

Hazar Gölü'ndeki (Elazığ/Doğu Türkiye) çökellerin mühendislik özelliklerine ve sualtı kütle hareketlerine genel bir bakış

An overview engineering properties of sediments and submarine mass movements in the Hazar Lake (Elazığ/Eastern Turkey)

Yasemin ASLAN TOPÇUOĞLU^{1,a}, Zülfü GÜROCAK^{*1,b}

¹ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Elazığ/TÜRKİYE

• Geliş tarihi / Received: 12.03.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 29.04.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 17.06.2021

Öz

Bu çalışmanın amacı, Doğu Anadolu Fay Zonu içerisinde yer alan ve Türkiye'nin önemli tektonik göllerinden birisi olan Hazar Gölü yamaçlarındaki çökellerin ve yamaçlarda belirlenen su altı kütle hareketlerinin mühendislik özelliklerinin belirlenmesidir. Bu amaçla, gölde gerçekleştirilmiş olan yüksek çözünürlüklü sığ-sismik veriler kullanılarak belirlenen noktalardan alınan örselenmemiş zemin örneklerinde laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, akarsuların Hazar Gölü'ne boşaldığı alanlardaki zeminler inorganik iri silt (MLN), gölün orta kesimlerinde ise yüksek plastisiteli silt (MH)'dir. Zeminlerin doygun birim hacim ağırlık değerleri derinlikle artarken, porozite ve boşluk oranı değerleri ise azalmaktadır. MLN sınıfı zeminlerin dayanımı MH sınıfı zeminlere göre oldukça yüksektir. MH sınıfı zeminlerin dayanımı ise yeterince sıkılaşma olmadığından oldukça düşüktür. Hazar Gölü'ne ait sismik profillerde, eğimin dik olduğu yamaçlarda zemin kalınlığı maksimum 3 m civarında iken, eğimin daha az olduğu yamaçlarda zemin kalınlığı 10 m'ye kadar ulaşabilmektedir. Zemin kalınlığının fazla olduğu yamaçlarda, özellikle zeminin kendi ağırlığı ile gelişmiş su altı kütle hareketleri mevcuttur. Bu kütle hareketleri, plastik deformasyon izlerinin ve dairesel kayma yüzeylerinin açıkça görülebildiği slump tipi kaymalardır. Hazar Gölü yamaçlarındaki zeminlerin oldukça düşük dayanımlı olduğu göz önüne alınır, bu kütle hareketlerinin çökellerin kendi ağırlığının etkisiyle kayarak oluştuğunu ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)'nda meydana gelen depremlerin de bu kütle hareketlerini kolaylaştırdığı söylenebilir.

Anahtar kelimeler: Doğu Anadolu fay zonu, Elazığ bölgesi, Hazar gölü, Sualtı kütle hareketi, Zemin

Abstract

The aim of this study is to determine the engineering properties of the sediments and the submarine mass movements that are formed in the one of the most important tectonic lake of Turkey, Hazar Lake, located in the East Anatolian Fault Zone. For this purpose, laboratory experiments were carried out on undisturbed soil samples taken from the points that were determined by using high-resolution seismic data of the lake. According to the results of the experiments, the soils at the areas where streams discharge into Hazar Lake are Non-Plastic Course Silt (MLN), and around the mid-parts of the lake is High Plastic Silt (MH). Dry unit weight values of soils increase with depth, while porosity and void ratio values decrease. The strength value of MLN is much higher than MH type soils. The strength of MH type soil is quite low since it is not tightened enough. In the seismic profiles of Hazar Lake, the soil thickness is about maximum 3 m on steep slopes, while the soil thickness can reach up to 10 m on slopes having lower dips. On the slopes where the soil thickness is higher, submarine mass movements developed by the own weight of the soil especially. These types of mass movements are slump-type slides in which traces of plastic deformation and circular failure surfaces are clearly visible. Considering that the soil strength on the slopes of Hazar Lake are very low, it can be said that these mass movements were formed by the weight of the sediments and, the earthquakes that took place in the Eastern Anatolian Fault Zone (DAFZ) also catalyze these mass movements to occur.

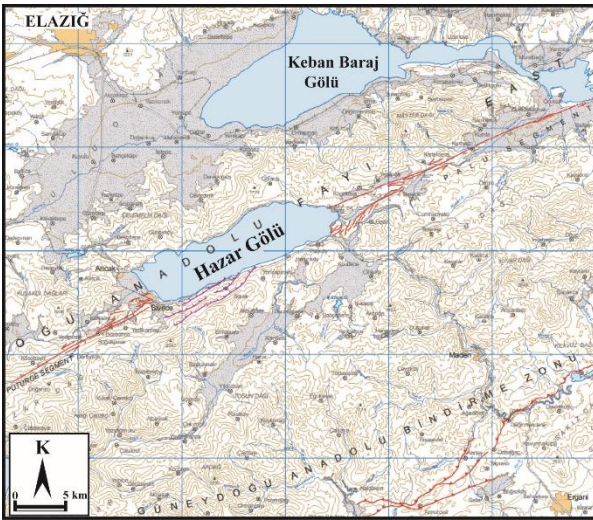
Keywords: East Anatolian fault zone, Elazığ region, Hazar lake, Submarine mass movement, Soil

*b Zülfü GÜROCAK; zgurocak@firat.edu.tr, Tel: (0532) 355 36 47, orcid.org/0000-0002-1049-8346

a orcid.org/0000-0002-3135-5926

1. Giriş

Torid tektonik birliğinin doğu kesiminde (Ketin, 1966) Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) üzerinde yer alan Hazar Gölü (Şekil 1), jeolojik konumu ve oluşum şekli bakımından günümüze değin birçok araştırmacının dikkatini çekmiş ve bölgede farklı jeolojik amaçlara yönelik olarak birçok çalışma (Huntington, 1902; Arpat ve Şaroğlu, 1972; Perinçek, 1979a, 1979b; Hempton vd., 1983; Dunne ve Hempton, 1984; Hempton, 1984, 1985; Jackson ve McKenzie, 1984; Yazgan, 1984; Sungurlu vd., 1985; Şengör vd., 1985; Herece ve Akay, 1992; Lyberis vd., 1992; Şaroğlu vd., 1992; Gürocak, 1993; Kaya, 1993, 2004; Nalbant vd., 2002; Çetin vd., 2003; Westaway, 2003; Kaymakçı vd., 2006; Yılmaz vd., 2006; Aksoy vd., 2007; Duman ve Emre, 2013; Kaymakçı vd., 2010; Köküm ve İnceöz, 2018) gerçekleştirilmiştir. Jeolojik olarak ilgi çeken ve çok fazla araştırmanın yapıldığı Hazar Gölü ve çevresinde yapılan bu çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmaların genel olarak Hazar Gölü'nün oluşumu, DAFZ'nin yapısal özellikleri, bölgenin jeolojisi ve jeodinamiği ile ilgili olduğu görülmektedir. Doğrudan Hazar Gölü ile ilgili çalışmalar (Moreno vd., 2011; Aslan, 2013; Eriş, 2013; Eriş vd., 2018a, 2018b; Bal Akkoca vd., 2019; Canpolat vd., 2020) ise 2010 yılından itibaren hız kazanmıştır. Bu çalışmalar, genel olarak Paleo-iklim, sedimantoloji ve jeokimya konularındadır. Hazar Gölü'nün oluşumundan günümüze değin gölün yamaç ve tabanında çökelen ve hala çökmeye devam eden çökellerin mühendislik özellikleri ve Hazar Gölü yamaçlarında varlığı sismik verilerle ortaya konan sualtı kütle hareketleri konusunda ise günümüze değin yapılan herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.



Şekil 1. Hazar Gölü'nün yer belirleme haritası (MTA, 2012)

Dünya'da özellikle 1980'lerden sonra denizaltı sedimentleri ve kütle hareketleri konusunda yapılan çalışmaların (Auffret vd., 1982; Cochonat vd., 1993; Lee vd., 1993; Mulder vd., 1994; Elverhøi vd., 1997; Imran vd., 2001a, 2001b; Kim ve Kim, 2001; Hühnerbach ve Masson, 2004; Rajasekaran, 2006; Stegmann vd., 2006; Yun vd., 2006; Förster vd., 2007; Stegmann, 2007; Förster vd., 2008; Winters vd., 2008; Lee, 2009; Ioualalen vd., 2010; Förster vd., 2010a, 2010b; Förster, 2011; Strozky vd., 2010; Lee vd., 2011; Ai vd., 2014; Kopf vd., 2016; Stegmann ve Kopf, 2017) artarak günümüze değin devam ettiği görülmektedir. Araştırmacılar bu çalışmalarda, genellikle sualtı kütle hareketleri ve oluşum mekanizmaları ile denizaltı çökellerinin mühendislik özellikleri konusunda araştırma yapmışlardır. Türkiye'de ise bu konudaki çalışmaların 1999 Marmara Depremi'nden sonraki yıllarda başladığını ve özellikle Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'nun içerisinden geçtiği Marmara Denizi'nde yoğunlaştığını görmek mümkündür. Bu çalışmalarda (Alpar, 1999; Çağatay vd., 1999; Sarı ve Çağatay, 2001, 2006; Başaran, 2002; Tolun vd., 2002; Gazioğlu vd., 2005; Eriş vd., 2007; Görür vd., 2008; Gökçeoğlu vd., 2009; Kuşçu vd., 2009) Marmara Denizi havzasının kuzey yamaçlarındaki denizaltı sedimentlerinin özellikleri, bölgenin deprenselliği ve yine aynı yamaçta gelişmiş olan sualtı kütle hareketlerinin oluşum mekanizması ile bu hareketlere bağlı olarak gelişebilecek tsunamilerin olası etkileri araştırılmıştır. Görüldüğü gibi Türkiye'de bu konuda yapılan çalışmalar daha çok Marmara Denizi ile sınırlı kalmıştır. Hazar Gölü ile ilgili en kapsamlı çalışma 2011-2014 yılları arasında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma (TÜBİTAK, 2014) kapsamında Hazar Gölü'nde sismik çalışmalar gerçekleştirilmiş, sualtından zemin örnekleri alınmış, bu örneklerin sedimantolojik ve jeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Ayrıca, Aslan (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Hazar Gölü'ne ait sedimanların jeoteknik özellikleri incelenmiştir.

Bu çalışmada, Türkiye'nin en önemli tektonik göllerinden birisi olan Hazar Gölü yamaçlarında birikmiş olan çökellerin mühendislik özellikleri ile daha önce yapılan sismik çalışmalarda belirlenmiş olan sualtı kütle hareketlerinin genel özellikleri irdelenmiştir. Bu amaçla, göl yamaçlarından alınan örselenmemiş zemin örneklerinde laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiş, ayrıca sismik veriler kullanılarak gölün yamaçlarındaki kütle hareketlerinin genel özellikleri açıklanmaya çalışılmıştır.

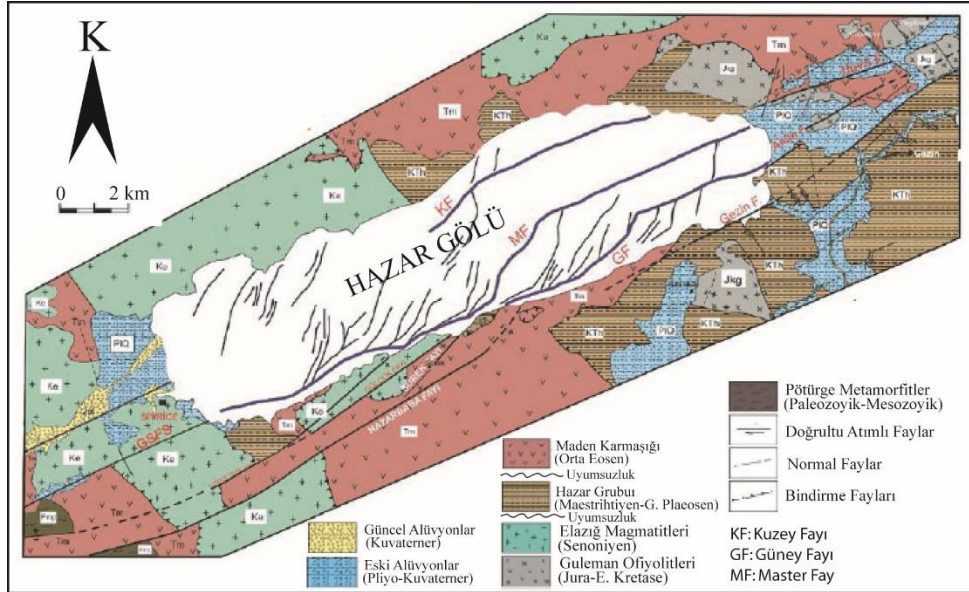
2. Bölgenin genel jeolojik özellikleri

Hazar Gölü, Türkiye'nin en önemli ikinci yapısal unsuru olan, sol yanal atımlı DAFZ üzerinde yer alır (Şekil 1) ve Orta Miyosen'den günümüze aktivitesini sürdüren Türkiye neotektoniğinin ana elemanlarından bir olma özelliğindedir. Bölgede, Orta Miyosen'den (Serravaliyen) itibaren Arabistan ve Avrasya levhalarının çarpışması sonucu Tetis Okyanusu'nun kapanması ile neotektonik dönem başlamış (Şengör vd., 1985) ve Doğu Anadolu Bölgesi, kıta içi sıkışma rejimi neticesinde meydana gelen deformasyon sonucu yükselmiştir. Böylece, sıkışmanın etkisiyle Anadolu levhacığı iki yanal atımlı fay boyunca batıya doğru kaçmaya başlamış ve KAFZ ile DAFZ oluşmuştur.

Karlıova üçlü eklem noktasından başlayan DAFZ, Bingöl, Palu, Hazar Gölü, Pötürge, Sincik, Narlı, Türkoğlu yörelerinden geçerek İskenderun körfezine kadar uzanmaktadır. Kuzeydoğu-Güneybatı doğrultusunda uzanan bu zon yaklaşık 700 km uzunluğunda ve 30 km genişliktedir (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Koçyiğit vd., 2003; Aksoy vd., 2007). Bu zon içerisinde çok sayıda ana kırıklara

paralel veya yarı paralel sıçrama (step over), ayrılma, bükülme (bending) ve yön değiştirmeler gösteren sol yanal atımlı faylar da bulunmaktadır. Ayrıca bu yapılar arasında dere ötelenmelerini, fay yamaçlarını, dönmüş (rotated) fay vadi ve sırtlarını, asılı vadileri (hanging valleys), heyelanları, su kaynaklarını ve yanal atımlı havzaları (strike-slip basins) görmek mümkündür (Çetin vd., 2003). Bunlardan en önemlisi de Hazar Gölü (çek-ayır) havzasıdır. Hazar Gölü ve çevresinde yaşı Paleozoik'den Güncel'e kadar değişen formasyonlar yüzeylemekte ve Paleozoik-Eosen yaşlı kayalar Hazar Gölü havzasının temelini oluşturmaktadır (Şekil 2).

Bölgede en yaşlı birimi Paleozoik-Mesozoik yaşlı Pötürge Metamorfileri oluşturarak, bu metamorfiter üzerinde allokon konumunda Jura-Erken Kretase yaşlı Guleman ofiyolitleri ve Senoniyen yaşlı Elazığ Magmatitleri yer almaktadır. Bu formasyonlar üzerinde ise uyumsuz olarak Maestrihtiyen-Geç Paleosen yaşlı Hazar grubuna ait flişler ile Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı'na ait volkano-sedimentler yüzeylemektedir. Bölgedeki en genç birimler ise Pliyo-Kuvaterner yaşlı ve güncel alüvyonlardır.



Şekil 2. Hazar Gölü ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Gürocak, 1993; Kaya, 1993; Aksoy vd., 2007 ve MTA, 2008'den yararlanılarak hazırlanmıştır).

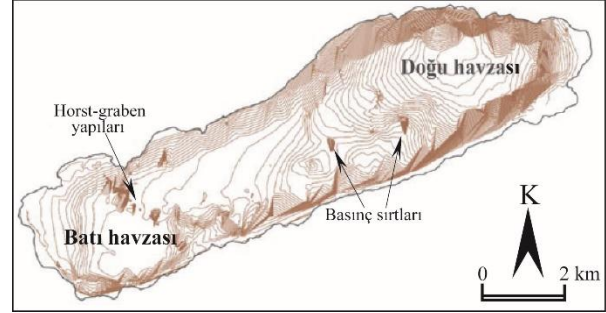
3. Hazar Gölü'nün batimetrik ve morfo-tektonik özellikleri

Hazar Gölü'nün morfolojik ve yapısal özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan en önemli çalışma Moreno vd., (2011) tarafından gerçekleştirilmiştir. Hazar Gölü'nde yapılan en detaylı batimetri çalışmaları ise TÜBİTAK (2014) projesi kapsamında yapılmıştır. Bu çalışmalarda elde

edilen sığ-sismik görüntü verilerinden göl tabanının morfolojisi, sualtı kütle hareketleri, basınç sırtları, horst-graben yapıları, eski vadi tabanları, faylanmalar, kıvrımlı yapılar ve eski gölsel taraçalar gibi morfolojik yapılar belirlenmiştir (Şekil 3). Bu verilere göre Hazar Gölü doğu ve batı olmak üzere iki farklı çökme havzasına sahiptir. Gölün Batı Havzası'nın en derin kesimi -70 m'lerdedir ve doğuya doğru

derinleşerek -232 m derinliğe ulaşan Doğu Havzası'na geçilmektedir. Gölün güney ve doğu yamaçları, kuzey ve batı yamaçlarına göre daha diktir. Ayrıca, DAFZ'nin bu bölgedeki aktif kolları Hazar-Sincik ve Palu-Hazar segmentlerinin gölün içerisindeki güzergâhları da yapılan çalışmalarla ortaya çıkarılmıştır. Hazar Gölü'nün güney yamacına yakın bir güzergâh izleyen bu segmentler nedeniyle gölün güney yamaçları oldukça diktir. Elde edilen verilere göre DAFZ'ye ait Gezin-Sivrice Fay Sistemi gölün batısından göle girerek yaklaşık 4.5 km gölün güney kıyısına paralel olarak devam ettikten sonra orta kesiminde iki ana kola ayrılmaktadır (Aksoy vd., 2007). Bu iki kolun en güneydeki Güney Fay ve kuzeydeki diğer kol ise Master Fay olarak isimlendirilmiştir. Master Fayı gölün ortasında büküm yaparak doğuya doğru devam etmekte ve gölün doğusunda karaya çıkmaktadır. Bu fay yapılan çalışmalarda (Çetin vd., 2003; Aksoy vd., 2007) Havri Fayı olarak adlandırılmıştır. Gölün doğusundan karaya çıkan Güney Fay (GF) ise Aydın Fayı olarak adlandırılmıştır. Hazar Gölü'nün kuzey kesiminde ise normal fay karakterindeki Kuzey Fayı (KF) yer almaktadır. Göl içerisindeki ana fayın 15 m'ye ulaşan düşey bileşene sahip olduğu ve bu ana fayın kuzeyinde ve güneyinde gelişen normal faylarda ise 70 m'ye ulaşan düşey atımlar görülmektedir. Hazar Gölü'nün GD'sunda göl çökellerinde gelişen basınç sırtları da yer almaktadır. Gölün Doğu Havzası'nda ana fayın kuzey ve güneyindeki normal faylar, bölgenin gerilmeli bir tektonik rejimde derinleştiğini göstermesi açısından önemlidir. Yapılan çalışmalarda oluşturulan sismik

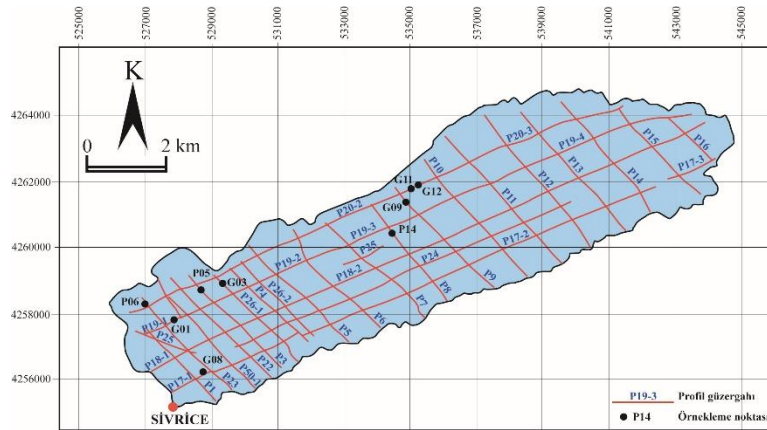
kesitlerde bu bölgenin aktif bir tektonizma etkisinde olduğunu gösteren ve gölün özellikle güney yamaçlarında gelişmiş çok sayıda su altı kütle hareketleri bulunmaktadır.



Şekil 3. Hazar Gölü'ne ait batimetri haritası (TÜBİTAK, 2014)

4. Zemin örneklerinin derlenmesi ve laboratuvar deneyleri

Herhangi bir deniz veya gölden zemin örneklemesinin yapılabilmesi için öncelikle örnekleme noktalarının belirlenmesi gereklidir. Su altındaki bu noktaların belirlenmesi ise yapılacak olan sismik çalışmalar ile mümkündür. Hazar Gölü tabanı ve yamaçlarındaki temel kaya ve çökeller hakkında bilgi elde etmek ve böylece örnekleme noktalarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilen proje (TÜBİTAK, 2014) kapsamında yüksek çözünürlüklü sığ-sismik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar ile toplam 65 km uzunluğunda 23 adet sığ-sismik profil alınmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Sığ-sismik kesit güzergâhları ve örnekleme noktaları (TÜBİTAK, 2014)

Yapılan sığ-sismik çalışmalara ait görüntülerin değerlendirilmesi sonucunda belirlenen noktalardan çakmalı piston ve gravite yöntemleriyle alınan örselenmemiş zemin

örneklerinden seçilen 9 örnekte laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Seçilen bu örneklere ait bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Hazar Gölü'nden alınan örnekler için bilgiler (TÜBİTAK, 2014)

Örnek No	Örnekleme Adı	Lokasyon	Örnek Uzunluğu (m)	Derinlik (-m)	Örnek Alma Yöntemi
1	HZ11-G01	Gölün Batı Kesimi	0.67	48.00 - 48.67	Gravite
2	HZ11-G03		0.98	56.31 - 57.29	Gravite
3	HZ11-G08		0.60	19.98 - 20.58	Gravite
4	HZ11-P05		2.25	37.50 - 39.75	Piston Çakmalı
5	HZ11-P06		2.57	11.50 - 14.07	Piston Çakmalı
6	HZ11-G09	Gölün Orta Kesimi	1.08	64.00 - 65.08	Gravite
7	HZ11-G11		1.08	65.00 - 66.08	Gravite
8	HZ11-G12		0.79	71.50 - 72.29	Gravite
9	HZ11-P14		2.07	77.00 - 79.07	Piston Çakmalı

Hazar Gölü'nde yapılmış olan çalışmalarda (Eriş, 2013; Eriş vd., 2018a) Holosen yaşlı olduğu belirlenen bu zemin örneklerinde birim hacim ağırlık, su içeriği, özgül ağırlık, likit limit, plastik limit ve doğrudan kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Bilindiği gibi, dane boyu dağılımı analizlerinde, dane çapının 0.075 mm'den büyük olduğu zeminlerin (kum ve çakıl) dane boyu dağılımı elek analizi yöntemi ile belirlenirken, 0.075 mm'den küçük danelere sahip olan zeminlerinde ise Stokes yasasına dayanan çökeltme (hidrometre) yöntemi kullanılmaktadır. Ancak, bu yöntemin uzun zaman alması (en az 2 gün) ve Stokes yasasının bazı kabullerinden dolayı sonuçlarının bir miktar hatalı olması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Zhang ve Tumay, 1995; Bardet, 1997; Vitton ve Sadler, 1997; Lu vd., 2000; Wen vd., 2002). Bu nedenlerden dolayı, son yıllarda klasik yöntemlere alternatif yeni yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları, elektrodirenç dane sayımı (Coulter Counter), fotometrik teknikler (Hydrophotometer), X-ışınları azalımı (Sedigraph) ve lazer kırınım (Microtrac, Malvern Master Sizer 3000, Coulter LS) yöntemleridir (Beuselinck vd., 1998). En çok kullanılan yöntem ise lazer kırınım yöntemidir (Wen vd., 2002) ve günümüzde aşındırma, seramik, çimento, kum, kil, gıda, ilaç sanayi, kozmetik vb. gibi birçok mühendislik ve endüstri alanında kullanılmaktadır (Ma vd., 2000). 10 nm-3.5 mm aralığındaki danelerin ölçülebildiği lazer kırınım yöntemi klasik yöntemlere kıyasla daha kısa sürede gerçekleştirilebilmekte ve daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada zeminlerin dane boyu dağılımını belirleyebilmek için Malvern Mastersizer 3000 lazer kırınım cihazı kullanılmıştır. Bu yöntemde, öncelikle parçacık boyu analizi yapılacak malzemenin refraktif indeks (kırılma indisi) değeri ve absorbans Malvern'e ait "refractive index guide" kitapçığından belirlenmekte ve örneğin sıvı üniteye bakılacak ise,

eneme dispersiyonu hazırlanmaktadır. Örneğin çözelti içerisinde asılı halde kalması için beherdeki örnek spatula ile karıştırarak, surfaktant vb kimyasallar eklenir. Homojen hale getirilen örnekten spatulanın ucuyla yeteri kadar alınarak aletin haznesine boşaltılır. Ultrasonik enerji ve mekanik karıştırıcının etkisiyle zemin topraklarının ayrışması için yaklaşık 4-5 dakika beklendikten sonra, bilgisayar yazılımından uygun komut kullanılarak analiz gerçekleştirilir ve sonuçların çıktısı alınır.

Tablo 2. Zemin örneklerine ait dane boyu dağılımı analiz sonuçları

Örnek No	Örnekleme Adı	Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)	Çakıl (%)	
1	HZ11-G01	10	85	5	-	
2	HZ11-G03	10	83	7	-	
3	HZ11-G08	13	87	-	-	
4	HZ11-P05	(a)	3	79	18	-
		(b)	2	68	30	-
		(c)	-	65	35	-
5	HZ11-P06	(a)	3	82	15	-
		(b)	3	77	20	-
		(c)	3	77	20	-
		(d)	9	51	38	2
6	HZ11-G09	(a)	18	82	-	-
		(b)	8	84	8	-
		(c)	10	80	10	-
7	HZ11-G11	(a)	10	85	5	-
		(b)	7	81	12	-
		(c)	4	81	15	-
8	HZ11-G12	(a)	10	85	5	-
		(b)	13	69	18	-
9	HZ11-P14	(a)	10	70	20	-
		(b)	10	80	10	-
		(c)	5	75	20	-
		(d)	10	78	12	-

Örneklerin dane boyu dağılımı analizlerinde, 3.5 mm den daha büyük daneler içerdiği için 6 nolu örnekte ASTM D 422-63 (2007) standardına göre yapılan elek analizi yöntemi ve lazer kırınım yöntemi birlikte kullanılmıştır. Diğer örneklerde ise sadece lazer kırınım yöntemi kullanılmıştır.

Analizler sonucunda elde edilen dane çapı dağılım yüzdeleri Tablo 2’de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, tüm zemin örnekleri büyük oranda siltten oluşmaktadır. 1, 2 ve 3 nolu örneklerde kum yok denecek kadar az iken, 4 ve 5 nolu örneklerde ise kum oranı kilden daha fazladır. 6, 7, 8 ve 9 nolu örneklerde ise kil ve kum oranı hemen hemen aynıdır.

Zemin örneklerinin likit limit (LL) ve plastik limitleri (PL) [ASTM D4318 \(2017\)](#) standardına göre yapılan deneyler ile belirlenmiş ve zemin örnekleri [ASTM 2487 \(2017\)](#) tarafından önerilen Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi (USCS)’ne göre sınıflandırılmıştır (Tablo 3). Yapılan sınıflamaya göre 1, 2, 3, 6, 7 ve 8 nolu örneklerin sınıfı yüksek plastisiteli silt (MH) olarak belirlenmiştir. Ancak, 4 ve 5 nolu örnekler ile 9 nolu örneğin orta seviyesinden alınan örneklerin LL ve PL değerleri belirlenememiştir. Bu nedenle, örnekler USCS’ye göre sınıflandırılmamış ve bu örneklerin sınıflandırılmasında [Prakash ve Sridharan \(2012\)](#) tarafından plastik olmayan (Non-plastik) zeminler için önerilen sınıflama sistemi kullanılmıştır. Bu sınıflama sistemi ile hem non-plastik ince dane içeren iri daneli zeminler hem de

non-plastik ince daneli zeminler sınıflandırılabilir. 4 ve 5 ile 9 nolu örneğin orta seviyesinden alınan örnekler için yapılan sınıflama sonucunda örneklerin zemin sınıfı inorganik iri silt (MLN) olarak belirlenmiştir.

Örnekleme noktaları ile zemin sınıfı arasındaki ilişki incelendiğinde (Şekil 4), zemin sınıfı ile örnekleme noktaları arasında bir ilişki olduğunu görmek mümkündür. Nitekim Hazar Gölü’nün batısında göle giren ve malzeme taşıyan Kürk Çayı’nın göle giriş yaptığı alandan alınan örneklerde kum ve silt oranının artması nedeniyle zemin sınıfı MLN’dir. 9 nolu örnek hariç diğer örnekleme noktaları gölün orta kesimlerinde ve kıydan uzaktadır. Akarsularla göle taşınan iri malzeme bu alanlara ulaşmadan çökeldiği için bu örnekleme noktalarından alınan örneklerin zemin sınıfı MH’tır. 9 nolu örneğin alındığı örnekleme noktası (Şekil 4) kıydan uzak olmasına karşın, bu örneğin orta seviyelerinde kum ve silt oranının yüksek olması nedeniyle zemin non-plastik özelliindedir. Bu durum, geçmişte göle aşırı malzeme girişi olduğunu ve böylece iri danelerin gölün orta kısımlarına kadar yayıldığını göstermesi açısından önemlidir.

Tablo 3. Zemin örneklerinin kıvam limitleri ve sınıflandırılması

Örnek No	Örnekleme Adı	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Zemin Sınıfı
1	HZ11-G01	58.00	33.34	24.66	MH
2	HZ11-G03	64.80	34.46	30.34	MH
3	HZ11-G08	50.60	31.38	19.22	MH
4	(a) (b) (c) HZ11-P05		Yapılamadı		MLN
5	(a) (b) (c) (d) HZ11-P06		Yapılamadı		MLN
6	(a) (b) (c) HZ11-G09	68.20 75.80 77.80	38.72 41.31 40.91	29.48 34.49 36.89	MH
7	(a) (b) (c) HZ11-G11	58.40 82.00 92.60	37.49 43.23 56.72	20.91 38.77 35.88	MH
8	(a) (b) HZ11-G12	71.30 70.00	43.39 39.58	21.91 30.42	MH
9	(a) (b) (c) (d) HZ11-P14	78.00 97.80	45.64 66.52	32.36 31.28	MH MLN

Zemin örneklerinin doymuş birim hacim ağırlığı (γ_d) [ASTM D4531-86 \(2010\)](#), doğal su içeriği (w) [ASTM D2216 \(2019\)](#), özgül ağırlığı (Gs) ise [ASTM D854-02 \(2014\)](#) standartlarına göre yapılan deneyler ile belirlenmiştir. Ayrıca, zeminin kohezyon (c) ve içsel sürtünme açılarını (ϕ) belirlemek amacıyla [ASTM D3080/D3080M](#)

(2011) standardına göre drenajsız doğrudan kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylere ait sonuçlar Tablo 4 ve 5’de verilmiştir.

MH sınıfı zeminlerin doymuş birim hacim ağırlığı 12.65-15.79 kN/m³, su içeriği % 62.70-170.24, boşluk oranı % 173.89-425.53, porozitesi % 63.29-

80.95, özgül ağırlığı ise 2.23-2.70 arasında değişmektedir. Zemin örnekleri oldukça düşük kohezyon ve içsel sürtünme açısına sahiptir. Kohezyon değeri en fazla 25.50 kPa iken, ϕ değerleri 0° - 11° arasında değişmektedir.

MLN sınıfındaki zeminin doymun birim hacim ağırlığı 12.45-18.73 kN/m³, su içeriği % 27.71-

141.38, boşluk oranı % 81.85-349.15, porozitesi % 45.01-77.73 ve özgül ağırlığı ise 2.36-2.78 değerleri arasındadır. Zemin örnekleri MH sınıfı zemine göre daha düşük c, daha yüksek ϕ değerlerine sahiptir. Maksimum c değeri 15.69 kPa iken, maksimum ϕ değeri ise 35° olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. MH sınıfındaki zeminlere ait laboratuvar sonuçları ve istatistiksel değerlendirme

Örnek No	Örnekleme Adı	γ_d (kN/m ³)	w (%)	e (%)	n (%)	Gs	ϕ (°)	c (kPa)	
1	HZ11-G01	15.20	87.30	215.50	68.24	2.61	11.00	3.92	
2	HZ11-G03	15.50	82.12	191.91	65.67	2.53	0.00	25.50	
3	HZ11-G08	15.79	62.70	173.89	63.29	2.70	4.00	3.43	
6	HZ11-G09	(a)	13.14	170.24	425.53	80.95	2.59	1.00	1.77
		(b)	13.44	156.37	397.09	79.57	2.64	1.00	1.86
		(c)	13.53	154.97	383.68	78.96	2.60	8.00	1.96
7	HZ11-G11	(a)	13.04	158.66	405.47	80.03	2.60	0.50	1.77
		(b)	13.24	129.40	318.02	75.77	2.66	3.00	1.47
		(c)	13.83	128.32	316.45	75.38	2.55	1.00	1.96
8	HZ11-G12	(a)	14.02	166.81	386.39	77.70	2.55	8.00	3.92
		(b)	13.83	141.76	339.83	77.00	2.56	10.00	9.81
9	HZ11-P14	(a)	12.65	145.84	407.61	79.84	2.64	1.00	1.96
		(d)	13.53	93.87	215.31	68.08	2.23	3.00	3.92
En Az		12.65	62.70	173.89	63.29	2.23	0.00	1.47	
En Fazla		15.79	170.24	425.53	80.95	2.70	11.00	25.50	
Ortalama		13.90	129.11	321.28	74.65	2.57	3.96	4.87	
Standart Sapma		0.986	35.878	91.536	6.116	0.114	3.908	6.583	

Tablo 5. MLN sınıfındaki zeminlere ait laboratuvar sonuçları ve istatistiksel değerlendirme

Örnek No	Örnekleme Adı	γ_d (kN/m ³)	w (%)	e (%)	n (%)	Gs	ϕ (°)	c (kPa)	
4	HZ11-P05	(a)	17.85	37.75	110.00	51.79	2.76	0.50	15.69
		(b)	18.73	27.71	81.85	45.01	2.78	35.00	9.81
		(c)	18.04	30.44	94.66	48.43	2.75	13.00	13.73
5	HZ11-P06	(a)	17.26	41.55	124.52	54.94	2.77	17.0	2.65
		(b)	18.44	32.81	95.08	48.57	2.76	12.00	7.36
		(c)	18.14	35.84	103.22	50.79	2.76	14.00	7.85
		(d)	17.75	29.96	92.62	48.05	2.68	10.00	4.90
9	HZ11-P14	(b)	12.45	141.38	349.15	77.73	2.36	1.00	1.96
		(c)	12.75	127.87	347.62	77.66	2.62	2.00	1.96
En Az		12.45	27.71	81.85	45.01	2.36	0.50	1.96	
En Fazla		18.73	141.38	349.15	77.73	2.78	35.00	15.69	
Ortalama		16.82	56.15	155.41	55.89	2.69	11.61	7.32	
Standart Sapma		2.431	44.823	110.06	12.668	0.1354	10.694	5.034	

Zeminlere ait jeomekanik özelliklerin derinlikle değişimleri incelendiğinde; en anlamlı ve belirgin değişimlerin doymun birim hacim ağırlığı, porozite ve boşluk oranı değerlerinde olduğunu görmek mümkündür. Her iki zemin sınıfında da doymun birim hacim ağırlık değerleri derinlikle orantılı olarak artış gösterirken, porozite ve boşluk oranı değerleri ise azalmaktadır. Bu değişim, zemin kalınlığının ve üstteki suyun yaptığı hidrostatik basıncın etkisiyle meydana gelen sıkılaşmadan kaynaklanmaktadır. Buna karşın, zeminlerin dayanım parametrelerinde (c ve ϕ) derinliğe bağlı olarak herhangi bir değişimden bahsetmek mümkün

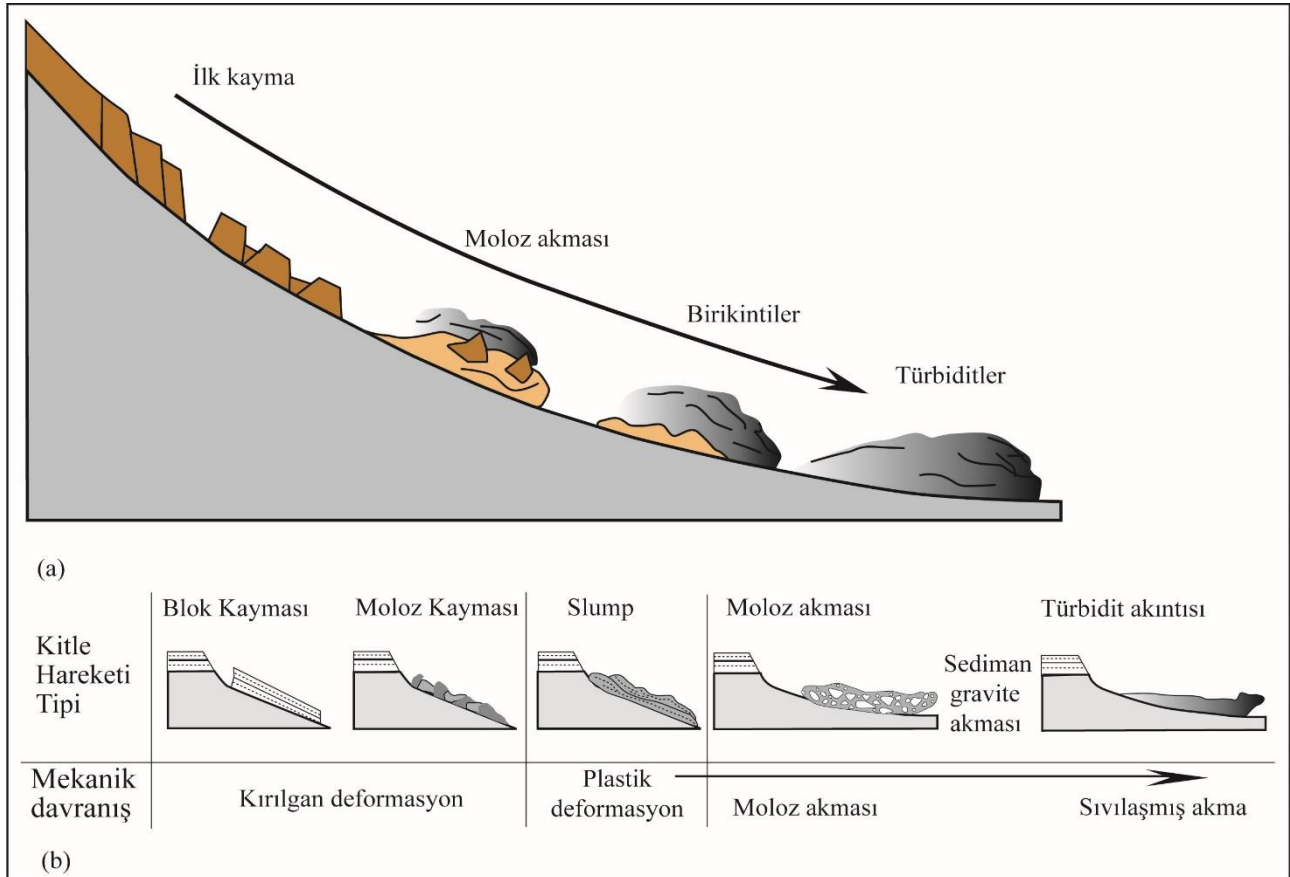
değildir ve bu parametrelere ait değerler oldukça değişkendir. Ancak, MH ve MLN sınıfı zeminlere ait c ve ϕ değerleri karşılaştırıldığında; MH sınıfı zeminlerde ortalama c değeri 4.87 kPa iken bu değer MLN sınıfı zeminlerde 7.32 kPa'dır. Ancak, ϕ değerlerinde durum farklıdır. MH sınıfı zeminlerin ortalama ϕ değeri 3.96° gibi çok düşük bir değerde iken, bu değer MLN sınıfındaki zeminlerde 11.61° 'dir ve 35° 'ye kadar ulaşabilmektedir. Zemin içerisindeki iri dane (kum) oranının artışına bağlı olarak ϕ değeri artarken, c değerlerinde ise azalma görülmektedir. Zeminlerin özgül ağırlık değerleri de zemin sınıfından etkilenmekte ve MH sınıfı

zeminlerin özgül ağırlık değerlerinin MLN sınıfındaki zeminlere göre daha az olduğu görülmektedir (Tablo 4 ve 5). Aynı örneğin farklı seviyelerinde özgül ağırlık değerlerinde gözlenen ani azalmaların bu seviyelerdeki artan organik malzemeden kaynaklanabileceğini söylemek mümkündür.

5. Hazar Gölü'ndeki sualtı (submarine) kütle hareketleri

Kıta kenarları ve şelf alanları birkaç km kalınlığa ulaşabilen kalın sediman serilerini içeren önemli çökel alanlarıdır ve bu alanlarda biriken farklı özelliklerdeki sedimanlar zaman içerisinde çeşitli faktörlerin etkisi ile yenilmekte ve denizaltında kütle hareketleri oluşmaktadır. Karasal yamaçlarda olduğu gibi, denizaltında da malzeme üzerine etkileyen hareket ettirici kuvvetler malzemenin kesme dayanımından daha büyük olduğunda yenilme meydana gelmekte ve şelfteki zemin veya kaya kütlesi yer değiştirmektedir. Denizaltında oluşan kütle hareketlerinde malzemenin cinsi,

dayanımı, zemin/kayanın sıvıya oranı, biriken malzemenin kalınlığı ve depremler gibi dinamik etkiler önemli bir rol oynamaktadır. Bu hareketler göller, kıyıya yakın alanlar, fiyortlar, aktif ve pasif kıta kenarları olmak üzere dünya çapında çok çeşitli ortamlarda meydana gelmektedir (Waneste vd., 2011). Denizaltı kütle hareketleri harekete ön hazırlık (pre-conditioning), hareketin tetiklenmesi (triggering) ve hareketin ilerlemesi veya bitişi (run-out) olmak üzere üç aşamada gerçekleşmektedir (Locat, 2001; Canals vd., 2004). Hareketin bitiş aşaması genellikle, deniz tabanı altyapısına ve kayan malzemenin özelliğine bağlı olarak daha da alt bölümlere de ayrılabilir (Bryn vd., 2005) (Şekil 5a). Bu konuda yapılan çalışmalarda (Middleton ve Hampton, 1973; Nardin vd., 1979; Hampton vd., 1996; Shanmugam, 2000; Mulder ve Alexander, 2001; Förster, 2011), su altında gelişen kütle hareketleri genel olarak blok ve moloz kaymaları, slumplar, moloz akmaları ve türbidit akıntıları şeklinde sınıflandırmıştır (Şekil 5b).



Şekil 5. (a) Denizaltı kütle hareketi gelişiminin şematik gösterimi (Bryn vd., 2005), (b) Denize taşınan sedimanların kütle hareketi türleri ve mekanik davranışları (Förster, 2011)

Kaymalar (slide); kütlelerin ve blokların düzlemsel bir kayma yüzeyi boyunca aşağı doğru hareket ettiği kayma tipidir. Kayan kütlede deformasyon

gözlenmemekle birlikte kayma yüzeyinde küçük deformasyonlar gözlenebilmektedir. Kayan kütlelerin özelliğine bağlı olarak blok kayması veya

moloz kayması olarak adlandırılırlar. Bu hareketlerin oluşmasında biriken sedimanın kalınlığı ve türü önemli derecede rol oynarken, dinamik etkenler (deprem gibi) de hareketin oluşmasında etkili olabilmektedir. Dairesel yüzeyli kaymalar (slump); blok ve kütlelerin plastik deformasyon ile yamaç aşağı doğru kaydığı ve kaymanın konkav bir yüzey üzerinde gerçekleştiği hareket tipidir. Akmalar ise moloz akması ve türbiditik akmalar şeklinde oluşan hareket tipidir. Yamaç veya şelflerde biriken malzeme kendi ağırlığının etkisiyle yamaç aşağı doğru şelf yüzeyi boyunca hızlı bir şekilde hareket eder. Akan malzemeye ve akış tipine bağlı olarak moloz akması veya türbiditik akmalar olarak isimlendirilmektedirler (Maltman, 1994).

Denizaltı kütle hareketleri, tüm kıta kenarlarında ve tüm su derinliklerinde meydana gelen, Dünya üzerindeki en büyük doğa olayları arasındadır (Masson vd., 2006; Urlaub vd., 2013; Moscardelli ve Wood, 2016). Düşük eğimli yamaçlarda (<2°) ve büyük mesafelerde (>1000 km) meydana gelebildikleri gibi, hacim açısından, karadaki emsallerinden üç kat ve daha büyük olabilmektedirler (Hampton vd., 1996; Huhnerbach ve Masson, 2004; Korup, 2012). Kıyı toplulukları için önemli bir risk oluşturarak zarar veren tsunamileri oluşturabilmekte (Bondevik vd., 2005; Tappin vd., 2014) ve aynı zamanda, petrol ve doğal gaz üretimi için kullanılan deniz tabanı altyapısına veya küresel internet trafiğinin %95'inden fazlasını taşıyan deniz tabanı telekomünikasyon kablolarına da zarar verebilmektedirler (Carter vd., 2012; Talling vd., 2014). Denizaltında meydana gelen bu kütle hareketlerinin nasıl tetiklendiğini açıklamak için çok çeşitli faktörler önerilmiştir (Locat ve Lee, 2002; Canals vd., 2004; Masson vd., 2006). Bunlar, heyelan malzemesinin jeolojik özellikleri, örneğin zayıf bir katmanın varlığı (Bryn vd., 2005; Locat vd., 2014), hızlı çökelti birikimi, aşırı basınç gelişimi (Dugan ve Flemings, 2000) ve aşırı dikleşme gibi geçici dış etkenleri içerir (Assier-Rzadkiewicz vd., 2000). Bu dış etkenlerden başka sismik yükleme (Piper vd., 1999), gaz hidrat ayrışması (Kennett vd., 2003; Maslin vd., 2004), fırtına dalgası ve gelgit yüklemesi (Bea vd., 1983), buzul yüklemesi (Mulder ve Moran, 1995), sızıntı (Orange ve Breen, 1992), volkanik etkenler (Masson, 1996), tektonik hareketler ve insan faaliyetleri (Dan vd., 2007) de etkili olmaktadır.

Bu konuda yapılan çalışmalarda en önemli gelişme, sismik yöntemler kullanılarak hareketin görüntülenmesi oluşturur ve en eski tam görüntüleme çalışmasında (Prior vd., 1982a) kıyıya yakın kütle hareketlerini görüntülemek için sığ suda

yüzey taramalı sonar kullanılmıştır. Daha derin alanlarda ise yandan taramalı sonar sistemleri kullanılmış ve geniş alanlarda 50-100 m'lik yatay çözünürlükler elde edilerek, binlerce km²'lik alana sahip çok büyük kütle hareketlerinin birinci dereceden özelliklerinin haritalanması sağlanmıştır (Lipman vd., 1988; McAdoo vd., 2000; Collot vd., 2001). Ayrıca, denizaltı kütle hareketlerinin iç yapısına ait ayrıntıları ortaya çıkarmak ve sınırlı olmasına rağmen kalınlıklarını tahmin etmek için yüksek çözünürlüklü 2D sismik yansıma çalışmaları da yapılmıştır (Bugge vd., 1987; Locat ve Lee, 2002).

Sualtı kütle hareketi ile ilgili çalışmalarda esas amaç, bir veya birden fazla hareket tipinin özelliklerini tanımlamak ve bunlarla ilişkili süreçler ile bu süreci kontrol eden ve hareketi tetikleyen faktörler hakkında çıkarımlar yapmaktır. Bu amaca yönelik olarak ayrıntılı yüzey ve yeraltı çalışmaları yapılır. Morfolojik analizler bu çalışmaların en önemli aşamasını temsil ederler ve petrol endüstrisinde kullanılan 3 boyutlu sismik yansıma tekniğinin morfolojik analizlere de uygulanmasıyla bu konuda çok ciddi bir gelişme sağlanmıştır (Frey-Martínez vd., 2006; Gee vd., 2007).

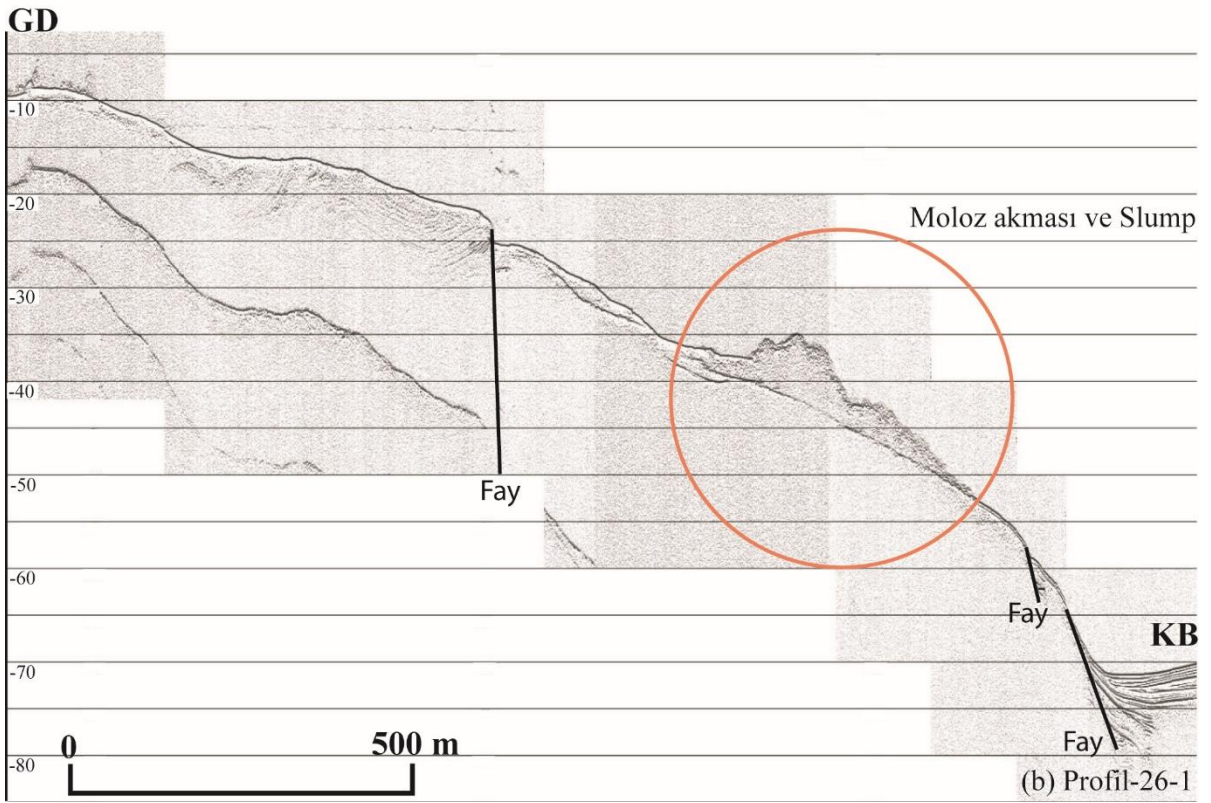
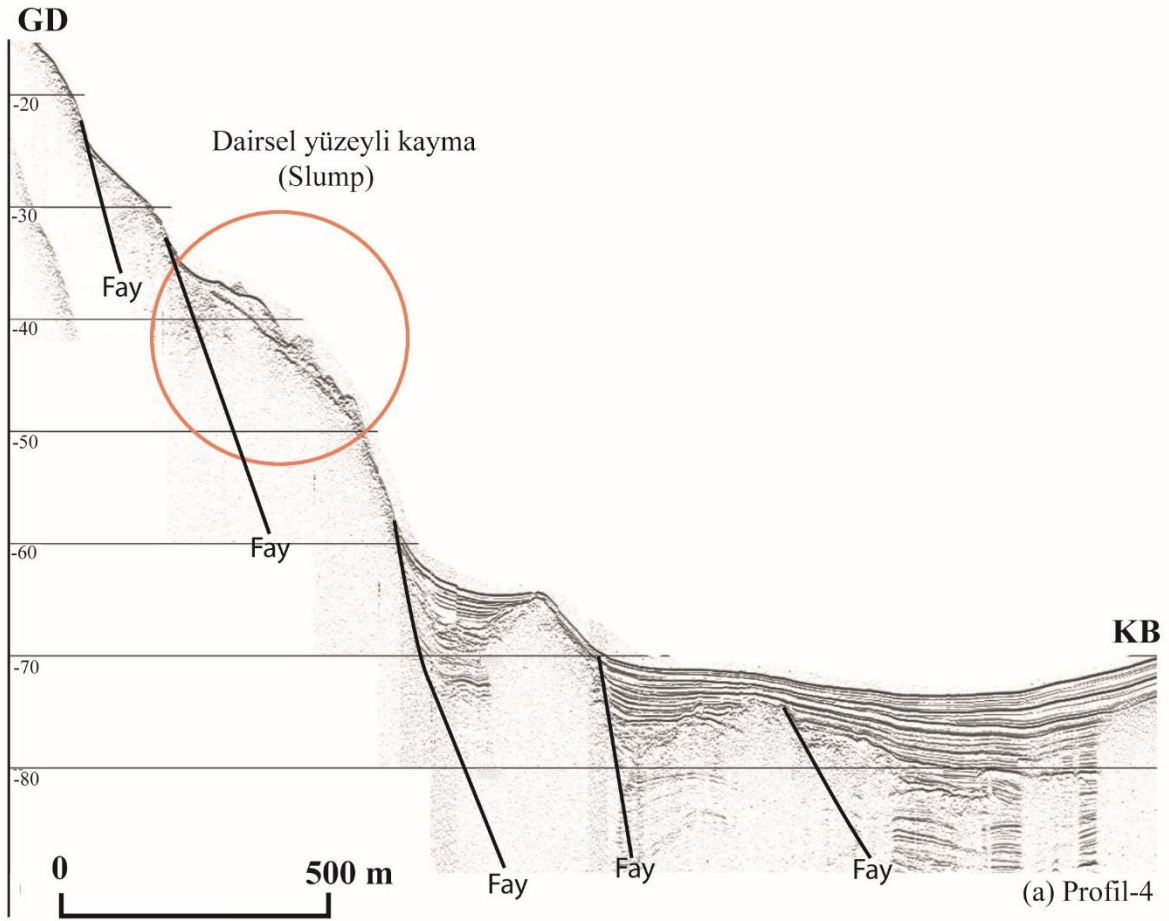
P-Cable gibi daha küçük ölçekli 3D sismik sistemler, deniz tabanında veya yakınındaki kütle hareketlerinin analizi için en uygun sistemlerdir ve 500 m den daha yukarıda çok yüksek çözünürlüğe (5-10 m) sahiptir (Berndt vd., 2012). 3D verilerin en büyük avantajı, hareket eden kütlelerin özelliklerini yorumlayarak derinlemesine yüzeyler elde etme ve bu tür yüzeylerle ilişkili sismik özellikleri analiz etme yeteneğidir (Dalla Valle vd., 2013). 3D verilerden türetilen sismik özellikler, sıvı akış özelliklerini, kırılma ağlarını ve bunların heyelan deformasyonu ile ilişkisini analiz etmek için idealdir (Bünz vd., 2005). Denizaltında oluşan kütle hareketlerinin erozyonel bazal yüzeyinin 3 boyutlu sismik jeomorfolojisi, yerleşim sırasında hareketin yönünü tanımlayan çizgileri ortaya çıkarabilmektedir. Hareket etmiş eski ve gömülü bir kütlelerin jeomorfolojisini hala deniz tabanındaymış gibi ortaya çıkarmak için 3D sismik verilerinin kullanılması, kütle hareketlerinin süreçleri hakkındaki anlayışımızı önemli ölçüde artırmaya devam etmektedir (Mountjoy ve Micallef, 2018).

Sualtı kütle hareketleri konusunda yapılan tüm çalışmalar ve bu çalışmalara ait veriler incelendiğinde, oldukça zor gerçekleştirilen bu çalışmaların sualtında meydana gelen kütle hareketlerinin özellikleri ve bu hareketi tetikleyen faktörler konusunda yoğunlaştığını görmek mümkündür. Bu veriler, hem bu kütle hareketlerini

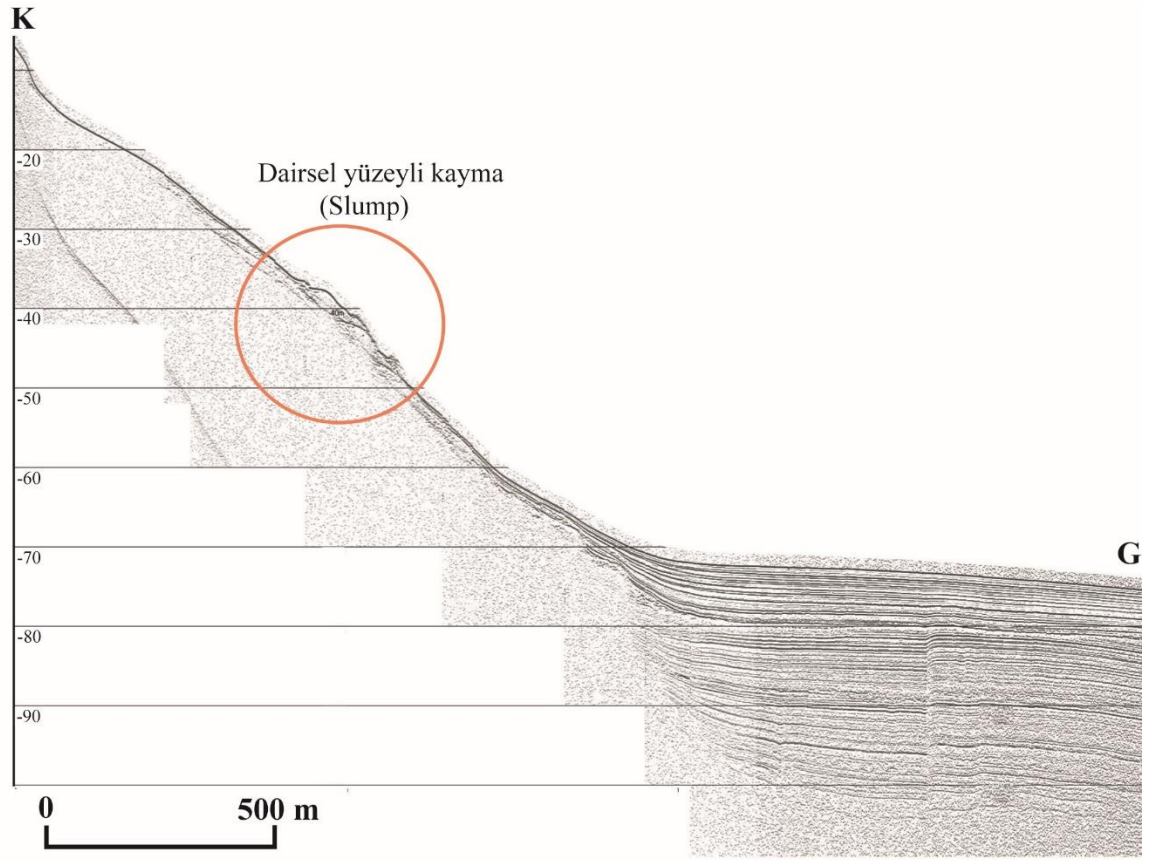
tanımlanması hem de bölgede geçmişte etkin olan deprem, volkanik aktivite gibi jeolojik etkenlerin ortaya çıkarılması açısından önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın esas amacı Hazar Gölü çökellerinin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi olmakla birlikte, Hazar Gölü'ne ait sığ-sismik profillerde göl yamaçlarında sualtında meydana gelmiş olan kütle hareketlerinin varlığı, bu hareketlerin de araştırılmasını, hareket tipleri, oluşum süreci ile hareketlerin oluşumunda etkin olan faktörlerin ortaya konulmasını gerekli kılmaktadır. Ancak, bu tür çalışmalarda daha detaylı incelemelere ve verilere gereksinim vardır. Şu an için bu kütle hareketlerinin oluşum mekanizması ve nedenlerini net olarak ortaya koyabilecek yeterli veri mevcut değildir. Ancak, eldeki veriler yardımıyla belirlenen kütle hareketlerinin tipi, hangi tür zeminler içerisinde geliştiği ve gelişiminde hangi faktörlerin etkili olduğu konusunda yorum yapmak mümkündür. Bu kütle hareketlerini tanımlamak ve sonraki yıllar için bir veri tabanı oluşturmak amacıyla kütle hareketlerinin gözlemlendiği 4, 26-1, 6, 20-3 ve 19-4 nolu sismik profillere ait kesitler üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu kesitler incelendiğinde, yüksek eğime sahip yamaçlarda çökel kalınlığı çok az (<3 m) iken, daha az eğimli yamaçlarda çökel kalınlığı 10 m'ye kadar ulaşabildiği görülmektedir. Göl yamaçlarının morfolojisinin oluşumunda ve buna bağlı olarak yamaçların eğimini belirleyen en önemli faktör, Hazar Gölü'nünden geçen DAFZ'ye ait düşey bileşeni de olan doğrultu atımlı faylardır. Bu faylar özellikle gölün güney yamaçlarının dikleşmesinde ana rolü oynamaktadırlar. Nitekim bölgeye ait

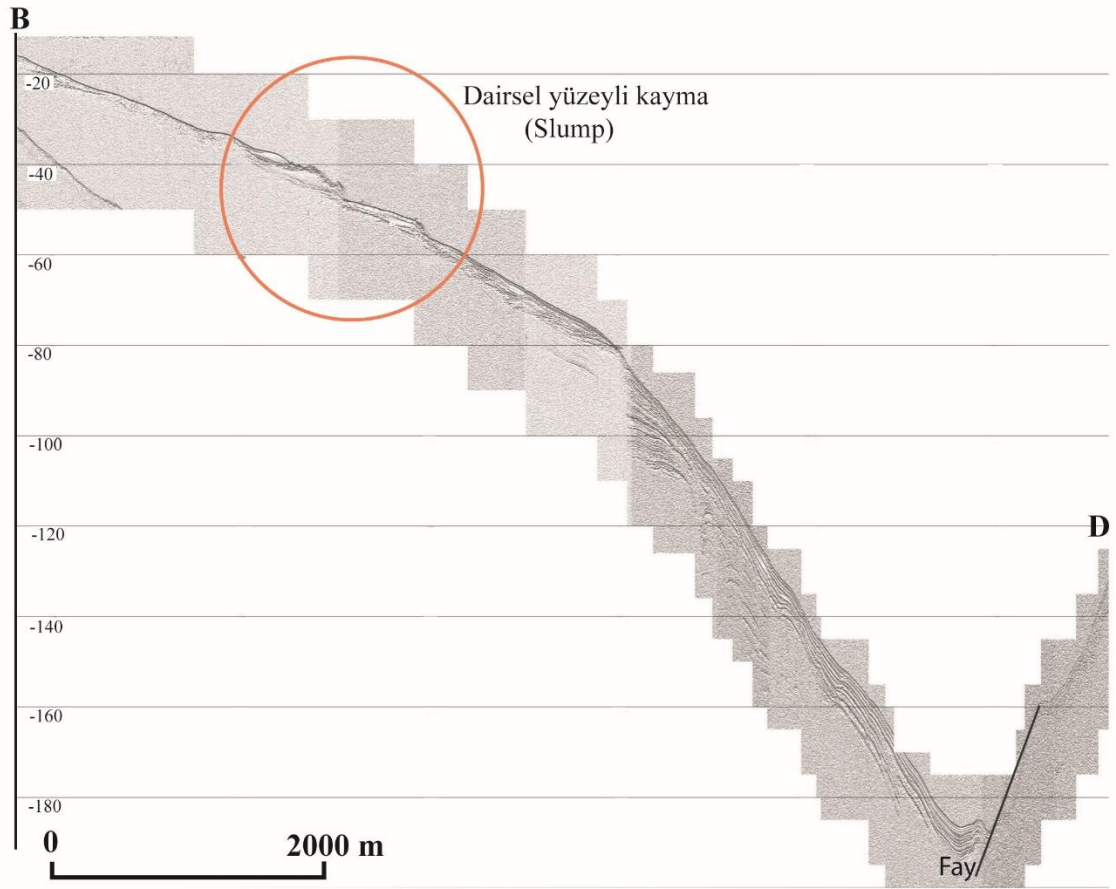
jeoloji haritası (Şekil 2) ve güney yamaçlara ait sismik profiller (Şekil 6) incelendiğinde, bu yamacın düşey veya düşey bileşeni olan doğrultu atımlı faylar tarafından kontrol edildiği görülmektedir. Böylece, eğimin yüksek olduğu güney yamaçlarda zeminin dayanımı çok düşük olduğundan birikme olmamakta ve biriken zeminler de kendi ağırlığı ile göl tabanına doğru akmaktadır. Hazar Gölü'nün hem kuzey hem de güney yamaçlarında oluşmuş sualtı kütle hareketleri de çökel kalınlığının fazla, eğimin ise nispeten daha düşük olduğu yamaçlarda daha belirgin olarak gözlenmektedir (Şekil 6, 7 ve 8). Bu kütle hareketleri Holosen yaşlı sıkılaşmamış, boşluk oranı oldukça yüksek ve yüksek plastisiteli siltlerde (Tablo 3 ve 4) meydana gelmiştir ve genel olarak plastik deformasyonunda eşlik ettiği dairesel yüzeyli kayma (slup) tipi kütle hareketleridir. Sadece 26-1 nolu profile ait kesitte az da olsa plastik deformasyonun da gözlemlendiği moloz akması şeklindedir (Şekil 6b). Slump tipi plastik deformasyonun gözlemlendiği hareketler, kütlelerin daha çok kendi ağırlığı ile yamaç aşağı kaydığı, plastik deformasyonların ve konkav şekilli kayma yüzeylerinin görülebildiği kütle hareketleridir ve Hazar Gölü kuzey ve güney yamaçlarında gözlenen kütle hareketleri bu tanımlara tamamen uymaktadır. Hazar Gölü yamaçlarında biriken ve kütle hareketlerinin gözlemlendiği malzemenin dayanım değerlerine bakıldığında (Tablo 5), oldukça düşük dayanıma sahip bu malzemenin kayabilmesi için kendi ağırlığı yeterli olacaktır. Genel olarak malzemenin kendi ağırlığının etkisiyle oluşan bu kaymaları DAFZ'de meydana gelen depremler de kolaylaştırmaktadır.



Şekil 6. Hazar Gölü güney yamaçlarında gözlenen sualtı kütle hareketleri (a) 4 nolu profile ait kesit, (b) 26-1 nolu profile ait kesit (TÜBİTAK, 2014)

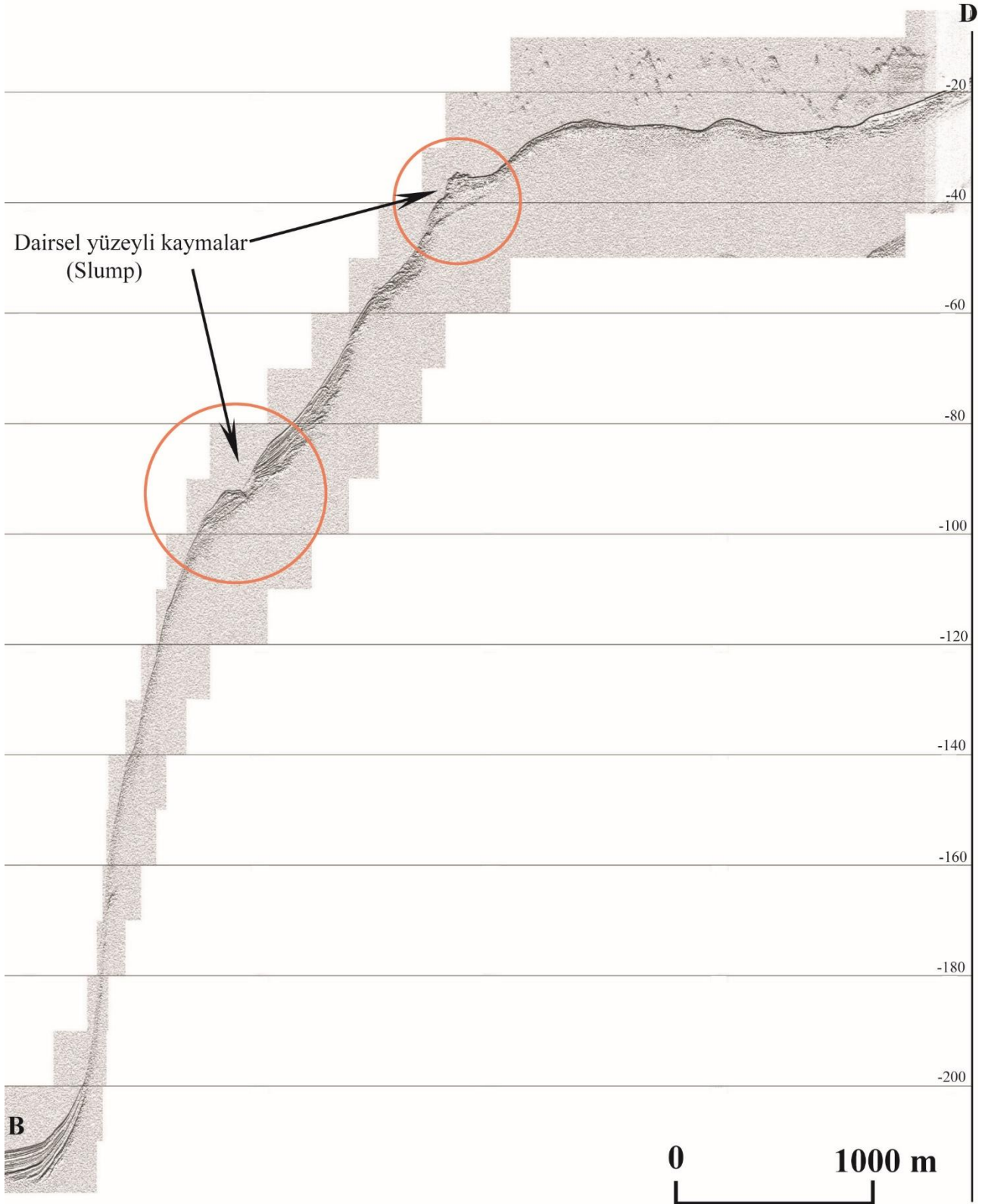


(a) Profil-6



(b) Profil-20-3

Şekil 7. Hazar Gölü kuzey yamaçlarında gözlenen sualtı kütle hareketleri (a) 6 nolu profile ait kesit, (b) 20-3 nolu profile ait kesit (TÜBİTAK, 2014)



Şekil 8. Hazar Gölü kuzey yamaçlarında 19-4 nolu profile ait kesitte gözlenen sualtı kütle hareketleri (TÜBİTAK, 2014)

6. Sonuçlar

Bu çalışmadan elde edilen sonuçları şu şekilde sıralamak mümkündür;

1. Hazar Gölü yamaçlarında birikmiş olan zeminden derlenen örneklerde yapılan zemin sınıflamalarına göre gölün orta kesimlerinden alınan 1, 2, 3, 6, 7 ve 8 nolu örneklerin MH sınıfında; 4 ve 5 nolu örneklerin ise MLN sınıfında olduğu belirlenmiştir. 9 nolu örneğin

ise alt ve üst seviyeleri MH sınıfında iken, ara seviyeler MLN sınıfındadır. Çökellerin zemin sınıfı ile örnekleme noktaları arasında bir ilişkinin varlığı dikkat çekmektedir. Hazar Gölü'nün batısındaki Kürk Çayı'nın göle giriş yaptığı alandan alınan örnekler MLN sınıfında iken, kıyıdan uzakta ve gölün orta kesiminden alınan örneklerin zemin sınıfı MH olarak belirlenmiştir. Kürk Çayı'nın taşıdığı çökellerden iri daneli olanlar, çayın göle giriş yaptığı alanlarda hemen çökelmekte, böylece bu alandan alınan örneklerdeki kum oranı daha fazla ve zemin sınıfı ise MLN olmaktadır. Daha ince daneler ise gölün orta kesimlerine kadar süspansiyon halinde ulaşarak çökelmektedir ve bu nedenle bu alanlardan alınan örneklerin zemin sınıfı MH'dır.

2. MH sınıfı zeminlerin doygun birim hacim ağırlığı $12.65-15.79 \text{ kN/m}^3$, su içeriği % 62.70-170.24, boşluk oranı % 173.89-425.53, porozitesi % 63.29-80.95, özgül ağırlığı ise 2.23-2.70 arasında değişmektedir. Zemin örneklerinin oldukça düşük kohezyon ve içsel sürtünme açısına sahiptir. Kohezyon değeri en fazla 25.50 kPa iken, ϕ değerleri $0^\circ-11^\circ$ arasındadır.
3. MLN sınıfındaki zeminin doygun birim hacim ağırlığı $12.45-18.73 \text{ kN/m}^3$, su içeriği % 27.71-141.38, boşluk oranı % 81.85-349.15, porozitesi % 45.01-77.73 ve özgül ağırlığı ise 2.36-2.78 değerleri arasındadır. MLN sınıfındaki zeminlerin maksimum c değeri 15.69 kPa, ϕ değeri ise 35° 'dir ve MH sınıfı zemine göre daha düşük c, daha yüksek ϕ değerlerine sahiptir. Zemin içerisindeki kum ve silt oranının artışına bağlı olarak ϕ değeri artarken, c değerlerinde ise azalma görülmektedir.
4. Zeminlerin doygun birim hacim ağırlık değerleri derinlik arttıkça artmakta, porozite ve boşluk oranı değerleri ise azalmaktadır. Bu değişim, zemin kalınlığının ve üstteki suyun yaptığı hidrostatik basıncın etkisiyle meydana gelen sıkışmadan kaynaklanmaktadır. Ancak, c ve ϕ değerleri ile derinlik arasında anlamlı bir ilişki yoktur. Bu değerler zeminin içerdiği danelerin boyutuna bağlı olarak artmakta veya azalabilmektedir. MH sınıfı zeminlerin ortalama ϕ değeri 3.96° iken bu değer MLN sınıfındaki zeminlerde 11.61° 'ye kadar ulaşabilmektedir.
5. MH sınıfı zeminlerin özgül ağırlık değerleri MLN sınıfındaki zeminlere göre daha azdır ve

aynı örneğin farklı seviyelerinde özgül ağırlık değerlerinde gözlenen ani azalmalar meydana gelmektedir. Bu azalmaların artan organik malzemeden kaynaklandığını söylemek mümkündür.

6. Hazar Gölü'ne ait sığ-sismik kesitlere göre, gölün yüksek eğime sahip özellikle güney ve doğu yamaçlarındaki çökel kalınlığı maksimum 3 m iken, daha az eğimli kuzey ve batı yamaçlardaki çökellerin 10 m'ye kadar ulaşabilmektedir. Bunun nedeni, zeminin dayanımının çok düşük olması nedeniyle eğimin yüksek olduğu yamaçlarda zeminin kendi ağırlığı ile göl tabanına doğru akması ve nispeten yüksek eğimli bu yamaçlarda zeminin birikmesinin sınırlı olmasıdır. Hazar Gölü'nün kuzey ve güney yamaçlarındaki sualtı kütle hareketleri çökel kalınlığının fazla, eğimin ise nispeten daha düşük olduğu yamaçlarda gözlenmektedir.
7. Holosen yaşlı sıkışmamış, boşluk oranı oldukça yüksek ve MH sınıfı bu çökellerde gelişmiş olan sualtı kütle hareketleri genel olarak plastik deformasyonunda eşlik ettiği dairesel yüzeyli kayma (slup) tipi hareketlerdir. Bu hareket tipinde kütleler kendi ağırlığı ile yamaç aşağı kaymakta, plastik deformasyonların ve konkav şekilli kayma yüzeyleri görülebilmektedir. Hazar Gölü yamaçlarında biriken çökellerin çok düşük dayanıma sahip olması nedeniyle bu malzemenin kendi ağırlığının etkisiyle rahatlıkla aşağı doğru kayabilecektir. Bu kütle hareketlerinin oluşumunda DAFZ'de meydana gelen depremlerin de etkisi kaçınılmazdır. DAFZ'de meydana gelen depremlerin, göl yamaçlarındaki kütle hareketlerine olan etkilerinin belirlenebilmesi, sismik yüklerin dikkate alındığı geriye dönük duraylılık analizlerinin yapılması ve bölgede oluşan depremler sonrasında yapılacak sismik çalışmalar ile oluşan kütle hareketleri görüntülenerek elde edilen sonuçların denetlenmesi ile mümkün olabilecektir.

Teşekkür / Katkı Belirtme

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından MF.12.24 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakemlere teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Ai, F., Förster, A., Stegmann, S. ve Kopf, A. (2014). Geotechnical characteristics and slope stability analysis of the deeper slope of the Ligurian Margin, Southern France. *The Beijing Landslide Forum* (pp.549-555). Beijing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-04996-0_84.
- Aksoy, E., İnceöz, M. ve Koçyiğit, A. (2007). Lake Hazar Basin: a negative flower structure on the East Anatolian Fault System (EAFS), SE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 319-338.
- Alpar, B. (1999). Underwater signatures of the Kocaeli earthquake of 17 August 1999 in Turkey. *Turkish Journal of Marine Sciences*, 5, 111-130.
- Arpat, E. ve Şaroğlu, F. (1972). Doğu Anadolu Fayı ile ilgili gözlemler ve düşünceler. *MTA Enstitüsü Dergisi*, 78, 44-50, Ankara.
- Aslan Y. (2013). *Hazar Gölü (Elazığ) çökellerinin mühendislik özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Assier-Rzadkiewicz, S., Heinrich, P., Sabatier, P.C., Savoye, B. ve Bourillet, J.F. (2000). Numerical modelling of a landslide-generated tsunami: the 1979 Nice event. *Pure Applied Geophysics*, 157, 1717-1727, <https://doi.org/10.1007/PL00001057>.
- ASTM D 422-63 (2007). *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*, West Conshohocken, PA.
- ASTM D4531-86 (2010). *Standard test methods for bulk density of peat and peat products*, in Annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM D3080/D3080M (2011). *Standart Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*, in: Annual Book of ASTM Standards; 04.08, West Conshohocken, 347-352.
- ASTM D854-02 (2014). *Standard Test Method for Specific Gravity of Soils*, in: Annual Book of ASTM Standards, 04.08, West Conshohocken, 93-9.
- ASTM 2487 (2017). *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)* in: Annual Book ASTM Standarts, 04.08, West Conshohocken.
- ASTM D4318 (2017). *Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils*, in: Annual Book ASTM Standarts, 04.08, West Conshohocken, 582-595.
- ASTM D2216 (2019). *Standard test method for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass obsolete*, in: Annual Book ASTM Standarts, 04.08, West Conshohocken.
- Auffret, G.A., Auzende, J.M., Gennesseaux, M., Monti, S., Pastouret, L., Pautot, G. ve Vanney, J. (1982). Recent mass wasting processes on the Provencal Margin (Western Mediterranean). Saxov, S. and Nieuwenhuis, J.K. (Ed.), *Marine Slides and Other Mass Movements*, (pp. 53-58). New York: Springer.
- Bardet, J.P. (1997). *Experimental Soil Mechanics (1st ed.)*, New Jersey: Pearson Education.
- Başaran, S. (2002). *Marmara Denizi'nde kütle hareketi kökenli depoların sedimentolojik özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul.
- Bea, R.G., Wright, S.G., Sircar, P. ve Niedoroda, A. (1983). Wave-induced slides in south pass block 70, Mississippi Delta. *Journal of Geotechnical Engineering*, 109, 619-644, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1983\)109:4\(619\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1983)109:4(619)).
- Berndt, C., Costa, S., Canals, M., Camerlenghi, A., De Mol, B. ve Saunders, M. (2012). Repeated slope failure linked to fluid migration: the ANA submarine landslide complex, Eivissa channel, Western Mediterranean Sea. *Earth Planetary Science Letters*, 319-320, 65-74, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.11.045>.
- Beuselinck, L., Govers, G., Poesen, J., Degraer, G. ve Froyen, L. (1998). Grain-size analysis by laser diffractometry: comparison with the sieve-pipette method. *Catena*, 32, 193-208.
- Bondevik, S., Løvholt, F., Harbitz, C.B., Mangerud, J., Dawson, A. ve Svendsen, J.I. (2005). The Storegga Slide tsunami-comparing field observations with numerical simulations. *Marine and Petroleum Geology*, 22(1-2), 195-208, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2004.10.003>.
- Bryn, P., Berg, K., Forsberg, C.F., Solheim, A. ve Kvalstad, T.J. (2005). Explaining the Storegga Slide. *Marine and Petroleum Geology*, 22(1-2), 11-19, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2004.12.003>.
- Bugge, T., Befring, S., Belderson, R.H., Eidvin, T., Jansen, E., Kenyon, N., Holtedahl, H. ve Sejrup, H.P. (1987). A giant three-stage submarine slide off Norway. *Geo-Marine Letters*, 7(4), 191-198, <https://doi.org/10.1007/BF02242771>.
- Bünz, S., Mienert, J., Bryn, P. ve Berg, K. (2005). Fluid flow impact on slope failure from 3D seismic data: a case study in the Storegga Slide. *Basin Research*, 17(1):109-122, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2117.2005.00256.x>.

- Canals, M., Lastras, G., Urgeles, R., Casamor, J.L., Mienert, J., Catdaneo, A., De Batist, M., Haflidason, H., Imbo, Y., Laberg, J.S., Locat, J., Long, D., Longva, O., Masson, D.G., Sultan, N., Trincardi, F. ve Bryn, P. (2004). Slope failure dynamics and impacts from seafloor and shallow sub-seafloor geophysical data: case studies from the COSTA Project. *Marine Geology*, 213(1-4), 9-72, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2004.10.001>.
- Canpolat, Ö., Eriş, K.K. ve Akkoyun, E.Ö. (2020). Determining the concentration level of some elements caused by geological period in the sediments of Lake Hazar. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(4), 1001-1011, <https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i4.1001-1011.3319>.
- Carter, L., Milliman, J.D., Talling, P.J., Gavey, R. ve Wynn, R.B. (2012). Near-synchronous and delayed initiation of long run-out submarine sediment flows from a record-breaking river flood, offshore Taiwan. *Geophysical Research Letters*, 39, L12603, <https://doi.org/10.1029/2012GL051172>.
- Cochonat, P., Bourillet, J.F., Savoye, B. ve Dodd, L. (1993). Geotechnical characteristics and instability of submarine slope sediments, the Nice slope (N-W Mediterranean Sea). *Marine Georesources & Geotechnology*, 11(2), 131-151, <https://doi.org/10.1080/10641199309379912>.
- Collot, J-Y., Lewis, K., Lamarche, G. ve Lallemand, S. (2001). The giant Ruatoria debris avalanche on the northern Hikurangi margin, New Zealand: result of oblique seamount subduction, *Journal Geophysical Research*, 106(B9), 19271-19297, <https://doi.org/10.1029/2001JB900004>.
- Çağatay, M.N., Algan, O., Sakinc, M., Eastoe, C., Tolun, L., Balkis, N., Ongan, D. ve Caner, H. (1999). A Mid-Late Holocene sapropelik sediment unit from the southern Marmara shelf and its palaeoceanographic significance. *Quaternary Geology Reviews*, 18, 531-540, [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(98\)00094-8](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(98)00094-8).
- Çetin, H., Güneçli, H. ve Mayer, L. (2003). Paleoseismology of the Palu-Lake Hazar segment of the East Anatolian Fault Zone, Turkey. *Tectonophysics*, 374(3-4), 163-197, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2003.08.003>.
- Dalla Valle, G., Gamberi, F., Rocchini, P., Minisini, D., Errera, A., Baglioni, L. ve Trincardi, F. (2013). 3D seismic geomorphology of mass transport complexes in a foredeep basin: examples from the Pleistocene of the central adriatic basin (Mediterranean Sea). *Sedimentary Geology* 294, 127-141, <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2013.05.012>.
- Dan-Unterseh, G., Sultan, N. ve Savoye, B. (2007). The 1979 Nice harbour catastrophe revisited: trigger mechanism inferred from geotechnical measurements and numerical modelling. *Marine Geology*, 245(1-4), 40-64, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2007.06.011>.
- Dugan, B. ve Flemings, P.B. (2000). Overpressure and fluid flow in the New Jersey continental slope: implications for slope failure and cold seeps. *Science* 289(5477), 288-291, <https://doi.org/10.1126/science.289.5477.288>.
- Duman, T.Y. ve Emre, Ö. (2013). The East Anatolian Fault: Geometry, Segmentation and Jog Characteristics. *Geological Society, London, Special Publications published online*, 372,495-529, <https://doi.org/10.1144/SP372.14>.
- Dunne, L.A. ve Hempton, M.R., (1984). Deltaic sedimentation in the Lake Hazar pull-apart basin, south-eastern Turkey. *Sedimentology*, 31(3), 401-412, <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1984.tb00868.x>.
- Elverhøi, A., Norem, H., Anderson, E.S., Dowdeswell, J.A., Fossen, I., Haflidason, H., Kenyon, N.H., Laberg, J.S., King, E.L., Sejrup, H.P., Solheim, A. ve Vorren, T., (1997). On the origin and flow behavior of submarine slides on deep-sea fans along the orwegian-Barents Sea continental margin. *Geo-Marine Letters*, 17, 119-125, <https://doi.org/10.1007/s003670050016>.
- Eriş, K.K. (2013). Late Pleistocene-Holocene sedimentary records of climate and lake-level changes in Lake Hazar, eastern Anatolia, Turkey, *Quaternary International*, 302, 123-134, <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.12.024>.
- Eriş, K.K., Ryan, W.B.F., Çağatay, M.N., Sancar, U., Lericolais, G., Ménot, G. ve Bard, E. (2007). The timing and evolution of the post-glacial transgression across the Sea of Marmara shelf south of Istanbul. *Marine Geology*, 243(1-4), 57-76, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2007.04.010>.
- Eriş, K.K., Akçer Ön, S., Çağatay, M.N., Ülgen, U.B., Ön, Z.B., Gürocak, Z., Arslan, T.N., Bal Akkoca, D., Damcı, E., İnceöz, M. ve Öztekin Okan, Ö. (2018a). Late Pleistocene to Holocene paleoenvironmental evolution of Lake Hazar, Eastern Anatolia, Turkey. *Quaternary International*, 436, 4-16, <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.09.027>.
- Eriş, K.K., Arslan, T.N. ve Sabuncu, A. (2018b). Influences of climate and tectonic on the middle to late Holocene deltaic sedimentation in Lake Hazar, Eastern Turkey. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43, 3685-3697, <https://doi.org/10.1007/s13369-017-3021-1>.

- Förster, A. (2011). *Geotechnical measurements to characterise slope sediments and to identify landslide mechanisms and their impact on ecosystems*, Doctoral Thesis, Faculty of Geosciences of Bremen University.
- Förster, A., Stegmann, S., Meyer, M., Strozyk, F., Krastel, S. ve Kopf, A. (2007). Geotechnical investigations to characterise landslide-prone slope sediments in the Cretan Sea (Northern Crete). *International Conference and 97th Annual Meeting of the Geologische Vereinigung* (pp.149). Bremen.
- Förster, A., Strasser, M., Strozyk, F., Spagnoli, G., Stegmann, S. ve Kopf, A. (2008). Characterization of landslide-prone slope sediments in the Cretan sea (eastern Mediterranean), *33rd International Geological Congress* (pp.151), Oslo.
- Förster, A., Spieß, V., Kopf, A.J. ve Dennielou, B., (2010a). Mass wasting dynamics at the deeper slope of the Ligurian Margin (Southern France). Mosher, DC., Shipp, C., Moscardelli, L., Chaytor, J., Baxter, C., Lee, H., and Urgeles, R. (Ed.), *Submarine Mass movements and Their Consequences* (pp. 67-77). New York; London: Springer.
- Förster, A., Ellis, R.G., Henrich, R., Krastel, S. ve Kopf, A.J. (2010b). Geotechnical characterization and strain analyses of sediment in the Mauritania Slide Complex, NW-Africa. *Marine and Petroleum Geology*, 27(6), 1175-1189, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2010.02.013>.
- Frey-Martínez, J., Cartwright, J. ve James, D. (2006). Frontally confined versus frontally emergent submarine landslides: a 3D seismic characterisation. *Marine and Petroleum Geology*, 23(5), 585-604, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2006.04.002>.
- Gazioglu, C., Yucel, Z.Y. ve Dogan, E., (2005). Morphological features of major submarine landslides of Marmara Sea using multibeam data. *Journal of Coastal Research*, 21(4), 664-673, <https://doi.org/10.2112/03-0060.1>.
- Gee, M., Uy H.S., Warren, J.K., Morley, C.K. ve Lambiase, J.J. (2007). The Brunei slide: a giant submarine landslide on the North West borneo margin revealed by 3D seismic data. *Marine Geology*, 246(1), 9-23, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2007.07.009>
- Gokceoglu, C., Tunusluoglu, M.C., Gorum, T., Tur, H., Gokasan, E., Tekkeli, A.B., Batuk, F. ve Alp, H. (2009). Description of dynamics of the Tuzla Landslide and its implications for further landslides in the northern slope and shelf of the Cinarcik Basin (Marmara Sea, Turkey). *Engineering Geology*, 106(3-4), 133-153, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.02.007>.
- Gorur, N., Ozeren, M.S., Cagatay, M.N. ve Sengor, A.M.C. (2008). Northern margin of the Cinarcik Basin: An unstable submarine fault scarp prone to mass movements. *61th Geological Congress of Türkiye* (pp. 219-220). Ankara.
- Gürocak, Z. (1993). *Sivrice (Elazığ) Çevresinin Jeolojisi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Hampton, M.A., Lee, H.J. ve Locat, J. (1996). Submarine landslides. *Reviews of Geophysics*, 34(1), 33-59, <https://doi.org/10.1029/95RG03287>.
- Hempton, M.R. (1984). Results of detailed mapping near Lake Hazar (Eastern Taurus Mountains). *Geology of Taurus Belts*, 229-235.
- Hempton, M.R. (1985). Structure and deformation history of the Bitlis Suture Zone near Lake Hazar southeastern Turkey. *The Geological Society of America Bulletin*, 96(2), 233-243, [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1985\)96<233:SADHOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1985)96<233:SADHOT>2.0.CO;2).
- Hempton, M.R., Dunne, L.A. ve Dewey, J.F. (1983). Sedimentation in an active strike-slip basin, South-eastern Turkey, *Journal of Geology*, 91(4), 401-412, <https://doi.org/10.1086/628786>.
- Herece, E. ve Akay, E. (1992). Karlıova-Çelikhan arasında Doğu Anadolu Fayı. *Türkiye 9. Petrol Kongresi Bildirileri*, 361-372.
- Huntington, E. (1902). The valley of the upper Euphrates River and its people. *Geological Society of America Bulletin*, 34, 301-318.
- Hühnerbach, V. ve Masson, D.G. (2004). Landslides in the North Atlantic and its adjacent seas: an analysis of their morphology, setting and behaviour. *Marine Geology*, 213(1-4), 343-362, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2004.10.013>.
- Imran, J., Harff, P. ve Parker, G. (2001a). A numerical model of submarine debris flow with graphical user interface. *Computers & Geosciences*, 27(6), 717-729, [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(00\)00124-2](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(00)00124-2).
- Imran, J., Parker, G., Locat, J. ve Lee, H. (2001b). 1D Numerical model of muddy subaqueous and subaerial debris flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(11), 959-968, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2001\)127:11\(959\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2001)127:11(959)).
- Ioualalen, M., Migeon, S. ve Sardoux, O. (2010). Landslide tsunami vulnerability in the Ligurian Sea: case study of the 1979 October 16 Nice international airport submarine landslide and of

- identified geological mass failures. *Geophysical Journal International*, 181(2), 724-740, <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04572.x>.
- Jackson, J.A. ve McKenzie, D. (1984). Active tectonic of the Alpine-Himalayan belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 77, 185-264.
- Kaya, A. (1993). *Gezin-Maden (Elazığ) çevresinde jeolojik araştırmalar*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kaya, A. (2004). Gezin (Maden-Elazığ) çevresinin jeolojisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 41-50.
- Kaymakci, N., Inceöz, M. ve Ertepinar, P. (2006). 3D architecture and neogene evolution of the Malatya basin: inferences for the kinematics of the Malatya and Ovacik fault zones. *Turkish Journal of Earth Sciences* 15, 123-154.
- Kaymakci, N., Inceöz, M., Ertepinar, P. ve Koc, A. (2010). Late cretaceous to recent kinematics of SE Anatolia (Turkey), In: Sosson, M., Kaymakci, N., Stephenson, R., Starostenko, V., Bergerat, F. (Eds.), *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform. Geological Society London Special Publications*, 340, 409-435, <http://dx.doi.org/10.1144/SP340.18>.
- Kennett, J.P., Cannariato, K.G., Hendy, I.L. ve Behl, R.J. (2003). Methane hydrates in quaternary climate change: the Clathrate Gun Hypothesis. *Washington DC: American Geophysical Union Special Publication*, 54, 216, <http://dx.doi.org/10.1029/054SP>.
- Ketin, İ. (1966). Anadolu'nun tektonik birlikleri, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 66, 20-34.
- Kim, G.Y. ve Kim, D.C. (2001). Comparison and correlation of physical properties from the plain and slope sediments in the Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan). *Journal of Asian Earth Sciences*, 19(5), 669-681, [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(00\)00062-6](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(00)00062-6).
- Koçyiğit, A., Aksoy, E. ve Inceöz, M. (2003). Basic Neotectonic Characteristics of the Sivrice Fault Zone in the Sivrice-Palu area, East Anatolian Fault System (EAFS), Turkey, *Excursion Guide Book, International Workshop on the North Anatolian, East Anatolian and Dead Sea Fault Systems: Recent Progress in Tectonics and Palaeoseismology*, METU (Ankara, Turkey).
- Kokum, M., ve Inceoz, M. (2018). Structural analysis of the northern part of the East Anatolian Fault System. *Journal of Structural Geology*, 114, 55-63, <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2018.06.016>.
- Kopf, A.J., Stegmann S., Garziglia, S., Henry, P., Dennielou, B., Haas, S. and Weber, K.C. (2016). Soft sediment deformation in the shallow submarine slope off Nice (France) as a result of a variably charged Pliocene aquifer and mass wasting processes. *Sedimentary Geology*, 344, 290-309, <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2016.05.014>.
- Korup, O. (2012). Earth's portfolio of extreme sediment transport events. *Earth Sciences Review*, 112(3-4), 115-125, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.02.006>.
- Kuscu, I., Okamura, M., Matsuoka, H., Yamamori, K., Awata, Y. ve Özalp, S. (2009). Recognition of active faults and stepover geometry in Gemlik Bay, Sea of Marmara, NW Turkey. *Marine Geology*, 260(1-4), 90-101, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2009.02.003>.
- Lee, C., Yun, T.S., Lee, J.S., Bahk, J.J. ve Santamarina, J.C. (2011). Geotechnical characterization of marine sediments in the Ulleung Basin, East Sea. *Engineering Geology*, 117(1-2), 151-158, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2010.10.014>.
- Lee, H.J. (2009). Timing of occurrence of large submarine landslides on the Atlantic Ocean margin. *Marine Geology*, 264(1-2), 53-64, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2008.09.009>.
- Lee, H.J., Chun, S.S., Yoon, S.H. ve Kim, S.R. (1993). Slope stability and geotechnical properties of sediment of the southern margin of Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan). *Marine Geology*, 110(1-2), 31-45, [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(93\)90103-3](https://doi.org/10.1016/0025-3227(93)90103-3).
- Lipman, P.W., Normark, W.R., Moore, J.G., Wilson, J.B. ve Guatmacher, C.E. (1988). The giant submarine Alike debris slide, Mauna Loa, Hawaii. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 93(B5), 4279-4299, <https://doi.org/10.1029/JB093iB05p04279>.
- Locat, J. (2001). Instabilities along ocean margins: a geomorphological and geotechnical perspective. *Marine and Petroleum Geology*, 18(4), 503-512, [https://doi.org/10.1016/S0264-8172\(00\)00076-3](https://doi.org/10.1016/S0264-8172(00)00076-3).
- Locat, J. ve Lee, H.J. (2002). Submarine landslides: advances and challenges. *Canadian Geotechnical Journal*, 39, 191-212, <https://doi.org/10.1139/t01-089>.
- Locat, J., Leroueil, S., Locat, A. ve Lee, H. (2014). *Weak layers: their definition and classification from a geotechnical perspective*, In: Krastel S, Berhmann JH, Volker D, Stipp M, Berndt C, Urgeles R, Chaytor JD, Huhn K, Strasser M, Harbitz CB (eds) *Submarine mass movements and their consequences*, Switzerland: Springer International Publishing.

- Lu, N., Ristow, G.H. ve Likos, W.J. (2000). The accuracy of hydrometer analysis for fine-grained clay particles. *Geotechnical Testing Journal*, 23(4), 487-495, <https://doi.org/10.1520/GTJ11069J>.
- Lyberis, N., Tekin, Y., Chorowicz, J., Kasapoğlu, E. ve Gündoğdu, N. (1992). The East Anatolian Fault: an oblique collisional belt. *Tectonophysics*, 204(1-2), 1-15, [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(92\)90265-8](https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90265-8)
- Ma, Z., Merkus, H.G., de Smet, J.G.A.E., Heffels, C. ve Scarlett, B. (2000). New developments in particle characterization by laser diffraction: size and shape. *Powder Technology*, 111(1-2), 66-78, [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(00\)00242-4](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(00)00242-4).
- Maltman, A. (Ed.) (1994). *The geological deformation of sediments*. Dordrecht: Springer.
- Maslin, M., Owen, M., Day, S. ve Long, D. (2004). Linking continental slope failures and climate change: testing the clathrate gun hypothesis. *Geology*, 32(1), 53-56, <https://doi.org/10.1130/G20114.1>.
- Masson, D.G. (1996). Catastrophic collapse of the volcanic island of Hierro 15 ka ago and the history of landslides in the Canary Islands. *Geology*, 24(3), 231-234, [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1996\)024<0231:CCOTVI>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1996)024<0231:CCOTVI>2.3.CO;2).
- Masson, D.G., Harbitz, C.B., Wynn, R.B., Pedersen, G. ve Løvholt, F. (2006). Submarine landslides: processes, triggers and hazard prediction. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 364(1845), 2009-2039, <https://doi.org/10.1098/rsta.2006.1810>.
- McAdoo, B.G., Pratson, L.F. ve Orange, D.L. (2000). Submarine landslide geomorphology, US continental slope. *Marine Geology*, 169(1-2), 103-136, [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(00\)00050-5](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(00)00050-5).
- Middleton, G.V. ve Hampton, M.A. (1973). Sediment gravity flows: Mechanics of flow and deposition. Middleton, G.V. and Bouma, A.H. (Ed.), *Turbidites and Deep Water Sedimentation* (pp. 1-38). California: SEPM Short Course Notes.
- Moreno, D.G., Ferrari, A.H., Moernaut, J., Fraser, J.G., Boes, X., Van Daele, M., Avsar, U., Çagatay, N. ve De Batist, M. (2011). Structure and recent evolution of the Hazar basin: a strike-slip basin on the east Anatolian Fault, Eastern Turkey. *Basin Research*, 23, 191-207, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2117.2010.00476.x>.
- Moscardelli, L. ve Wood, L. (2016). Morphometry of mass-transport deposits as a predictive tool. *GSA Bulletin*, 128(1-2), 47-80, <https://doi.org/10.1130/B31221.1>.
- Mountjoy, J. ve Micallef, A. (2018). *Submarine Geomorphology*, Chapter: Landslides, Springer International Publishing, https://doi.org/10.1007/978-3-319-57852-1_13.
- MTA, (2008). *DAF boyu jeoloji haritası, Palu ve Şiro Bölütü*. Ankara: Maden Tetkik Arama.
- MTA, (2012). *1/250000 Ölçekli Türkiye diri fay harita serisi, Elazığ Paftası, Seri No: 45*. Ankara: Maden Tetkik Arama.
- Mulder, T., Tisot, J.-P., Cochonat, P. ve Bourillet, J.-F. (1994). Regional assessment of mass failure events in the Baie des Anges, Mediterranean Sea. *Marine Geology*, 122(1-2), 29-45, [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(94\)90203-8](https://doi.org/10.1016/0025-3227(94)90203-8).
- Mulder, T. ve Moran, K. (1995). Relationship among submarine instabilities, sea level variations and the presence of an ice shett on the continental shelf: an example from the Verrill Canyon area, Scotian Shelf. *Palaeogeography and Paleoclimatology*, 10(1), 137-154, <https://doi.org/10.1029/94PA02352>.
- Mulder, T. ve Alexander, J. (2001). The physical character of subaqueous sedimentary density flows and their deposits. *Sedimentology*, 48(2), 269-299, <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.2001.00360.x>.
- Nalbant, S.S., McClosky, J., Steacy, S. ve Barka, A.A., (2002). Stres accumulation and increased seismic risk in Eastern Turkey. *Earth Planetary Science Letters*, 195, 291-298.
- Nardin, T.R., Hein, F.J., Gorsline, D.S. ve Edwards, B.D. (1979). A review of mass movement processes, sediment and acoustic characteristics, and contrasts in slope and base-of-slope systems versus canyon-fan-basin floor systems. Doyle, L.J., Pilkey, O. H. (Eds.), *Geology of continental slopes* (pp.61-73). California: SEPM Special Publication.
- Orange, D.L. ve Breen, N.A. (1992). The effects of fluid escape on accretionary wedges 2. Seepage force, slope failure, headless submarine canyons and vents. *Journal of Geophysical Research*, 97(B6), 9277-9295, <https://doi.org/10.1029/92JB00460>.
- Prakash, K. ve Sridharan, A. (2012). Classification of Non-Plastic Soils. *Indian Geotechnical Journal*, 42(2), 118-123, <https://doi.org/10.1007/s40098-012-0007-5>.
- Perinçek, D. (1979a). *Palu-Karabegan-Elazığ-Sivrice-Malatya alanının jeolojisi ve petrol imkanları*: TPAO arşiv no:1361.
- Perinçek, D. (1979b). *The geology of Hazro-Korudağ-Çüngüş-Maden-Ergani-Hazar-Elazığ-Malatya*

- Region. Ankara: Geological Society of Turkey, Special Publication.
- Piper, D.J.W., Cochonat, P. ve Morrison, M.L. (1999). The sequence of events around the epicentre of the 1929 Grand Banks earthquake: initiation of debris flows and turbidity currents inferred from sidescan sonar. *Sedimentology*, 46(1), 79-97, <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.1999.00204.x>.
- Prior, D.B., Bornhold, B.D., Coleman, J.M. ve Bryant, W.R. (1982a). Morphology of a submarine slide, Kitimat Arm. British Columbia. *Geology*, 10(11), 588-592. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1982\)10<588:MOASSK>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1982)10<588:MOASSK>2.0.CO;2)
- Rajasekaran, G. (2006). Influence of microfossils and pyrites on the behaviour of oceanbed sediments. *Ocean Engineering*, 33(3-4), 517-529, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2005.02.015>.
- Sarı, E. ve Çağatay, M.N. (2001). Distributions of heavy metals in the surface sediments of the Gulf of Saros, NE Aegean Sea. *Environment International*, 26(3), 169-173, [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(00\)00097-0](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(00)00097-0).
- Sarı, E. ve Çağatay, M.N. (2006). Turbidites and their association with past earthquakes in the deep Çınarcık Basin of the Marmara Sea. *GeoMarine Letters*, 26, 69-76, <https://doi.org/10.1007/s00367-006-0017-3>.
- Shanmugam, G. (2000). 50 years of the turbidite paradigm (1950s-1990s): deep-water processes and facies models - a critical perspective. *Marine and Petroleum Geology*, 17(2), 285-342, [https://doi.org/10.1016/S0264-8172\(99\)00011-2](https://doi.org/10.1016/S0264-8172(99)00011-2).
- Stegmann, S. (2007). *Design of a free-fall penetrometer for geotechnical characterisation of saturated sediments and its geological application*, Doctoral Thesis, Faculty of Geosciences of Bremen University, Germany.
- Stegmann, S. ve Kopf, A.J. (2017). Marine deep-water free-fall Cpt measurements for landslide characterisation off crete, Greece (Eastern Mediterranean Sea) Part 1: A New 4000M Cone Penetrometer. *Submarine Mass Movements and Their Consequences, Publishing Springer*, 171-177, https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6512-5_18.
- Stegmann, S., Mörz, T. ve Kopf, A.J. (2006). Initial results of a new Free Fall-Cone Penetrometer (FF-CPT) for geotechnical in situ characterisation of soft marine sediments. *Norwegian Journal of Geology* 86(3), 199-208.
- Strozky, F., Strasser, M., Förster, A., Kopf, A. ve Huhn, K., (2010). Slope failure repetition in active magrin environments-constraints from submarine landslides in the Hellenic forearc, eastern Mediterranean. *Journal of Geophysical Research*, 115(B8), 103, <https://doi.org/10.1029/2009JB006841>.
- Sungurlu, O., Perinçek, D., Kurt, G., Tuna, E., Dülger, S., Çelikdemir, E. ve Naz, H. (1985). Elazığ-Palu Alanının Jeolojisi. *T.C. Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Dergisi*, 29, 83-190.
- Şaroğlu, F., Emre, O. ve Kuşçu, I. (1992). The East Anatolian fault zone of Turkey. *Annalae Tectonicae*, 6, 99-125.
- Şengör, A.M.C., Görür, N. ve Şaroğlu, F. (1985). Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. K.T. Biddle ve N. Christie-Blick (Ed.), *Strike-slip Faulting and Basin Formation* (pp. 227-267). Tulsa: SEPM Special Publication.
- Talling, P.J., Clare, M., Urlaub, M., Pope, E., Hunt, J.E. ve Watt, S.F.L. (2014). Large submarine landslides on continental slopes: geohazards, methane release, and climate change. *Oceanography*, 27(2), 32-45, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2014.38>.
- Tappin, D.R., Grilli, S.T., Harris, J.C., Geller, R.J., Masterlark, T., Kirby, J.T. Shi, F., Ma, G., Thingbaijam, K.K.S. ve Mai, P.M. (2014). Did a submarine landslide contribute to the 2011 Tohoku tsunami? *Marine Geology*, 357, 344-361, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.09.043>.
- Tolun, L., Çağatay, N. ve Carrigan, W.J. (2002). Organic geochemistry and origin of Late Glacial-Holocene sapropelic layers and associated sediments in Marmara Sea. *Marine Geology*, 190(1-2), 47-60, [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(02\)00342-0](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(02)00342-0).
- TUBİTAK, (2014). *Hazar Gölü'nde (Elazığ) Pleyistosen-Holosen dönemi yüksek çözünürlüklü iklim ve su seviyesi değişimleri*. Proje No: 111Y045.
- Urlaub, M., Talling, P.J. ve Masson, D.G. (2013). Timing and frequency of large submarine landslides: implicatinos for understanding triggers and future geohazard. *Quaternary Science Reviews*, 72, 63-82, <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.04.020>.
- Vanneste, M., Forsberg, C.H., Glimsdal, S., Harbitz, C.B., Issler, D., Kvalstad, T.J., Løvholt, F. ve Nadim, F. (2006). Submarine landslides and their consequences: What do we know, what can we do? *The Second World Landslide Forum, Proceedings* (pp.1-11). Rome.
- Vitton, S.J ve Sadler, L.Y. (1997). Particle size analysis of soils using laser light scattering and X-Ray absorption technology. *Geotechnical Testing*

Journal, 20(1), 63-73,
<https://doi.org/10.1520/GTJ11421J>.

C. Göncüoğlu (Ed.), *Geology of the Taurus Belt International Symposium* (pp. 199-208). Ankara.

Wen, B., Aydın, A. ve Aydın-Duzgoren, N.S. (2002). A comparative study of particle size analysis by sieve-hydrometer and laser diffraction methods. *Geotechnical Testing Journal*, 25(4), 434-442, <https://doi.org/10.1520/GTJ11289J>.

Yılmaz, H., Över, S. ve Özden, S. (2006). Kinematics of the East Anatolian Fault zone between Turkoglu (Kahramanmaraş) and Celikhan (Adiyaman). Eastern Turkey. *Earth Planets Space*, 58, 1463–1473, <https://doi.org/10.1186/BF03352645>.

Westaway, R. (2003). Kinematics of the Middle East and eastern mediterranean updated. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 12(1), 5-46.

Yun, T.S., Narsilio, G.A. ve Santamarina, J.C. (2006). Physical characterization of core samples recovered from Gulf of Mexico. *Marine and Petroleum Geology*, 23(9-10), 893-900, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2006.08.002>.

Winters, W.J., Dugan, B. ve Collett, T.S. (2008). Physical properties of sediments from Keathley Canyon and Atwater Valley, JIP Gulf of Mexico gas hydrate drilling program. *Marine and Petroleum Geology*, 25, 896-905, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2008.01.018>.

Zhang, Z. ve Tumay, M.T. (1995). Granulometric evaluation of particle size using suspension pressure during sedimentation. *Geotechnical Testing Journal*, 18 (1), 121-129, <https://doi.org/10.1520/GTJ10129J>.

Yazgan, E. (1984). Geodynamics Evolution of the Southern Taurides in the Regio. O. Tekeli and M.