

Hakemli Makale
Revised Article

Tortum Gölü'nün (Uzundere-Erzurum) Güneybatısında Aktüel Sedimentasyon ve Siltasyona Bağlı Alan-Kıyı Çizgisi Değişimleri

Actual Sedimentation and Area-Shoreline Changes Related to Siltation Effect in Southwest Tortum Lake (Uzundere-Erzurum)

İbrahim KOPAR^a Cemal SEVİNDİ^a

^aAtatürk Üniversitesi, Edebiyat
Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Erzurum.

ÖZ

Tortum Gölü (Uzundere-Erzurum), Karadeniz Bölgesi'nin Doğu Karadeniz Bölümü'nde yer almaktadır. Gölün güneybatısındaki 3,29 km² lik bir alanda aktüel sedimentasyon olayı meydana gelmekte ve her yıl göle kadar taşınan yaklaşık 3,695.10⁶ ton süspansel sediman siltasyona sebep olmaktadır. Bu durum gölün hacmini azaltmakta ve dolayısıyla ekonomik ömrünü tüketmektedir. Arazi gözlemleri ve fotogrametrik yöntemle hazırlanan bu çalışmada, Tortum Gölü'nü tehdit eden sedimentasyon sürecine dikkat çekilmesi ve sorunun somut bir şekilde ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu bağlamda ilk olarak aktüel sedimentasyon ve alüvyal şekillenme süreci üzerinde durulmuştur. İkinci olarak 1947-2010 yılları arasındaki 63 yıllık devrede siltasyona bağlı olarak göle doğru büyüyen delta sahasındaki alan ve kıyı çizgisi değişimleri belgelenmiştir. Son derece yüksek jeoçeşitlilik gösteren araştırma sahasında Tortum Gölü'nün maruz kaldığı siltasyon tehdidine karşı acil önlemler alınmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Tortum Gölü, Aktüel sedimentasyon, Siltasyon, Erzurum, Türkiye.

ABSTRACT

Lake Tortum (Uzundere-Erzurum) is located in the eastern part of the Black Sea region. Actual sedimentation occurs in an area of 3.29 km² in southwest part of the lake and about 3.695.10⁶ ton of suspended sediment carried to the lake every year gives rise to siltation. This event causes decrease in the water-holding capacity of the reservoir and thereby shortens its economic life. Based on field observations and photogrammetric methods, this study aims to draw attention to threat caused by sedimentation in Lake Tortum and discusses the problem on the basis of concrete evidences. In this context, actual sedimentation and alluvial formation processes are primarily focused. Secondly, the shoreline and areal changes acting for the last 63 years are presented. It is necessary to take urgent precautions against the siltation threat which affects Lake Tortum in the mentioned field of research, showing very high degree of geodiversity.

Keywords: Tortum Lake, Actual sedimentation, Siltation, Erzurum, Turkey.

Geliş/Received: 05.04.2013
Kabul/Accepted: 03.06.2013

Sorumlu yazar/Corresponding author
(İ. Kopar) ikopar@atauni.edu.tr

GİRİŞ

Sedimentasyon sürecinde meydana gelen siltasyon, göl çanağını dolduran ve böylece gölün ekonomik ömrünü tüketen son derece önemli bir sorundur. Özellikle baraj göllerinde bu durum daha hassas bir konu olarak öne çıkmaktadır. Karadeniz Bölgesi'nin Doğu Karadeniz Bölümü içinde yer alan Tortum Gölü de (Uzundere-Erzurum) siltasyona maruz kalarak dolan baraj göllerimizden birisidir (Şekil 1). Son derece önemli olan bu konunun uzmanlar tarafından ilk kez gündeme alınması 1920 yılının ortalarına rastlarken (HUDSON vd., 1949: 913), baraj rezervuarlarında

ölü hacim¹ hesaplarının yapılmaya başlanması ise 1960'lı yıllara uzanmaktadır (PETTS ve GURNELL, 2005: 29).

Tortum Gölü'nde olduğu gibi, Anadolu'nun şiddetli erozyon etkisinde kalan sahalarında faydalı hacmi (TARHAN, 1996: 237) dolma tehlikesi gösteren veya bu nedenle ekonomik ömrünü tamamlayan birçok baraj gölü bulunmaktadır. Çubuk Çayı üzerinde Ankara'ya 11 km mesafede inşa edilen ve Ankara'nın içme suyunu sağlayan Çubuk Barajı-1 03 Kasım 1936 yılında hizmete girmiş fakat her yıl taşınan 163 bin ton sediman nedeniyle tutulan su miktarı azalmıştır

¹Bir barajın ekonomik ömrü süresince sedimanla dolması beklenen hacmi.



Şekil 1. Araştırma Sahasının Lokasyon Haritası.

Figure 1. Location Map of the Study Area.

(ÇELEBİ, 1972: 158). Geçen 25 yılda Çubuk Barajı-I'nin ekonomik ömrünü tamamladığı anlaşılınca aynı çay üzerinde ikinci bir barajın (Çubuk Barajı-II) 1961 yılında inşaatına başlanmış ve baraj 1964 yılında hizmete girmiştir². Çelebi (1972) tarafından yapılan bir çalışmada ülkemizdeki bazı baraj sahalarında çok şiddetli erozyona maruz kalan bölümlerin tüm su toplama alanına oranları tespit edilmiştir. Nitekim bu oran Keban Barajı (Elazığ) için %82, Demirköprü Barajı (Manisa) için %87, Ayrancı Barajı (Karaman) için %85,2, Altınapa Barajı (Konya) için %84,2 ve Hirfanlı Barajı (Kırşehir) için %70 olarak hesaplanmıştır (ÇELEBİ, 1972: 158). Yukarıda adı geçen baraj göllerinin de içinde yer aldığı ülkemizdeki önemli baraj göllerinden Demirköprü 41 yıl, Altınapa 19 yıl, Hirfanlı 33 yıl, Bayındır (Ankara) 28 yıl, Karamanlı (Burdur) 13 yıl, Kartalkaya (Kahramanmaraş) 19 yıl, Kemer-Bozdoğan (Aydın) 22 yıl, Selevir (Afyon) 27 yıl, Sürgü (Malatya) 35 yıl ve Yalvaç (Isparta) 27 yılda şiddetli erozyon nedeniyle planlanmış ölü hacimlerini (dead space) öngörülen sürelerden önce doldurarak ekonomik anlamda ömürlerini tamamlamıştır. Bunlardan başka Buldan (Denizli) Barajı'nın 72 yıl, Çaygören (Balıkesir) Barajı'nın 77 yıl, Çubuk-I Barajı'nın 75 yıl, Kesikköprü (Ankara) Barajı'nın 66 yıl ve Seyhan (Adana) Barajı'nın 70 yıl sonra ekonomik ömürlerini tamamlayacakları rapor edilmiştir (D.M.İ., 2002'ye atıfla ERTEK vd., 2004: 51). Ek olarak Ankara-Çamlıdere (YILMAZ, 2006: 91), Diyarbakır-Karakaya (YILDIRIM, 2006: 33), Elazığ-Keban (ŞENGÜN, 2001: 297) Elazığ-Karakaya baraj göllerinin de (ÖZDEMİR ve SUNKAR, 2003: 143) önemli derecede siltasyona maruz kaldığı bildirilmiştir. Siltasyon sürecinde baraj göllerinin sadece ekonomik ömrü tamamlanmamakta, aynı zamanda su ortamındaki canlı hayatı da tükenmektedir (FATİMAH ve SHARR, 1982: 240; KIVRAK ve GÜRBÜZ, 2006: 307).

Baraj gölleri gibi bizzat gözlemlene imkanı bulduğumuz doğal güzellikleriyle öne çıkan Otlukbeli (Erzincan) traverten setti gölü, Sapanca (Sakarya) Gölü, Karagöl (Borçka-Artvin) Heyelan gölü (KOPAR ve SEVER, 2008: 33) ve Karçal (Artvin) Dağı'ndaki Yıldız sirk gölü, Yalnızçam dağlarındaki Arsiyan (Göze Dağı) Yaylası'nda içinde bir çok yüzen ada bulunan sirk gölleri (BULUT vd., 2008: 133) gibi ismini burada saymanın olası olmadığı küçüklü büyüklü pek çok doğal gölümüz de siltasyon tehdidi altındadır.

Bu makalede Tortum Gölü'nü tehdit eden siltasyon sürecinin etkilerine dikkat çekilmesi ve sorunun bütün boyutlarıyla ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu bağlamda ilk olarak Tortum Gölü'nün kaynak tarafında (güneybatı) etkili olan aktüel sedimantasyon olgusu ele alınmış ve sahanın alüvyal jeomorfolojisi üzerinde durulmuştur. İkinci olarak önceki çalışmalardan farklı şekilde, 1947-2010 yılları arasındaki 63 yıllık alüvyal şekillenme sürecinde göl ve sedimantasyon alanı arasındaki alan-kıyı çizgisi değişimleri analiz edilerek, göle doğru hızla ilerleyen deltanın baraj gölü haznesini daraltması fotogrametrik yöntemle belgelenmiştir.

METOT ve MATERYAL

Araştırma, ofis ve arazi çalışmaları olmak üzere iki safhada gerçekleştirilmiştir. Ofis aşamasında sahayla ilgili bibliyografya incelenmiş, arazi safhasında ise çeşitli zamanlarda sahaya intikal edilerek incelemeler yapılmıştır. Eldeki veriler ışığında Tortum Gölü'nün güneybatı kıyı şeridindeki farklılıkları belirlemek amacıyla, çok zamanlı uydu uzaktan algılama verileri analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında Harita Genel Komutanlığı tarafından üretilmiş 1947, 1984 yılı baskılı 1/25000 ölçekli Tortum G47-d1,d2,d3,d4 nolu paftalar altlık harita olarak sayısallaştırılmıştır.

² www2.dsi.gov.tr/bölge/dsi5/Ankara.htm#cubuk2

Multitemporal analiz için Landsat 3 MSS (21/10/1975: 79 m.), Landsat 4-5 TM (23/09/1989, 30 m.) ve Landsat 7 ETM+ (05/09/2000: 07/09/2010; 30 m.) tarihli uydu görüntüleri kullanılmıştır. Farklı kaynaklı verilerde sahil çizgisi eşleşmelerini sağlamak, kıyı yamaç kesitlerini eşleştirmek, veri güvenilirliğini doğrulamak ve gelecekteki çalışmalara referans ağı oluşturmak amacıyla 2011 yılında DGPS (Differential Global Positioning System) ölçümleri (GUARIGLIA vd., 2006: 298; AKAR vd., 2012: 35-51; BARRAS vd., 2003: 39) gerçekleştirilmiştir.

Uzaktan algılama görüntüleri üzerinden yapılan sınıflandırmalarda, spektral yansıma değerleri kullanıldığından elde edilen sonuçların doğruluk oranı düşük olabilmektedir. Sonuçlardaki doğruluğun artırılabilmesi için sınıflandırmanın, mevcut haritalardan ve saha çalışmalarından elde edilmiş yardımcı verilerle desteklenmesi yoluna gidilmiştir. Farklı yapılarıdaki raster, vektör ve öznitelik bilgileri, veri tabanı düzeyinde entegre olarak kullanılan Netcad GIS v5.0 ve Erdas Imagine v9.1 yazılımları altında değerlendirilmiştir. Kıyı ile su yüzeylerinin sınıflandırmasında, yakın kızılötesi (NIR) band 4 kullanılmıştır. Bu band üzerinde, toprak ve su yüzeylerinin yanı sıra klorofil hassasiyeti nedeniyle bitki yayılım alanları da belirginleşmektedir (ZHU, 2001: 1-2; TAĞIL ve CÜREBAL, 2005: 56). Radyometrik düzeltme ihtiyacı tespit edilmeyen uydu görüntüleri için gereken geometrik düzeltmeler, yer kontrol noktalarından yararlanılarak yapılmıştır (JENSEN, 1996: 104). Çalışmada kullanılan tüm veri altlıkları, UTM European ED 50 datumunda ve 6 derecelik koordinat sisteminde tanımlanmıştır.

Uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında kontrollü sınıflandırma yöntemi (supervised classification) kullanılmış ve görüntü üzerindeki benzer bölgeler sınıflar halinde birleştirilmiştir. Landsat uydu görüntüleri sınıflandırılırken *en yüksek olasılık algoritması* seçilmiştir. Bu yöntemde öncelikle arazi sınıflarına ilişkin sınıf kontrol alanlarına ait istatistiksel değerler hesaplanmakta, ardından görüntü üzerindeki bilinmeyen her bir pikselin en çok benzer olduğu sınıfa ataması yapılmaktadır. Kontrollü sınıflandırma sonucu elde edilen raster harita, yersel çalışmalarla kesinleştirilmiş harita yardımıyla doğruluk analizine tabi tutulmuş ve yeterli başarı oranı sağlandıktan sonra raster halden vektör hale dönüşüm yapılmıştır (AYHAN vd., 2003: 33-34; CHENA vd., 2005: 72-74).

Arazi çalışmaları için belli dönemlerde sahaya intikal edilerek gözlemler ve alan ölçümleri yapılmış, sediment örnekleri alınarak Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü laboratuvarlarında Bouyoucos (Boykos) Hidrometre Yöntemi'yle (DEMİRALAN, 1981) tekstür analizleri yapılmıştır. Topografya, jeoloji ve jeomorfoloji haritaları çizilmiş ve siltasyon sahasının as fasiyesleri belirlenmiştir. Sahanın iklimsel karakterinin belirlenmesinde ise Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİGM) arşivinden sağlanan verilerden yararlanılmıştır. Tortum Çayı'nın akım ve rejim özelliklerinin ortaya konulmasında da Devlet Su İşleri Erzurum 8. Bölge Müdürlüğü'nden sağlanan veriler kullanılmıştır.

TORTUM GÖLÜ HAVZASI'NIN DOĞAL ORTAM ÖZELLİKLERİ

Litolojik Yapı

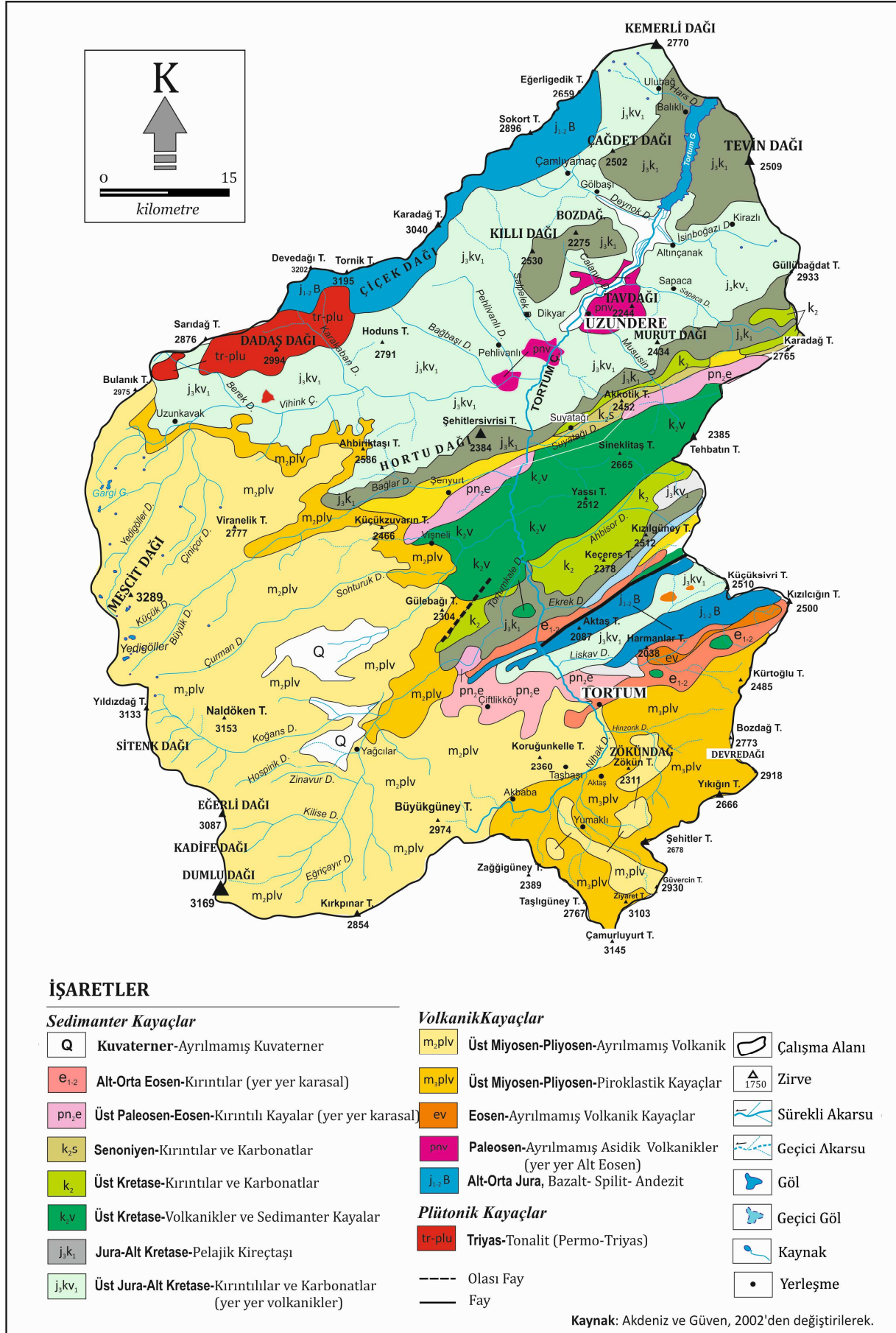
Tortum Gölü Havza'sında yüzeylenen litolojik birimlerin başında Mesozoik ve Tersiyer yaşta kayalar gelmektedir (Şekil 2). Temeli Alt-Orta Jura yaşlı bazalt, spilit ve andezitlerin meydana getirdiği sahada stratigrafik olarak üstte doğru volkanitler, denizel ortamı temsil eden Jura-Kretase yaşlı flišler ve kırıntılı kayalar sıralanmaktadır. Mesozoik yaşlı sedimanter kayalar içinde hâkim kaya türü özelliği gösteren kumtaşları, siltli-kumlu marn ve kireçtaşı ara tabakaları içermektedir. Ayrıca kumtaşları yer yer silttaşları, siltli-kumlu marn ve kireçtaşları ile düşey ve yanal yönde tedrici geçişlere sahiptir. Seyrek de olsa kumtaşları içerisinde çeşitli boyutlarda marn, kumtaşı, silttaşı parçaları içeren, çakıllı-bloklulu ve çok kötü boylanmalı, yeşil renkli, yer yer türbiditik özellik gösteren, çakıllı kumtaşı seviyeleri bulunmaktadır (YILMAZ, 1985: 24; BOZKUŞ, 1992: 107-108). Geçişler killi kireçtaşı ve kumtaşı nöbetleşmesiyle başlamakta üst seviyelerde kumtaşı tabakaları azalırken, killi kireçtaşları litolojiye egemen olmaktadır. Killi kireçtaşları gri siyah orta ve kalın tabakalı Alt Kretase kireçtaşlarından oluşmaktadır (BAYDAR vd., 1969: 27). Sakin ve nispeten durgun özellikte şelf ve şelf ilerisi bir ortamı yansıtan bu istifler (BOZKUŞ, 1992: 109) konkordan (uyumlu) tabakalaşma göstermektedir.

Sahada Üst Miyosen-Pliyosen volkanik kayaç toplulukları havzanın hemen hemen yarısını kaplamaktadır. Kuvaterner yaşlı kayalar ise geniş vadi tabanlarındaki akarsu çökelleri, dağlık kesimde eğimli yamaçların etek yüzeyleri boyunca görülen yelpaze konileri ve alüvyon yelpazeleri ile temsil edilmektedir.

Tortum Gölü sedimentasyon alanında yüzeylenen güncel alüvyonlar geniş akaçlama alanını temsil eden unsurlardan meydana gelmektedir. Ancak sediment kombinasyonunda suya karşı mukavemet derecesi düşük olan volkaniklerle fliš karakterli kayaların miktarı daha yüksektir. Çünkü Jura-Kretase birimler içindeki killi kireçtaşlarının kolayca çözünen ve mekanik yoldan kolayca kırılarak parçalanabilen özellikte oluşu, bu birimlerin göl fasiyesine ulaşan sedimentler içindeki oranını yükseltmektedir. Nitekim analizlerde, pelajik karakterli killi kireçtaşlarının %70-%85 arası CaCO₃ ve %15-30 arası kil içerdikleri saptanmıştır (PEKŞEN, 2006: 19). Yağışlı dönemlerde süspanse sediment girdisinin artmasında ve dolayısıyla siltasyon olayının hız kazanmasında killi kireçtaşlarının yüzeyleme alanının geniş olması büyük rolü vardır.

Jeomorfolojik Özellikler

Kuzey Anadolu Orojenik Kuşağı'ndaki Mescit Dağları (3230 m) ile Kargapazarı Dağları (3045 m) arasında yer alan Tortum Çayı Havzası, oldukça dağlık bir görünüme sahiptir. Saha, Mesozoik'te Tetis Denizi tarafından kaplanmış ve bu jeosenkinalde biriken kalın tortullar, Pre-Alpin ve Alpin tektonik hareketlerle kıvrılarak yükselmiş; antiklinaller ve senklinallerden oluşan kıvrımlı bir yapı oluşmuştur.



Şekil 2. Tortum Gölü su toplama havzası'nın jeoloji haritası.
Figure 2. Geological map of the drainage basin of Lake Tortum.

Özellikle Neojen ve Kuvaterner'de epirojenik stilde yükselen saha akarsularla parçalanarak günümüzdeki şeklini kazanmıştır (ATALAY, 1979-1980: 53; ATALAY, 1982: 17). Neojen'den günümüze meydana gelen tektonik etkinliklere volkanizma, Mescit silsilesinde Kuvaterner buzullaşması ve tüm sahaya egemen olan akarsu aşındırmasının eşlik etmesi şekillenme sürecinde belirleyici olmuştur. Nitekim Çoruh Nehri'nin önemli kollarından biri olan Tortum Çayı'nın volkanik ve sedimanter içerikli yüksek yereyi derin şekilde parçalamasıyla dağlar ve bunları kesen çeşitli tipte (kertik, geniş tabanlı ve boğaz) vadiler ortaya çıkmıştır.

Reliefin ana birimlerinden dağlar sahanın en dikkat çeken yer şeklidir. Mescit Dağı (3289 m), Dumlu Dağı (3169 m), Egerli dağı (3087 m), Dadaş Dağı (2994 m), Çiçek Dağı (3195 m), Kılı Dağı (2530 m), Kemerli Dağı (2770 m), Çağdet Dağı (2502 m), Tevin (Çağlayan) Dağı (2509 m), Tav Dağı (2244 m) ve Zökün Dağı (2244 m) reliefde öne çıkan kütlelerdir.

Sahanın şekil çeşitliliği bir ölçüde şiddetli erozyonun da göstergesi gibidir. Reliefin çok sayıda zirveye ev sahipliği yapması, belli kademelerde aşınım yüzeylerinin olması ve derin yarılmış vadi sistemi ile birikim şekilleri bu durumu açıkça yansıtmaktadır. Dumlu dağlarından kaynağını alan ve çevredeki yüksek dağlardan beslenen Tortum Çayı sedimanter kıvrımlı yapı üzerinde dar ve derin boğaz vadiler (Tortum, Cevizli, Kirazlı yarma vadileri) oluşturmuştur. Jeomorfolojik süreçte oluşan diğer şekiller arasında; antiklinallerin kesilmesi ile belirginleşmiş özel şekillerden kuestalar, relief terselmesini gösteren tünemiş senkinal yapıları, yüksek eğim değerine (ortalama % 35-40) sahip yamaçlar, keskin sırtlar, törpülenmiş zirveler, heyelan yapıları, badlands topografyası ve peribacaları (KOPAR ve ÇAKIR, 2012: 1016-1018) ve nihayet Mescit Dağı üzerinde Pleistosen buzullaşması sırasında oluşan aşındırma (sivri zirveler,

keskin sırtlar, sirkler, buzul vadileri) ve biriktirme (moren depoları) şekilleri sayılabilir (ATALAY, 1984: 129-130).

Yukarıda belirtilen jeomorfolojik üniteler yanında sedimantasyon sahasına ulaşan akarsuların ağızlarında beliren çok sayıda birikinti konisi ve yelpazesiyile genç etek düzlükleri dikkat çekmektedir.

Havzada şekillenme süreci tüm hızıyla sürmektedir. Bu durumun güncel göstergesi Tortum gölünün güneybatısında oluşumu devam eden sedimanter şekillerdir. Bunlar arasında da en dikkat çeken baraj içine doğru ilerleyen siltli, killi gereç egemen deltadır.

İklim Özellikleri

Araştırma sahası Karadeniz Bölgesi'nin nemli iklimi ile Doğu Anadolu karasal ikliminin geçiş sahasında yer almaktadır (KARAHAN vd., 2011: 398). Sahanın iklim özelliklerini ortaya koymak için 1572 m de yer alan Tortum ve 1300 m'de yer alan Uzundere meteoroloji istasyonuna ait rasat verileri kullanılmıştır (Tablo 1, Tablo 2). Buna göre sıcaklık koşulları bakımından Tortum (8,19 °C) ile Uzundere'nin (9,29 °C) yıllık ortalama değerleri arasında sadece 1.1°C'lik fark bulunduğu görülür. Ancak bu durum çoğu kez yanıltıcı olur. Çünkü Uzundere meteoroloji istasyonu (1300 m) Tortum meteoroloji istasyonuna (1572 m) göre hem 272 m daha aşağıda hem de derin bir vadi içinde olması nedeniyle daha izole koşullarda rasat yapılmaktadır. Bu nedenle Uzundere'de sıcaklıkların daha erken yükselmeye başladığı görülür. Zaten bu durum vejetasyon devresine daha önce giren bitki örtüsünde de izlenebilmektedir.

Tablo 1. Tortum ve Uzundere meteoroloji istasyonlarına ait ort. sıcaklık değerlerinin aylara göre dağılımı.

Table 1. The distribution of monthly average temperature values gathered by Tortum and Uzundere meteorological stations.

Sıcaklık (°C)	AYLAR												Yıllık Ort.
	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	Ek	K	Ar	
Tortum	-3,6	-2,4	1,6	7,8	12,2	16,3	20,0	19,8	15,3	9,6	3,4	-1,7	8,19
Uzundere	-2,8	-1,2	4,4	11,5	14,8	18,8	22,1	21,9	18,0	11,1	4,8	-0,8	9,29

Kaynak: DMİGM.

Tablo 2. Tortum ve Uzundere meteoroloji istasyonlarına ait ortalama yağış değerlerinin aylara göre dağılımı.

Table 2. The distribution of monthly average precipitation values gathered by Tortum and Uzundere meteorological stations.

Yağış (mm)	AYLAR												Yıllık Ort.
	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	Ek	K	Ar	
Tortum	23,7	31,4	39,9	57,3	64,6	57,1	38,8	23,7	22,0	43,3	37,4	29,5	468,7
Uzundere	12,6	19,3	16,2	30,5	41,9	48,2	26,1	17,4	8,8	38,5	28,2	20,0	307,7

Kaynak: DMİGM.

Yağış durumuna gelince; Tortum'da ortalama yıllık yağış tutarı 468,7 mm, Uzundere'de ise 307,7 mm dir. Yağışın mevsimlere dağılışı bakımından incelendiğinde hem Uzundere'de hem de Tortum'da ilkbahar (Uzundere: 88,6 mm:

%28,8; Tortum: 161,8 mm: %34,6) ve yaz (Uzundere: 91,7 mm: %29,8; Tortum: 119,6 mm: %25,5) yağışlarının toplam yağış içindeki payları yüksektir. Bu durum belli mevsimlerde diğerlerine göre sediment veriminin daha fazla olacağını göstermektedir. Özellikle nisan ayından başlaya-

rak dağlık kesimlerdeki karların hava sıcaklıklarının yükselmesine paralel şekilde erimeye başlamasıyla akım değerleri yükselmektedir. Debinin temmuz ortalarına kadar yüksek değerini koruması sayesinde akarsular önemli miktarda kaba ve süspanse yük nakletmektedir. Nisan-mayıs aylarında hava sıcaklıklarının henüz düşük seyretmesi, haziran-temmuz aylarında ise yüksek seyreden buharlaşmaya rağmen kar erimelerinden yüzey akışa katılan suyun biraz gecikmeyle debiye intikali ve kaynaklarla beslenme, akım üzerinde buharlaşmanın olumsuz etkisini bertaraf etmektedir.

Doğal Bitki Örtüsü

Orman, çalı ve ot vejetasyonuna ait türlerin yer aldığı sahada ormanlar yüksek kesimlerde tutunmuştur. Kuzey yamaçlarda yer yer saf yer yer de kesintiler halinde sarıçamlar (*Pinus sylvestris*), güneye bakan yamaçlarda ise meşelerle (*Quercus sp*) ardıçlar (*Juniperus sp*) birlik ve dağın topluluklar halinde görülmektedir. Tortum vadisi boyunca ve Tortum Gölü civarında Akdeniz elementlerine (karaçalı, incir gibi) rastlanırken, sahanın geriye kalan bölümleri antropojen steplerden oluşmaktadır.

Toprak Özellikleri

Sahada olgun bir profile sahip olmayan intrazonal (flişler üzerinde kumlu-çakıllı topraklar) ve azonal (alüviyal, kolüviyal ve litosoller) topraklar hakimdir (KOPAR ve ÇAKIR, 2012: 1020). Yüksek eğimli yamaçlar, şiddetli erozyon ve fakir bitki örtüsü yüzünden toprak gelişimi sınırlı kalmıştır. Verimli topraklar çoğunlukla akarsu boylarındaki taşkın düzlüklerinde yüzeylenen alüviyal topraklardan oluşmakta-

dır. Sedimentasyon sahasında kısmen verimli topraklar görülür. Toprakların sığ ve taşı oluşu yanında çok sayıda küçük parselden meydana gelmiş olması verimliliği düşüren sorunların başında gelmektedir.

Hidrografik Özellikler

Sedimentasyon süreci ile Tortum Çayı ve drene olduğu Tortum Gölü arasında yakın bir ilişki vardır. Bu nedenle Tortum Çayı ile Tortum Gölü'ne ait belli başlı özelliklerin iyi bilinmesi gerekmektedir.

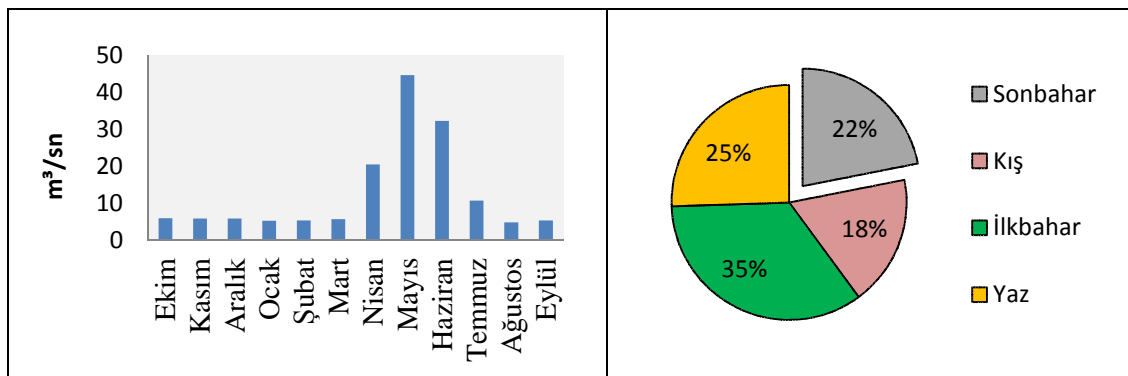
Tortum Çayı, Dumlu dağlarından (3169 m) kaynağını alan ve havzayı çevreleyen yüksek dağlardan beslenerek önce Tortum Gölü'ne ardından da Oltu Çayı ile birleşerek Çoruh Nehri'ne dökülmektedir. Dandritik drenaja sahip basit rejimli bir akarsu olan Tortum Çayı, Tortum Gölü'ne ulaşmadan önce vadi uzunlukları 3 km ile 24 km'yi bulan çok sayıda yan kolun sularını toplamaktadır (Tablo 3). Şüphesiz vadi uzunluğunun fazla olması göle taşınan yük miktarının yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Yamaç uzunluklarının (GABRIELS, 1999: 170) ve eğim değerinin yüksek oluşu da erozyonu şiddetlendirerek fazla miktarda sediman sağlanmasına neden olmaktadır.

Tortum Çayı'nın Dikyar akım gözlem yerine göre 1991-1999 yıllarındaki ortalama akım 4,9 m³/sn ile 44,6 m³/sn arasında değişmektedir (Akım verileri, DSİ Erzurum 8. Bölge Müdürlüğü'nün 1991-1999 akım gözlem kayıtlarından temin edilmiştir). En düşük akımlar ağustos ayında en yüksek akımlar ise mayıs ayında kaydedilmiştir (Şekil 3).

Tablo 3. Tortum Gölü'ne sediment nakleden önemli akarsular ve vadi uzunlukları.

Table 3. Important streams which carry sediment to Lake Tortum and lengths of valley.

Akarsuyun Adı	Vadi Uzunluğu (Metre)	Akarsuyun Adı	Vadi Uzunluğu (Metre)	Akarsuyun Adı	Vadi Uzunluğu (Metre)
İsinboğazı	3085	Pehlivanlı	8416	Ekrek	3538
Deynok	6700	Bağbaşı	9861	Liskav (Çamlıca)	12480
Sapaca	7939	Vihink	24033	Hinzorik	8138
Mususin	7434	Bağlar	23728	Uzungüney	7721
Galanın	3885	Suyatağı	5379	Çarkın	7956
Salpelek	5677	Ahbisor	7279		



Şekil 3. Dikyar akım gözlem verilerine göre hazırlanan akım rejim diyagramı ve akımın mevsimlere dağılışı.

Figure 3. The flow regime diagram and the seasonal distribution of flow, prepared in accordance with the data of Dikyar stream gaging station.

Yıllık toplam akımın en fazla ilkbahar mevsiminde (%34,6) en düşük toplam akımın ise Kış mevsiminde (% 18,0) gerçekleştiği görülmektedir. Yıllık toplam akım tutarları rasat yılları içinde 345,20 milyon m³ ile 372,43 milyon m³ arasında değişmektedir.

Akım miktarları ile taşınan yük arasında yakın bir bağlantı vardır. Yukarıdaki verilerin ışığında Tortum Çayı'nın akımın en yüksek olduğu ilkbahar mevsiminde en fazla, en düşük olduğu kış mevsiminde en az yükü Tortum Gölü'ne ulaştığı anlaşılmaktadır.

Tortum Gölü, radyokarbon (¹⁴C) yaşlama tekniği sonuçlarına göre 350-370 ± 40 yıl önce (DUMAN, 2009: 78) Kemerdidağ'dan (2770 m) kopan bir heyelan kütesinin Tortum Çayı vadisinin önünü kapatması ile oluşmuş bir heyelan set gölüdür (LAHN, 1939: 1; LAHN, 1944: 137; ATALAY, 1979-1980: 58; AYGEN, 1983: 19; ATALAY, 1988: 23). Doğal setin gerisinde toplanan sular daha sonra bir ayakla Tevin (Çağlayan) Dağı'ndan kaynağını alan Tev (Tiv) deresi ile birleşip Kara Tepe'nin (1475 m) GB'sında açtığı yaklaşık 600 m uzunluğundaki dar boğazdan geçerek heyelandan önce kullandığı eski yatağına intikal etmiştir. Gölün fazla sularının drene olduğu ayağı 1971-1972 yılında tamamlanan 1,5 m yüksekliğinde ve 35 m uzunluğunda betonarme bir bentle kesilerek baraja dönüştürülmüştür. DSİ kaynaklarına göre; enerji elde etmek amacıyla 15 Mayıs 1960 yılında yapımı tamamlanan 26 MW gücündeki Tortum Hidroelektrik Santralinden yıllık 100 GHv elektrik üretilmektedir. Suyun bir bölümü de Tortum Şelalesi'ne (AYGEN, 1983: 19; DOĞANAY, 1994: 85) verilmektedir. Normal su kotunda gölün hacmi maksimum 57,6 hm³ dir³. Asıl gövdesi heyelan materyalinden oluşan gölün uzunluğu kuş uçuşu yaklaşık olarak 8,2 km genişliği ise Balıklı (Zihik) köyü doğusundaki en geniş yerinde 1,4 km dir. Gölün deniz seviyesinden yüksekliği ise 1010 m dir.

Tarafımızdan yapılan ölçümlerde Tortum Çayı Havzası'nın yüzölçümü 1897 km², Tortum Gölü'nün akaçlama alanı ise 1835 km² dir. Tortum Gölü'nün su yüzeyinin toplam alanı ise tarafımızdan 6,5 km² olarak hesaplanmıştır. Gölün yüzey alanının, siltasyona ve hidroelektrik santraliyle birlikte şelaleye su verilmesi sebebiyle küçüldüğü belirlenmiştir. Kıyı kuşağında suyun çekildiğini gösteren tortu ve organik materyal izleri bu hususa işaret etmektedir. Gölün derinliği, delta sahasından göle doğru artmaktadır. Delta üzerinden göle doğru ilerlendiğinde delta platformunun kırıldığı ve üst yamaçtan alt yamaca doğru derinliğin giderek arttığı tespit edilmiştir. Atalay'ın hazırladığı batimetrik haritaya göre Tortum Gölü, derinlikleri birbirinden farklı iki bölümden oluşmaktadır. Maksimum derinliği yaklaşık 75 m olan birinci bölüm deltaya kuş uçuşu 1,5 km mesafededir. Gölün daha derin olan ikinci bölümü Balıklı köyü sahili açıklarında olup yaklaşık 95 m dir. İki derin bölümü birbirinden ayıran sualtı eşliğinin su yüzeyinden itibaren derinliği ise yaklaşık 39 m olarak belirlenmiştir (ATALAY, 1979-1980: 59). Söz konusu sualtı eşliğinin büyük olasılıkla Çağdet ve Tevin

dağlarından göle doğru oluşmuş büyük heyelanların su altında kalan kütlelerinin eseri olduğunu düşünmekteyiz.

AKTÜEL SEDİMENTASYON ve ALÜVYAL ŞEKİLLENME SÜRECİ

Tortum Gölü olduğu günden beri Tortum Çayı vasıtasıyla sediman kabul eden önemli bir rezervuardır. Nitekim gölün güneybatısındaki geniş bir alanda sedimentasyon olayı gerçekleşmekte ve bunun sonucunda göl çanağı sedimentasyonla ilişkili olarak daralma problemi yaşamaktadır. Tortum Gölü'nden ilk zamanlarda çok fazla yararlanılmadığı düşünüldüğünde, olayın o zaman diliminde bir problem olarak yansımaması doğaldır. Ancak gölün gideğine yapay bir setin çekilmesi ve hidroelektrik santralinin kurulmasının ardından günümüze kadar geçen süreçte sulama, şelaleye su verilmesi ve elektrik enerjisi elde etmeye yönelik artan su ihtiyacı ve daha önemlisi siltasyonla gölün faydalı hacmindeki daralmanın gözle görülür boyutlara ulaşması olayın bir sorun olarak algılanmasını sağlamıştır.

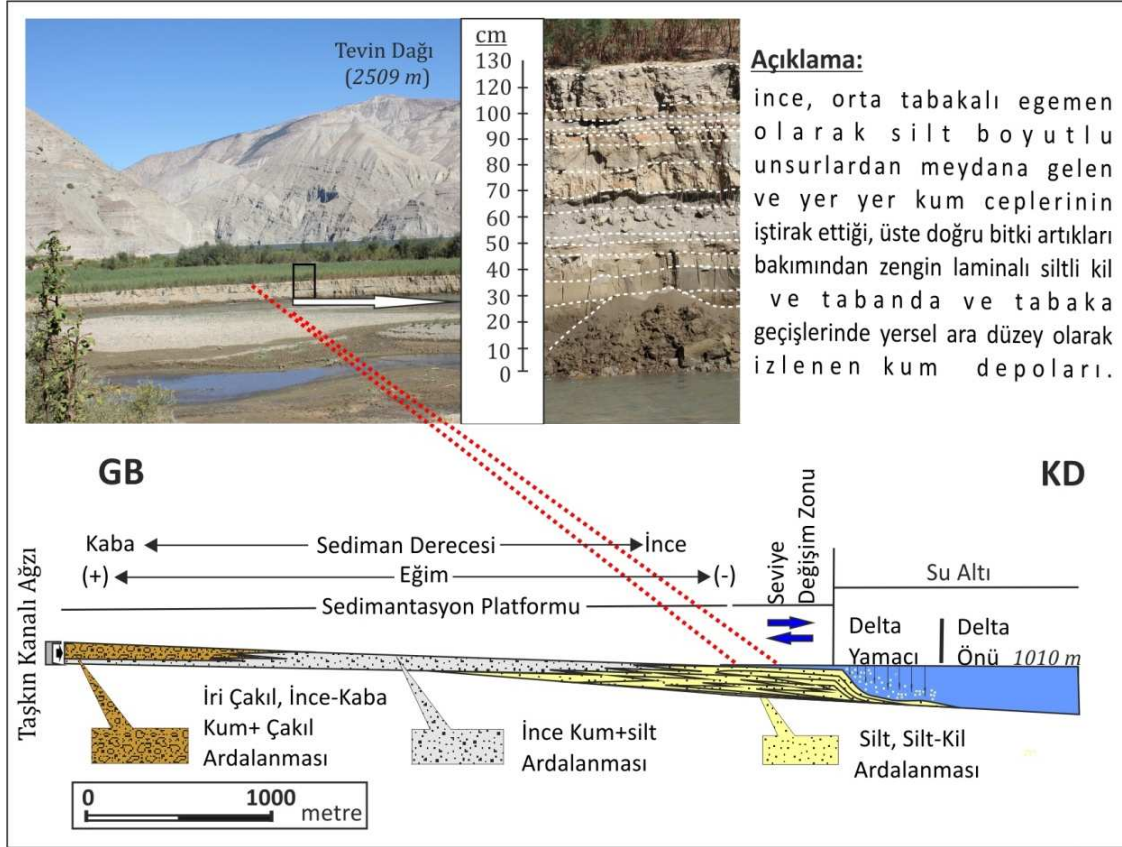
Bir sedimentasyon olayı olan siltasyon, silt (0,004-0,062 mm) ve kil (<0,004 mm) boyutlu (CHARLTON, 2008: 105) unsurların çökmesidir. Bilindiği gibi bu süreçte silt, yüzer durumda kolaylıkla taşınabilmekte ve su hızının azaldığı ve durulma eğilimine girdiği geniş yatakta yavaş bir şekilde dibe çökmektedir. Çökmenin göl ortamındaki gelişimi az da olsa farklılık göstermektedir. Nitekim bir akarsu göle ulaştığında akış derinliği kademeli şekilde artarken, hızı da aynı paralellikte azalmaktadır. Hızın düşmesi unsurların dibe inmesine sebep olmaktadır. Böylece sedimanlar rezervuarın az derin ağız kısmından itibaren akış yönünde birikerek set oluşturmaya başlamaktadır. Bu olayın uzun süre devam etmesiyle göle ulaşan sedimanlar Tortum Gölü'nde olduğu gibi su içine doğru girinti yapan bir *siltli, killi egemen gereç delta* oluşturmaktadır.

Arazi gözlemleri, hava fotoğrafları ve topoğrafya haritaları üzerinden yaptığımız analizler, sedimentasyonun etkili şekilde Cizirik T. (1165 m) ile Beşkardeşler T. (1441 m) arasında yer yer daralan geniş vadi tabanında başlayıp Tortum Gölü kıyı çizgisine kadar uzanan tabanda artan miktarda devam ettiğini ortaya koymuştur. Buna göre sedimentasyondan toplam 3,29 km²lik bir alan etkilenmektedir. Bu alanda yüzeylenen alüvyon örtünün yaklaşık 1 ila 6 m kalınlıkta olduğu ve kalınlığın göle doğru arttığı tespit edilmiştir. Yatak eğiminin yaklaşık % 2-3 civarına düştüğü platformda akarsuyun hızlı aktığı kesimlerde istifin asıl elemanı çakıl (2,0-64,0 mm) ve kumdan (0,062-0,5 mm), yavaş aktığı kesimlerde ise ağırlıklı olarak silt ve kil den oluşmaktadır. Toprak kanaldan başlayarak göl istikametinde önce iri çakıl, kaba ve ince kumun egemen olduğu alüvyonlar yataklanmaktadır. Bizzat deltada ise tepe çökeltileri (top-set beds) silt ağırlıklı olmakla birlikte ince kum ve çakıl da içermektedir. Platformun göl yakınındaki dönemsel *seviye değişim zonunda* (fore-set beds) çökelen unsurların neredeyse tamamı siltten meydana gelmektedir. Ancak dip çökellerinde (bottom-set beds) kilin baskın unsur olduğunu

³ <http://www2.dsi.gov.tr/bolge/dsi26/artvin.htm>.

düşünmekteyiz. Asıl platformla göl arasında kendine özgü bir as fasiyes durumundaki delta, ince orta tabakalı, ege-men olarak silt boyutlu unsurlardan oluşan ve yer yer kum ceplerinin iştirak ettiği üste doğru organik materyal bakımından zenginleşen, laminalı siltli killer ve tabanda ve tabaka geçişlerinde ara düzey olarak izlenebilen kum depolarından meydana gelen bir kesit sunmaktadır (Şekil 4).

Çalışma sahasında Güresinli'nin yaptığı süspans ve kaba sediment analizlerinde göl rezervuarına kadar ulaşan sediman örnekleri içinde silt oranının % 62'yi geçtiği tespit edilmiştir (GÜRESİNLİ, 1998: 84). Deltanın muhtelif kesimlerinden aldığımız dört örneğin Bouyoucos (Boykos) Hidrometre Yöntemi'yle yapılan tekstür analizlerinde de siltin % 52 ile % 88 arasında değişen oranlarda olduğu tespit edilmiştir. Deltaik unsurlar içinde siltten sonra en fazla bulunan unsurun kil ve kum olduğu anlaşılmıştır (Tablo 4).



Şekil 4. Tortum Gölü siltasyon sahasında görünür sediman kesiti ve sedimantasyon as ortamları.

Figure 4. Sediment section and main sedimentation environments which appear in Lake Tortum siltation area.

Tablo 4. Siltasyon sahasındaki art kıydan alınan sediman örneklerinin tekstürel dağılışı ve sınıfı.

Table 4. Textural distribution and class of sediment samples taken from the back coast in siltation area.

Örnek No	Örnek Yeri	Kum %	Silt %	Kil %	Tekstür Sınıfı
1	Erzurum-Artvin karayolunun 80 m güneyi (Siltasyon sahasının kuzey kenarı)	33	52	15	Siltli tın (SiL)
2	Delta kıyı şeridi (Kıyı çizgisine uzaklık maksimum 10 m)	4	88	8	Silt (Si)
3	Delta kıyı şeridi (kıyı çizgisine uzaklık maksimum 35 m)	11	73	16	Siltli tın (SiL)
4	Delta açığı (kıyı çizgisine uzaklık maksimum 350 m)	24	57	19	Siltli tın (SiL)

Siltasyona neden olan yükün büyük bir bölümü akarsuların yukarı havzasından temin edilmektedir. Bu husus Church tarafından yapılan bir çalışmada da ortaya konulmuş ve birçok akarsuda yatak yükünün % 75'inin yukarı havzadan sağlandığı tespit edilmiştir (CHURCH, 2002: 541-542). Durum Tortum Çayı Yukarı Havzası'nda da aynıdır. Çünkü yukarı havzanın dağlık reliefinde ortalama yamaç

eğiminin % 25 in üzerinde olması akarsuyun hem kinetik enerjisini hem de korazyon gücünü artırmaktadır. Ayrıca doğal bitki örtüsünün fakirliği nedeniyle yüzeyin korumasız oluşu erozyonu tetiklemekte ve buna kolay sediment veren içeriğiyle volkanik ve kırıntılı kayaların (fliş) alan içindeki payının yüksek oluşu da eklenince sediman veriminin fazla olması kaçınılmaz olmaktadır. Havzanın orta kesiminde de buna benzer as fasiyesler bulunmakta ve buradan da ol-

dukça fazla sediman temin edilmektedir. Özellikle kaynak sahaları Mescit ve Dumlu dağlarına ulaşan ve vadi uzunluğu yüksek olan Bağlar, Vihink, Karakaban, Tortumkale, Çurman çayları ile Kargapazarı Dağları'nın kuzey aklarına kadar uzanan Nihak, Hinzorik, Liskav, Ekrek, Ahbisor, Suyatağı, Mususin Sapaca derelerinin sediman temininde büyük rol üstlendiği görülmektedir (Şekil 5). Bu akarsulara ek olarak Tortum Gölü'nü kuzeyden sınırlandıran Çağdet Dağı'ndan kaynağını alan Deynok ve Hars dereleriyle gölü güneyden sınırlandıran Tevin Dağı'ndan doğan İsinboğazı dere de ilave edildiğinde gölün kaynak tarafına ulaşan sediman miktarı büyük oranlara ulaşmaktadır.

Sedimanların önce Oltu Çayı'na buradan da Çoruh Nehri'ne ulaşmadan önce depolandığı ilk istasyonun Tortum Gölü olması doğal olarak unsurların büyük bir bölümünün göl çanağında tutulmasına yol açmaktadır. Nitekim göle giren ve çıkan suyun fiziksel olarak berraklık nispeti bu durumu açıkça belli etmektedir.

Güresinli tarafından yapılan doktora tezi çalışmasında havzanın toplam sediman verimi ve akımla-yük arasındaki ilişkiler açıkça ortaya konulmuştur (Tablo 5). Buna göre, gözlem yerinde (Dikyar köprüsü-Uzundere) su seviyesinin 129 cm olduğu haziran ayında süspans (yüzer halde) yük konsantrasyonu 64,590 ppm, seviyenin 29 cm olduğu ocak ayında 1,0 ppm olarak belirlenmiştir. Ortalama 1,65 m³/sn akımla şubat ayında günlük 0,15 ton/gün sediman verimi elde edilirken ortalama 54 m³/sn akımla haziran'da 163,10³ ton/gün'lük en yüksek değere ulaşılmaktadır. Sediman içinde süspans yükün yıllık tutarı 3.695.10⁶ ton/yıl (1,759.10⁶ m³/yıl) olarak tespit edilmiştir. Kaba yükün süspans sedimane oranı ise 596,10³ ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Havzanın toplam sediman verimi ise 2,9.10³ ton/km²/yıl olarak bulunmuştur (GÜRESİNLİ, 1998: 119-121). Atalay'a göre ise göle taşınan sediment miktarı yaklaşık olarak 2,5 milyon m³/yıl dır (ATALAY, 1979-1980: 60). Görüldüğü gibi Tortum Gölü'ne yüksek miktarda sediman taşınmakta ve gölün ölü hacmi her geçen gün biraz daha artmaktadır.

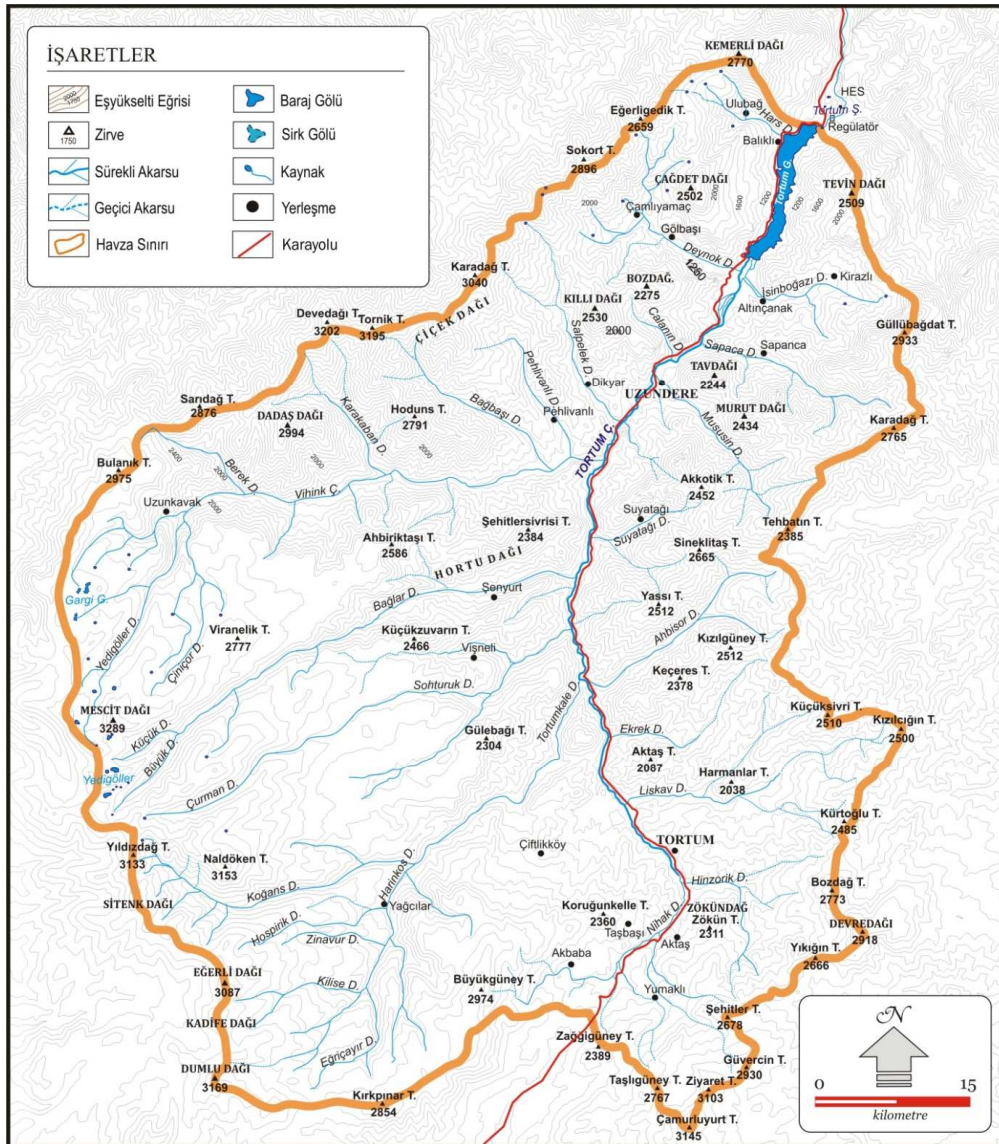


Figure 5. Hydrography map of the drainage basin of Lake Tortum.

Tortum Gölü su toplama havzasında yüzey erozyonunun çok şiddetli olduğunu belgeleyen en önemli kanıtlar arasında derin yarılmış vadi sistemi ve eğimli yamaçlarda yüzey erozyonuyla ortaya çıkan badlands topografyasının varlığı gösterilebilir (KOPAR ve ÇAKIR, 2012: 1013-1015). Hemen hemen her yamaçta farklı örnekleriyle yer yer derin (gully) ve sığ yarıntılarla (rill) bunları birbirinden ayıran keskin sırtlar göze çarpmaktadır. Havzada dekar başına bir yılda taşınan sediman miktarının 5,56 ton, kilometrekare başına taşınan sediman miktarının ise 2536 ton olduğu ve yaklaşık hesapla havza genelinde yılda 1,2 mm'lik bir aşınma (GÜRESİNLİ, 1998: 113) göz önüne alındığında erozyonun boyutları daha kolay anlaşılmaktadır.

Tablo 5. Tortum Çayı'nın ortalama taşkın akımı, akım-yük ilişkisi ve sediment verimiyle ilgili bazı analizler (GÜRESİNLİ, 1978: GÜRESİNLİ, 1998).

Table 5. Some analyses related to average flood flow of Lake Tortum and relation of flow-load and sediment yield.

Su seviyesi Ve Süsp. yük Konsant. (Haziran)	Su seviyesi ve Süsp. yük Konsant. (Ocak)	Akım ve Günlük süspanse sediment (Şubat)	Akım ve günlük süspanse sediment (Haziran)	Süspanse sediment miktarı	Kaba sedimentin süspanse sedimente oranı	Havzanın toplam sediment verimi
184 cm	29 cm	1,65 m ³ /sn	54,0 m ³ /sn	3,695.10 ⁶ Ton/yıl	% 16	2,9.10 ³ Ton/km ² /yıl
64,590ppm	1,0 ppm	0,15Ton/gün	163.10 ³ Ton/gün	1,759.10 ⁶ m ³	596.10 ³ Ton/yıl	

Aşındırma şekillerinden rill, gully gibi erozyon yarıntıları; sedimentasyon sahasını sınırlandıran üst ve alt yamaçlarla, malzemesini aynı yamaçtan alan unsurlardan meydana gelen ve alt yamaca paralel biçimde uzanan genç etek düzlüklerinde rastlamak mümkündür.

Birikim sahasında, özellikle kum-çakıl alımının olmadığı kesimlerde akarsuyun taşkın zamanları dışında kullandığı kendi dolgusu üzerinde yatağını derinleştirmesiyle kenarlarda kalan kısımlar kenar dikliğine dönüşmüş durumdadır. Kenar diklikleri (setleri) aynı zamanda levelerin (doğal set) bir parçası olup yatağa bağlanmaktadır.

Sedimentasyon alanında örgülü drenajla yazoo tipi kavuşma gösteren çok sayıda dağıtım kanalı arasında uzun baklava dilimlerine benzeyen levelerin çokluğu dikkat çekmektedir. Leve materyali göl yakınında ince, kaynak tarafına doğru ise daha çok kaba sedimanlardan meydana gelmektedir. Doğal setler dışında özellikle kum-çakıl ocaklarının işletim sahasında akım yönüne dik veya vev oluşturulmuş yapay setler de vardır. Nitekim sedimentasyon sahasının üç farklı kesiminde yataktan kontrolsüz olarak kum-çakıl alınmaktadır⁴. Yatağın düzeni üzerinde onarıla

Baraj gölünün belirlediği geçici yerel kaide seviyesine göre sedimentasyon sahasındaki alüvyal örtü üzerinde bir takım aktüel jeomorfolojik üniteler ortaya çıkmıştır. Bu ünitelerin bir kısmı aşındırma bir kısmı ise biriktirmenin eseridir. Aşınmayla oluşan şekiller arasında rill ve gully tipi yarıntılar gösterilebilir. Birikmeyle oluşan şekiller ise; geniş bir yatakla göle ulaşan vadi tabanında görülen doğal leveler (setler), kenar setleri, yapay (antropojen) leveler, yapay kum adacıkları, art bataklık depoları, yazoo tipi akım kanalları, kum adacıkları ve deltadır (Şekil 6).

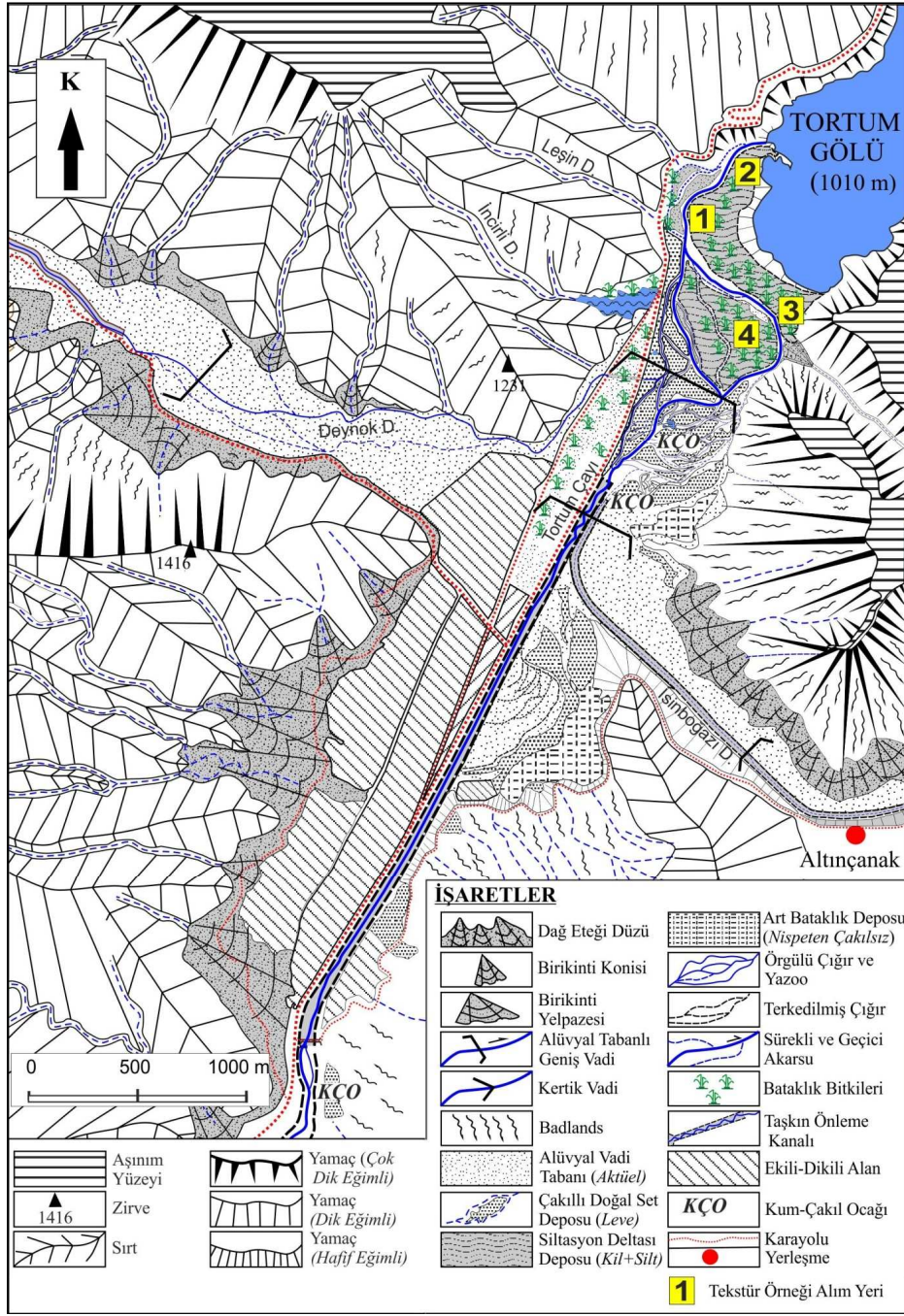
mayacak ölçeklerde tahribat yapan bu işlem sırasında daha rahat çalışmak amacıyla yapay setler ve kum adaları oluşturulmakta, kum alınan yerde çeşitli derinliklerde çukurluklar açılmakta ayrıca kum ve çakılın taşınması için yollar oluşturulmaktadır. Mevcut suyun kum-çakıl alımında işleri zorlaştırmaması için yapılan işlemler yatağın sık sık değişmesine ve pekişmiş alüvyal örtünün gevşeyerek akarsuyun sediman içeriğinin nispi şekilde artmasına yol açmaktadır. Taşkın dönemlerinde açılan çukurluklar doğal yolla kısmen doldurulsu ve setlerin bir kısmı yıkılsa dahi akarsuyun akışı ve dolayısıyla doğal sediman dağıtımını bozulmaktadır.

Gerçekten bugün gölün kaynak tarafında, her geçen gün siltli, killi gereçlerin birikmesiyle biraz daha gelişen büyük bir delta bulunmaktadır⁵ (Fotoğraf 1). Tortum Çayı'nın taşıdığı sediman miktarının fazlaca olması ve alüvyal tabanlı geniş bir vadide düşük eğimin de etkisiyle tüm yatağa yayılan akarsuyun kinetik enerjisinin düşmesi sedimentasyonla sonuçlanmaktadır. Havzadaki hemen hemen bütün kolların toplandığı toprak kanalın ağzından itibaren kimi zaman doğal kimi zaman da insan müdahaleleriyle oluşan küçüklü büyüklü dağıtım mecraları örgülü bir drenaj sistemi

⁴ Erzurum Kültür ve Tabiat Varlıkları Kurulu Müdürlüğü'nün 5 Mayıs 2000 tarih ve 1010 sayılı kararıyla Tortum Gölü ve şelalesi I. derecede doğal sit alanı ilan edilmiş ve sınırı 1/25.000 ölçekli haritada belirlenmiştir. Kurul 22 Haziran 2002 tarihli toplantısında sit alanının yeterli olmadığına kanaat getirerek 1207 nolu kararla sit alanını genişletme kararı almıştır. Bu kararlar, sit alanının delta üzerinden geçen sınırı 40°35'28" N den 40°35'15" N ye çekilmiştir. Alınan bu karara göre delta sahasındaki kum-çakıl

ocaklarının faaliyetleri sonlanmış olmalıydı. Ancak göl ekosisteminin korunmasına katkı sağlaması beklenen bu karara uyulmadığı ve ocakların faaliyetlerine hala devam ettiği görülmektedir.

⁵ Tortum Gölü'nün güneybatısındaki siltasyon sahasında göle doğru girinti yapan siltli, killi depoların su üstündeki bölümünün bazı yıllarda klasik bir delta görünümünde olması ve sürecin delta oluşumuna uyması nedeniyle oluşum *delta* olarak tanımlanmıştır.



Şekil 6. Tortum Gölü Sedimentasyon Sahasının Jeomorfoloji Haritası.

Figure 6. Geomorphologic Map of Lake Tortum Sedimentation Area.



Fotoğraf 1. Tortum Gölü sedimentasyon sahasında oluşan delta. Su seviyesi nispeten düşük olduğu için deltanın göle doğru uzayan burnu henüz boğulmamıştır.

Photo 1. Delta that has emerged in Lake Tortum sedimentation area. Foreland of delta extending toward the lake has not disappeared yet because water level is relatively low.

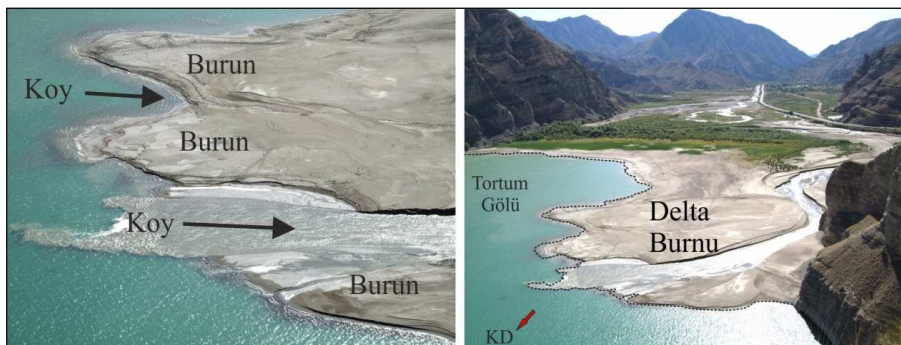
oluşturmaktadır. Gerçekten de su yüksekliğinin fazla olduğu yıllarda çığırklar değişebilmekte hatta kum-çakıl ocaklarının da katkısıyla mecrada kaymalar veya belli taraflara yönelimler gerçekleşmektedir. Haliyle çoğunlukla aynı tabanda birbirine paralel, yazoo tipi kavuşmayla yer yer menderesler yaparak ilerleyen suyun sediman dağıtımındaki etkisi de farklı yansımakta ve ağırlık merkezleri mevsimsel şekilde değişmektedir. Deltanın yukarı kısmında gelişen yeni provenste uzanımı kabaca güney-kuzey doğrultusunda asıl elemanını söğütlerin meydana getirdiği bitki adası da akış üzerinde etkilidir. Günümüzde her biri ağaç formu kazanmış söğütler, güçlü kök sistemi sayesinde hem toprağı tutarak akarsuyun doğrudan göle ulaşmasına mani olmakta hem de kuzeye doğru yönlendirerek diğer küçük kollarla birleştikten sonra göle drene olmasını sağlamaktadır. İşte son dönemlerde deltanın doğrudan göl ekseninde büyüyeceği yerde Çağdet Dağı istikametinde büyümesinin asıl nedeni budur.

Her yıl yağışlı ve kurak dönemlerde nöbetleşen pozitif ve negatif seviye değişimleri kıyı çizgisinin göl ve kara tarafındaki çökme sürecini denetlerken aynı zamanda deltanın şeklini tayin etmektedir (Fotoğraf 2). Çökme, göl seviyesinin belirlediği *seviye değişim zonuna* göre gelişmekte ve buna paralel istiflenme gerçekleşmektedir. Delta şekline gelince; göl seviyesinin yükseldiği ve alçaldığı durumlarda farklı görünüm ortaya çıkmaktadır. Yağışlı devrede göl seviyesinin yükselmesi deltanın neredeyse tümüyle boğulmasına yol açmaktadır. Kurak devreye doğru seviyenin tedrici şekilde düşmesiyle önce delta tepesi bir burun gibi göl istikametinde açığa çıkmakta ve seviyenin ilerleyen günlerde daha da düşmesiyle delta ucundan göle drene olan akarsu birkaç yerden göle ulaşarak çatal sayısına göre ikili üçlü küçük koylar (dağıtım arası koyları) oluşturmaktadır (Fotoğraf 3). Koyların göle bakan ağzı açık olup hilale benzemektedir. Ancak koyların dolmasıyla hilal şekli çabucak bozulup kaybolmaktadır.



Fotoğraf 2. Belli tarihlerde delta sahasından görünümeler.

Photo 2. Views from delta area in certain dates.



Fotoğraf 3. Delta üzerindeki dağıtım arası koyları ve burunlar.

Photo 3. Bays and forelands on the delta.

Deltanın sualtındaki bölümü (pro-delta) suyun sürekli bulanık olması nedeniyle görünmemektedir. Ancak ikili bazen üçlü koy-burun yapısından çıkarımla delta cephesinin, sualtına doğru uzanan birbirine paralel oluk-sırt yapısı dalgali yamaca işaret etmektedir. Burun ve dağıtım arası koylarını her yıl görmek mümkün değildir. Çünkü göl seviyesinin yükselmesiyle bu yapılarla birlikte deltanın büyük bir bölümü boğulmakta; ancak bu durum fazla uzun sürmemektedir. Çünkü barajdan hem Tortum HES'e, hem de şelaleye yıl boyunca su verilmektedir.

SILTASYON ALANI ve KIYI ÇİZGİSİ DEĞİŞİMLERİ

Siltasyon alanı ve kıyı çizgisi değişmelerini belirlemek amacıyla 1945 yılında hazırlanarak 1947 tarihinde basılan 1/25 000 ölçekli Tortum G47-d4 paftasındaki kıyı çizgisine ait koordinat bilgileri esas alınmıştır. Daha sonra hazırlanmış topografya haritalarında Tortum Çayı'nın mecra değişikliklerine yer verilmekle birlikte delta alanındaki büyüme yer verilmemiştir. Bu eksikliği gidermek ve multitemporal analiz için yakın zamanlı Landsat 3 MSS (21/10/1975, 79 m.), Landsat 4-5 TM (23/09/1989, 30 m.) ve Landsat 7 ETM+ (05/09/2000, 07/09/2010, 30 m.) tarihli uydu görüntülerinden yararlanılmıştır.

1945 yılında hazırlanarak 1947 tarihinde basılan 1/25.000 ölçekli Tortum G47-d4 paftasında, 1/25.000 ölçekli topografya haritalarından tahvilen hazırlanan 1967 tarihli 1/100.000 ölçekli Tortum G47 paftasında ve 1944-1970 tarihli hava fotoğrafları ile 1/100.000 ölçekli topografya haritalarından tahvilen hazırlanan 1972 tarihli ve 1/250.000 ölçekli topografya haritalarında kuzeybatıdaki İncirli ve Leşin derelerinin güneydoğuda ise Kundakaç derenin Tortum Gölü'ndeki koylara drene olduğu görülmektedir. Havai fotogrametri yöntemi ile kıymetlendirilmiş ve revizyonu yapılmış 1985 tarihli 1/25.000 ölçekli topografya haritasının Tortum G47-d4 paftasında da görünümün aynı olduğu tespit edilmiştir. Tortum Gölü'nün siltasyonuna dair ilk bilgileri veren Aygen, gölün ilk oluştuğu zaman uzunluğunun 12,5 km olduğunu, 1952- 1972 yılları arasındaki 20 yıllık devrede de siltasyon sahasının 375 m ilerlemesiyle göl uzunluğunun 8,5 km'ye düştüğünü ifade etmiştir (AYGEN, 1972'ye atıfla GÜRESİNLİ, 1998: 114). Günümüzde ise gölün uzunluğu yaklaşık olarak 8,2 km'dir. Güresinli'nin 1973 yılı gözlemlerinde sözü edilen akarsulardan İncirli Dere'sinin ağzının tamamen sedimanla dolduğu, Leşin Dere'nin ağzının dolmak üzere olduğu ve bu kesimdeki siltasyon katının kalınlığının 4,5 m olduğu görülmüştür (GÜRESİNLİ, 1978: 135). Tarafımızdan yapılan analizlerde de siltasyon sahasının hızla büyümeye devam ettiği, siltasyon sahasının uç kısmında büyüyen deltanın bir burunla göle doğru büyük bir çıkıntı yaptığı ve dönemsel olarak delta sahasının ileriye ve yanlara doğru genişlediği tespit edilmiştir.

tasyon sahasının hızla büyümeye devam ettiği, siltasyon sahasının uç kısmında büyüyen deltanın bir burunla göle doğru büyük bir çıkıntı yaptığı ve dönemsel olarak delta sahasının ileriye ve yanlara doğru genişlediği tespit edilmiştir.

Siltasyon Alanındaki Değişimler

a-1947-1975 yılları arasındaki 28 yıllık devrede siltasyon alanındaki büyüme miktarı 247 m² (% 34,4) olmuş, İncirli koyu, Kumun dere koyları dolmuş, Lesin koyuna doğru hızlı bir ilerleme gerçekleşmiştir. Siltasyonun göle doğru yaptığı büyük girinti, çok sayıda dağıtım kanalı tarafından beslendiğini göstermektedir. Yıllık büyüme ortalaması 8,8 m² olarak hesaplanmıştır (Tablo 6).

b-1976-1989 yılları arasındaki 14 yıllık devrede siltasyon alanındaki büyüme miktarı 264 m² (% 36,8) dir. Bu devrede Lesin Koyu ile birlikte Kaleboynu T. (1704 m) nin güneybatı sahilindeki küçüklü büyüklü koylar tamamen dolmuştur. Yıllık büyüme ortalaması 20,3 m² dir. Alan ve süre ilişkisi bakımından 1947-1975 yılları arasındaki büyümeyle kıyaslandığında daha kısa sürede daha geniş bir alanın siltasyona maruz kaldığı anlaşılmaktadır.

c-1990-2000 yılları arasındaki 11 yıllık devrede siltasyon alanındaki büyüme miktarı 105 m² (% 14,6), ortalama yıllık büyüme ise 10,5 m² olarak gerçekleşmiştir. Kaleboynu Tepe'nin göle doğru yaptığı girintinin de yardımıyla siltasyonun güney-güneydoğuya kaydığı anlaşılmaktadır (Şekil 7). Ayrıca bu devrede alansal bir daralma fark edilmektedir. Sedimentasyon koşullarının aşağı yukarı aynı kaldığı düşünüldüğünde bu devredeki büyüme artık gölün derinleşmesine bağlı olarak sınırlı gerçekleşmiştir. Derinleşen gölde sedimanın her yöne yayılmak yerine dikey büyüyen delta cephesini beslediği anlaşılmaktadır. Alüvyal şekillenme koşulları değişmemesine rağmen ilerlemenin bu defa cepheden gerçekleşmesi büyümeyi frenlemiş gözükmektedir.

d-2001-2010 yılları arasındaki 10 yıllık devrede ise alansal büyüme miktarı 102 m² (% 14,2), ortalama yıllık büyüme ise 7,6 m² olarak tespit edilmiştir. Göldeki nispi derinleşme etkileri bu devrede de etkisini göstermiştir. Nitekim kuzeyde ve güneydoğudaki küçük ölçekli büyüme dışında alan değişimi gözlenmemiştir.

Yukarıdaki bulgulardan hareketle alansal büyümenin 63 yıllık devrede 1947 yılı kıyı çizgisine göre 718 m² olarak gerçekleştiği ve ortalama yıllık büyümenin ise 11,4 m² olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 6. Tortum Çayı Deltası'nda 1947-2010 yılları arasında meydana gelen alansal değişimler.
Table 6. The changes on the area between 1947-2010 in the delta of Stream Tortum.

Yıllar	Süre (yıl)	Alansal Büyüme Miktarı (m ²)	Alansal Büyüme Oranı (%)	Yıllık Ortalama (m ²)
1947-1975	28	247	34,4	8,8
1976-1989	14	264	36,8	20,3
1990-2000	11	105	14,6	10,5
2001-2010	10	102	14,2	7,6
Genel Toplam	63	718	100	11,4

Kıyı Çizgisi Değişimleri

Tortum Gölü'nün güneybatı kıyı şeridinde 1947-2010 yılı arasındaki 63 yıllık devrede izlenen değişimler, *uzun süreli kıyı izleme çalışmaları* içerisinde değerlendirilmiştir (Şekil 7). Buna göre;

a-1947-1975 yılları arasındaki 28 yıllık devrede siltasyon sahası Tortum vadisinin şekline uygun olarak kuzeydoğu yönünde 478,7 m ilerlemiştir. İlerlemenin genel toplama oranı ise % 50, 8 dir. Ortalama bir değerle yıllık ilerleme miktarı ise 17,1 m dir (Tablo 7). Bu dönemde ilerleme değerinin yüksek gözükmesinde diğer dönemlere göre sedimentasyon süresinin fazla olması, göle ulaşan sediman miktarının fazla olması ve gölün henüz derinleşmemiş olmasının rolü vardır.

b-1976-1989 yılları arasındaki 14 yıllık devrede delta burunu 359,9 m. ilerlemiştir. İlerlemenin genel toplama oranı ise % 38,2 dir. Ortalama yıllık ilerleme miktarı 27,7 m olarak tespit edilmiştir. Kıyı çizgisindeki ilerleme miktarının daha kısa sürede 1947-1989 dönemindeki değere yakın olması yukarıda da belirtildiği gibi rezervuarın henüz sığ olması, göle taşınan yükün fazla olması yanında akarsuyun kuzeydoğudan göle drene olmasıyla yükünü belli bir kesimden göle ulaştırmasının rolü vardır. Nitekim bu dönemin sonuna doğru deltanın KD doğrultusunda bir burun yaptığı tespit edilmiştir.

c-1990-2000 yılları arasındaki 11 yıllık devrede ise deltanın ilerleme miktarı oldukça düşmüş ve toplamda 54,1 m.'lik ilerleme kaydedilmiştir. İlerleme oranı % 5,7 dir. Her yıl için ortalama ilerleme 5,4 m. olmuştur. Koşulların hemen hemen aynı olmasına rağmen ilerleme değerinin düşük olması gölün derinleştiği kanısını güçlendirmektedir.

d-2001-2010 yılları arasındaki 10 yıllık devrede bir önceki devreyle hemen hemen örtüşen 49,2 m.'lik (% 5,2) daha dar sahali ilerleme kaydedilmiştir. Yıllık ilerleme ise sadece 4,9 m olarak hesaplanmıştır. Son iki döneme ait değerler gölün ani şekilde derinleştiğini göstermektedir. Yukarıda belirtilen alansal büyüme göstergeleri de bu hususu doğrulamaktadır.

Sonuç olarak, 1947-2010 yılları arasındaki 63 yıllık devrede kıyı çizgisindeki ilerleme toplamda 941,9 metre olmuştur. Analizlerden hareketle delta ilerleme hızının her dönem için aynı olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bunda doğal (akım ve yük miktarının değişmesi ile rezervuar koşulları) ve beşeri faktörlerin (kum-çakıl ocakları) etkili olduğu görülmektedir. Ancak son iki analiz döneminde göl çanağındaki ani derinleşmenin alansal büyüme ve deltanın ilerle-

mesi üzerinde esas rolü oynadığını düşünmekteyiz. 2000-2010 devresinde delta sahasındaki büyüme durmuş gibi gözükse de, kıyı ilerlemesi gölün kuzeybatı ve güneydoğu kıyısındaki sığ alanlarda devam etmektedir. Nitekim kuzeybatı kıyıda 24 m ve güneydoğu kıyıda 13 metrelik ince bir şerit halinde ilerleme tespit edilmiştir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Araştırma sahası litolojik ve jeomorfolojik özellikleri dolayısıyla çok şiddetli erozyona maruz kalmaktadır. Bu doğrultuda volkanik ve tortul kökenli yereyden geçen Tortum Çayı, her yıl toplam $3,695.10^6$ m³/ton süspanse sedimanı Tortum Gölü'ne nakletmekte ve GB-KD doğrultusunda uzanan gölün alanı ağızdan başlayarak daraldığı için ekonomik anlamda önemi giderek azalmaktadır.

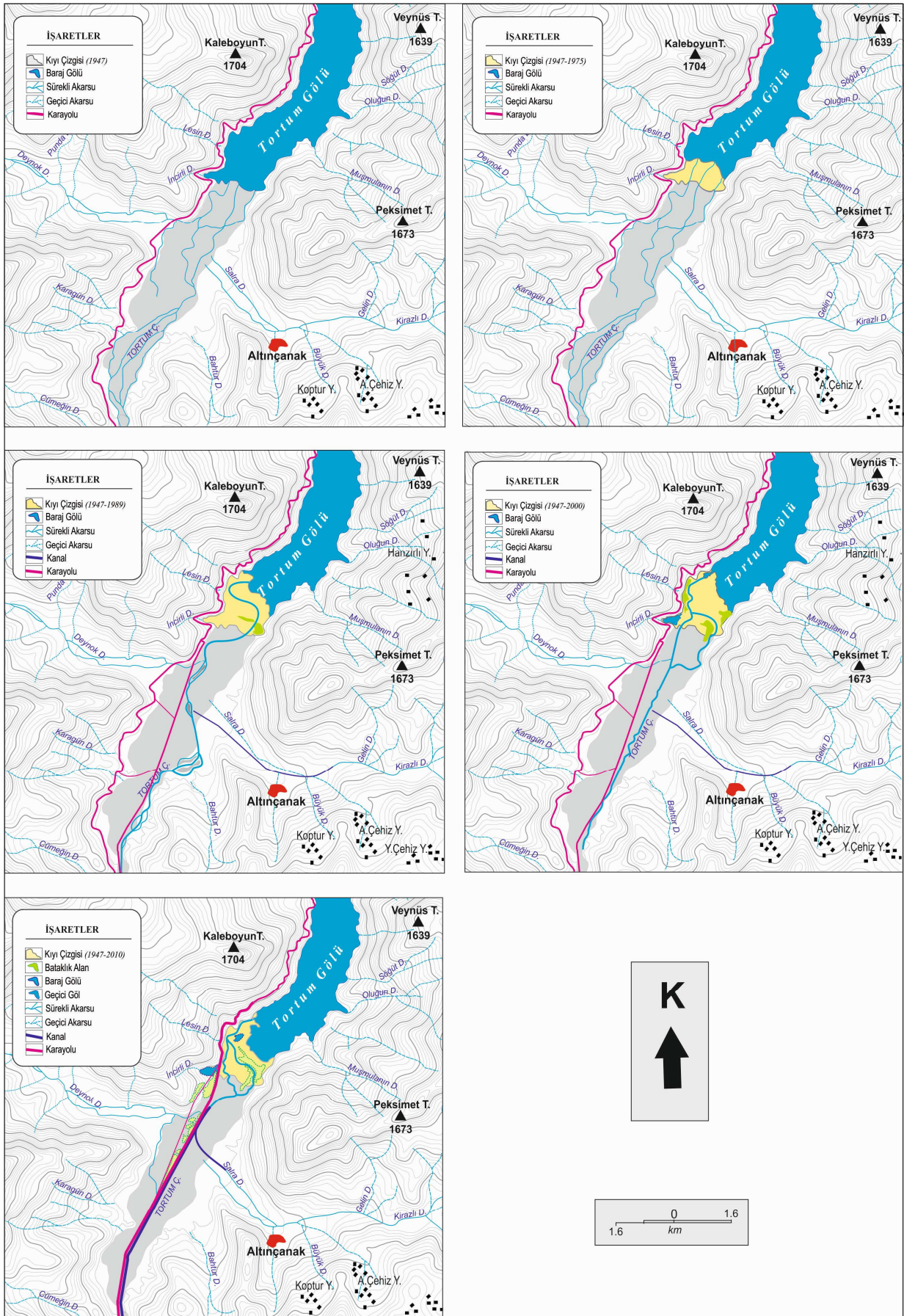
Tortum gölünü tehdit eden sedimentasyon en etkili şekilde Tortum Gölü'nün güneybatısındaki karayoluyla bölünmüş alüvyal tabanlı geniş vadiye gerçekleşmektedir. Çeşitli as fasiyeslerden meydana gelen sedimentasyon platformu yaklaşık 3,29 km² alana tekabül etmektedir. Fotogrametrik yöntemle 1947-2010 yılları arasındaki 63 yıllık devrede siltasyon alanı ve bununla alakalı kıyı çizgisi değişimleri analiz edilmiş ve sedimentasyon platformunun göl tarafında ağırlıklı olarak silt çökelişi olduğu ve göldeki seviye değişimleri denetiminde siltasyon alanının her geçen gün biraz daha büyüdüğü tespit edilmiştir. Hesaplara göre siltasyon alanı 1947 yılı kıyı çizgisine göre 718 m² büyümüştür. Yıllık ortalama büyüme miktarı 11.4 m² olmuştur. Yine 1947 yılı kıyı çizgisine göre siltasyon sahasının göle doğru ilerleme miktarı 941,9 m, yıllık ortalama ilerleme miktarı ise 15 m (14.95 m) olmuştur. Elde edilen sonuçlara göre hem büyüme hem de ilerlemenin miktar ve oranları yıllara göre farklılık göstermektedir. En hızlı büyüme 1947 sınırına yakın bölümlerde gerçekleşmiştir. Büyüme ve kıyı çizgisindeki ilerlemenin 1990-2010 analiz dönemi itibarıyla zayıfladığı görülmektedir. Bu durum gerçekte siltasyonun duran bir döneme girdiği anlamına değil, göl rezervuarının ani olarak derinleştiği, hala sediman kabul etmesine rağmen büyümeyi yansıtacak büyüklükte bir alan oluşturmadığı anlamına gelmektedir. Muhtemelen önümüzdeki yıllarda küçük farklılıklar dışında aynı görünüm devam edecektir.

Sedimentasyon alanı doğal gelişim sürecinde bir takım yeni işlevlerin üs alanı haline gelmiştir. Bunlar arasında tarımsal etkinlikler için uygun eğimde düzlükler oluşturması, göçmen kuşlar için konaklama istasyonu olması ve kum-çakıl ocaklarına malzeme sağlaması sayılabilir.

Tablo 7. Tortum Çayı Deltası'nda 1947-2010 yılları arasında kıyı çizgisinde meydana gelen değişimler.

Table 7. The changes on the shoreline between 1947-2010 in the delta of Stream Tortum.

Yıllar	Süre (yıl)	Miktar (m)	Oran (%)	Yıllık Ort. (m)
1947-1975	28	478,7	50,8	17,1
1976-1989	14	359,9	38,2	27,7
1990-2000	11	54,1	5,7	5,4
2001-2010	10	49,2	5,2	4,9
Toplam	63	941,9	100	15



Şekil 7. 1947-2010 tarihleri arasındaki 63 yıllık devrede deltanın gelişimi.
Figure 7. Emergence of siltation delta in 67-year period between 1947-2010.

Eğimin yüksek olması, havza genelinde akarsuların aşındırma etkisini artırırken, parçalı ve dar alanlı izlenen vadi tabanı düzlüklerinin tarımsal açıdan değer kazanmasını sağlamıştır. Zaten havza genelindeki köy yerleşmelerinin %92'si yamaçlarda kurulmuşken, verimli vadi tabanı düzlüklerinin neredeyse tamamı sulamalı tarım imkânından da yararlanılarak ekip-biçme ve ekip-dikme faaliyetleri için ayrılmıştır (YILMAZ, 1991: 158-159). Sedimentasyon sahasının kuzey ve güneyinde de durum böyledir. Tortum Çayı'nın getirdiği zengin mineral ve organik maddeler sahadaki mikro organizma varlığını zenginleştirmekte (SAYHAN, 1999: 440) ve kuşlar bu besin maddelerinden istifade etmek için siltasyon alanında konaklamaktadır. Tespitlerimizde karaleylek, yeşilbaş ördek, sakallı akbaba, kızıl şahin, bataklık çintenesi, akkuyuksallayan, kerkenez gibi onlarca türün siltasyon sahasında konakladığı görülmüştür. Bu bağlamda sedimentasyon alanındaki biyoçeşitliliğin korunması eko-turizme katkı sağlayabilir. Yine sit alanı ilan edilmesine rağmen sedimentasyon platformunda kumçakıl ocakları malzeme almaya devam etmektedir. Bu durumun mutlaka kontrol altına alınması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- AKAR, R., MAKTAV, D. ve GÜNAL, N. (2012). "Göl Yüzeyi Değişimlerinin Belirlenmesinde Farklı Dijital Görüntü İşleme Tekniklerinin Kullanılması". *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, Cilt: 5, Sayı: 4: 35-51, İstanbul.
- AKADENİZ, N. ve GÜVEN, İ. H. (2002). *Maden Tetkik Arama Enstitüsü, 1/500.000 Ölçekli Jeoloji Haritaları Trabzon Paftası*, Ankara.
- ATALAY, İ. (1979-1980). "Geomorphology of the Lake Tortum and Its Immediate Surroundings (NE Turkey)", *Review of the Geographical Institute of the University of İstanbul*, International Edition, Number: 17: 49-65, İstanbul.
- ATALAY, İ. (1982). *Türkiye Jeomorfolojisine Giriş*, Bornova/İzmir: Ege Üniv. Edebiyat Fakültesi Yay., No: 9.
- ATALAY, İ. (1984). "Mescit Dağı'nın Glasiyal Morfolojisi", *Ege Coğrafya Dergisi*, Sayı: 2: 129-138, İzmir.
- ATALAY, İ. (1988). "The Geography of Tortum District (North-Eastern Anatolia)", *Aegean Geographical Journal*, Volume: 4: 19-37, İzmir-Turkey.
- AYGEN, T. (1983). "Doğal Değerlerimiz: Tortum Gölü ve Şelalesi", *İlgi Dergisi*, Apa Ofset Basımevi, Yıl: 17, Sayı: 37: 19-21, İstanbul.
- AYHAN, E., KARSLI, F., TUNÇ, E. (2003). "Uzaktan Algılanmış Görüntülerde Sınıflandırma ve Analiz", Harita Genel Komutanlığı, *Harita Dergisi*, Sayı:130: 32-46, Ankara.
- BARRAS, J., BEVILLE, S., BRITSCH, D., HARTLEY, S., HAWES, S., JOHNSTON, J., KEMP, P., KINLER, Q., MARTUCCI, A., PORTHOUSE, J., REED, D., ROY, K., SAPKOTA, S., and SUHAYDA, J. (2003). *Historical and Projected Coastal Louisiana Land Changes: 1978-2050*, USGS Open File Report 03-334, 39 p. (Revised January 2004).
- Sahada erozyonu ve dolayısıyla siltasyonu önlemek amacıyla bazı derelerin (Sapaca, Deynok vb) yataklarına inşa edilen tersib bentleri, yerel nitelikte ağaçlandırma çalışmaları, sahanın belirli bir kesiminin özel koruma kapsamına alınması yeterli olmamıştır. Korumanın amaca uygun şekilde takip edilmesi, kanun ve yönetmeliklerin gereğinin yerine getirilmesi gerekmektedir. Son söz olarak, Tortum Gölü ekonomik anlamda henüz fonksiyonunu kaybetmemiştir; ancak büyük bir tehdit altındadır. Sorun büyümeden yetkili kurumların acil ve etkili çözümler üretmesi gerekmektedir.

KATKI BELİRTME

Delta sahasından alınan sediman örneklerinin Bouyoucos Hidrometre Yöntemi'yle tekstür analizlerini yapan Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Müdahir Özgül'e teşekkür ederiz.

- BAYDAR, O., ERDOĞAN, B., AKYÜREK, B., TOPÇAM, A., KENGİL, R., KORKMAZ, B., KAYNAR, A., ve SELİM, M. (1969). *Yusufeli-Öğdem-Madenköy-Tortum Gölü ve Ersis Arasındaki Bölgenin Jeolojisi*, MTA Derleme No: 5202, Ankara.
- BOZKUŞ, C. (1992). "Olur (Erzurum) Yöresinin Stratigrafisi", *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, Sayı: 35, Cilt: 1: 103-119, Ankara.
- BULUT, İ., ZAMAN, M., KOPAR, İ., ve ARTVİNLİ, E. (2008). "Göze Dağı (Yalnızçam Dağları) Kuzeybatısındaki Arsiyan Yaylasında Göller ve Yüzen Adalar", Atatürk Üniv., Fen-Edebiyat Fakültesi, *Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt: 8, Sayı: 40: 133-153, Erzurum.
- CHARLTON, R. (2008). *Fundamentals of Fluvial Geomorphology*, New York-USA: Routledge Taylor & Francis Group.
- CHENA, S., CHENA, L., LIUA, Q., and LI, X.-TAN, Q. (2005). "Remote Sensing and GIS-Based Integrated Analysis of Coastal Changes and Their Environmental Impacts in Lingding Bay, Pearl River Estuary, South China". *Ocean & Coastal Management* 48: 65-83.
- CHURCH, M. (2002). "Geomorphic Thresholds in Riverine Landscapes", *Freshwater. Biol.* 47: 541-558.
- CÜREBAL, İ., EFE, R. SOYKAN, A. ve SÖNMEZ, S. (2012). "Üç Boyutlu Modelleme Kullanılarak Siltasyon Miktarının Ölçülmesi: Çaygören Barajı Örneği", III. *Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu*, 4-6 Ekim 2012, Antakya.
- ÇELEBİ, H. (1972). "Memleketimizin Önemli Bir Sorunu "Toprak Erozyonu" Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, Erzurum, 151-161.
- DEMİRALAN, İ. (1981). *Toprakta Bazı Fiziksel Analiz Yöntemleri*, Erzurum: Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yay. No: 143.

- DOĞANAY, H. (1994). "Tortum Çağlayanı (Uzundere) ve Turistik Potansiyeli (Coğrafi Bir Tanıtım)", Türkiye Kalkınma Bankası A. Ş., Turizm Yıllığı 1994: 76-92, Ankara.
- DUMAN, T. Y. (2009). "The Largest Landslide Dam in Turkey: Tortum Landslide", *Engineering Geology*, Volume: 104: 66-79.
- ERTEK, A., HACIYAKUPOĞLU, S., WALLING, DES E., KARAHAN, G., ERGİNAL, A. E., ÇELEBİ, N., ve SAYGIN, H. (2004). "Sezyum-137 Radyonüklidinin Erozyon Araştırmalarında Kullanımı ve Türkiye'den Örnekler", *İ. Ü. Edebiyat Fak. Coğrafya Bölümü, Coğrafya Dergisi*, Sayı: 12: 47-62, İstanbul.
- FATİMAH, M. Y., and SHARR, H. A. (1982). "Siltation in Zoo Negara Lake", *Pertanica Journal* 5 (2): 240-245.
- GABRIELS, D. (1999). "The Effect of Slope Length on the Amount and Size Distribution of Eroded Silt Loam Soils: Short Slope Laboratory Experiments on Interrill Erosion", Elsevier Science B.V., *Geomorphology* 28: 169-172.
- GUARIGLIA, A., BUONAMASSA, A., LOSURDO, A., SALADINO, R., TRIVINGO, M. L., ZACCAGNINO, A., COLANGELO, A. (2006). "A Multisource Approach for Coastline Mapping and Identification of Shoreline Changes", *Annals of Geophysics* 49-1: 294-305.
- GÜRESİNLİ, Y. Z. (1978). *Tortum Gölü Su Toplama Havzasında Sedimentasyon Sorunu ve Kontrolü Üzerinde Bir Araştırma*, Erzurum: Atatürk Üniversitesi, Toprak Bölümü, Doktora Tezi (Yayınlanmamış).
- GÜRESİNLİ, Y. Z. (1998). *Türkiye'de Sedimentasyon Sorunu ve Kontrolü Üzerine Bir Araştırma (Teknik Rehber)*, Ankara: T.C. Enerji ve Tabii kaynaklar Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, teknik Araştırma ve kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı Yayınları.
- HUDSON, H. E., BROWN, C. B., SHAW, H.B., LONGWELL, J. S. (1949). *Effect of Land Use on Reservoir Siltation*, J. Am. Water Works Assoc., Page: 913– 932.
- JENSEN, R.J. (1996). *Introductory Digital Image Processing, A Remote Sensing Perspective, 2'nd Edition*, New Jersey, USA: Prentice Hall, Upper Saddle River.
- KARAHAN, F., KOPAR, İ., ORHAN, T. and ÇAKIR, E. (2011). "The Geopark Potential of Tortum Valley (Erzurum-Turkey) and its Surroundings", *Natural Environment and Culture in the Mediterranean Region II*, Cambridge Scholars Publishing, 395-407, Newcastle-UK.
- KIVRAK, E., ve GÜRBÜZ, H. (2006). "Tortum Gölü'nün (Erzurum) Bentik Alg Florasının Mevsimsel Değişimi", *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, Cilt: 23, Sayı: 3-4: 307-313, İzmir.
- KOPAR, İ. ve ÇAKIR, Ç. (2012). "Tortum Gölü (Uzundere-Erzurum) Kıyı Kuşağındaki Badlands Topografyası ve Peribacaları", *Atatürk Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü I. Ulusal Coğrafya Sempozyumu 2012 (28-30 Mayıs)-Coğrafya-Bildiriler Kitabı*: 1013-1027, Erzurum.
- KOPAR, İ. ve SEVER, R. (2008). "Karagöl (Borçka-Artvin), Atatürk Üniversitesi", *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt: 5, Sayı: 1: 21-38, Erzurum.
- LAHN, E. (1939). *Tortum Gölü'nde Yapılan Jeolojik Tetkikata Ait Rapor*, Ankara: MTA Rapor No: 806.
- LAHN, E. (1944). "Tortum Gölü ve Şelalesi", *Türk Coğ. Dergisi*, Sayı: 5-6: 137-138, İstanbul.
- LAHN, E. (1946). *Erzurum Vilayeti Dâhilinde Oltu ve Tortum Mıntıklarında Görülen Toprak Kaymaları Hakkında Rapor*, Ankara: MTA Rapor No: 1688.
- ÖZDEMİR, M. A. ve SUNKAR, M. (2003). "Keban Çayı Havzası'nda Doğal Ortam İnsan İlişkileri", *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Elazığ, 129-146.
- PEKŞEN, N. (2006). *Tortum Gölü Dolayındaki Titonik Fasiyesteki Kireçtaşlarının Biyostratigrafisi*, Sivas: Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Yayınlanmamış).
- PETTS, G. E. and GURNELL, A. M. (2005). "Dams and Geomorphology: Research Progress and Future Directions", Elsevier Science B.V., *Geomorphology* 71: 27-47.
- SAYHAN, S. (1999). "Kızılırmak'ın Hirfanlı Baraj Gölüne Döküldüğü Mevkide Aktüel Sedimentasyon ve Alüvyal Şekillenme Süreci", *Türk Coğrafya Dergisi*, Sayı: 34'den Ayrı Basım: 419-443, İstanbul.
- SMITH, J. (2006). *The Fact on File Dictionary of Earth of Science*, Revised Edition-2, Page: 1-388.
- ŞENGÜN, M. T. (2001). "Barajların Çevresel Etkileri ve Keban Barajı Örneği", *IV. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi 2001 (5-8 Ekim)*, Bodrum, 291-298.
- TAĞIL, Ş. ve CÜREBAL, İ. (2005). "Altınova Sahilinde Kıyı Çizgisi Değişimini Belirlemede Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri", *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt: 15, Sayı: 2: 51-68, Elazığ.
- TARHAN, F. (1996). *Mühendislik Jeolojisi Prensipleri*, Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Genel Yayın No: 145, Fakülte Yayın No: 41.
- THOMAS, D. S. G. and GOUDIE, A. (2000). *The Dictionary of Physical Geography*, Blackwell Publishing Third Edition.
- YILDIRIM, A. (2006). "Karakaya Barajı ve Doğal Etkileri", *Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fak. Dergisi* 6: 32-39, Diyarbakır.
- YILMAZ, E. (2006). *Çamlidere Baraj Havzası'nda Erozyon Problemi ve Risk Analizi*, Ankara: Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Yayınlanmamış).
- YILMAZ, O. (1991). *Tortum Çayı Havzası'nın Beşeri ve Ekonomik Coğrafyası*, Erzurum: Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı (Yayınlanmamış Doktora Tezi).
- YILMAZ, Y. (1985). Magmatic activity in geological history of Turkey and its relation to tectonic evaluation. Turkish Geology Institution, 20-21 February Ketin Symposium, Ankara.

ZHU, X. (2001). "Remote Sensing Monitoring of Coastline Change in Pearl River Estuary", *22'nd Asian Remote Sensing Conference 2001 (5-9 November)*: 1-5, Singapore.

İnternet Kaynakları

DSİ (Devlet Su İşleri Bölge Müdürlüğü) (2012). <<http://www2.dsi.gov.tr/bolge/dsi26/artvin.htm>>. Son erişim: 28.09.2012.

DSİ (Devlet Su İşleri Bölge Müdürlüğü) (2012). <www2.dsi.gov.tr/bolge/dsi5/Ankara.htm#cubuk2>. Son erişim 07.12.2012.