

POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index

Gölyaka (Düzce) imara esas yerleşim alanındaki zeminlerin spt ve sismik hız verileriyle sıvılaşma riskinin araştırılması

Assesment of liquefaction potential of Düzce (Gölyaka) soils using spt and shear wave velocity under the effect of prospective eartquake

Yazar(lar) (Author(s)): *Ali ATEŞ*

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Ateş **A.**, " Gölyaka (Düzce) imara esas yerleşim alanındaki zeminlerin spt ve sismik hız verileriyle sıvılaşma riskinin araştırılması, ***Politeknik Dergisi***, 20(4): 753-763, (2017).

Erişim linki (To link to this article): http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive

DOI: **10.2339/politeknik.368977**

Gölyaka (Düzce) İmara Esas Yerleşim Alanındaki Zeminlerin SPT ve Sismik Hız Verileriyle Sıvılaşma Riskinin Araştırılması

Araştırma Makalesi / Research Article

Ali ATEŞ*

Düzce Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Müh. Bölümü Konuralp, DÜZCE

(Geliş/Received : 03.04.2017; Kabul/Accepted : 06.07.2017)

ÖZ

Düzce konum itibari ile dünyanın ve ülkemizin sismik olarak en aktif kuşağı üzerindedir. Güneyden Arap plakasının Anadolu plakasını altına dalma batma şeklinde hareket ettirmesiyle saatin tersine yönüne hareket ettirerek bölgeyi sismik olarak tetiklemektedir. Sıvılaşma olgusu ülkemizde Erzincan depremiyle literatürümüze girmiştir. 1999 depreminden sonra Düzce özellikle de Sakarya ve Kocaeli zeminlerinde oldukça fazla sıvılaşma vakalarına rastlanılmıştır. Bu çalışmada Düzce ili Gölyaka ilçesi yerleşim alanında 35 noktada SPT (Standard Penetrasyon Test) ve Vs (Kayma dalgası hızları) kaydedilmiştir. Çalışma alanında SPT ve sismik deney noktaları çakıştırılmaya çalışarak sonuçların uyumlu olması sağlanmıştır. Düzce fay zonunun gelecek depremde kırılması halinde üretebileceği deprem moment büyüklüğü M_W=7.2 ve yatay deprem ivmesinin ise a_{maks}=0,53 olması şartlarında sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Sıvılaşma analizleri sonucunda elde edilen sıvılaşma indeksi sonuçlarına göre sıvılaşma haritaları hazırlanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda ilçenin büyük bölümünde sıvılaşma olabileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: **Gölyaka, sıvılaşma, kayma dalgası hızı, SPT.**

Assesment of Liquefaction Potential of Düzce (Gölyaka) Soils Using SPT and Shear Wave Velocity Under The Effect of Prospective Eartquake

ABSTRACT

Duzce city is on the most active and seismic area of Turkey and World as alocation. Arap plate triggers the area seismically diving under the Anatolian plate in the form of moving in the direction of anticlockwise. Soil liquefaction has been an attractive research topic in Turkiye after 1992 Erzincan Earthquake where liquefaction occured. A lot of widespread liquefaction phenomen and liquefaction induced damages were observed in the soils Duzce and more over in Adapazarı soils after 1999 earthquake. A total of 443m drilling was carried out where SPT and Seismic shear waves were performed at 35 points in stusy area in Gölyaka district. It is tried to intersect the points where the SPT and Vs were performed on the same points so that the results should be compatibility. The liquefaction analysis was done taking into account the moment magnitude Mw=6.98 and maximum horizontal acceleration a_{max}=0.53 in the case of the Duzce fault crack at the rate of ½ lenght. At the end of the analysis the liquefaction map was prepared according to the results of the liquefaction severity indexes obtained in this study. In the end, it iwas revealed that the liquefaction was observed about %80 in the wide area of Gölyaka district.

Keywords: **Gölyaka, liquefaction, shear wave velocity, SPT.**

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sıvılaşma olayı genellikle alüvyal zeminlerde ve suya doygun, yer altı su seviyesinin yüksek olduğu zemin ortamlarda meydana gelmektedir. Depremlerde oluşan yatay makaslama dalgalarının indüklemesi sonucunda oluşan zeminlerin drenajsız şartlarında boşluk suyu basıncındaki ani artış ve net gerilmenin ani düşüşüyle meydana gelmektedir. Dolayısı ile depremlerin olması esnasında zemin katmanlarında meydana gelen sıvılaşma durumlarında alt yapı sistemlerine, doğal gaz boruları, su şebekesi, bina temellerine zarar vermekte hatta kullanılamaz hale gelebilmektedir. Bundan dolayı geoteknik deprem mühendisliği konularına ilgi duyan bilim adamları sıvılaşmaya neden olan değişik faktörleri ve sıvılaşmanın olabilirliğini, sıvılaşma potansiyelini ayrıca olması beklenen yapısal hasarları önlemek üzere çözüm üretmek amacıyla ilgi duyarak araştırmalarını bu konulara çevirmiş bulunmaktadırlar. Sıvılaşma olgusu depremin büyüklüğüne odak merkezine yakınlığına, zeminlerin tane boyu dağılımına, zeminlerin kompozisyonuna diğer bir ifade ile ince tane oranına, yer altı su seviyesine, geçmiş jeolojik yaş ve zeminlerin geçirdiği evrelere bağlı olarak meydana gelmektedir. Sıvılaşma olayı ilk kez 1964 Niigata ve Alaskada meydana gelen depremlerde gözlenmiştir. Bu tarihden sonra değişik ülkelerde değişik depremlerde bu tür sıvılaşma olgusu meydana gelmiş ve

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta: aliates@duzce.edu.tr

bilim adamlarının dikkatini çekmiştir. Yine meydana gelen depremlerde sıvılaşma olgusu merak uyandırmış ve bilim adamları bu konuda gerekli araştırma ve gözlemlerde bulunarak fiziksel, matematiksel modelini tanımlayamaya çalışmışlardır. Ayrıca bilim insanları sıvılaşma olayını ampirik olarak da ifade etmeye çaba göstermişlerdir [1].

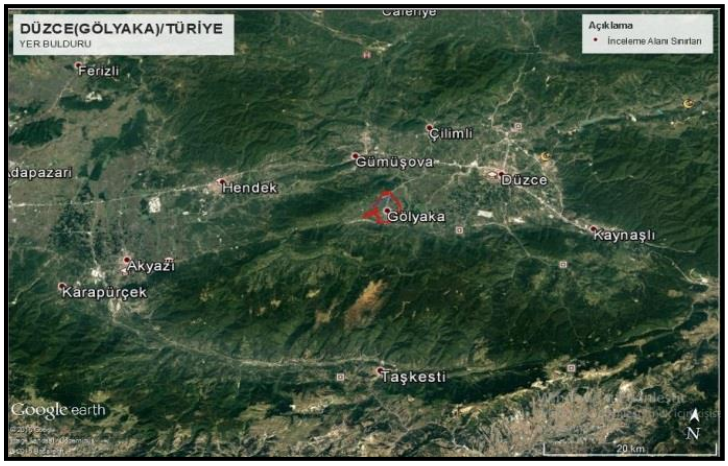
Genel olarak arazi ve laboratuvar çalışmalarına dayanan bu yöntemler sıvılaşma potansiyelinin analizinde kullanılmaktadır. Sıvılaşma potansiyeli, laboratuvar ortamında dinamik üç eksenli, dinamik kesme, sarsma tablası ve sentrüfüj deneyleri ile araştırılabilmektedir [2-8]. Arazi yapılan deneylerden ise Standard Penetrasyon Deneyi (SPT), Koni Penetrasyon Deneyi (CPT), sismik deneyler ile kayma dalgası hızına bağlı (Vs) olarak bulunabilmektedir [9-15].

Bu çalışmada Düzce İli, Gölyaka İlçesi, zeminlerinin jeolojik, geoteknik, jeofizik özelliklerinin ortaya konularak, gelecekde olması beklenen depremlerde sıvılaşma tehlikesinin araştırılması amacıyla SPT ve kayma dalgası hızı (Vs) deneyleri arazide gerçekleştirilmiştir. Gölyaka ilçesi mücavir alan sınırları 1.04ha(10404m²)'lik bir alandır.

Araziden örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmış ve bu numunelerin fiziksel ve geoteknik özellikleri laboratuvarda araştırılmıştır. Sıvılaşama analizlerinin araştırılmasında SPT testi verileri ile yapılan analizlerde Seed ve Idriss [9] tarafından önerilen basitleştirilmiş yöntem, sismik deney verileri ile ise Andrus ve Stoke [14] tarafından önerilen eşitlikler kullanılmaktadır. Ancak yapılan çalışmalarda güvenlik faktörüne bağlı yapılan hesaplamaların (FS) literatürde yeterli olmadığı görülmüştür [11,16, 17] ve bu bağlamda sıvılaşma risk indeksi kat sayısı (Ls) parametresi bulunarak ilçenin sıvılaşma potansiyeli risk haritası ortaya konmuştur. Sıvılaşma risk indeksi Düzce ilinde etkin ve dominant olan Düzce Fayının beklenen depremde kırılması sonucu üretmesi beklenen deprem büyüklüğü Mw=7.2 ve yatay deprem ivmesi a_{maks}=0,51 olması deprem senaryosu şartlarında sıvılaşma haritası hazırlanarak ortaya konulmuştur [17].

2. İNCELEME ALANININ TANITILMASI (DESCRIPTION OF STUDY AREA)

Çalışma alanı, İstanbul(225km) –Ankara(252km) arasında, Düzce ili sınırları içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanında Karadeniz iklimi hâkimdir. Türkiye'nin en zengin bitki örtüsüne sahip yörelerinden olan bölgenin güney kesimi sık ormanlarla kaplıdır. Bölgenin kuzeyi Karadeniz'dir. Orman alanı 20 77.77 hektardır, (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının konum haritası (The map of study area)

3. ÇALIŞMA LANININ JEOLOJİSİM (GEOLOGY OF THE STUDY AREA)

3.1. Genel Jeoloji (General Geology)

Pontidler'in batı bölümünde; Düzce, Yığılca, Almacık Dağı ve çevresi içinde yer alan çalışma alanında, Batı Pontid zonu, Armutlu-Almacık-Arkotdağı zonu ve Sakarya zonuna ait birimler tektonik ilişki içinde birlikte bulunurlar.

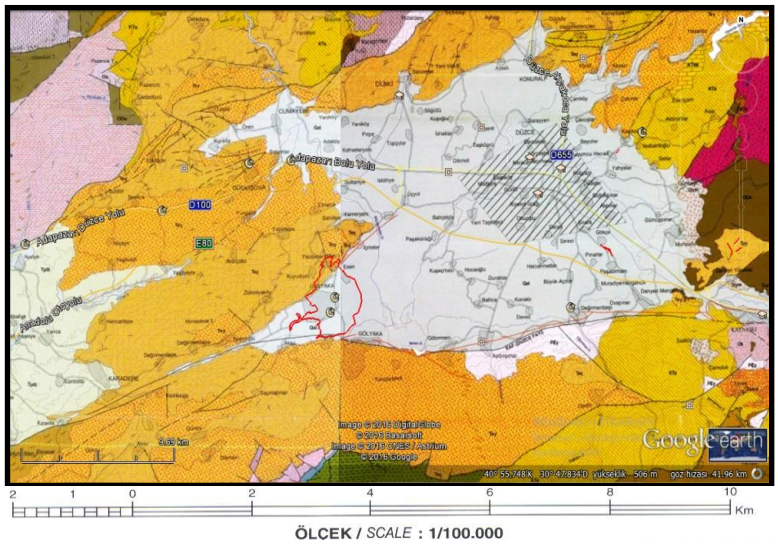
Bölgede Batı Pontid zonuna ait amfibolit, gnays gibi yüksek dereceli metamorfitlerden oluşan Prekambriyen yaştaki Yedigöller Formasyonu ve bunları kesen aynı yaştaki Bolu granitoyidi; bunların üzerine uyumsuz olarak şeyl, çamurtaşı ve kumtaşından oluşan Alt Ordovisiyen yaştaki Kocatöngel formasyonuyla başlayan ''İstanbul Paleozoyik istifi'' gelir. İstifin diğer birimleri yaşlıdan gence doğru sırasıyla kumtaşı, çamurtaşı ve konglomeradan oluşan Alt Ordivisiyen yaştaki Kurtköy Formasyonu, şeyl, kumtaşı ve kireçtaşlarından oluşan Orta Ordovisiyen-Alt Devoniyen yaştaki Ereğli Formasyonu; kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomitten oluşan Orta Devoniyen-Alt Karbonifer yaştaki Yılanlı formasyonudur. Birbirleriyle uyumlu görülen istife ait birimler içerisinde Kurtköy ve Ereğli Formasyonları arasında olması beklenen (çalışma alanı dışında var olan) Alt Ordovisiyen yaştaki kuvarstik kumtaşı, konglomera ve çamurtaşından oluşan Aydos Formasyonu çalışma alanında gözlenememiştir. İstanbul Paleozoyik istifi üzerine açısal uyumsuzlukla karasal çamurtaşı, kumtaşı ve konglomeradan oluşan Permiyen-Triyas yaştaki Çakraz formasyonu gelir. Pontidler'de yaygın olarak görülen Üst Kretase yaştaki ada yayı volkanizması ürünleri ile temsil edilen Yemişliçay Formasyonu, pelajik kireçtaşı ile çamurtaşından oluşan Kapanboğazı

Üyesiyle (Santaniyen-Kampaniyen) birlikte açısal uyumsuzlukla yaşlı birimler üzerine gelir. Geçişli olarak Üst Kampaniyen-Alt Eosen yaştaki kireçtaşlı fliş karakterindeki Akveren Formasyonu, Sermi Kireçtaşı üyesi (Maastrihtiyen-Paleosen) ve Çangaza Volkanit Üyesi ile birlikte devam eder. Almacık dağının içinde bulunan zonda (Armutlu-Almacık-Arkotdağı zonu) ise Akveren formasyonu alttaki birimler üzerinde açısal uyumsuzlukla bulunur. Kumtaşı, silttaşı ve kiltaşı ardalanmaları Alt-Orta Eosen yaştaki Çaycuma Formasyonu(Kaynarca Üyesi'yle birlikte) ile aynı yaştaki volkanit ve Piroklastiklerden oluşan Yığılca Formasyonu da Akveren formasyonuyla geçişli; Akveren Formasyonunun bulunmadığı yörelerde alttaki birimler üzerinde uyumsuz olarak yer alır. Armutlu-Almacık-Arkotdağı zonunda Üst Kretase yaştaki Almacık ofiyolitik melanjı ve bu melanjla tektonik ilişki, İstanbul Paleozoyik istifine ait birimler ile bunların üzerine açısal uyumsuzlukla gelen Üst Kampaniyen-Alt Eosen yaştaki olistostromlu-türbiditik karakterdeki Abant Formasyonu yer alır. Dağlar arası sığ denizi temsil eden Safranbolu havzasının batıya uzanımında ise çakıl taşı, kumtaşı ve çamurtaşından oluşan Üst Daniyen-Tanesiyen yaştaki Kışlaköy Formasyonuna ait Doğanlar Volkanit Üyesi üzerine uyumlu olarak Alt-Orta Eosen yaştaki kireçtaşından oluşan Safranbolu Formasyonu gelir. Çalışma alanı güneyinde Sakarya zonuna ait birimler, sırayla, Alt-Orta Jura yaştaki volkanit-çökel kaya ardalanmalı Mudurnu Formasyonu, bunun üzerinde geçişli olarak kireçtaşından oluşan Kalloviyen-Apsiyen yaştaki Soğukçam Formasyonu, üzerinde uyumlu olarak türbiditik karakterdeki Albiyen-Maastrihtiyen yaştaki Yenipazar Formasyonu(Değirmenözü Üyesi ve Taraklı Üyesi ile birlikte) ve bu formasyonu kesen Üst Paleosen-Alt Eosen yaştaki Meyildere volkaniti ile temsil edilir. Volkanik kayalardan oluşan Alt-Orta Miyosen yaştaki Kirazdağı Volkaniti, Ilıcadere Volkaniti ve Bakacaktepe Volkaniti işe Pliyosen yaştaki karasal kırıntılardan oluşan Örencik formasyonu ve Kuarterner yaşlı çökeller genç birimler olarak görülür.

Üst Kampaniyen -Maastrihtiyen öncesi İstanbul Paleozoyik istifi, Almacık ofiyolitik melanjı üzerine yerleşmiş olmalıdır. Bölgede Miyosen ve sonrası neotektonik hareketler günümüze kadar devam etmektedir [18].

3.2. Stratigrafi (Stragraphy)

Çalışma bölgesi üç zon halinde kabul edilerek, stratigrafi bu doğrultuda oluşturulmuştur. Bu zonlar: 1) Batı Pontid zonu (Üst Kretase-Tersiyer yaştaki birimler ile İstanbul Paleozoyik istifine ait birimler). 2) Armutlu-Almacık-Arkot dağ zonu (Üst Kretase yaşta tektonik ve sedimenter melanjlı). 3) Sakarya zonu (Jura-Kretase-Tersiyer yaştaki birimler) olup aynı yaşta farklı sedimenter ve tektonik özellikte birimlerin varlığı böyle bir ayırıma neden olmuştur. Çalışma alanımız Batı Pontid Zonun da yer aldığından bu zonun detayı aşağıda sunulmuştur, (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanı ve çevresinin genel jeoloji haritası (MTA 2002, Adapazarı - G25-G26 Paftaları) [18] (General geology map of province of Duzce and study area)

3.3 Yapısal Jeoloji (Structural Geology)

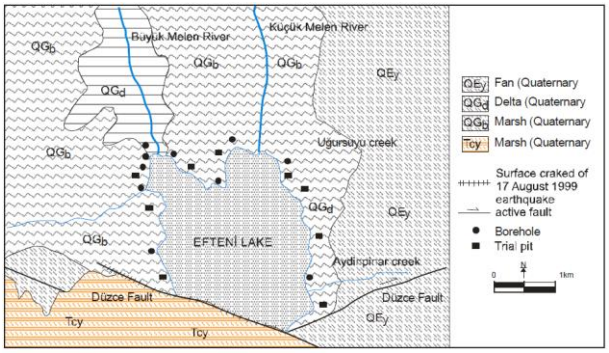
Arabistan ve Avrasya levhaları arasındaki yaklaşık kuzey-güney doğrultusunda yaklaşım sebebiyle, günümüz Akdeniz'ini Basra Körfezine bağlayan Bitlis Okyanusu 14 milyon yıl önce kapanarak kara haline gelmiş, ancak Arabistan levhasının kuzeye doğru hareketi devam etmiştir. Bu hareket sonucunda Avrasya levhasının güney kesimi daralıp yükselerek Doğu Anadolu platosunu oluşturmuştur. Bu süreç yaklaşık 10 Milyon yıl devam ederek Kızıl Deniz'in açılmasına sebep olmuştur. Kızıl Deniz'in açılması ile Arabistan levhasının kuzeye olan hareketi hızlanmış ve bu etkiye daha fazla dayanamayan Avrasya levhasının güneyinde iki büyük kırık kuşağı gelişmiştir. Bunlar yanal atımlı ve sol yönlü Doğu Anadolu Fay kuşağı ve yine yanal atımlı fakat sağ yönlü Kuzey Anadolu Fay Kuşağı'dır (KAF).

Günümüzden yaklaşık 4 Milyon yıl önce meydana gelen bu iki kırık kuşağı ile Anadolu levhacığı oluşmuştur. Bu levhacık 4 milyon yıldan beri batı-güneybatı yönünde yılda 1-3 cm'lik bir hızla hareket etmektedir ve toplam atım (yer değiştirme) 40 km'ye yaklaşmıştır.

KAF doğuda Varto civarından başlar, batıya doğru Karlıova, Erzincan, Lâdik, Ilgaz, Gerede, Bolu ve Mudurnu Suyu vadisi boyunca Dokurcuna kadar tek hat halinde uzanır. Dokurcundan sonra iki ana kola ayrılan bu kuşak güneyde Geyve, Pamukova, İznik, Gemlik, Bursa, Manyas, Yenice, Gönen üzerinden Ege Denizi'ne; kuzeyde ise Arifiye, Sapanca, İzmit Körfezi, Marmara Denizi ve Tekirdağ üzerinden Saros körfezine (Ege Denizi) ulaşır. Bu hat doğu-batı doğrultusunda Varto'dan Saros körfezine kadar 1400 km uzunluğunda ve 0.3-40 km genişliğindedir [18].

3.4. Çalışma Alanı Jeolojisi (Geology of Study Area)

Çalışma alanında yer alan jeolojik birim, ovada, pliyo-kuaterner yaşta Qal(Alüvyon yelpazesi) kuzeyinde ise Çaycuma Formayonu (Teç);Kireçtaşı aglomera tüfit ve marn seviyeli kumtaşı, silttaşı ve kiltaşı ardalanmasından oluşan birimlerden oluşmaktadır [18], (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanının jeoloji haritası (The geology map of study area)

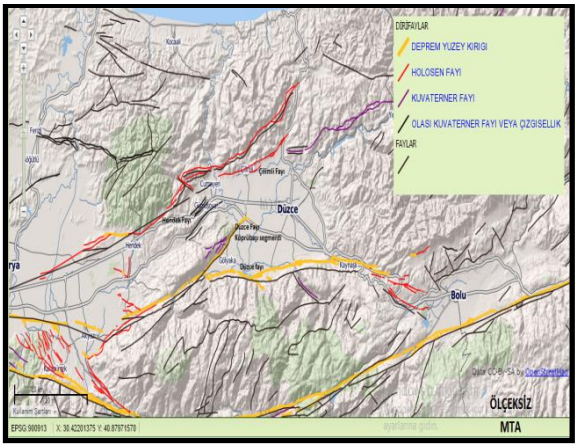
3.5. Depremsellik (Tectonic Setting)

İnceleme alanı depremsellik açısından ülkemizin ve Dünyanın en hareketli ve en tehlikeli bir kuşağı üzerindedir. Ve çalışma alanı Kuzey Anadolu Fay Zonunun etkisi altındadır. Anadolu levhası, Avrasya ve Arap levhasının etkisi ile Helenik Yay tarafına doğru saatin tersi yönde ve Afrika Levhası ise Helenik Yay ve Kıbrıs Yayı boyunca Anadolu levhasının altına doğru ilerlemektedir [19]. Türkiye için oluşturulan Diri Fay Haritasında çalışma alanı ve çevresinde bölgeyi etkileyebileceği düşünülen 3 adet diri fayın mevcut olduğu bilinmektedir [18]. Bunlar;

Asya-Avrupa levhası ile güneyde Anadolu levhacığını birbirinden ayıran Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), yaklaşık uzunluğu 1200 km. olan doğrultu atımlı bir fay sistemi olup ülkemizin en önemli tektonik yapılarından biridir ve bu fay sisteminin çalışma alanını da etkileyeceği bu çalışmanın bir deprem gerçeği olarak bilinmektedir.. 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremlerinin bu zon üzerinde meydana gelmesi aktivitenin devam ettiğinin açık bir işaretidir. Çalışma alanının depremselliğini bu zon belirlemektedir, bu fayın üreteceği deprem parametrelerine göre risk analizi gerçekleştirilmiştir [18].

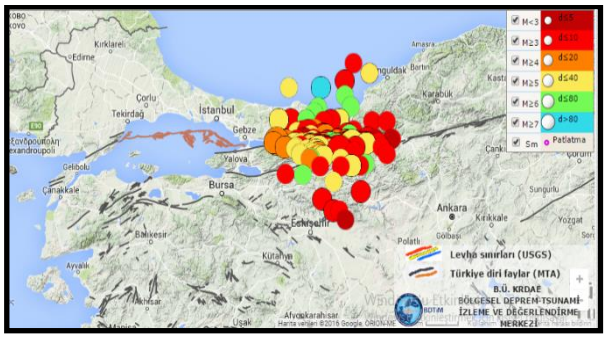
Düzce Fayı ise; Düzce Havzasını morfolojik olarak Düzce ilini Güneyden sınırlandıran bu fay, Akyazı, Düzce arasında toplam 70 km uzunluğundadır. Birbirini bütünleyen üç alt parçadan (segment) oluşan Düzce Fayı sağ yönlü doğrultu atımlı sismik olarak aktif bir faydır. Akyazı bölümünde Kuvaterner öncesi temel kayalar içerisinde izlenmektedir. Bu fay sistemi aktivitesini 17 Ağustos ve 12 Kasım depremleriyle de göstermiştir. 17 Ağustos depreminde (M=7.4) gelişmiş olan 130 km. uzunluğundaki yüzey kırığının 30 km'lik doğu bölümü Düzce Fayı üzerinde yer almaktadır.

Hendek Çilimli Fayı Düzce Havzası batısında Sapanca Gölü- Hendek-Cumayeri arasında uzanan D-GB uzanımlı 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 belirgin olarak mostra vermektedir. Morfolojide sağ yönde ötelenmeler ve büyük boyutlu basınç sırtlarının gelişmiş olduğu zonda Pliyo-Kuvaterner yaslı 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 gerçekleşmiş olduğu bilinmektedir. Fay üzerinde son depremlerde Hendek'in kuzeybatısında yüzey kırığı tesit edilmiş ve gözlenmiştir. Oluşan bu kırık sağ yönlü doğrultu atımlıdır. Kırık boyunca küçük boyutlu deformasyonlar, 2-5 cm. arasında sağ yönlü ötelenmeler gelişmiştir. Fay üzerinde tespit edilen ve boyutu ile oransız olan bu yüzey kırılması 17.08.1999 depremiyle Hendek fayı üzerinde aşırı stres birikiminin olduğunu gösteren bir veri olarak düşünülmektedir [18]. Çalışma alanının etkisi altında olduğu tektonik yapı ve canlı faylar Şekil 4'de sunulmuştur.



Şekil 4. Çalışma alanı tektonik yapı ve Düzce Fayının kolları [18] (The techtonic structure and segments of Duzce Fault)

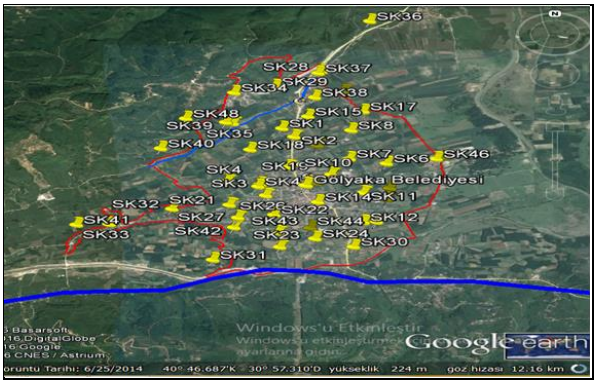
KAF ve etkisi altında olan çalışma alanında geçmişden günümüze kadar tarihsel ve aletsel kayıtlarda bir çok deprem kaydı mevcuttur, (Şekil 5). Bunlardan en önemlileri ve son depremler 17 Ağıstos 1999 (Mw=7.4) ve 12 Kasım 1999 (Mw=7.2) depremleridir.



Şekil 5. Düzce bölgesi aletsel ve tarihi deprem kayıtları [20] (The log of instrumental and historical earthquake data)

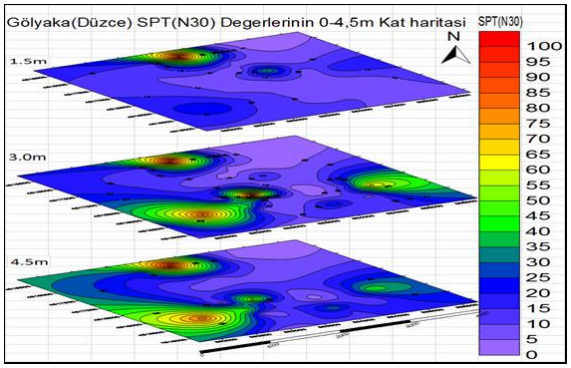
4.ARAZİ ÇALIŞMALARI (FIELD WORKS)

Çalışma alanı Gölyaka ilçesidir, ilçenin zemin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 35 farkı noktada (15,45m-18,45m) değişen metrajlarda ve toplam derinliği 443,30 metre olan 35 adet sondaj çalışması ve sismik kırılma deneyleri kaydedilmiştir, (Şekil 6). İlçenin imar sınırları içinde yapılan sondaj çalışmalarında her 1.5 m.de Standard Penetrasyon Test (SPT) kayıtları alınmıştır ve darbe sayılarının derinlikle değişimi izlenmiştir.

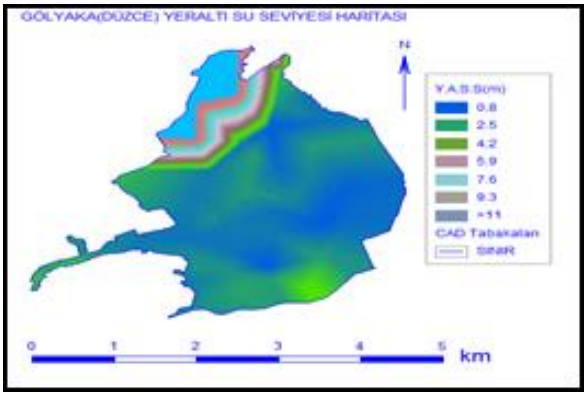


Şekil 6. Arazide sondaj noktalarına ait uydu görüntüsü (The view of satellite belongs to boring locations in study area)

Çalışma alanın genelinde SPT(N30) değerlerinin 3 ila 25 aralığında değiştiği görülmektedir, (Şekil 7). Araziden alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde laboratuvarda zemin indeks deneyleri yapılmış ve numunelerin doğal biirm ahcim ağırlıkları, tane dağılımı buna bağlı olarak zemin sınıflandırılması yapılmıştır. Buradaki zeminlerin Birleştirilmiş Zemin Sınıflama sistemine göre dağılımları genel olarak siltli-killi kum (SM-SC) ve siltli kum (SM) olarak bulunmuştur. Çalışma alanı yeraltı su seviyesi yüzeye çok yakın olarak seyretmektedir. Bu bölge Efteni Gölü ve Asarsuyu havzası etki alanı içerisinde bulunmaktadır. Yeraltı suseviyesi yüzeyden itibaren 0.8 m ila 11 m arasında değişmektedir, (Şekil 8).

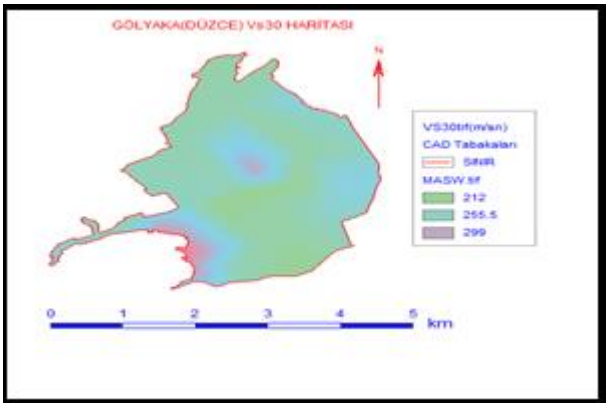


Şekil 7. Gölyaka ilçesi zeminlerinde SPT değerleri (The SPT values in study area)



Şekil 8. Gölyaka ilçesi yeraltısu seviyesi haritası (The map of the water level of undergroundwater in study arae)

Ayrıca Gölyaka ilçesi imar sınırları içerisinde jeofon aralıkları 2 ila 8m arasında değişen 25 adet serimle sismik kırılma deneyleri yapılarak kayma dalgası hızları (Vs) kaydedilmiştir, (Şekil 9). Sondaj noktalarından yapılan deneyler ve alınan numunelerden zeminlere ait SPT-N değerleri, kayma dalgası hızları, yeraltı su seviyesi, zemin sınıfı ve ince tane oranları aşağıda Çizelgede verilmiştir (Çizelge 1). Çalışma alanında her iki deneye ait; SPT ve kayma dalgası hız lokasyonlarının aynı noktalarda çakışması amaçlanmıştır. Böyle bir çalışma ile her iki deney yöntemine göre elde edilen veriler ile yapılan analiz ve hesaplamalar karşılaştırılmıştır.



Şekil 9. Kayma dalgası hızı (Shear wave velocity)

Çizelge 1. Arazi ve laboratuvar verileri (Field and laboratory data)

Sondaj No	Derinlik (m)	Yeraltı Su Seviyesi (m)	Doğal Birim Hacim Ağırlık	Ortalama SPT-N	Ortalama Kayma Dalgası Hızı	İnce Tane Oranı	Zemin sınıfı (USCS)
SK-1	1.0-1.5	1.1	18.31	9	169	68.99	CL
SK-2	1.0-1.5	1.6	18.07	7	162	83.81	CH
SK-3	1.0-1.95	1.4	18.07	14	162	77.5	MH
SK-4	1.5-1.95	1.2	18.10	10	169	76.5	CL
SK-5	1.5-1.95	1.2	18.2	8	171	46.8	SM
SK-6	1.5-1.95	1.1	18.3	18	130	57.8	CL
SK-7	1.5-1.95	1.2	18.3	6	169	89.4	MH
SK-8	1.5-1.95	1.4	18.3	6	190	85.1	CH
SK-9	1.5-1.95	1.1	18.3	37	274	74.9	CL
SK-10	1.5-1.95	1.2	18.3	9	188	76.1	CL
SK-11	1.5-1.95	1.9	18.0	9	182	86.1	CH
SK-12	1.5-1.95	0.90	18.2	10	194	66.1	ML
SK-13	1.5-1.95	1.1	18.2	7	153	36.7	SM
SK-14	1.5-1.95	1.3	18.3	6	210	62.4	ML
SK-15	1.5-1.97	1.1	18.3	7	200	75.2	ML
SK-16	1.5-1.95	1.3	18.0	7	187	74.3	CH
SK-17	1.5-1.95	0.60	-	6	162	83.4	ML
SK-18	1.5-1.95	0.90	18.2	8	147	70.0	CL
SK-19	1.5-1.95	1.1	18.0	9	200	82.2	CL
SK-20	1.5-1.95	1.2	18.2	9	180	77.2	ML
SK-21	1.5-1.95	1.3	18.1	7	251	40.2	GM
SK-22	1.5-1.95	1.2	18.1	10	169	89.3	ML
SK-23	1.5-1.95	1.3	18.0	11	157	42.8	GM
SK-24	1.5-1.95	1.2	-	11	201	86.5	ML
SK-25	1.5-1.95	1.1	18.2	8	247	79.8	GM
SK-26	1.5-1.95	1.1	18.3	10	180	65.8	ML
SK-27	1.5-1.95	1.3	-	11	251	71.4	ML
SK-28	1.5-195	1.4	-	8	169	71.4	ML
SK-29	1.5-1.95	0.90	-	8	157	-	-
SK-30	1.51.95	1.60	18.3	8	201	70.1	ML
SK-31	1.5-1.95	1.30	18.2	25	178	65.8	ML
SK-32	1.5-.195	1.3	-	-	-	41.7	GM
SK-33	1.5-1.95	1.3	18.3	19	254	75.8	ML
SK-34	1.5-1.95	1.2	18.2	12	235	70.8	CH
SK-35	1.5-1.95	1.1	18.0	12	189	76.9	CH

5. SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ (ASSESSMENT OF LIQUEFACTION POTENTIAL)

Zeminlerin sıvılaşma potansiyeli ile ilgili yapılmış yerli ve yabancı bir çok çalışma mevcuttur. Ancak daha çok bu konuda Seed ve Idriss [9] tarafından önerilen "basitleştirilmiş yöntem" olarak bilinen yaklaşım yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda zeminlerin sıvılaşma potansiyeli iki parametreyle açıklanabilmektedir. İlk parametre depremlerin kesme kuvvetine bağlı oluşan dinamik yüklemenin düzeyini gösteren çevrimsel gerilme oranı (CSR) ve diğer parametre ise, zeminlerin deprem yüküne karşı sıvılaşma direncini ifade eden çevrimsel direnç oranıdır (CRR).

Basitleştirilmiş yöntem olarak bilinen deprem esnasında yatay deprem kuvvetinin neden olduğu çevrimsel gerilme oranı olarak bilinen CSR değeri diğer bir ifade ile depremin oluşturduğu talep oranı aşağıda verilen Eş.1'den hesaplanabilmektedir [9].

$$CSR=0{,}65\ (a_{maks}/g)\ (\sigma_v/\sigma'_v)r_d \quad (1)$$

Burada;

a_{maks}:deprem kuvveti tarafından oluşturulan ve yüzeyde etkiyen en büyük yatay yer ivmesini, g:yer çekimi ivmesini, **(**σ_{vo}): toplam düşey gerilmeyi (kN/m2), (σ_{vo}'): efektif düşey gerilmeyi (kN/m2), (**τ_{ave}**): ortalama çevrimsel gerilme dayanımını (kN/m^2), (r_d) gerilme azaltma katsayısını ifade etmektedir.

Efektif Gerilme azaltma katsayısı, Liao ve Whitman [21]'e göre aşağıdaki şekilde belirlenebilmektedir (Eş.2, Eş.3);

r_d =1- 0,00765z z≤9.15 m (2)

r_d=1.174-0.0267 9.15<z≤23 (3)

Burada; (z) metre cinsinden derinliktir.

Çalışma alanı sismik olarak aktif bir bölgedir ve KAF zonu içinde yer almaktadır, hem tarihi kayıtlar hemde aletsel kayıtlar bu bölgenin aktivitesini ortaya koymaktadır. Çalışma alanında etkin olan Düzce Fayı 17 Ağıstos 1999 ve 12 Kasım 1999 depremlerinde 7,4 ve 7.2 büyüklüğünde iki büyük deprem üretmiştir. Muhtemel olası deprem yine Düzce Fayının doğu segmentinin kırılmasıyla gerçekleşeceği tahmin edilmektedir, (Şekil 10). Dünyada olmuş depremlere bakıldığında ilgili fayın segment çalışması yapılmışsa yaklaşık olarak fayın segment uzunluğunun 1/3 oranında kırıldığı tespit edilmiştir. Bu bilgiler ışığında Düzce'de olabilecek deprem içinde Düzce Fayının 1/3 oranında kırılacağı tahmin edilmektedir [22].

Çalışma alanında Düzce fayı üzerinde oluşması beklenen depremin moment büyüklüğü Wells ve Coopersmith [23]'in yaklaşımına göre aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

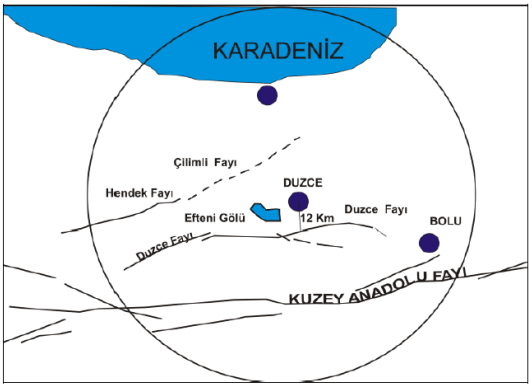
M = 4,86+1,32 Log L (4)

Burada; M:Moment büyüklüğü, L:Fay uzunluğu (km).

Buradan tasarım deprem büyüklüğü Mw=6.89 olarak kabul edilmiş ve maksimum tasarım ivmesi (a_{maks}) Ulusay vd., [24] yaklaşımı ile Türkiye'de olabilecek depremler için önerilen Eş.5 ile 0,51g olarak hesaplanmıştır.

$PGA=2.18^{0,0218(33,3\ Mw-Re+7,8427S_A+18,9282S_B)}$ (5)

Burada; yumuşak zeminler için S_A=0, S_B=1 alınır, Re yerleşim merkezinden ilgili fay zonuna en yakın dikey mesafedir, burada deprem odak merkezi uzaklığı 7 km alınmıştır, M_w Deprem büyüklüğüdür.



Şekil 10. Çalışma alanında 100 km çapında bulunan fayların konumu(The map of fault segments in study area in radius of 100 km)

Buna göre, sıvılaşma analizi hesaplanması amacıyla senaryo depreminin meydana getirebileceği yatay deprem ivmesi 0,51g olarak bulunmuştur. Gölyaka ilçesinin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi amacıyla ilçe imar sınırları içinde kaydedilen sondaj ve sismik veriler kullanılmasıyla çevrimsel direnç oranı (CRR), her iki deney veriler için hem Standard Penetrasyon Testi (SPT) verilerinden elde edilen $(N_1)_{60}$ ayrıca sismik kayma dalgası hızı verileri ile (V_S) hesaplanmıştır.

CRR hesaplanmasında ilk olarak SPT verileri için düzeltilmiş vuruş sayıları ($(N_1)_{60}$) sırasıyla C_N, örtü yükü, C_R, sondaj çubuğu uzunluğu, C_S, kılıf, C_B, sondaj çapı ce C_E ise enerji düzeltme katsayılarına bağlı olarak aşağıdaki eşitlikde verilmiştir (Eş.6). Bu durumda $(N_1)_{60}$:

$(N_1)_{60}=N_{arazi}\ C_N\ C_R C_S C_B C_E$ (6)

C_N örtü yükü düzeltme faktörü Liao ve Whitman [21] tarafından önerilen Eş. 7 ile hesaplanabilmektedir.

$$C_N=\sqrt{\frac{100}{\sigma_P'}} \quad (7)$$

İnce tane oranını etkisinin göz önünde alınması amacıyla SPT vuruş sayılarının zeminin ince tane oranına (FC) etkisinin göz önüne alınması için aşağıda verilen eşitlik, (Eş.8), (Eş.9,Eş.12) ile düzeltilmesi önerilmiştir [25].

$N_{1,60,Cs}=\alpha+\beta N_{1,60}$ (8)

Burada;

FC≤%5 için α=0 ve β=1 (9)

$$\%5<FC<\%35 \text{ için } \alpha=\exp\left(1.76-\frac{190}{(FC)^2}\right) \quad (10)$$

$$\beta=\left[0.99+\left(\frac{FC}{1000}\right)^{1.5}\right] \quad (11)$$

FC≥%35 için α=1 ve β=1,2 (12)

Olarak alınır.

Zeminlerin sıvılaşma dirençlerini gösteren ve moment büyüklüğü Mw=7.5 olan bir deprem için çevrimsel direnç oranını CRR Seed ve Idriss [9] $(N_1)_{60,CS}$ değerine göre aşağıdaki eşitlikdeki (Eş.13) gibi önermiştir.

$$CRR=\frac{1}{34-(N_1)_{60,CS}}+\frac{(N_1)_{60,CS}}{135}+\frac{50}{\left[10(N_1)_{60,CS}+45\right]^2}-\frac{1}{200} \quad (13)$$

Burada; $\boldsymbol{\sigma}'_V$, efektif düşey gerilme olup birimi kPa ile edilir. Youd ve Idriss [26] C_E, C_R ve C_S düzeltme katsayıları bu makalede sırasıyla güvenli bir şahmerdan tipi için enerji düzeltme katsayısı, C_E=0.75, tij uzunluğu düzeltme katsayısı (C_R) tijin uzunluğuna göre sırasıyla 0.75, 0.85, 0.95, ve 1.00 kılıf düzeltme katsayısı standard tip örnek alıcısı için C_S=1.0 olarak verilmiştir. Yine Skempton [27] sondaj çapı düzeltme katsayısı C_B=1.0 olarak kabul edilmiştir.

Bu çalışmalara ilaveten sismik kayma dalgası hızları ile zeminlerin sıvılaşma analizi araştırılmıştır. Andrus ve Stoke [28] araziden elde edilen kayma dalgası hızları ile zeminlerin sıvılaşma direncini ampirik olarak Eş.14 kullanılarak hesaplanabileceğini ifade etmiştir. Bu durumda sıvılaşma direnci;

$$CRR=a\left(\frac{V_{S1}}{1000}\right)^2+b\left(\frac{1}{V_{S1}^*-Vs1}-\frac{1}{V_{S1}^*}\right) \quad (14)$$

Burada; Vs1, düşey efektif gerilmeye göre düzeltilmiş kayma dalgası hızını göstermektedir ve Eş.15 ile hesaplanabilmektedir.

$$V_{s1}=Vs1^*\left(\frac{P_a}{\sigma_p'}\right)^{0.25} \quad (15)$$

Burada; p_a, 100 kpa karşığına denk gelen atmosferik basınç, σ_p' ise düşey efektif gerilmedir ve birimi kPa olarak gösterilir. V_{S1}^*, ince tane oranı bağlı olarak

sıvılaşmanın oluştuğu kayma dalgası hızıdır. Kumsal zeminlerde önerilen eşitlik için V_{S1}^*; aşağıdaki eşitliklerde (16-18) verilmiştir.

İnce tane oranı (FC) ≤5 için;

V_{S1}^*=215 m/s (16)

5<FC<35 için;

V_{S1}^*=215-0,5(FC-5) (17)

FC>35 için;

V_{S1}^*=200 m/s (18)

Burada eşitlikte geçen a ve b sabit kat sayılar sırasıyla 0.022 ve 2.8 olarak verilmiştir.

Bu analizlerin sonunda sıvılaşmanın belirlenebilmesi için sıvılaşma güvenlik faktörünün bulunması gerekmektedir (FS) ve Eşitlik19 kullanılarak bulunabilmektedir. Bu eşitlikten elde edilen güvenlik faktörü; FS>1 olması halinde sıvılaşmanın oluşmayacağı, FS≤1 ise sıvılaşmanın meydana geleceği beklenmektedir.

$$FS=\frac{CRR}{CSR}MSF \quad (19)$$

Eşitlik 19' da verilen MSF, deprem moment büyüklüğü düzeltme katsayısıdır ve Idriss [28]tarafından önerilen eşitlik kullanılarak hesaplanabilmektedir (Eş.20,21).

Deprem büyüklüğü (Mw)>5,2 için;

$$MSF=6.9\exp\left(\frac{-M_W}{4}\right)-0.06 \quad (20)$$

M_W≤5.2 için;

MSF=1.82 (21)

Sıvılaşma analizlerinde bulunan güvenlik faktörleri tek başına sıvılaşmanın belirlenmesinde yeterli olmamaktadır. Sıvılaşma potansiyeli tabakalarının kalınlığını, kütle ağırlığını ve derinliğini analizin içine dahil edecek bir parametreye göre değerlendirilmesi gerekmektedir. Ancak zemin katmanlarında her hangi bir noktada sıvılaşmanın meydana gelmesi ve yüzeye yansıması halinde sıvılaşmanın bir anamolisi ortaya çıkabilecektir ve sıvılaşma anlaşılabilecektir. Bu amaçla her hangi bir noktadaki zeminlerin sıvılaşma potansiyelini daha somut olarak tahmin edebilmek için güvenlik faktörleri ve zeminlerin tabaka kalınlıklarını göz önüne alarak bu zemin profilinin sıvılaşma potansiyeli risk indeksinin (L_S) bulunmasıyla ancak tahmin edilebilecektir. Bu konuda Iwasaki vd. [29] sıvılaşma potansiyelini baz alarak ilk defa zemin katmanlarında olabilecek sıvılaşmanın yüzeye yansımasını sıvılaşma risk potansiyelinin hesaplanmasında işin içine dahil ederek çok düşük, düşük, yüksek ve çok yüksek olarak katagorilere ayırmıştır. Daha sonraki sıvılaşma olgusunun tanınmasından ve gözlenmesinden sonra kazanılmış tecrübelere göre ve Iwasaki vd.[29]'in sınıflandırma ölçeğinde "yok ve orta dereceli sıvılaşma" katagorilerinin olmamasından dolayı sonraki bilim insanları önceki çalışmaları yeniden düzenlemişlerdir [17] (Çizelge 2).

Çizelge 2. Sıvılaşma risk indeksi sınıflandırması [17] (Liquefaction severity index classification)

L_S	Sıvılaşma Potansiyeli
85≤L_S<100	Çok yüksek
65≤L_S<85	Yüksek
35≤Ls<65	Orta
15≤Ls<35	Düşük
0<Ls<15	Çok düşük
Ls=0	Sıvılaşma yok

Bu konuda Sönmez [16] yaptığı ilk çalışmalarda bir zemin tabakasında 20 m derinlik boyunca FS>1.2'den büyük olması şartlarında zeminin sıvılaşmayacağını ortaya koymuştur. Ancak bu nokta tartışmaya açık olması nedeniyle Sönmez ve Gökçeoğlu [17] diğer bir çalışmada sıvılaşma risk indeksi (Ls) parametresini hesaplamak amacıyla Eş.22'de sunulan eşitliği teklif etmişlerdir. Bu durumda Ls;

$$Ls=\int_0^{20} P_L(z)W(z)dz \quad (22)$$

Burada P_L sıvılaşma olabilirliğini veren bir parametredir. P_L sıfır ile bir arasında değişiklik gösteren ve güvenlik faktörünün bir fonksiyonudur ve Eş.23'de sunulmuştur. Bu durumda P_L;

FS ≤ 1.411 için;

$$P_L=\frac{1}{1+\left(\frac{FS}{0.96}\right)^{4.5}} \quad (23)$$

FS≥1.411 için; (Eş.24,25),

P_L=0

z<20 için; W(z)=10-0,5z (24)

z≥20 için; W(z)=0 (25)

Burada; (Ls) sıvılaşma tehlikesi risk indeksi, (z) yüzeyden zemin tabakasının orta noktasına olan mesafe (m), (FS) sıvılaşmayı belirten bir güvenlik faktörüdür.

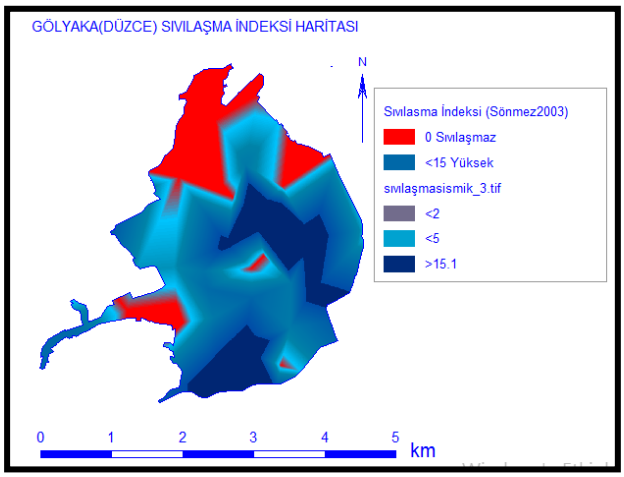
6. GÖLYAKA İLÇESİ YERLEŞİM ALANINDA SIVILAŞMA RİSK HARİTASININ HAZIRLANMASI (LIQUEFACTION SEVERITY MAP OF THE GÖLYAKA DISTRICT)

Gölyaka ilçesinde imara açılması planlanan alanda SPT ve sismik kırılmaya bağlı deneyler yapılmış ve deneyler sonucunda araziden elde edilen veriler ışığında Gölyaka (Düzce) ilçesini etkilemesi düşünülen Düzce Fayının deterministik yaklaşımla M_W=6.98 moment büyüklüğünde bir depremi üretmesi halinde sıvılaşma risk haritası hazırlanmıştır. Çalışma alanında sıvılaşma potansiyeli risk haritası oluşturulurken sıvılaşma indeksi 35 ayrı nokta için hesaplanmıştır ve aşağıdaki Çizelgede verilmiştir(Çizelge 3). Çizelge 3'de verilen bilgiler baz alınarak Şekil 11 ve Şekil 12'de sıvılaşma potansiyeli risk haritası hem SPT ve hemde sismik kayma dalgası hız verilerine göre hazırlanmıştır.

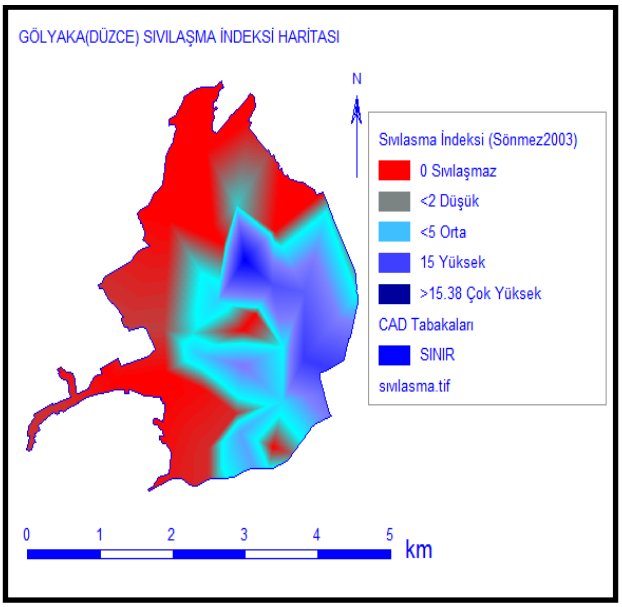
Aşağıdaki Çizelgeye (Çizelge 3) ve Şekil 11 ve Şekil 12'e bakıldığında çalışma alanında Mw=6.98 moment büyüklüğünde ve a_{maks}=0.51g şartlarında bir depremin olması durumunda sıvılaşma riski her iki deney verilerine göre yapılan analizler sonucunda sıvılaşma riskinin yüksek düzeyde meydana geleceği beklenmektedir.

Çizelge 3. Gölyaka ilçesi için sıvılaşma risk indeksi değerleri (The values of liquefaction risk index for Gölyaka district)

Sondaj Lokasyonu No	Yeraltı Su Seviyesi	Sıvılaşma			
		SPT Deneyi		Kayma Dalgası Hızı	
		Ls	Sonuç	Ls	Sonuç
SK-1	1.1	0	Yok	0	Yok
SK-2	1.6	0	Yok	0	Yok
SK-3	1.4	33.72	Düşük	43.84	Düşük
SK-4	1.2	46.02	Orta	40.53	Orta
SK-5	1.2	28.53	Düşük	15.54	Düşük
SK-6	1.1	20.08	Düşük	20.38	Düşük
SK-7	1.2	35.21	Orta	40.02	Orta
SK-8	1.4	0	Yok	0	Yok
SK-9	1.1	32.26	Düşük	28.33	Düşük
SK-10	1.2	0	Yok	0	Yok
SK-11	1.9	6.12	Çok Düşük	7.29	Çok Düşük
SK-12	0.90	14.89	Çok Düşük	12.54	Çok Düşük
SK-13	1.1	23.34	Düşük	17.66	Düşük
SK-14	1.3	51.75	Orta	54.8	Orta
SK-15	1.1	53.7	Orta	64.91	Orta
SK-16	1.3	0	Yok	0	Yok
SK-17	0.60	0	Yok	0	Yok
SK-18	0.90	46.31	Orta	44.90	Orta
SK-19	1.1	54.91	Orta	64.68	Orta
SK-20	1.2	57.35	Orta	64.68	Orta
SK-21	1.3	0	Yok	0	Yok
SK-22	1.2	33.99	Düşük	52.52	Orta
SK-23	1.3	38.61	Düşük	36.01	Orta
SK-24	1.2	17.7	Düşük	23.75	Düşük
SK-25	1.1	0	Yok	0	Yok
SK-26	1.1	22.44	Düşük	32.1	Düşük
SK-27	1.3	0	Yok	0	Yok
SK-28	1.4	0	Yok	0	Yok
SK-29	0.90	0	Yok	0	Yok
SK-30	1.60	0	Yok	0	Yok
SK-31	1.30	30.87	Düşük	33.81	Düşük
SK-32	1.3	0	Yok	0	Yok
SK-33	1.3	18.99	Düşük	18.99	Düşük
SK-34	1.2	0	Yok	0	Yok
SK-35	1.1	0	Yok	0	Yok



Şekil 11. SPT verileri ile sıvılaşma risk haritası (SPT) (Liqueafcation severity map with SPT data)



Şekil 12. Kayma dalgası verileri ile sıvılaşma risk haritası (Vs) (Liqueafcation severity map with shear wave velocity data)

7. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Çalışma alanı ülkemizin Kuzey Batı diğer bir ifadeyle Doğu Marmara bölgesinde yer almaktadır. Bu bölge sismik olarak aktif bir bölgedir. 17 Ağıstos ve 12 Kasım 1999 depremleri Düzce Fayı üzerinde gerçekleşmiştir. Gölyaka (Düzce) ilçesinde imar çalışmaları kapsamında yerleşime açılması planlanan 10404 m^2 alanda sıvılaşma potansiyel riski araştırılmış ve bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

1.Muhtemel bir depremin meydana gelmesi yine Düzce Fayının doğu segmenti üzerinde olacağı tahmin edilmektedir.

2.Düzce Fayının kırılacağı ve bu fayın Mw=6.98 ve a_{maks}=0.51 g büyüklüğünde gerçekleşeceği beklenmektedir.

3.Çalışma alanında imara açılması planlanan alan için SPT ve sismik hız verilerine göre ayrı ayrı sıvılaşma analizleri yapılmıştır.

4.Bekelenen depremde Düzce Fayının üreteceği deprem büyüklüğü parametreleri göz önüne alınarak sıvılaşma risk indeksleri hesaplanmış ve ilçe yerleşim alanında yüksek düzeyde sıvılaşmanın gerçekleşeceği ortaya konulmuştur.

5.Çalışma alanında hem SPT hemde kayma dalgası hız verileri ile elde edilen sıvılaşma risk indekslerinin birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

Bu araştırmanın imar çalışmaları kapsamında çalışma alanının yerleşime açılması konusunda uygulama alanında çalışan mimar ve mühendislere ve Belediye imar çalışmalarına ve depreme dayanıklı konut tasarlama ve inşaa etme konularında yarar sağlayacağı beklenmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmada katkılarından dolayı Gölyaka Belediyesi Başkanlığı'na ve İmar ve Şehircilik Müdürlüğü yetkililerine teşekkür ederim.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1.Youd T.L. and Perkins D.M., "Mapping liquefaction- induced ground failure potential", ***Journal of Geotech Eng Div.***, 104(4): 443–446, (1978).

2. Kramer S.L. and Mayfield R.T., "Return period of soil liquefaction", ***Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Eng.***, 133(7),: 802–813, (2007).

3. Kramer S.L., "Geotechnical earthquake engineering", ***Prentice-Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics***, (1996).

4. Ishihara K., "Soil behaviour in earthquake geotechnics", ***The Oxford Engineering Science Series, Oxford***, (1996).

5. Liu H.and Qiao T., "Liquefaction potential of saturated sand deposits underlying foundation of structure", ***Proceeding of 8th World Conference on Earthquake Engineering***, San Francisco, 3: 199-206, (1984).

6. Elgamal A.W., Dobry R. and Adalıer K., "Small-scale Shaking Table Tests of Sturated Layered Sand-Silt Deposits", ***2nd U.S-Japan Workshop on Soil Liquefaction***, Buffalo***, N.Y., NCEER Rep***. No. 890032, 233-245, (1989).

7. Lambe P.C., "Dynamic Centrifuge Modelling of a Horizontal Sand Stratum", ***M. Sc. D Thesis***, Dept. Of Civil Engineering, Mass. Inst. Technology, Cambridge, Mass. USA, (1981).

8. Husmand B., Scott F. and Crouse C.B., "Centrifuge Liquefaction Tests in a Laminar Box", ***Geotechnique***, 38 (2): 253-262, (1988).

9. Seed H.B. and Idriss I.M., "Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential"***, Journal of Soil Mech. Foundation Div., ASCE***, 97 (9): 1249–73, (1971).

10. Tokimatsu K. and Yoshimi Y., "Empirical correlation of soil liquefaction based on SPT N-value and fines content", ***Soils and Foundations***, 23(4): 56–74, (1983).

11. Iwasaki T., Tokida K. and Tatsuoka F., "Soil liquefaction potential evaluation with use of the simplified procedure", ***International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics***, St. Louis, 209–214, (1981).

12. Suzuki Y., Koyamada K. and Tokimatsu K., "Prediction of liquefaction resistance based on CPT tip resistance and sleeve friction", ***Proceedings XIV International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering***, Hamburg, Germany, 603–606, (1997).

13. Stokoe K.H., Roesset J.M., Bierschwale J.G. and Aouad M., "Liquefaction Potential of Sands from Shear wave Velocity", ***Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering,*** Tokyo, Japan, 3: 213-218, (1988).

14. Andrus R.D., Stokoe II KH., "Liquefaction resistance of soils from shear wave velocity", ***Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Eng***., 126 (11): 1015–1025, (2000).

15.Işık, A.,Ünsal N.,Gürbüz, A. Ve Şişman E. " Fethiye yerleşim alanındaki zeminlerin SPT ve kayma dalga hızı verileriyle sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi", ***Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,*** 31(4): 1027-1037, (2016).

16.Sönmez H., "Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol-Turkey)", ***Environmental Geology***, 44 (7): 862–871, (2003).

17.Sönmez H. ve Gökçeoğlu C., "A liquefaction severity index suggested for engineering practice", ***Environmental Geology***, 48, 81–91, (2005).

18.M.T.A, Genel Müdürlüğü ve Ankara Üniversitesi (A.U), "17 ağustos 1999 depremi sonrası düzce (bolu) ilçesi alternatif yerleşim alanlarının jeolojik incelenmesi", ***TÜBİTAK Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu Raporu***, Ankara, (1999).

19.Şengör A.M.C., Yılmaz Y., "Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach", ***Tectonophysics,*** 75: 181-241, (1981).

20.Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem –Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/tr/,(2016).

21.Liao, S.S.C. and Whitman, R.V., "Overburden correction factors for SPT in sand", ***Journal Of Geotechnical Engineering***, ***ASCE***, 112 (3): 373-377, (1986).

22.Mark R. K. , "Application of linear statistical model of earthquake magnitude versus fault length ın estimating maximum expectable earthquakes", ***Geology***, 5: 464- 466, (1977).

23.Wells, D.L. and K.J., "Coppersmith, New empirical relationships amoung magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement", ***Bull, Seismol. Soc,*** 84: 974-1002, (1984).

24.Ulusay R., Tuncay E., Sonmez H. and Gokceoglu C., "An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey", ***Engineering Geology,*** 74: 265–291, (2004).

25.Youd T.L., Idriss I.M., Andrus R.D., Arango I., Castro G., Christian J.T., Dobry R., Liam Finn W.D., Harder L.F.Jr., Hynes M.E., Ishihara K., Koester J.P., Laio S.S.C., Marcuson WF III., Martin G.R., Mitchell J.K., Moriwaki Y., Power M.S., Robertson P.K., Seed R.B. and Stokoe K.H., "Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils", ***Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Eng***., 127 (10): 817–833, (2001).

26.Youd T.L. and Idriss I.M., "Summary Report, Proc. of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils", ***NCEER Report No 97-0022***, (1997).

27.Skempton A.W., "Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, aging and overconsolidation", ***Geotechnique,*** 36 (3): 425-447, (1986).

28.Idriss I.M., "Presentation notes: An update of the Seed-Idriss simplified procedure for evaluating liquefaction potential, TRB Workshop on New Approaches to Liquefaction Anal", ***Publ. No FHWARD***- 99-165, Federal Highway Administration, Washington, D.C., (1999).

29.Iwasaki T., Tokida K., Tatsuoka F., Watanabe S., Yasuda S. and Sato H., "Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods", ***Proceedings of the 3rd International Conference on Microzonation***, Seattle, 3: 1319–1330, (1982).