerinin için, 0,4g değeri gerçek hesaplamaların çok altında kaldığı deterministik hesapla ortaya konulmuştur. 1. Derece deprem bölgeleri için ilgili yönetmelikte önerilen 0,4g değeri değil de deterministik yöntemle hesaplanan yatay deprem ivmesinin bu bölge için 0,527g olarak kabul edilmesi tarafımızdan önerilmiştir.

Ayrıca bu çalışmada yukarıda metot ve sonuçların değerlendirilmesi bölümünde bahsedilen eşitlikler kullanılarak Düzce ili Kaynaşlı ilçesinde TOKİ inşaat alanında, deprem etkisi altında zeminin içsel sürtünme açının değişeceği ortaya konulmuş, B1 Blokuna ait inşaatın Plak temelinin emniyetle taşıyabileceği yük miktarının ve zemin taşıma gücü değerlerinin yaklaşık %60 oranında azaldığı görülmüştür. Bu durumda taşıma gücü kayıplarının %60 oranında azalması iki alternatifi bize zorunlu kılmaktadır. Şöyleki;

- Zeminin taşıma gücünün yaklaşık %60 oranında artırılması,
- Veya yapının taşıyacağı yükün yaklaşık %60 oranında azaltılmasını gündeme getirmektedir.

Bu durumun göz ardı edilmesi halinde bölgede inşa edilecek yapının deprem etkisinde ayakta kalmaması ya da çok hasar görmesi ihtimali artacaktır. Bu durum zeminin iyileştirilmesi alternatifini gerektirmektedir.

Notasyon			
N	: Standart penetrasyon sayısı	γ_1, γ_2	: Birim hacim ağırlıklar
K_d	: Boyutsuz sismik katsayı	K_1, K_2	: Temel şekil katsayıları
g	: Yerçekimi ivmesi	B, L	: Radye temel boyutları
a_{maks}	: En büyük deprem ivmesi	A	: Temel alanı
c	: Kohezyon	F	: Güvenlik katsayısı
N_c, N_q, N_γ	: Terzaghi taşıma gücü faktörleri	M_w	: Moment büyüklüğü
D_f	: Temel derinliği	L	: Fay uzunluğu
\emptyset	: Deprem öncesi içsel sürtünme açısı	q_u'	: Deprem sonrası taşıma kapasitesi
\emptyset'	: Deprem sonrası içsel sürtünme açısı	P	: Deprem öncesi emniyetle taşıyacağı düşey yük
q_u	: Deprem öncesi taşıma kapasitesi	P'	: Deprem sonrası emniyetle taşıyacağı düşey yük

Kaynaklar

- [1] İnternet: Kaynaşlı ilçesi sınırlarını gösteren bir uydu görüntüsü <http://maps.google.com>.
- [2] M.T.A Genel Müdürlüğü ve Ankara Üniversitesi (A.U), 1999, “17 Ağustos 1999 Depremi Sonrası Düzce (Bolu) İlçesi Alternatif Yerleşim Alanlarının Jeolojik İncelenmesi”, TÜBİTAK Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu Raporu 59s.
- [3] T.C Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, 1996, “Deprem Bölgeleri Haritası”, Harita Genel Komutanlığı basımı.
- [4] Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ., “Türkiye Diri Fay Haritası”, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 1992.
- [5] Krinitzsky, E. L., Gould, J. P., and Edinger, P. H. 1993. “Fundamentals Of Earthquake Resistant Construction”. John Wiley & Sons, New York, NY.
- [6] Terzaghi, K., “Theoretical Soil Mechanics” Wiley, New York.
- [7] Mark, R. K., “Application Of Linear Statistical Model Of Earthquake Magnitude Versus Fault Length In Estimating Maximum Expectable Earthquakes”, Geology, 5: 464- 466, 1977.

- [8] Wells, D.L. and K.J. Coppersmith,” New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, And Surface Displacement”, Bull, Seismol, Soc, America., 84, 974-1002, 1994.
- [9] Ulusay, R., and Tuncay., E., and Sonmez, H., and Gokceoglu C., “An Attenuation Relationship Based On Turkish Strong Motion Data And İso-Acceleration Map Of Turkey”, Engineering Geology. 74: 265–291, 2004.
- [10] ”Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, Yayın tarihi: 06.03.2007, Resmi Gazete No.:26454 Değişiklik : 03.05.2007, Resmi Gazete No.:26511
- [11] Ateş, A., “Jeolojik ve Geoteknik Etüt Raporu”, 15.03.2002 tarihli TOKİ, 2012.
- [12] ASTM D1586 - 11, “Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils”, 1984.