

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KÜÇÜKÇEKMECE LAGÜNÜNDE LİMNOLojİK
ÖZELLİKLER VE SEDİMENT TAŞINIMININ
ARAŞTIRILMASI**

Çevre Müh. Cem ŞENDURAN

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Kıyı ve Liman Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Beyza ÜSTÜN

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|---|------|
| ŞEKİL LİSTESİ..... | iv |
| ÇİZELGE LİSTESİ | v |
| ÖNSÖZ | vi |
| ÖZET | vii |
| ABSTRACT | viii |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi | 1 |
| 1.2 Amaç ve Kapsam..... | 2 |
| 2. GENEL ÖZELLİKLERİYLE KIYI LAGÜNLERİ | 4 |
| 2.1 Kıyı Lagünleri | 4 |
| 2.1.1 Lagünlerin Oluşumu | 4 |
| 2.1.2 Lagünlerin Morfolojik Özellikleri | 6 |
| 2.2 Lagünlerin Sınıflandırılması | 7 |
| 2.2.1 Morfometrik Parametreler..... | 8 |
| 2.2.2 Hidrolojik Parametreler | 12 |
| 2.3 Lagünlerin Kalitesini Etkileyen Hidrolik Özellikler | 15 |
| 2.3.1 Tabakalaşma ve Karışım..... | 15 |
| 2.3.1.1 Tabakalaşma..... | 16 |
| 2.3.1.2 Karışım..... | 18 |
| 2.3.1.3 Hidrolik Bekleme Süresi..... | 20 |
| 2.3.2 Fiziksel Süreçler | 21 |
| 2.3.2.1 Hidrodinamik Yapı | 21 |
| 2.3.2.2 Sediment Özellikleri ve Taşınımı..... | 21 |
| 3. YÖNTEM..... | 28 |
| 3.1 Literatür Taraması ve Veri Derleme..... | 28 |
| 3.2 Arazi Çalışmaları..... | 28 |
| 3.3 Sediment Analizleri | 30 |
| 3.4 Sayısal Yaklaşımlar | 30 |
| 4. ÇALIŞMA BÖLGESİ ve MEVCUT VERİLERİN İNCELENMESİ | 31 |
| 4.1 Coğrafi Konum ve Topoğrafik Yapı..... | 31 |
| 4.2 Jeomorfolojik Yapı | 31 |
| 4.3 Jeolojik Yapı | 32 |
| 4.4 Hidrojeolojik Yapı..... | 34 |
| 4.4.1 Yeraltı suları..... | 34 |
| 4.5 Meteoroloji | 37 |
| 4.6 Hidrolojik ve Limnolojik Yapı..... | 37 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.7 | Sediment Dağılımı | 39 |
| 5. | SONUÇ ve DEĞERLENDİRME | 42 |
| 5.1 | Küçükçekmece Lagününün Tanımlanması | 42 |
| 5.1.1 | Hidrolojik ve Morfometrik Parametrelerle Sınıflandırma | 43 |
| 5.2 | Arazi Çalışmaları | 49 |
| 5.2.1 | Tabakalaşma ve Karışım | 57 |
| 5.2.2 | Su Seviyesi Ölçümleri | 59 |
| 5.3 | Sediment Analizleri | 59 |
| 5.4 | Yorum ve Öneriler | 64 |
| | KAYNAKLAR | 68 |
| | ÖZGEÇMİŞ | 71 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Şekil 2.1 Kjerfve'nin nitel sınıflandırması (Chubarenko vd., 2005a'dan)..... | 9 |
| Şekil 2.2 Lagünlerin basitleştirilmiş şekillerle temsili (Chubarenko vd., 2005a'dan) | 11 |
| Şekil 2.3 Morfometrik – hidrolojik diyagram (Chubarenko vd., 2005a'dan)..... | 14 |
| Şekil 2.4 Lagünlerde tuzluluk faktörünün etkisi (Chubarenko, vd., 2006'dan)..... | 15 |
| Şekil 2.5 Yaz aylarında görülen sıcaklık tabakalaşması (www.waterontheweb.org)..... | 17 |
| Şekil 2.6 Bir sediment danesinde uzun (L), orta (I) ve kısa (S) eksenlerin gösterimi (Masselink ve Hughes, 2003'ten değiştirilerek aktarılmıştır.) | 23 |
| Şekil 2.7 Shepard'ın üçgen diyagramı (www.mgs.md.gov) | 25 |
| Şekil 2.8 Birleştirilmiş bir hidrodinamik – sediment taşınım modelleme çalışması için örnek şablon (Şenduran, vd., 2007.) | 27 |
| Şekil 4.1 Küçükçekmece Lagünü ve Havzasının topoğrafyası (http://sehirrehberi.ibb.gov.tr) | 32 |
| Şekil 4.2 Küçükçekmece Gölü taban topoğrafyası (DSİ, 1966.) | 33 |
| Şekil 4.3 Havzanın batı yakasının jeolojik yapısı (Yıldırım ve Adatepe, 2004'ten)..... | 35 |
| Şekil 4.4 Havzanın doğu yakasının jeolojik yapısı (Yıldırım ve Adatepe, 2004'ten)..... | 36 |
| Şekil 4.5 Havzanın doğu yakasının zemin kesiti (Yıldırım ve Adatepe, 2004'ten) | 37 |
| Şekil 4.6 Florya meteoroloji gözlem istasyonuna ait rüzgar gülü | 38 |
| Şekil 4.7 Sazlıdere'ye ait 2000 yılından bu yana ölçülen ortalama debi değerleri (DSİ)..... | 38 |
| Şekil 4.8 Nakkaşdere'ye ait 1966'den bugüne uzun yıllar ortalama debi değerleri (DSİ) | 39 |
| Şekil 4.9 Küçükçekmece Gölü litofasiyes haritası (Algan, 1987.)..... | 41 |
| Şekil 5.1 Morfometrik sınıflandırmada lagünü temsil eden dikdörtgenin boyutları | 45 |
| Şekil 5.2 Morfometrik – hidrolojik diyagramda Küçükçekmece lagününün yeri..... | 48 |
| Şekil 5.3 Numune alma ve izleme noktaları..... | 51 |
| Şekil 5.4 Küçükçekmece lagünü için mesafe – tuzluluk diyagramı | 56 |
| Şekil 5.5 Yılın dört mevsimine ait sıcaklık – derinlik profilleri (Şenduran, vd., 2007) | 58 |
| Şekil 5.6 12 no'lu istasyona ait T – S indeksi | 58 |
| Şekil 5.7 10 no'lu numuneye ait dane çapı dağılımı | 60 |
| Şekil 5.8 11 no'lu numuneye ait dane çapı dağılımı | 61 |
| Şekil 5.9 13 no'lu numuneye ait dane çapı dağılımı | 61 |
| Şekil 5.10 D2 numunesine ait dane çapı dağılımı | 62 |
| Şekil 5.11 İ.Ü. numunesine ait dane çapı dağılımı | 62 |
| Şekil 5.12 N.A. numunesine ait dane çapı dağılımı | 63 |
| Şekil 5.13 Numune noktalarının Algan'ın (1987) litofasiyes haritasına göre konumları..... | 65 |

ÇİZELGE LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Çizelge 2.1 Hayes'i (1979) temel alan Tagliapietra ve Ghirardini (2006) gelgit düzeyi sınıflandırması | 6 |
| Çizelge 2.2 Lagünlerin bazı jeomorfolojik parametreleri | 10 |
| Çizelge 2.7 Folk ve Ward (1957) sınıflandırmasına göre sediment boylanma ve simetrisizliği (Algan, 1987'den değiştirilerek alınmıştır.) | 24 |
| Çizelge 5.1 Küçükçekmece lagünü için hesaplanan morfometrik parametreler | 46 |
| Çizelge 5.2 Su bütçesi parametresinin lagüne giren akarsu debileri için hesabı..... | 47 |
| Çizelge 5.3 Kasım 2005 T – S ölçümleri | 50 |
| Çizelge 5.4 Şubat 2006 T – S ölçümleri | 50 |
| Çizelge 5.5 Mart 2006 T – S ölçümleri..... | 52 |
| Çizelge 5.6 Nisan 2006 T – S ölçümleri | 52 |
| Çizelge 5.7 Mayıs 2006 T – S ölçümleri..... | 53 |
| Çizelge 5.8 Haziran 2006 T – S ölçümleri | 53 |
| Çizelge 5.9 Temmuz 2006 T – S ölçümleri | 54 |
| Çizelge 5.10 Eylül 2006 T – S ölçümleri..... | 54 |
| Çizelge 5.11 Ekim 2006 T – S ölçümleri..... | 55 |
| Çizelge 5.12 Kasım 2006 T – S ölçümleri | 56 |
| Çizelge 5.13 Aralık 2006 T – S ölçümleri | 56 |
| Çizelge 5.14 Şubat 2007 T – S ölçümleri | 57 |
| Çizelge 5.15 Mayıs 2007 T – S ölçümleri..... | 57 |
| Çizelge 5.16 K1 ve G1 noktaları arasındaki su seviyesi farkları | 59 |
| Çizelge 5.17 Numunelere ait granülometre eğrilerinden okunan dane çapları ve ϕ ölçeğinde karşılıkları..... | 63 |
| Çizelge 5.18 Sediment numunelerine ait hesaplanmış Folk ve Ward parametreleri ile dane birim hacim ağırlıkları..... | 64 |

ÖNSÖZ

Güvenini ve sabrını benden hiçbir zaman esirgemeyip bana her zaman inanan sevgili hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Beyza ÜSTÜN'e herşeyden önce teşekkürlerimi sunarım. Aileme bana gösterdikleri anlayış ve sevginin karşılığında sonsuz sevgilerimi; arazide, okulda birlikte çalıştığım ve görüş ve bilgiler paylaştığım arkadaşlarım Ümit TANER ve R. Kaan DERELİ'ye ve Küçükçekmece proje grubunda çalışan bütün arkadaşlarıma, Yıldız Teknik Üniversitesi Zemin Mekaniği laboratuvarı çalışanlarına ve bana sediment analizleri ve yorumlamasında yol gösteren Yrd. Doç. Dr. Şükrü ÖZÇOBAN'a yardımlarından dolayı çok teşekkürler.

Ayrıca Küçükçekmece'de 2002 yılından beri devam eden proje destekleri için TÜBİTAK'a ve tez çalışmasında kullanmamız için arşivlerini açan DSİ ve DMİ kurumlarına da sonsuz teşekkürler.

ÖZET

Kıyı alanlarının en üretken ekosistemlerinden olan lagünler bu özelliklerini sağladıkları sosyal ve ekonomik olanakların yanı sıra barındırdıkları çok çeşitli canlı türleri için son derece elverişli, besin maddesi bakımından zengin bir ortam sunmalarına borçludur. Doğal olarak yerleşim için aranan bütün niteliklere sahip olan bu bölgeler zamanla artan nüfus ve beraberinde getirdiği endüstrileşmenin olumsuz bütün etkilerine son zamanlarda maruz kalmaya başlamışlardır. Giderek artan kirlilik yükü lagünlerde su kalitesi ve sucul yaşam için en önemli tehdit unsurlarına dönüşmüşken diğer yandan bu problemlere çözüm arayan çalışmalar da hızla artmakta, yeni bakış açıları ve farklı çözüm önerileri her geçen gün gelişmektedir. Sucul sistemlerde yapılan bu tip çalışmalarda sistemin hidroliğini anlamak; yani suyun hareketini, nerede ne kadar beklediğini ve sonunda varacağı nihai noktaya ne kadar zamanda ulaştığını anlamak su kalitesi ve taşınım süreçleri açısından en önemli unsurdur. Sedimentin ise suyla taşınan maddeler içerisinde önemli olmasının nedeni üzerine adsorplanan maddelerin sedimentte birikmesi, tekrar askıya geçebilir olması nedeniyle uzun zaman süreçlerinde su kalitesi açısından artık problemsiz gibi görünen su kütlelerinde ani bozulma etkilerini ortaya çıkarabilmesidir. Bir başka önemli konu ise, sediment hareketinin morfolojik yapı üzerindeki etkisidir. Nihayetinde antropojenik baskı altında giderek kirlenen ve ekosistemi büyük ölçüde tahribata uğramış olan Küçükçekmece Lagününde hidrodinamik ve taşınım süreçlerinin ortaya konması, gölün gelecekte kurtarılması için atılacak her adıma rehberlik edebilecek bir çalışmadır. Bu çalışmada hidrodinamik ve taşınım süreçlerini kapsamlı bir biçimde ortaya koyabilecek herhangi bir çalışma öncesi yapılması gereken ön hazırlık çalışmalarına yer verilmiş ve Küçükçekmece örneği üzerinde uygulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Küçükçekmece gölü, kıyı lagünleri, limnoloji, hidrodinamik yapı, sediment taşınımı.

ABSTRACT

Lagoons are among the most productive coastal areas as they owe that feature not only to the opportunities they provide in terms of social and economical means but also to their prosperous environment which is rich with nutrients to its inhabitant species. Naturally having all the attributes for settlement, these areas have already started to suffer all the negative effects caused by growing population and the industrialization it brings in the last decades. While gradually growing pollution loads have become one of the most threatening effects for the water quality and aquatic life in lagoons, studies concerned with solution schemes on these effects also increase as new perspectives and different solution techniques are presented everyday. To understand the hydraulics in such studies performed in aquatic environments; more precisely, to understand the motion of the flow of water, where and how long it resides and how long time it takes until it reaches its destination, is the most important knowledge concerning the water quality and transport processes. The interest on sediment among the other material transported in water is because of their ability to adsorb material rather easier and settle with them to the bottom of a basin just to be re-suspended in future for some reason in order to cause deteriorating effects and toxicity even in water bodies long regarded as they no longer have any water quality problems. Another important matter about transport of sediment is its effect on the morphology of the basin. Eventually to determine the hydrodynamics and transport processes in Küçükçekmece Lagoon which has been under excessive anthropogenic pressure with increasing pollution that destroys its ecosystem, can guide further steps to be taken in future for the restoration of that lake. In this study the required analysis and studies prior to any campaign to completely outline the hydrodynamics and sediment transport issues are given as Küçükçekmece lagoon is chosen as the case.

Keywords: Küçükçekmece lake, coastal lagoons, limnology, hydrodynamics, sediment transport.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi

Yeryüzünde kıyı lagünleri karasal ve denizel ekosistemler arasında bir geçiş bölgesi oluşturmaları ve her iki ortamda meydana gelen fiziksel, jeolojik, kimyasal ve biyolojik süreçlerden etkilenmeleri nedeniyle özel bir öneme sahiptirler. Bu özellikleri nedeniyle genelde çok çeşitli canlı türlerinin doğal yaşam alanlarını oluşturan lagünler ve havzaları sunduları kaynaklar nedeniyle tarih boyunca insanlar için de oldukça çekici yerleşim alanları teşkil etmişlerdir. Ancak insanoğlunun doğayla uyum içerisinde yaşama sürecine nokta koyan sanayi devrimi ve sonrasındaki günümüze kadar uzanan süreçte meydana gelen dünya nüfusundaki muazzam artışı; büyük bir hızla yerkürenin sahip olduğu yeraltı ve yerüstü kaynaklarının tükenmesine ve artan çevre kirliliğiyle beraber doğal ekosistemler üzerinde büyük tahribatlar neden olmuştur. Yaşadığımız günlerde sıkça gündeme gelen küresel ısınma ve yönetim stratejilerinin eksikliği nedeniyle su kaynaklarının tükenmekte olması, gelecekteki durumla ilgili senaryolarda dünyanın belli bölgeleri için öne sürülen su kıtlığı problemi; suyun – daha doğrusu kullanılabilir tatlı suyun – uluslararası anlaşmazlıklara ve hatta savaşımlara kadar varabilecek bir politik önem kazanmasına neden olmuştur. Lagünlerin hem belli su ürünleri yetiştiriciliği ve balıkçılık, hem dinlenme faaliyetleri, en önemlisi de su kaynağı olarak kullanılabilir olmaları onların özel konumunu perçinleyen gerçeklerdir.

İstanbul'un batı yakasında bulunan Küçükçekmece lagünü de rivayet edilenlere göre Cumhuriyet öncesi geçmişten beri balıkçılık yapılan, bir zamanlar çok çeşitli balık türlerinin barındığı ve aynı zamanda su kuşları ve göçmen kuşlarla pek çok endemik bitki türüne de yaşam alanı sağlamış bir lagündür. Cumhuriyet öncesi ve sonrasındaki erken dönemde lagün havzası sınırları içerisinde bulunan ve lagünle aynı adla anılan bir balıkçı köyü olan Küçükçekmece köyü de dünya genelini etkisi altına alan sanayileşme, nüfus artışı ve bunlara bağlı olarak ortaya çıkan çevre kirliliği sorunlarından lagün ile birlikte ziyadesiyle nasibini almıştır. Süreç 1984 yılında alınan siyasi bir kararla lagün havzasının koruma statüsünün kaldırılıp yerleşime açılmasıyla maruz kaldığı aşırı göç ve bu göçle birlikte gelen altyapısız gecekondulaşma nedeniyle oluşan evsel kirlilik yükü ile başlayıp, lagüne su getiren akarsuların su toplama havzalarında faaliyet göstermeye başlayan gerek organize sanayi gerekse tekil endüstriyel kuruluşların arıtma işlemi uygulamaksızın atıklarını lagüne su taşıyan akarsulara deşarj etmeleri nedeniyle eklenen sanayi kirlilik yüklerinin de lagüne ulaşmasıyla devam etmiştir.

Lagün ve su toplama havzasında 2002 yılında başlatılan 102Y011 kodlu TÜBİTAK – GSRT ortak projesi ile 2005 yılında başlatılan 105Y116 kodlu TÜBİTAK projesi sayesinde lagünün su ve sediment kalitesi izlenmeye başlanmış, azımsanamaz bir su kapasitesine sahip olan ve uluslararası öneme sahip potansiyel Ramsar alanı olarak atfedilen (www.cevreorman.gov.tr) Küçükçekmece lagünü ve havzasındaki su ve sediment kalitesi ve lagünün iyileştirilmesi için gereken çevre yönetim stratejileri üzerinde çalışılmıştır. Zira bugün lagünün siyasi otorite tarafından gözden çıkarılmış olduğu gibi korkunç bir gerçekle yüzleşmekteyiz.

Bu tez çalışması bugüne kadar yürütülmüş olan yukarıda bahsedilen iki projenin bulgularını destekleyici nitelikte sonuçlara varmak için öngörülmüştür. Çünkü hidrodinamik yapı ve sediment taşınımı olaylarının araştırılması ekosistemin iyileştirilmesi ve çevre yönetim çalışmalarında doğrudan karar alma aşamasında katkı verebilecek öneme sahiptir.

1.2 Amaç ve Kapsam

Küçükçekmece lagününde yukarıda bahsedilen iki farklı proje kapsamında lagünün çevresel anlamda değerlendirilmesi ve mevcut durumun periyodik olarak su ve sediment kalitesinin izlenmesiyle ortaya çıkarılması sağlanmıştır. Bir adım sonraki aşama artık yönetim ve karar verme mekanizmalarının işlemlerini gerektirmektedir. Büyük su kütleleriyle doğal ortamlarda yapılan çalışmalarda karar mekanizmalarının işleyebilmesi için ortamın bütün karakteristik özellikleriyle beraber fiziksel süreçlerinin de ortaya konması gereklidir. Su kalitesini etkileyen ve su ortamında meydana gelen taşınım olaylarında ortamın hidrodinamiği belirleyicidir. Taşınan maddeler içerisinde sedimentin su kalitesi açısından özel bir önemi vardır. Çünkü üzerine adsorplanan nütrient, ağır metal, vb. maddeleri başladığı noktadan çok uzak bölgelere taşıyabilir. Tabana çökdikten sonra dahi bu maddeler tekrar askıya geçiş veya ortamdaki biyokimyasal etkileşimler nedeniyle sedimentten tekrar su kütlesine salınabilir ve beklenmedik zamanlarda dahi su kalitesi ve sucul yaşam üzerinde olumsuz etkiler doğurabilirler. Sedimentin taşınımı ve birikimi içerisinde hareket ettiği su kütlesinin yanı sıra kendi fiziksel özelliklerine de bağlıdır.

Yukarıda bahsedildiği gibi Küçükçekmece lagününde çevre yönetimi ve iyileştirme için karar alma aşamalarında kullanılmak üzere lagünün hidrolik yapısının belirlenmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bununla beraber sediment taşınımının da belirlenmesi ile belirli kirleticilerin yoğun olarak depolandığı bölgelerin ortaya çıkarılabileceği düşünülmüştür. Günümüzde hidrodinamik, su kalitesi ve sediment taşınımı çalışmalarında sayısal modelleme çıktıları ile

mevcut durum tespit kıyaslanabilmekte, geleceğe dair senaryolar üretilebilmekte, karar alma aşaması çok daha etkin ve nispeten kolay bir hale gelmektedir. Ancak modellerin karar alma aşamasını kolaylaştırır olduğu gerçeğine rağmen bir modelin kurulması, kalibrasyonu ve uygulanması ciddi çaba, uzun süreli gözlemlere dayanan veri ve deneyim gerektiren bir iştir. Bu tez kapsamında hedeflenen bir model kurgusu yapmak ve sayısal çözümler elde etmek değil, gelecekte Küçükçekmece lagünü için kurgulanması muhtemel hidrodinamik ve sediment taşınımı modelleri öncesi lagünün hidrolik özellikleri, hidrodinamiği ve taşınım olayı üzerinde etkin süreçlerin belirlenmesi ve lagün sedimentinin fiziksel yapısının araştırılmasıdır. Bu hedefe ulaşmak için izlenen yol 3. Bölüm'de Yöntem başlığıyla anlatılmaktadır.

Kapsam olarak literatürden elde edilen teorik bilgilerin yanında Küçükçekmece lagünü ve havzasının doğal ve fiziksel özelliklerini ortaya koyan çalışmalar, istatistik ve arşiv verileri, belirlenen yöntem doğrultusunda arazide gerçekleştirilen ölçüm sonuçları, sediment analizi sonuçları ve bütün bunların birlikte değerlendirilmesi sıralanabilir.

2. GENEL ÖZELLİKLERİYLE KIYI LAGÜNLERİ

2.1 Kıyı Lagünleri

Doğal ekosistemler içerisinde kıyı alanları yüksek derecede birincil ve ikincil üretim oranları ve dolayısıyla ekonomik olarak büyük önem taşımaları nedeniyle ayrı bir yere sahiptirler. Bu değerli kıyı alanlarından olan lagünler, karasal ve denizel ekosistemler arasında bir arayüz teşkil eden, fiziksel süreçlerin etkisi altındaki açık ve dinamik ekosistemlerdir ve diğer denizel ekosistemlerden kendilerine özgü bir takım unsurlarla ayrılırlar (sığlık, fiziksel – ekolojik sınırlar, izolasyon, vb.)

Sistemde mevcut olan çok sayıda sınır (su – sediment, bentik – pelajik canlılar, lagün – deniz – tatlı su – karasal sistem – atmosfer) sayesinde kıyı lagünleri biyolojik olarak en üretken denizel habitatlar arasındadır. Bu sınırların içerisine insan kaynaklı çevre baskısını dahil ettiğimizde biyolojik yapının bileşimi doğrudan etkilenirken; fiziksel, (ışık, sıcaklık, karışım, akıntılar) kimyasal, (organik ve inorganik karbon, nütrientler, oksijen) ve biyolojik parametreler ve süreçler (nütrient alımı, besin zinciri, rekabet) arasındaki karmaşık etkileşimler için de insan baskısının büyüklüğü hesaba katılmalıdır.

2.1.1 Lagünlerin Oluşumu

Tagliapietra ve Ghirardini'den (2006) alınan Kjerfve (1994) tanımına göre bir kıyı lagünü; denizden bir bariyer oluşumuyla ayrılmış, denize bir ya da daha fazla kanalla bağlantısı bulunan, çoğunlukla kıyı çizgisine paralel yönelmiş, genellikle sığ olan su gövdeleridir. Kıyı lagünlerinin oluşumuna ve şekillenmesine katkıda bulunan temel fiziksel etkenler gelgit düzeyi, iklim, kıyı tipolojisi ve son olarak da insan etkisidir (Tagliapietra ve Ghirardini, 2006.)

Kıyıların doğal jeolojik yapısı bir lagün oluşumu ve gelişimi sürecinde temel, tayin edici rol oynar. Dik yamaçlı ve kayalık kıyıları deniz suyunun karaya girişimine izin vermezken alçalarak uzanan alüvyonlu kıyıları azami gelgit yayılımına imkan tanır (Tagliapietra ve Ghirardini, 2006.) Bu jeolojik yapının oluşumuna, yani kıyı tipolojisinin şekillenmesine neden olan etkenler ise büyük ölçüde iklim şartları ve gelgit düzeyleridir. İklim şartları hidrolojik dengeyi etkisi altında tutmaktadır. Dolayısıyla hidrolojik denge içerisinde meydana gelen fiziksel süreçler (sisteme sediment taşıyıcı olan akarsu akımları, erozyon – sedimentasyon, alüvyonlu kıyı düzlüklerinin oluşumu zinciri) iklim şartları tarafından yönetilir (Tagliapietra ve Ghirardini, 2006.) Gelgit düzeyi ise sedimentin tabanda yayılım

şekli, sediment dokusu¹, kıyı morfolojisi ve hidrolik bekleme süresi gibi önemli özellikleri belirler. Mikro gelgit düzeyindeki alçak kıyıları sediment taşınımı ve birikimi sonucunda bariyer adaların oluşumuna imkan verirken denizle olan su alışverişinin devamına da olanak tanınması nedeniyle kıyı lagünlerinin oluşum ve gelişimi için en ideal ortamlardır (Tagliapietra ve Ghirardini, 2006.)

Wetzel (1983) kıyı lagünlerinin oluşumuyla ilgili şu tanımlı yapmıştır: “Genel olarak bir denizin veya büyük bir gölün kıyı çizgisi boyunca girintili oluşumlar varsa, bunların önünde bir set oluşarak bir kıyı gölü meydana gelme potansiyeli mevcuttur. Kıyı boyu akıntılarıyla taşınan sediment karşılaştığı koy veya girintinin ağzında depolanmaya başlar ve zamanla bir kıyı oku meydana gelir. Genellikle bu kıyı oku kıyı gölünün oluşumunu tamamlayacak şekilde kapanır. Açık kalması durumunda meydana gelen bir kıyı lagünüdür. Deniz kıyısında oluşan göller genelde eski haliçlerin ağız kısmında bir set oluşumu nedeniyle meydana gelir. Bazı durumlarda oluşan set dinamik bir yapıya sahip olup tatlı – tuzlu su girişimine imkan sağlayabilirken bazen de bu iki taraflı su girişimi gelgitler ve nehir deşarjları sayesinde ortaya çıkarak göl içerisinde değişken tatlı su – tuzlu su oranları yaratırlar.”

Avrupa Birliği Kıyı Birliği (EUCC) tarafından da benimsenmiş olan AB'nin Su Çerçeve Direktifi'nde (WFD) gelgit düzeyleri:

- Ortalama gelgit aralığı <2.0 m → mikro gelgit,
- Ortalama gelgit aralığı = 2 – 4 m → mezo gelgit,
- Ortalama gelgit aralığı >4 m → makro gelgit

şeklinde verilmiştir. Mikro gelgit düzeyindeki kıyılarda dalga enerjisi hidrodinamik ve kıyı morfolojisi üzerinde hakim etkindir. Makro gelgit düzeyli kıyılarda ise bu süreçleri gelgit akıntıları ve su seviyesi salınımları nedeniyle meydana gelen süreçler yönetir. AB Kıyı Birliği kıyıları sınıflandırırken gelgit düzeyinin yanında bölgede yaygın olarak rastlanan kayaç tipi (sert kayaç, yumuşak kayaç, yakın zaman çökelleri) ve eğim (yüksek ve dik kıyıları, kıyı düzlükleri) olmak üzere iki ayrı kriteri daha uygulamaktadır.

Tagliapietra ve Ghirardini (2006) WFD'nin seçtiği gelgit düzeyleri sınıflandırmasının Kuzey Avrupa kıyıları için tutarlı olduğunu, ancak gelgit seviyeleri nispeten düşük olan Akdeniz

¹Doku: Bir kayacın iç yapısı. Kayacın oluşum koşullarına bağlıdır. Örnek doku tipleri: Kristal, camsi, porfiri, vb... (TDK Yerbilim Terimleri Sözlüğü)

kıyıları için mikro gelgit düzeyinin altına ek bir kategori olarak gelgit aralığı 0.5 m'den küçük olan kıyıları tanımlayıcı nano gelgit düzeyinin eklenmesi gerektiğini ve geri kalan gelgit düzeyleri için ise Hayes'te (1979) verilen sınıflandırmanın benimsenmesini önermişlerdir (Çizelge 2.1.)

Çizelge 2.1 Hayes'i (1979) temel alan Tagliapietra ve Ghirardini (2006) gelgit düzeyi sınıflandırması

| Aralık (m) | Düzye |
|------------|--------------------|
| <0.5 | Nano gelgit |
| 0.5 – 1 | Mikro gelgit |
| 1 – 2 | Alçak mezo gelgit |
| 2 – 3.5 | Yüksek mezo gelgit |
| 3.5 – 5 | Alçak makro gelgit |
| >5 | Makro gelgit |

Yukarıdaki sınıflandırmayı öneren Tagliapietra ve Ghirardini (2006), önermelerinin gerekçesi olarak nano gelgit düzeyli lagünlerin özelliklerini ve mikro gelgit düzeyli lagünlerle başlıca farklılıklarını şu şekilde vermektedir:

- Nano gelgit düzeyine sahip bölgelerdeki kıyı lagünlerinde su değişiminin ana sağlayıcısı rüzgar etkisidir.
- Gelgit düzeyi kıyı morfolojisi ve sediment dağılımı/dokusu üzerinde belirleyici etkendir. Mikro gelgit düzeyli lagünlerde gelgit etkisi ince sedimenti (silt ve kil) daha iç, sıg ve kapalı bölgelere taşımak suretiyle sedimentin boylanması üzerinde etkili olur. Bu durum nano gelgit düzeyli lagünlerde ince danelerin çoğunlukla en derin bölgelerde görülmesi şeklinde karşımıza çıkar.
- Mikro gelgit düzeyli lagünlerde genellikle deniz bağlantı kanalından göl içerisine doğru gidildikçe derinlik azalırken nano gelgit düzeyli lagünlerde genelde gölün orta kısımları en derin bölgeleridir.

2.1.2 Lagünlerin Morfolojik Özellikleri

“Lagünlerin havzaları içerisinde meydana gelen fiziksel, biyolojik ve kimyasal olaylarca şekillenen morfolojileri, lagünün konumuna bağlı iklimsel sınırlamalar dahilinde ekosistemleri üzerinde önemli rol oynar. Öyle ki;

- Drenaj alanının doğal ve jeolojik yapısı

- Göle nütrient (besin maddesi) girişi
- Su değişimi – yenilenme süresine bağlı olarak sisteme giren akımın net hacmi morfolojik yapının kontrolü altındadır.

Su gövdesindeki sıcaklık dağılımı ve yoğunluk tabakalaşması oluşumları büyük ölçüde havzanın morfometrisi ve giren akımın hacminden etkilenirler. Bununla beraber, bu oluşumlar çözünmüş gazların, nütrient ve organizmaların dağılımını yönetirler. Böylece sistemin metabolizması değişen oranlarda havzanın jeomorfolojisinden ve bu morfolojinin tarihsel değişiminden etkilenir. Gölün morfolojisi ise en iyi şekilde detaylı bir batimetrik harita yardımıyla anlaşılabilir” (Wetzel, 1983.)

2.2 Lagünlerin Sınıflandırılması

Doğada görülen kıyısal yer şekilleri ve kıyı jeomorfolojileri büyük bir çeşitlilik göstermekte, uzun yıllardır sınıflandırılmaları ve tanımlanmaları üzerine çalışmalar yürütülmektedir (Masselink ve Hughes, 2003.) Kıyı alanlarının sınıflandırılması doğada rastlanan kıyı şekillerindeki muazzam farklılıklara neden olan çeşitli etkilerin (deniz seviyesinin tarihsel değişimi, jeolojik yapı, iklim, dalgalar, gelgit, vb.) büyüklüklerini değerlendirmede kullanılır (Masselink ve Hughes, 2003.) Lagünlere ait jeomorfolojik özellikler kıyı tipolojisiyle şekillenirken denizin etkisi ve lagün drenaj havzasının hidrolojisi de lagünün hidrolojik özelliklerini belirler (Chubarenko vd., 2006.)

Masselink ve Hughes’a (2003) göre Shepard’dan (1963) önceki sınıflandırma örnekleri sadece deniz seviyesindeki değişimin etkisini dikkate alırken, Shepard (1963) kıyıları birincil ve ikincil kıyılar olmak üzere şu özelliklere göre sınıflandırdı: Birincil kıyılar; denizel etkilerin dışında etkilerle oluşan, genelde su altında kalmış nehir vadileri veya deltaik kıyılardır. İkincil kıyılar; ağırlıklı olarak denizel süreçler ve denizel organizmaların faaliyetleri sonucu oluşan, bariyer adaları, mercan rifleri, mangrov kıyıları, vb. kıyılardır.

Yine Masselink ve Hughes (2003), bu erken sınıflandırmaların temel eksikliğini sınıflandırmada jeolojik geçmişin önemine göre abartılması olarak verirken Davies’in (1980) sadece gelgit düzeyine ve dalga yüksekliğine dayanan sınıflandırmasının daha açıklayıcı olduğunu öne sürmüşlerdir.

Chubarenko vd.’ne (2005a) göre ise lagünleri jeomorfolojilerine, hidroloji ve karışım süreçlerine göre sınıflandırmak lagündeki fiziksel süreçleri irdeleyen sayısal çalışmalar öncesi atılması gereken doğru bir adımdır. Bunun yanı sıra sınıflandırma sayesinde birbirine benzer

özellikler gösteren lagünler arasında daha önceden elde edilen deneyimlerden yararlanma imkanı mevcuttur.

2.2.1 Morfometrik Parametreler

Geometrik şekilleri bakımından zengin bir çeşitliliğe sahip lagünlerin taban ve sediment yatağı özellikleri de gelgit, taşkın, erozyon/birikim, rüzgar, dalgalar ve iklimsel olaylar nedeniyle değişime uğrayabilir. Bütün bu etkiler altında şekillenen lagünleri şekillerine göre nitel olarak değerlendiren Kjerfve'nin (1986) sınıflandırması ile bir başlangıç yapılabilir (Chubarenko vd., 2005a.) Kjerfve'nin sınıflandırması lagünlerin hidrografik özellikleri hakkında bazı belirlemeler yapılmasına olanak tanır ve lagünleri bağlı buldukları denizle olan su alışverişlerine göre üç sınıfa ayırır (Şekil 2.1.) Bu üç lagün sınıfına ait genel özellikler:

“Zayıf bağlantılı lagünler, denize uzun ve dar bir kanalla bağlıdır ve bağlı olduğu denize nazaran daha düşük bir gelgit salınımına sahiptir. Uzun su yenilenme süreleri, baskın rüzgar etkisi, aralıklı tabakalaşma olayları gibi karakteristik özellikleri vardır. Sedimentasyon genelde organik kökenlidir ve ekosistemde bulunan canlı türleri içerisinde genelde belli türlerin hakimiyeti söz konusudur. Bazen uğrayan farklı türlerin dışında biyoçeşitlilik genel olarak düşüktür.

Güçlü bağlantılı lagünler, denize bağlantı kanalları birden fazla ve oldukça geniştir. Yüksek gelgit düzeyinin etkisi, dalga ve kıyı boyu sediment taşınımı nedeniyle lagünün girişlerinin kapanmasına engel olur niteliktedir. Denizle olan su alışverişi sürekli ve engelsizdir. Gelgit akıntıları güçlü ve tuzluluk oranları bağlı bulunduğu denizinkine yakındır. Ekosistemde yaşayan canlılar lagünün bağlı bulunduğu denizdeki türlerle genel olarak aynıdır. Aslında şöyle de denebilir: Bu tip lagünler korunaklı, sıg, denizel bir habitat sunmaktadır ve bu nedenle biyolojik olarak son derece üretken olabilmektedir.

Orta bağlantılı lagünler, iki veya daha fazla deniz bağlantısına sahiptirler. Zayıf bağlantılı lagünlere göre daha belirgin gelgit düzeyine ve su sirkülasyonuna sahip olabilmektedirler. Tuzluluk gradyanları acı su özelliğinden hiper tuzluluğa kadar değişim gösterebilir. Rüzgar etkisi ve biyoçeşitlilik yüksektir. Orta bağlantılı lagünlerin genel özellikleri bu şekilde özetlenmekle beraber, belirtilmelidir ki diğer iki tip lagünün özelliklerini taşımaları da mümkündür.” (Gamito vd., 2005.)



Şekil 2.1 Kjerfve'nin nitel sınıflandırması (Chubarenko vd., 2005a'dan.)

Bu şekilde bir nitel sınıflandırma lagünleri jeomorfik şekillerine göre değerlendirirken onların hidrolojisi hakkında pek fazla sayısal yorum yapmamıza olanak tanımamaktadır. Bu nedenle Kjerfve'nin yaklaşımına ek olarak Chubarenko vd.'nin (2005a, 2005b) çalışmalarında uyguladığı birtakım morfometrik parametrelere (Çizelge 2.2) dayalı nicel yaklaşımla lagünlerdeki fiziksel süreçleri daha iyi anlamak mümkün olabilir. Lagünlerin boyutları sadece birkaç yüz metreden ibaret olabilirken, Brezilya'daki Patos Lagünü örneğinde olduğu gibi devasa kıyı alanlarını da kaplayabilirler (10000 km².) Tuzluluk oranları neredeyse tamamen tatlı sudan hiper tuzlu koşullara kadar değişebilir. Tuzluluk oranı su bütçesinin bileşenlerinin etkisi altındadır ve aynı lagün içerisinde dahi zamana ve konuma göre değişmesi söz konusudur. Hidrografik bir bakış açısıyla lagünlerle ilgili bu değişimlerin büyük bir kısmı lagün yönelmesi ve yapısı, yersel değişimler ve potansiyel deniz etkisini açıklamaya yarayan bir takım nitel parametre veya indekslerin kullanılmasıyla özetlenebilir (Gamito vd., 2005.) Bu amaçla Chubarenko vd. (2005a) tarafından verilen parametrelerin hesabında kullanılan ve Şekil 2.2'de görülen basitleştirilmiş dikdörtgen havzada kıyıya dik uzunluk a , kıyıya paralel uzunluk b , hacim V , ortalama derinlik H ile gösterilmiştir. Lagünün deniz bağlantısında ise genişlik d , uzunluk L , ortalama derinlik ise h ile ifade edilmiştir. Bu tipte bir morfometrik yaklaşım özellikle lagünün modelleme öncesi analizleri esnasında önerilmektedir. Bu parametrelerin bir sonraki konu başlığı altında verilecek olan hidrografik parametrelerle birlikte değerlendirilerek küçük indeksler gibi kullanılması mümkündür.

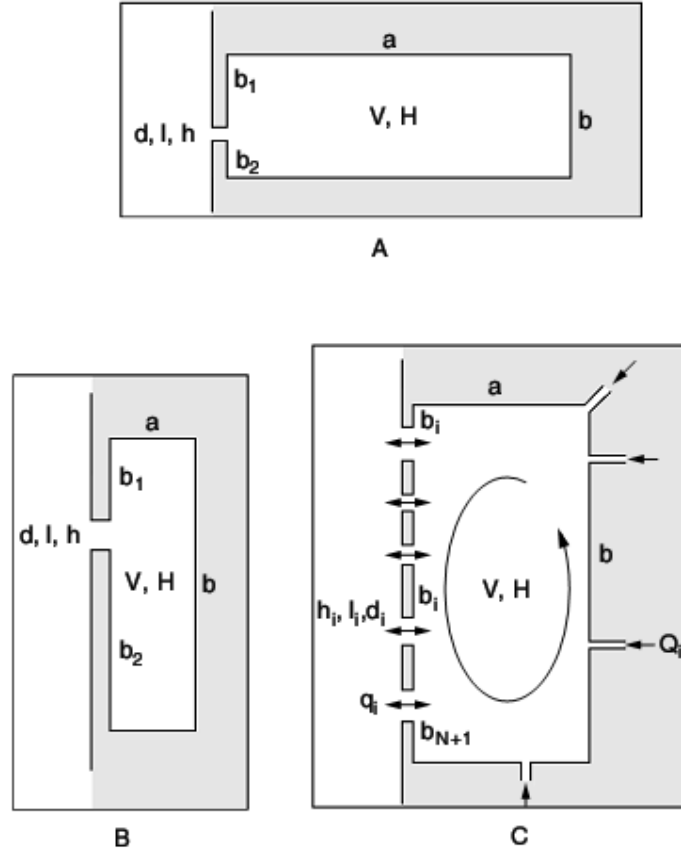
Chubarenko vd. (2005a) çalışmalarında ayrıca iki farklı basitleştirilmiş şekil daha önermektedir; kanallar ağından meydana gelen lagünler için ve birçok birbirine bağlı alt – havzadan meydana gelen lagünler için. Her ikisinin de detayları bu çalışmanın kapsamı dışındadır ve ilgili morfometrik parametrelerine değinilmeyecektir. Çizelge 2.2'de verilen morfometrik parametrelerin anlamları incelenecek olursa;

Sınırlama parametresi (P_r); lagünün denize bağlantılarının genişliklerinin lagünün deniz kıyısı uzunluğuna oranı olarak tanımlanan sınırlama parametresi bir lagünün denizle etkileşiminin büyüklüğü ile ilgili yorum yapmaya olanak tanır. P_r değeri büyüdükçe etkileşim ihtimali de artar.

$$P_r = \frac{d}{b} \quad (2.1)$$

Çizelge 2.2 Lagünlerin bazı jeomorfolojik parametreleri

| Parametre | Matematiksel İfade | Açıklamalar |
|--|--|--|
| Sınırlama parametresi (m/km) | $P_r = d/b$ veya $P_r = \frac{\sum d_i}{b}$ | Lagünün denize bağlantılarının genişliklerinin lagünün deniz kıyısı uzunluğuna oranı. |
| Yönlenme parametresi (boyutsuz) | $P_{or} = b/a$ | Lagünün deniz kıyısı boyunca uzunluğunun, deniz kıyısına dik olan uzunluğuna oranı. |
| Sığlık parametresi (m/km) | $P_{shall} = \left(\frac{H_{av}}{\max(a, b)} \cdot \frac{H_{av}}{\min(a, b)} \right)$ | Ortalama derinliğin karakteristik uzunlukların büyüğüne ve küçüğüne oranı. |
| Uç derinlik parametresi (boyutsuz) | $P_{deep} = \frac{H_{max}}{H_{av}}$ | Lagünün en derin bölgesinin ortalama derinliğe oranı. |
| Açıklık parametresi (m^2/km^2) | $P_{open} = \frac{\sum S_i^{in}}{S_{lag}}$ | S_i^{in} : i indisli lagün girişinin en kesit Alanı (m^2) S_{lag} : lagünün yüzey Alanı (km^2) |
| Sediment yapısı parametresi | $P_{sed} = \sum d_i \cdot \frac{S_i}{S_{lag}}$ | Sediment yapısı parametresi lagün sedimentinin ortalama çapını gösterir. Farklı sediment alanlarının (S_i) dane çaplarının (d_i) ağırlıklı ortalama değeridir. |
| Kıyı oluşumu parametresi (boyutsuz) | $P_{shore} = l \cdot (4 \cdot \pi \cdot A)^{-0.5}$ | Lagün kıyı çizgisinin, lagün alanına eşdeğer (A) alanlı dairenin çevresine oranını gösterir. |
| Kanal Parametresi (boyutsuz) | $P_{ditch} = h_{av}/H_{max}$ | Deniz bağlantı kanalı ortalama derinliğinin maksimum lagün derinliğine oranı |
| Kanal direnci Parametresi (m^{-1}) | $P_{ir} = \frac{l}{S^{in}}$ | Bağlantı kanalı uzunluğunun en kesitine oranı |



Şekil 2.2 Lagünlerin basitleştirilmiş şekillerle temsili (Chubarenko vd., 2005a'dan)

Açıklık parametresi (P_{open}); lagüne bağlantı kanallarının i tanesinden her birinin en kesit alanları toplamının lagünün yüzey alanına oranı olarak tanımlanan bu parametre potansiyel deniz etkisini açıklamada kullanılır ve bu konuda P_r parametresinden daha isabetlidir. Örneğin P_r değerleri hemen hemen aynı olan birbirinden çok farklı yüzey alanına sahip iki lagünü ele aldığımızda P_{open} parametresinin değeri yüksek olan lagün daha fazla deniz etkisindedir denilebilir. (Chubarenko vd., 2005b.)

$$P_{open} = \frac{\sum S_i^{in}}{S_{lag}} \quad (2.2)$$

Yönlendirme parametresi (P_{or}); kıyıya paralel karakteristik lagün uzunluğunun kıyıya dik olan uzunluğa oranıdır. Yönlendirme parametresi bir lagünün kıyı boyunca ne şekilde bir yönelimle konumlanmış olduğunu ortaya koyar. Bu değer büyük olması lagünün kıyıya paralel bir şekilde uzandığını göstermektedir.

$$P_{or} = b/a \quad (2.3)$$

Sıglık parametresi (P_{shall}); ortalama lagün derinliğinin karakteristik uzunlukların sırasıyla büyüğüne ve küçüğüne bölünmesiyle elde edilir. “Eğer bu parametrenin sayısal değeri düşükse derinlik, uzunluk ve genişliğin yanında ihmal edilebilecek kadar azdır. Eğer iki lagünün yüzey alanları birbirlerine yakınsa sıglık parametresi daha küçük olan lagün daha sıgıdır.” (Ertürk, 2002.)

$$P_{shall} = \left(\frac{H_{av}}{\max(a,b)}, \frac{H_{av}}{\min(a,b)} \right) \quad (2.4)$$

Uç derinlik parametresi (P_{deep}); lagünün maksimum derinliğinin ortalama derinliğine oranıdır. “Sağladığı bilgi lagünün taban yapısıyla ilgilidir. Bu parametrenin büyük bir değer olması lagün çanağında derin çukurların varlığına işaretler.” (Ertürk, 2002.)

$$P_{deep} = \frac{H_{max}}{H_{av}} \quad (2.5)$$

Kanal parametresi (P_{ditch}); bağlantı kanalı ortalama derinliğinin lagünün maksimum derinliğine oranıdır. Bağlantı kanalının lagün hidrodinamiği üzerindeki etkisini açıklamaya yarayan parametrelerdendir (Chubarenko vd., 2005b.)

$$P_{ditch} = \frac{h_{av}}{H_{max}} \quad (2.6)$$

Kanal direnci parametresi (P_{ir}); bağlantı kanalı uzunluğunun bağlantı kanalı en kesit alanına oranıdır. Oran ne kadar büyükse bağlantı kanalının direnci de o oranda artar. Başka bir deyişle lagündeki su hacminin kanaldan lagüne giren akıma vereceği tepki süresi uzar (Cubarenko, vd. 2005b.)

$$P_{ir} = \frac{l}{S_{in}} \quad (2.7)$$

2.2.2 Hidrolojik Parametreler

Lagünlerin su bütçesini belirleyen bileşenler olan akarsu girdisi (Q_{riv}), yağış (Q_{pre}), buharlaşma (Q_{evp}), yeraltı suyu girdisi (Q_{grd}), deniz suyu girdisi (Q_{in}) ve lagünden bağlantılı olduğu denize çıkan akıma (Q_{out}) bağlı bir takım hidrolojik parametrelerle de lagünleri tanımlamak mümkündür. Bunlar:

Havza Parametresi (P_{wsh}) – lagün havzasının özgül tatlı su kapasitesini gösterir.

$$P_{wsh} = \frac{Q_{riv}}{S_{wsh}} \quad (2.8)$$

Q_{riv} ; akarsular vasıtasıyla tatlı su girdisi (m^3/a)

S_{wsh} ; lagünün drenaj alanı (m^2)

Su bütçesi bileşenlerinin katkısı (P_i^{WB}) – su bütçesinin her bir bileşeninin lagün davranışı üzerinde ne derece etkin olduğunu ortaya koyar. Bu bileşenlerin lagün üzerindeki etkisi iki şekilde irdelenebilir;

(1) Her bir bileşenin değeri lagün yüzey alanına bölünerek;

$$P_i^{WB} = \frac{Q_i}{S_{lag}} \quad (2.9)$$

Q_i ; i'nci su bileşenine ait su girdisi (m^3/s)

S_{lag} ; lagün yüzey alanı (m^2)

Denklem 2.9'dan elde edilen oran her bir bileşenin lagünün su seviyesi değişimi üzerindeki etkisini ortaya koyar.

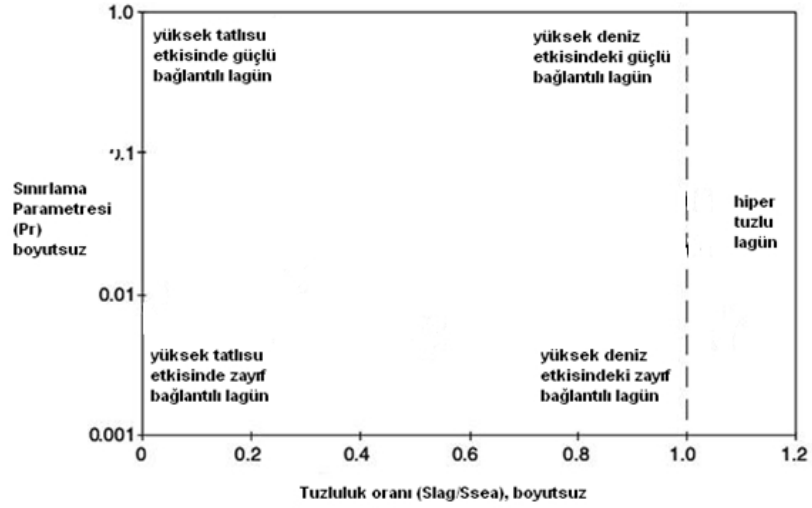
(2) Her bir bileşenin değeri lagünün hacmine bölünerek;

$$P_i^{WB} = \frac{Q_i}{V} \quad (2.10)$$

V ; lagün hacmi (m^3)

Denklem 2.10'dan elde edilen oran her bir bileşenin toplam lagün hacmine kattığı kısmi hacmi tanımlar (Chubarenko vd., 2006.)

Lagünlerin sınıflandırmasında bir adım daha ileri giderek hidrolojik ve morfolojik özelliklerin birlikte değerlendirilmesi için Şekil 2.3'te görülen hidrolojik – morfometrik diyagramdan yararlanılabilir. Buradaki kontrol parametreleri lagünün ve bağlı olduğu denizin ortalama yıllık tuzluluk oranları ($S_{lag}^{ort} / S_{sea}^{ort}$) ve lagün sınırlanma parametresidir (P_r) (Çizelge 2.2.)



Şekil 2.3 Morfometrik – hidrolojik diyagram (Chubarenko vd., 2005a'dan)

Lagün davranışı üzerindeki tatlı – tuzlu su dengesinin etkisini daha belirgin bir parametreyle değerlendirmek de mümkündür. Öyle ki bu parametre yardımıyla;

Lagün suları ne dereceye kadar denizin etkisi altındadır?

Lagün sularının bağlantılı buldukları deniz üzerinde bir etkisi var mıdır?

gibi sorulara açıklama getirilebilmelidir.

Bahsedilen parametre tuzluluk faktörü (F_s) adını taşır ve Chubarenko vd. (2005a) tarafından şu şekilde verilmiştir;

$$F_s = Q_{in} / (Q_{in} + Q_{fr}) \quad (2.11)$$

$$Q_{fr} = Q_{riv} + Q_{prc} + Q_{grd} - Q_{evp} \quad (2.12)$$

Q_{in} ; lagüne giren deniz suyu miktarı

Q_{fr} ; lagüne giren net tatlı su miktarı:

Q_{riv} ; akarsulardan gelen miktar

Q_{prc} ; yağışlarla giren miktar

Q_{grd} ; yeraltı suyu girdisi

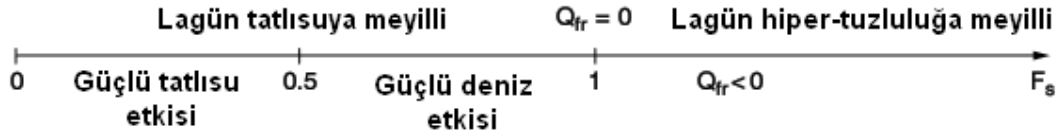
Q_{evp} ; buharlaşmayla kaybedilen miktar

Bilinmelidir ki deniz suyu girişi önemli olmasına rağmen lagünün asıl hidrolojik davranışını

etkileyen, bu deniz suyu girişinin net tatlı su girişine oranıdır. Daha açık bir ifadeyle, tuzlanma faktörü belirli bir zamanda lagünün hidrolojik değişiminin ne yöne meylettiğini göstermektedir (Şekil 2.4):

$F_s < 0.5 \rightarrow$ lagündeki su bağlı olduğu deniz suyundan daha az tuzlu olmaya eğilimlidir. Başka bir deyişle, lagüne tatlı su girişi denizden giren akıma göre daha fazladır ve lagün daha çok karasal etki altındadır.

$F_s > 0.5 \rightarrow$ lagündeki tuzlu su olmaya eğilimlidir ve $0.5 < F_s < 1$ arasında bir tuzluluk faktörü lagünün baskın olarak denizin etkisi altında olduğunu göstermektedir (Chubarenko vd., 2005a.)



Şekil 2.4 Lagünlerde tuzluluk faktörünün etkisi (Chubarenko, vd., 2006'dan)

Morfometrik ve hidrolojik parametrelere göre yapılan bu nicel sınıflandırma lagünü kesin bir kategoriye sokmaya yeterli olmayabilir. Kjerfve'nin nitel sınıflandırması bu bağlamda daha net tanımlamalara imkan sağlamakta ancak lagünün hidrolojik davranışı hakkında nispeten daha az bilgi vermektedir. Chubarenko vd.'nin nicel sınıflandırmasında seçilen parametrelerin kombinasyon halinde kullanılmasıyla lagünün davranışı hakkında daha sağlıklı bilgilere ulaşmak mümkündür. Bununla beraber, dünyanın farklı yerlerindeki lagünler üzerinde yürütülen çalışmalardan elde edilen bulguların benzer karakteri gösterenler üzerine uygulanmasına imkan tanımaktadır. Eğer bir modelleme çalışması hedefleniyorsa sınıflandırma yapılması gereken ilk işlerden olmalıdır.

2.3 Lagünlerin Kalitesini Etkileyen Hidrolik Özellikler

2.3.1 Tabakalaşma ve Karışım

Göller, lagünler ve haliçlerde tabakalaşma ve karışım mekanizmaları hidrodinamik, su kalitesi ve taşınım süreçleri konularında büyük öneme sahiptir. Tabakalaşma ve karışım özellikle su kütlesi içerisindeki hakim kuvvetlerin ve sınır şartların belirlenmesi açısından dikkatlice irdelenmesi ve anlaşılması gereken konulardır. Göl veya lagün içerisinde mevcut olan lentik bölgeler belirlenip tabakalaşma ve karışım ile birlikte değerlendirildiğinde taşınım ve su

kalitesini etkileyen fiziksel süreçler hakkında yorum yapmak da kolaylaşacaktır.

Tabakalaşma sıcaklık, çözülmüş katı maddeler (özellikle tuzluluk) ve askıda katı maddeler nedeniyle meydana gelen sudaki yoğunluk farklılaşmasından ötürüdür ve dikey karışım, hız profilleri ve taşınım açısından kritik önem taşıyabilir (Teeter vd., 2001.)

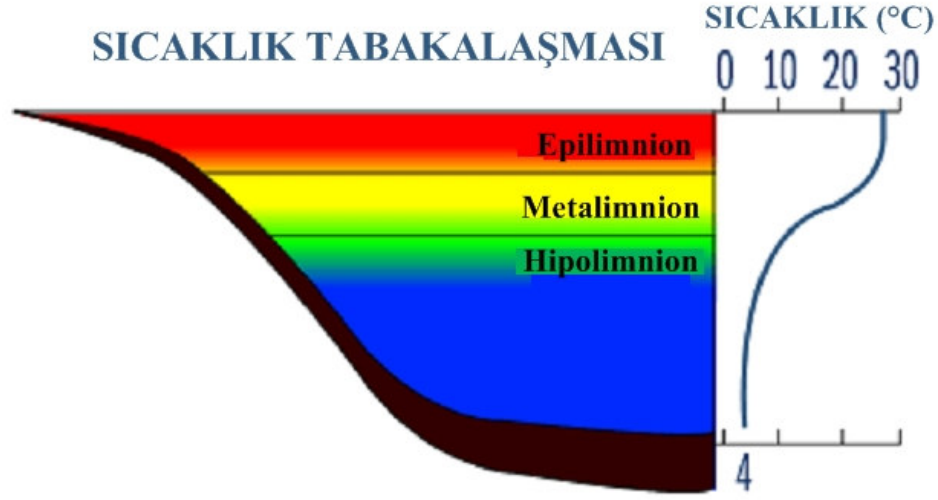
Karışımın ise genel olarak üç ana nedeni bulunmaktadır;

- Giren akımlar nedeniyle
- Çıkan akımlar nedeniyle
- Rüzgar, dalga ve Coriolis etkisiyle (Ertürk, 2002.)

2.3.1.1 Tabakalaşma

“Tatlı sularda güneş ısı rüzgar ve akıntılar nedeniyle oluşan karışıma baskın çıktığında tabakalaşma meydana gelir. Tabakalaşma durumunda rüzgar ve akıntılar ısınmış olan yüzey sularını artık gölün derinliği boyunca karıştırılmaz durumdadır. Tuzlu göllerde ise hem sıcaklık hem de çözülmüş katı madde miktarındaki farklılıklar tabakalaşmaya neden olur. Epilimnion ve Hipolimnion arasındaki yoğunluk tabakalaşmasının nedeni sıcaklık ve yoğunluk arasındaki güçlü ilişkiyle açıklanabilir” (Martin ve McCutcheon, 1999.)

Yaz aylarında gözlenen sıcaklık tabakalaşması; “yaz aylarına doğru su katmanlarının üst ve alt kısımları arasındaki sıcaklık ve yoğunluk farklılıklarının daha belirgin hale gelmesi ve yeterli derinliğe sahip olan göllerde genelde epilimnion, metalimnion ve hipolimnion (Şekil 2.5) adıyla bilinen fiziksel olarak birbirine karışmayan üç tabakaya ayrılmasıyla gerçekleşir. Epilimnion en üstteki sıcak tabakadır ve tipik olarak iyi karışmıştır. Epilimnion altında metalimnion veya termoklin bölgesi bulunur. Bu katmanda sıcaklık derinliğe bağlı olarak çok hızlı bir şekilde düşüş gösterir. Metalimniondaki işte bu yoğunluk değişimi üst ve alt katmanların yaz ayları boyunca karışmasını engelleyen fiziksel bir bariyer vazifesi görür.” (www.waterontheweb.org)



Şekil 2.5 Yaz aylarında görülen sıcaklık tabakalaşması (www.waterontheweb.org)

Tabakalaşmanın mevsimsel görünümü genelde yılda bir kez olarak karşımıza çıkarken yüksek enlemlerde bulunan göllerin kışın +4 °C’de bulunan hipolimnionlarına karşın 0 °C’de seyreden yüzey sıcaklıkları nedeniyle ters tabakalaşma olayı gözlenir (Martin ve McCutcheon, 1999.)

Tabakalaşma durumlarına; yılda kaç kez tabakalaşmaya uğradıklarına, coğrafi enlemlerine ve deniz seviyesinden yüksekliklerine göre gölleri sınıflandırmak mümkündür. Bu sınıflandırmaya göre:

“Holomiktik göller; yıl boyunca bütün su sütununda tam karışım olan göller

Meromiktik göller; hiç bir zaman tam karışım göstermeyen, tabanında daima hareketsiz bir su kesimine sahip göller

Monomiktik göller; yılda bir kez karışım gözlenen göller

Dimiktik göller; yılda iki kez karışıma uğrayan göller

Polimiktik göller; sık sık veya devamlı olarak tam karışım meydana gelen göller

Oligomiktik göller; tropikal bölgelerde yağın olan, çoğunlukla tabakalı halde bulunup nadiren karışan göller

Amiktik göller; genelde çok yüksek oranlarda çözünmüş katı madde içeren, hiç bir zaman karışım gözlenmeyen göllerdir.” (Martin ve McCutcheon, 1999.)

2.3.1.2 Karışım

Lagüne Girişler Nedeniyle Karışım

“Lagüne akarsu, deniz bağlantı kanalı, yüzey akışları gibi kaynaklarla giren su karışıma neden olur. Bu karışımın boyutu giren suyun kinetik enerjisinin büyüklüğüne ve göldeki tabakalaşma durumuna bağlıdır. Bir çok zayıf tabakalaşmalı gölde yüksek miktarda debi girdiğinde tam karışım meydana gelir. Belirtilen kaynaklardan göle su girişleri tam karışıma neden olmadıkları durumlarda dahi sirkülasyonu ve su kalitesini önemli ölçüde etkilerler” (Martin ve McCutcheon, 1999.)

“Lagüne giren suyla lagünde mevcut olan suyun yoğunluk farkına göre giren suyun hareketi üç temel şekilde gerçekleşir.

Üst akım giren suyun yoğunluğu göldeki suyun yoğunluğundan küçükse gerçekleşir. ($\rho_{in} < \rho$)

Bunun tam tersi durumda ise ($\rho < \rho_{in}$) *alt akım* meydana gelir. Eğer giren suyun yoğunluğu epilimniondakinden büyük ancak metalimnion veya hipolimniondakinden küçükse ($\rho_{in} > \rho_1$, $\rho_{in} < \rho_2$) *orta akım* meydana gelir” (Wetzel, 1983.)

Lagünden Çıkışlar Nedeniyle Karışım

“Lagünden çıkan su kütlesi gerisinde bir çekilme bölgesi (çıkış yapan suyun derinlik doğrultusundaki genişliği) oluşturmak suretiyle karışıma neden olur. Çekilme bölgesinin boyutu;

- Çıkış yapan su miktarına
- Çıkışın meydana geldiği yerin batimetrik yapısına
- Çıkışın meydana geldiği yakın çevrenin tabakalaşma durumuna bağlıdır.

Tabakalaşmanın etkisi diğer etkilere oranla daha önemlidir. Çünkü tabakalaşma çıkış yapan suyun çekilme bölgesini sınırlamaktadır. Batimetrisi ve debisi bilinen bir çıkış akımı için yoğunluk gradyanının artmasıyla çekilme bölgesinin daralacağı söylenebilir. Sonuç olarak tabakalaşma durumu, çıkan suyun miktarı, konum ve batimetrik yapıya bağlı olarak çıkan akımın yarattığı çekilme bölgesi çok dar olabileceği gibi su yüzeyinden tabana kadar da ulaşabilir” (Martin ve McCutcheon, 1999.)

Rüzgar, Dalga ve Coriolis Etkisine Bağlı Karışım

Rüzgar su yüzeyinde yarattığı gerilmeyle suyu hareketlendirerek akıntılara ve aynı zamanda ortaya çıkardığı salınım hareketi neticesinde rüzgar dalgalarına neden olur. Özellikle derinliği

birkaç metreden fazla olmayan lagünler hava ve denizle olan etkileşimlerinde daha çabuk tepki verirler. Rüzgarın etkisi sığ bölgelerde bulunan ekosistem değişkenlerinin taşınım ve sirkülasyonu açısından önemlidir. Öncelikle rüzgarın yüzey sürtünmesi nedeniyle meydana getirdiği akıntıların etkisini ele alacak olursak; rüzgarın hakim esiş yönünde yüzey akıntıları meydana getirerek taşıdığı suların lagünün diğer ucunda biriktiği söylenebilir. Koutitonsky (2005) ve Chubarenko vd. (2005b) bu diğer uçta biriken suyun meydana getirdiği seviye yükselmesi ve basınç gradyanı neticesinde yüzeyden rüzgar yönünde oluşan akıntılara tam zıt yönde alt katman ve taban akıntılarının oluşacağını öne sürmüşlerdir. Hatta taban topoğrafyasındaki olası değişkenlikler meydana gelen sirkülasyonun oldukça karmaşık bir hal almasına neden olacaktır. Koutitonsky'nin (2005) çalışması hipotezini doğrulayıcı nitelikte sonuçlar vermiştir.

Rüzgar etkisinin diğer önemli neticesi olan rüzgar dalgalarının karışım üzerindeki etkisi dalgaların tabanla etkileşim halinde olduğu litoral bölgelerde son derece önemlidir. Bu bölgelerde tabakalaşma etkisini ortadan kaldıran neden dalgaların tam karışıma yol açmasıdır. Dalgalar limnetik bölgede tabanı etkilemekten uzaktır ancak epilimnionda karışım sağlar. Su yüzeyinde akıntı ve dalgalara neden olan rüzgar gerilmesi derinlik boyunca her belirgin yoğunluk tabakasında da içsel dalgaların oluşmasını tetikleyebilir. İçsel dalgalar ayrıca lagüne giren ve lagünden çıkan akımların oluşturduğu gerilme nedeniyle de ortaya çıkarak su kütlesi içinde karışıma neden olurlar.

Bunların yanı sıra dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesinin bir sonucu olan ve su içerisindeki akıntı (ortalama) hızıyla orantılı bulunan Coriolis kuvvetinin (Wetzel, 1983) karışım üzerindeki etkisi de önemlidir. Kuzey yarımkürede akıntıyla aynı yöne baktığımızda akıntının sağa doğru sapmasına neden olan Coriolis etkisinin önemi lagünün iç çevrinti yarıçapı hesaplanarak irdelenebilir;

$$r_c = \frac{u}{f} = \frac{u}{2\omega \sin \theta_1} \quad (2.13)$$

r_c ; iç çevrinti yarıçapı

ω ; dünyanın açısal hızı ($7,29 \cdot 10^{-5}$ rad/s)

θ_1 ; coğrafi enlem

u ; lagündeki akıntı hızını temsil eden ortalama hız (m/s)

Gölün genişliği (L_{gen}) $5r_c$ 'den büyükse Coriolis etkisi önem kazanır, $L_{gen} > 20r_c$ olduğunda ise

Coriolis hakim kuvvet haline gelir. (Martin ve McCutcheon, 1999.)

Birçok oşinografik yöntemlerle yapılan ölçümler sonunda elde edilen genel kaniya göre doğal lagünler için ortalama akıntı hızının alt limit değeri 0,02 m/s olarak kabul edildiğinde;

$$L_{min}^* = \frac{686}{\sin \theta_1} \quad (2.14)$$

İfadesine göre L_{min}^* lagündeki sirkülasyonun Coriolis etkisinde olabilmesi için gerekli olan minimum lagün genişliğini ifade etmektedir (Chubarenko vd., 2005a.)

2.3.1.3 Hidrolik Bekleme Süresi

Hidrolik bekleme süresi veya başka bir ifadeyle bir su partikülünün göl içerisinde kaldığı ortalama zaman;

$$\tau_w = \frac{V}{Q} \quad (2.15)$$

τ_w ; bekleme süresi

V ; ortalama su hacmi

Q ; ortalama debi

Hidrolik bekleme süresi Chubarenko vd.'ne (2005b) göre bir lagünün ekosisteminin iyileşmesi için mevcut olan hidrolik kapasiteyi temsil eder. Lagüne su getiren her tekil kaynağın (akarsu, deniz bağlantısı, vs.) bu süre üzerinde kendine özgü etkisi vardır.

Farklı koşullar altında bulunan ve farklı büyüklükte göller için birkaç günden birkaç yüz yıla kadar değişkenlik gösterebilen hidrolik bekleme süresi göllerin karışım şekilleri ve su kaliteleri üzerinde çok büyük öneme sahiptir (Martin ve McCutcheon, 1999.) Su yenileme süresi veya hidrolik bekleme süresinin çevre ve ekosistem kalitesi açısından önemini Gamito vd. (2005) aşağıdaki gibi açıklamaktadır:

“Bir zayıf bağlantılı lagünde ötrofikasyon söz konusu olduğunda çevresel kararsızlığın büyüklüğü katlanarak artar. Sık alg patlamaları meydana gelebilir. Bu durumu ise sırasıyla distrofik krizler, yüksek amonyak ve düşük oksijen konsantrasyonları takip ederken kaçınılmaz olarak organizma ölümleri meydana gelir. Yüksek hidrodinamik enerjiye sahip olan lagünler ötrofik olsa dahi nütrient birikimi ve yarattığı problemler (fitoplankton ve makro alg büyümesi) azamiye düşerken lagünde meydana gelen aşırı üretim lagün dışına (denizel ortama) taşınarak derin sularda çöker. Bunların yanı sıra ortam şartları su değişimi ve karışımı sayesinde tekrar oksijen kazanmış olur.”

2.3.2 Fiziksel Süreçler

Bu çalışmada fiziksel süreçlerden özellikle üzerinde durulmak istenen hidrodinamik yapının ve sediment taşınım mekanizmalarının anlaşılabilmesi için gereken ön bilgileri ortaya koymak amaçlanmıştır. Bu bağlamda lagün sisteminin tipik fiziksel özelliklerinden özellikle hidrodinamik yapı için önemli olanları üzerinde duruldu. Hidrodinamik yapıyı irdeleyen bir çalışmaya başlarken yapılması gereken ön analizler olan gel – git, Coriolis etkisi, rüzgar ve dalga etkisiyle karışım, tuzluluk, lentik bölgeler, hidrolik bekleme süresinin belirlenmesi ve önemine kısaca değinildi. Bunlar içerisinde lentik bölgenin, morfometrik yapı ve karışım süreçleri sediment taşınımını açısından da büyük önem arz etmektedir.

2.3.2.1 Hidrodinamik Yapı

Su gövdesinde sediment, nütrient ve diğer askıda veya çözülmüş maddelerin taşınımını, varacakları nihai noktayı ve dolayısıyla dağılımlarını ve birikim bölgelerini lagünün hidrodinamik yapısı belirlemektedir (Şenduran vd., 2007.) Bütün akım ve taşınım olaylarının matematik ifadesinin temelinde fiziğin genel korunum yasaları bulunur;

- Enerjinin korunumu
- Kütlelenin korunumu
- Momentumun korunumu

Lagün ve haliçlerin hidrodinamiği için bu korunum yasalarının yanı sıra tuzluluğun korunumu prensibi de geçerli bir yaklaşımdır. Günümüzde hidrodinamik için sayısal çözüm sunan birçok yöntem temelinde süreklilik ve hareket denklemlerinden türetilmiş Navier – Stokes denklemlerini kullanmaktadır.

Bu diferansiyel denklemlerin çözümü için geliştirilmiş bir çok sayısal model günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sayısal model çözümlerinde önemli olan, başlangıç ve sınır koşullarının doğru bir biçimde tanımlanabilmesidir. Bu sınırlar; su – hava (özellikle rüzgar,) su – kara, su – su (lagün – deniz) ve kıyı – taban arakesitleridir (Gönenç, İ. E., 2006.)

2.3.2.2 Sediment Özellikleri ve Taşınımı

Sediment kelimesi rüzgar, dalga, akıntı ve yerçekimi gibi fiziksel etkenlerce hareket ettirilen serbest organik ve inorganik malzemelerin tümüne karşılık gelir (Masselink ve Hughes, 2003.)

Masselink ve Hughes (2003) kıyı alanlarında bulunan sedimentin iki ana grupta

toplanabileceğini öne sürmüşlerdir:

Yabancı sediment (allochthonous); karasal kayaların kimyasal veya mekanik yollarla tek mineralli veya orijinal kayadaki minerallerin bir dizisini barındıran danelere ayrışması sonucu oluşurlar. Kıyılarda en yaygın görülenleri kuvarz ve kil mineralleridir.

Yerli sediment (autochthonous); kıyı alanlarında yerel kayaların parçalanmasıyla ve daha yaygın olarak kıyı alanlarında yaşayan organizmaların vücut parçaları ve/veya suda çözülmüş minerallerin kimyasal çökmesiyle oluşurlar. En fazla rastlanan yerli mineraller biyojenik karbonat ve silikadır.

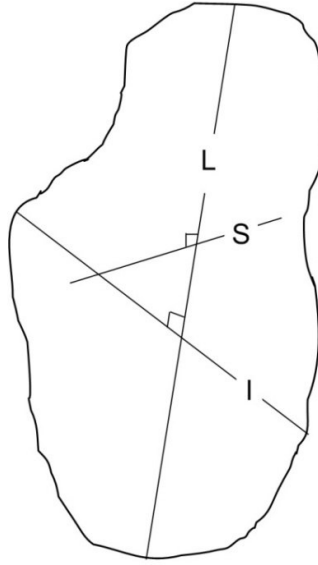
Küresel boyutta, kıyı alanlarında bulunan sedimentin yaklaşık %90'dan fazlası yabancı sediment sınıfındadır ve kıyı alanlarına azalan öneme göre nehirler, buzullar, rüzgar ve volkanik faaliyetler sonucu taşınmışlardır (Masselink ve Hughes, 2003.)

Sediment Özellikleri

Dane boyu, simetrisizlik ve boylanma gibi özellikler sediment taşınım süreçleri için birinci derecede önem taşırlar ve kıyı morfolojisi ile ilgili çalışmalarda sıkça kullanılırlar (Masselink ve Hughes, 2003.) Aşağıda bu özelliklerin açıklamaları ve belirleme yöntemleri Masselink ve Hughes'den (2003) aktarılmaktadır.

Dane Boyu: Dane boyu ile ilgili en basit ölçüm yöntemi uzun (L), orta (I) ve kısa (S) eksenlerinin uzunluklarının (Şekil 2.6) belirlenmesinden ibarettir. Bu ölçüm iri danelerde doğrudan bir kumpas kullanılarak yapılabilirken daha ince danelerin ölçüm yöntemi olarak elek analizi veya mikroskopik gözlem kullanılmaktadır. Bir elek analizinde danenin sadece I ekseninin boyutu ölçülmüş olur ve ölçülen bu I ekseni boyutu danelerin Udden – Wentworth ölçeğine dayalı olarak sınıflandırılmasında kullanılır. Wentworth şemasında sınıfların aralıkları hem milimetrik ölçekte hem de ϕ (ϕ) ölçeği adı verilen bir ölçekte verilmektedir. ϕ ölçeği ile milimetre ölçeğindeki dane boyu (D) arasındaki bağıntı aşağıdaki gibidir:

$$\phi = - \log_2 D \quad (2.16)$$



Şekil 2.6 Bir sediment danesinde uzun (L), orta (I) ve kısa (S) eksenlerin gösterimi (Masselink ve Hughes, 2003'ten değiştirilerek aktarılmıştır.)

ϕ ölçeği aşağıda açıklanacak olan boylanma ve simetrisizlik gibi özelliklerin belirlenmesi için Masselink ve Hughes (2003) ve Algan (1987) tarafından önerilen Folk ve Ward (1957) yöntemi için gereklidir.

$$\text{Medyan} = \phi_{50} \quad (2.17)$$

$$\text{Ortalama} = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3} \quad (2.18)$$

$$\text{Boylanma} = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} + \phi_5}{6,6} \quad (2.19)$$

$$\text{Simetrisizlik} = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)} \quad (2.20)$$

Medyan değeri kümülatif dane boyu dağılımında toplam danelerin %50'sine karşılık gelen dane boyununun denklem 2.16'ya göre hesaplanan ϕ ölçekli değeridir. ϕ ölçekli diğer bütün alt indisler de aynı kümülatif dane boyu dağılımından aynı esasa göre hesaplanan değerlerdir.

Ortalama değer belirli bir noktadan alınan sedimentin dane boyunu temsil etmede en sık kullanılan değerdir. Ancak bazı uygulamalar için kabul edilmiş özel durumlar da mevcuttur. Örneğin bir deniz tabanının pürüzlülüğünü temsil eden değer doğrudan %65'lik dane boyu olarak kabul görmüştür (Masselink ve Hughes, 2003.) Algan'a (1987) göre ortalama dane boyu ve medyan değerleri sedimenti taşıyan gücün ve çökme ortamının enerji koşullarını verir. Buna göre kaba boyutlu gereç yüksek enerji koşullarını işaret ederken, ince daneli gereç

ise taşınım ve çökelme süreçlerinde etkin enerji koşullarının küçük olduğunu göstermektedir.

Boylanma, sedimentin kaynağındaki dane boyu aralığına bağlı olduğu gibi, aynı zamanda taşınım ve birikme esnasında meydana gelen süreçlere de bağlıdır. Örnek olarak; tek bir taşınım olayı sonucu hızlıca birikmiş sediment genelde kötü boylanmıştır. Oysa ki sürekli hareketli olan ve taşınım birikim süreci sıkça tekrarlanan sediment genelde iyi boylanmıştır (Masselink ve Hughes, 2003.) Algan (1987) boylanma değerlerinin ortamın kinetik enerjisindeki değişimleri ortaya koyduğunu belirtmiştir. Çökelme ortamındaki etkin süreçlerin boylanma üzerinde rol oynadığını ifade eden Algan, bu durumu kıyıdaki dalga etkisinin ve sabit güçteki akıntıların da aynı şekilde iyi boylanma sağlamasıyla açıklamıştır. Ancak numune içerisindeki biyojenik kökenli malzemenin artmasının gerçek boylanma değerine ulaşılmasını engelleyeceğini de belirtmiştir.

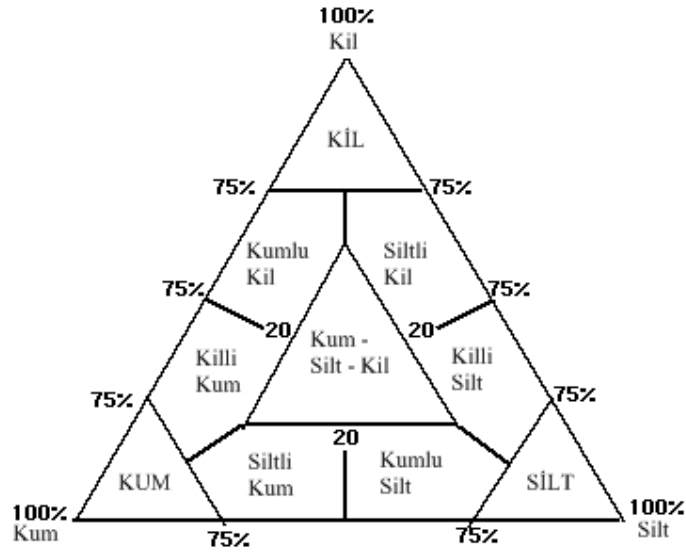
Simetrisizlik dane boyu dağılımının simetrisini temsil eden bir göstergedir. Negatif simetrisizlik sedimentin log – normal dağılımında beklenenden daha fazla iri malzeme bulunduğunu, pozitif simetrisizlik ise beklenenden daha fazla ince malzeme bulunduğunu gösterir (Masselink ve Hughes, 2003.) Simetrisizliğin nedenlerinden biri iki farklı kaynaktan gelen sedimentin bir bölgede karışması olabilir. Bununla beraber simetrisizlik, taşınım ve birikim süreçleri esnasında meydana gelen olayların bir göstergesi olarak da görülebilir (Masselink ve Hughes, 2003.) Örneğin, plaj kumları tipik olarak negatif simetrisizliğe sahiptir. Bunun nedeni dalga etkisiyle oluşan çalkantı hareketlerinin etkili biçimde tabandaki ince daneli malzemeyi tekrar askıya geçirmesidir. Bu tekrar askıya geçiş yataktaki sedimentte iri danelerin oranının beklenenden daha fazla olmasına yol açar (Masselink ve Hughes, 2003.) Bunun yanı sıra plaj kumunda genelde yüksek oranda bulunan kavkı malzemesi de negatif simetrisizliğe neden olur (Masselink ve Hughes, 2003.) Boylanma ve simetrisizlik için sınıflandırma aralıkları ve kısa açıklamaları Çizelge 2.7’de görülmektedir.

Çizelge 2.7 Folk ve Ward (1957) sınıflandırmasına göre sediment boylanma ve simetrisizliği (Algan, 1987’den değiştirilerek alınmıştır.)

| Aralık | Boylanma | Aralık | Simetrisizlik |
|----------------------|-----------------|------------------------|----------------------|
| <0,35 | Çok iyi | >+0,30 | Aşırı ince gereçli |
| 0,35 ile 0,50 | İyi | +0,30 ile +0,10 | İnce gereçli |
| 0,50 ile 0,71 | Orta iyi | +0,10 ile -0,10 | Simetrik |

| | | | |
|---------------|----------|-----------------|--------------------|
| 0,71 ile 1,00 | Orta | -0,10 ile -0,30 | Kaba gereçli |
| 1,00 ile 2,00 | Kötü | -0,30 ile -1,00 | Aşırı kaba gereçli |
| >2,00 | Çok kötü | | |

Dane boyu dağılımı belirlenen taban sedimenti numunelerin kum, kil ve silt oranlarına göre sınıflandırılması için bir diğer yöntem de Shepard'ın (1954) üçgen diyagramıdır (Algan, 1987; www.mgs.md.gov.) Genelde taban sedimenti dağılımı haritalarının çıkarılmasında kullanılan yöntemde dahil olan bu üçgen diyagram Şekil 2.7'de görülmektedir.



Şekil 2.7 Shepard'ın üçgen diyagramı (www.mgs.md.gov'dan)

Sedimentlere ait fiziksel özelliklerin ardından çevresel açıdan taşıdığı önem üzerinde de konuşmak yararlı olacaktır. Sedimentin bir nevi “kapan” gibi davranarak genelde adsorpsiyon neticesiyle kalıcı veya geçici olarak madde birikimi sağlaması söz konusudur (Spagnoli vd., 2002; de Clippele, 1998.) Birikim halinde bulunan, sedimentte tutulan bu maddeler sediment üzerindeki su sütunu ve sediment yüzeyi arasında meydana gelen bir takım fiziksel/fizikokimyasal süreçler neticesinde suya geri salınabilirler. Böyle bir durum ise beraberinde su kalitesi ve sucul yaşam açısından tahrip edici sonuçlar getirebilir. Zira sedimentte tutulmuş olan ağır metal ve kirleticiler gibi nütrientler de tekrar canlılarla etkileşim haline girmiş bulunurlar.

Sedimentler ayrıca doğal ortamlarda bir çeşit kayıt cihazı olarak da düşünülebilir. Öyle ki yapılacak uygun analizler sonucunda;

- Lagüne giren akarsu debilerinde yıllar içerisinde meydana gelen değişimler
- Deniz – lagün alışverişi
- Sistemin biyolojik bileşenleri
- Sedimentasyon süreci

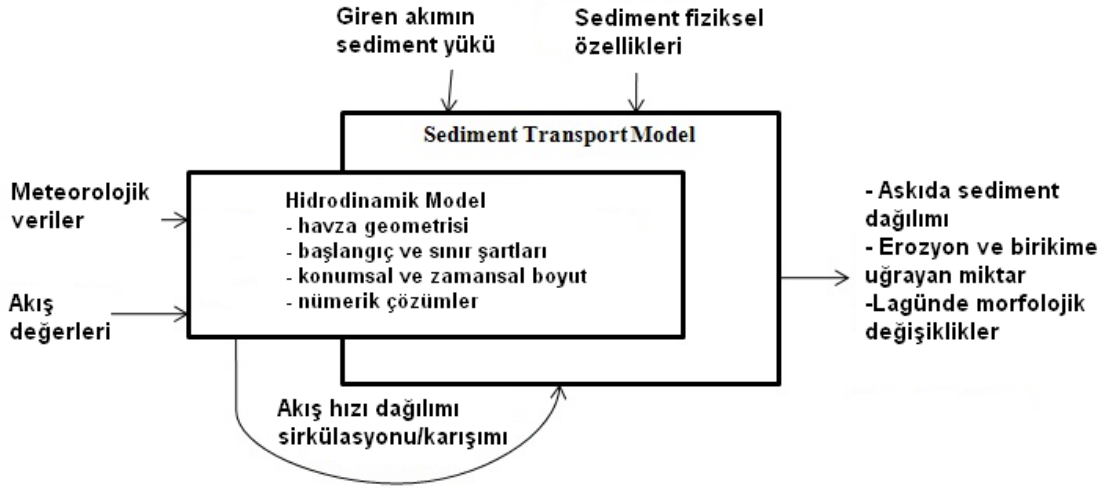
hakkında fikir sahibi olmak mümkündür (Spagnoli vd., 2002.)

Bir doğal sulak ekosistemde sediment taşınımının sucul yaşam, su kalitesi ve ekosistemin bütününde üretkenlik gibi konularda tartışmasız rolü çok büyüktür. Litoral bölgede bulunması muhtemel sucul bitkilerin bu dinamiğe katkısı da ayrıca araştırılması gereken konulardandır.

“Sediment taşınımı için de sayısal çözümlere günümüzde sıkça başvurulmaktadır. Başarılı bir sediment taşınım modellemesi için üç şey bilinmelidir;

- Askıdaki ve tabandaki sedimentin özellikleri
- Doğru bir model formülasyonu
- Bir hidrodinamik modelden elde edilen doğru ve tutarlı hız bileşenleri ve kayma gerilmeleri” (Teeter vd., 2001.)

Sediment taşınım çalışması için yapılması gereken en önemli ön çalışmalardan biri de sistemde var olan sedimentin karakterizasyonudur. Dane boyutu analizi, kohezivite, içsel sürtünme gibi özellikler araştırılarak bölgedeki malzeme tanımlanabilir. İnce ve kaba sedimentin çökme hızları, kohezif özellikleri, taşınım süreçleri farklıdır. Dolayısıyla herhangi bir sayısal çalışma öncesi hangi süreçlerin sayısal olarak ifade edileceğini bilmek açısından sedimentin fiziksel özellikleri belirlenmelidir. Şekil 2.8’de görülen birleştirilmiş bir hidrodinamik ve sediment taşınım modelinin yapısı içerdiği süreçler ve gereksinimler açısından incelenebilir.



Şekil 2.8 Birleştirilmiş bir hidrodinamik – sediment taşınım modelleme çalışması için örnek şablon (Şenduran, vd., 2007.)

3. YÖNTEM

3.1 Literatür Taraması ve Veri Derleme

Çalışmanın başlangıç aşamasını teşkil eden literatür taramasından izlenecek yöntemin belirlenmesinde ve teorik altyapının oluşturulmasında faydalanılmıştır. Genel literatürden lagünleri tanımlayıcı yöntemlerin yanı sıra hidrodinamiğini ve fiziksel süreçleri açıklayıcı yöntemler incelenmiştir. Hidrodinamik yapının incelenmesi için kullanılması önerilen ön çalışmalardan Küçükçekmece’de uygulanabilir olanlar üzerinde karar kılınmıştır. Ayrıca lagün ortamında etkin fiziksel süreçler ve sınır koşullarından bahsedilmiş, hidrodinamik ve sediment taşınımı açısından hakim süreçler tanımlanmış ve bunlardan bazıları mümkün olduğunca Küçükçekmece lagünü üzerine uygulanmıştır.

Ayrıca literatürden Küçükçekmece lagünü üzerine yapılan çalışmalar da incelenerek lagüne dair bilgi ve bulgulardan; özellikle jeolojik, morfolojik ve sediment dağılımı üzerinde yapılmış olan çalışmalardan yararlanılmıştır. (Algan, 1987; Yıldırım ve Adatepe, 2004.)

Mevcut durumun daha net ortaya konması için Küçükçekmece lagününde daha önce yapılmış olan akademik çalışmaların yanı sıra kamuya ait kurumlar [DSİ (Devlet Su İşleri), DMİ (Devlet Meteoroloji İşleri), vs.] tarafından yapılmış olan harita ve istatistik veriler gibi arşiv bilgilerinden yararlanılmaya çalışılmıştır. DSİ arşivinden lagüne ait 1942, 1966 ve 1985 yıllarına ait batimetri haritaları elde edilmiş; yine DSİ’den lagüne dökülen derelerin ikisine ait akış istatistikleri uzun yıllar ortalamaları şeklinde elde edilmiştir. DSİ arşivinden elde edilemeyen diğer dereye ait benzer veri ise Bağdatlıoğlu’nun (1996) çalışmasından elde edilmiştir. Ayrıca bu çalışmadan iklim ve Marmara denizinden lagüne giren akımın debi değeri için de yararlanılmıştır. Rüzgar ve yağış istatistikleri DMİ Florya gözlem istasyonu’nun arşivlerinden Kasım 2005’ten başlayarak Nisan 2006 dahil olmak üzere günlük ortalama rüzgar hızı ve esiş yönü, düşen günlük yağış miktarı olarak elde edilmiş ve sonuçlar kısmında saha ölçümlerinin sonuçlarını destekleyici biçimde sonuçlarla birlikte irdelenmiştir.

3.2 Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları 2002 yılında başlayan TÜBİTAK – GSRT ortak projesi olan “The Development of an Environmental Management Model in Küçükçekmece Basin” ile başlayıp 2005 yılında TÜBİTAK tarafından desteklenen “Doğal Ortamlarda Ağır Metal İzlemesi: Uygulama Alanı Küçükçekmece Gölü ve Havzası” adlı projeye devam eden süreçte ilk

olarak gölde ve göle su getiren dereler üzerinde su kalitesini izleme adına önemli olduğu düşünülen istasyon noktalar üzerinde yapılan aylık su kalitesi izleme ölçümleriyle başlamıştır.

Bu tez çalışması kapsamında lagün içerisinde bulunan su kalite izleme noktalarından 10, 11, 12 ve 13 no'lu istasyonlara (Şekil 5.3) ait olan aylık olarak ölçülmüş sıcaklık (T) ve tuzluluk (S) değerleri kullanılmıştır. Değerlendirmeye alınan ölçümlerin tarihleri Kasım 2005 – Mayıs 2007 arasındadır. Ölçümler ayda bir defa olacak şekilde tekneyle göle açılmak suretiyle Garmin Etrex GPS cihazı ile işaretlenmiş istasyon noktalarında problu T – S ölçüm cihazları kullanılarak yerinde yapılmıştır.

Başlangıçta bahsedilen istasyon noktalarında sadece yüzeydeki değerleri izlemek suretiyle yapılan ölçümler; Temmuz 2006'dan itibaren lagünün orta bölgesinde, yaklaşık 15 m derinliğe sahip bulunan 12 no'lu istasyonda sıcaklık ve tuzluluğun derinliğe bağlı profillerini ortaya koyabilmek için yüzey, 5 m, 10 m ve 15 m derinliklerde olacak şekilde devam ettirilmiştir. Nisan 2006 tarihinden itibaren denizin lagünle etkileşimini daha iyi yorumlayabilmek için gözlem istasyonlarına lagünün deniz bağlantı kanalının denize çıktığı bölgede, Marmara denizi içerisinde kalan D.B. olarak adlandırılan istasyon dahil edilmiş ve bu istasyonda yüzey T – S değerleri aylık olarak izlenmiştir. Bu ölçümlerin tamamıyla ilgili sonuç ve yorumlar Bölüm 5'te verilmektedir.

Aylık olarak T ve S ölçümleri yapılan istasyon noktalarının tümüne ait taban sedimenti örnekleri de alınmıştır. Bu sedimentler bir sediment kapağı vasıtasıyla alınıp YTÜ zemin mekaniği laboratuvarına fiziksel özellikleri analiz edilmek üzere getirilmiştir. Lagün içerisindeki bu noktalara (10, 11, 12, 13) ek olarak arazinin zemin yapısını daha iyi tanımlayabilme açısından Sazlıdere'nin göle döküldüğü ağzadaki sulak alan üzerinde bulunan D2, İ.Ü. Avcılar kampüsü kıyısında bulunan İ.Ü. ve Küçükçekmece Nükleer Araştırma Merkezi kıyısında bulunan N.A. adı verilen noktalardan (Şekil 5.3) da fiziksel özellikleri analiz edilmek üzere sediment örnekleri alınmıştır.

Arazi çalışmalarının son aşaması olarak Nisan 2006 – Şubat 2007 tarihleri arasında S – T ölçümleriyle eş zamanlı olacak şekilde biri Küçükçekmece lagünü içerisinde (G1), diğeri lagünün deniz bağlantı kanalı içerisinde (K1) olacak şekilde konumlandırılan iki noktada su seviyesi ölçümleri yapılmıştır. Bu iki nokta arasındaki kot farkı bir nivelman çalışmasıyla belirlenerek bir referans düzlem oluşturulmuş ve yapılan su seviyesi ölçümleri; eşitlenen referans düzleme göre meydana gelen değişim miktarları baz alınarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın detaylı açıklaması ve sonuçları 5. Bölümde verilmektedir. Su seviyesini T – S

ölçüleriyle eş zamanlı olarak izlemedeki amaç; T – S ölçümleri sayesinde tahmin edilmeye çalışılan suyun hareket yönlerini doğrulayıcı/destekleyici bir bulguya varmaktır.

3.3 Sediment Analizleri

Sediment analizleri yukarıda bahsedilen noktalardan alınan örnekler üzerinde, YTÜ zemin mekaniği laboratuvarında uygulanmıştır. Sediment örnekleri çok iri daneler içermediği için dane boyu dağılımlarının belirlenmesinde elek analizi ve ince daneler için hidrometre analizlerine tabi tutulmuşlardır. Deneylerin yöntemleri için ASTM standart yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar log – normal grafiğe işlenerek dane boyut dağılımı grafikleri ortaya çıkarılmıştır. Elde edilen grafikler Udden – Wentworth ölçeğine göre sınıflandırılmış, simetrisizlik ve boylanma gibi özellikler ise Folk yöntemi (Algan, 1987) ile hesaplanmış ve yorumlanmıştır. Ayrıca her numuneye ait birim hacim ağırlıkları (γ_s) piknometre deneyi uygulanarak belirlenmiştir.

3.4 Sayısal Yaklaşımlar

Küçükçekmece lagününün hidrodinamik yapısını yorumlayabilmek için bir takım nitel ve nicel sınıflandırma yöntemleriyle işe başlanmıştır. Bölüm 2’de açıklanmış olan Chubarenko yaklaşımından hem morfometrik hem de hidrolojik parametreleri dikkate alan bir yöntem olmasının yanında yakın zamana ait bir yöntem olmasına rağmen uygulama örneklerinin bulunması (Chubarenko vd., 2005a; 2005b) nedenleriyle bu çalışmada önemli ölçüde yararlanılmıştır. Chubarenko vd.’nin önerdiği parametrik hesapların ihtiyaç duyduğu veri ve büyüklüklerin bir kısmı literatürden ve kamu kuruluşlarının istatistik ve arşivlerinden elde edilmiş, bir kısmı ise yine Chubarenko vd.’nin önermiş olduğu yöntem uyarınca Google Earth yazılımı kullanılarak ve bir takım kabuller yapılarak elde edilmiştir. Bu çalışmaların detayları Bölüm 5’te sonuçlarıyla birlikte verilmektedir.

İzlenen yöntemin son aşaması derlenen, ölçülen, analiz edilen ve hesaplanan bütün bilgileri bir arada irdelemekten ibarettir. Başka bir deyişle literatürden elde edilen teorik bilgi varılan sonuçları yorumlamada kullanılırken Küçükçekmece’ye ait literatür ve arşiv verileri kendi yaptığımız ölçüm ve analizlerle karşılaştırılarak irdelenmiştir.

4. ÇALIŞMA BÖLGESİ ve MEVCUT VERİLERİN İNCELENMESİ

Su ve sediment kalitesi bakımından son derece kötü durumda olan ve giderek kirlenmeye devam eden Küçükçekmece lagününde hidrodinamik yapının ortaya konması lagün ve havzanın gelecekte daha iyi bir durumda olabilmesi için alınması gereken kararları destekleme açısından önemlidir. Bu bağlamda lagün ve havzanın fiziksel ve jeolojik birlikte incelenmiştir.

4.1 Coğrafi Konum ve Topoğrafik Yapı

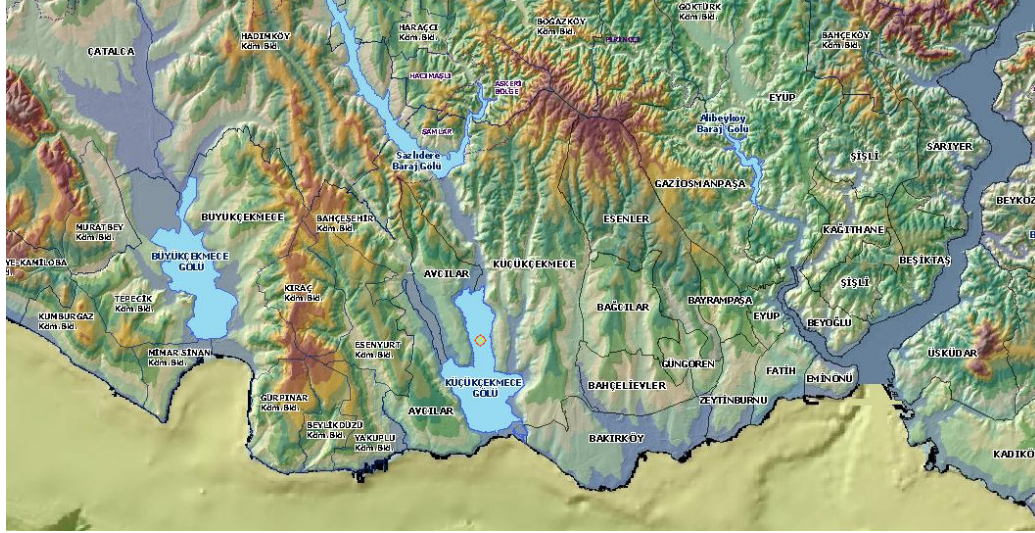
Küçükçekmece Lagünü Türkiye'nin kuzeybatısında, coğrafi olarak 41° 00' kuzey enlemi ile 28° 45' doğu boylamı koordinatlarında bulunur. İstanbul'un Avrupa yakasında şehir merkezine 15 km uzaklıkta bulunan gölün kuzeyinden TEM, güneyinden D-100 otoyolları geçmektedir. Lagünün genel çevresinde kuzey kısmından güneyde Marmara Denizi'ne doğru alçalan arazi, batı kısmında batıdan doğuya, doğuda ise doğudan batıya doğru alçalma gösterir (Bağdatlıoğlu, 1996.)

Kuzey kısmında Sazlıdere drenaj havzası, doğu ve batı kısımlarında sırasıyla Menekşedere ve Ispartakule drenaj havzalarıyla çevrili olan lagünün güneydoğu köşesinde ise Marmara Denizi bağlantısı konumlanmıştır (Şekil 4.1.) Üç akarsuyun da taşıdığı malzeme nedeniyle göle giriş kısımlarında nispeten sığ bölgeler meydana gelmiştir (Bağdatlıoğlu, 1996.) DSİ arşivlerinden elde edilen topoğrafik harita incelendiğinde (Şekil 4.2) gölün en derin kısmının beklenmedik biçimde deniz bağlantısına yakın güney kısımda olduğu, orta kısmın nispeten derin ancak kuzeyde Sazlıdere etkisinde olan kısmın daha sığ ve düşük taban eğimli bir yapıda olduğu gözlenmektedir. Lagünün taban topoğrafyasını gösteren mevcut batimetrik haritaların en günceli DSİ tarafından 1985 yılında üretilmiştir ve gelecekte bu lagüne dair yapılması planlanan hidrodinamik ve su kalitesi modelleme çalışmaları için güncellenmesi yerinde olacaktır.

4.2 Jeomorfolojik Yapı

Bölgenin genel jeomorfolojik özellikleri Duman vd.'ne (2005) göre akarsu ve denizel süreçlerce şekillenmiştir. Ayrıca tipik bir şekilde akarsu taşkın havzalarındaki çökellerin temel olarak kum, ince kum, silt ve kilden oluştuğu ve Küçükçekmece kıyı kordonunun çökellerinde de yarı yuvarlanmış çakıl, kavkı, kum, silt ve kil muhtevası bulunduğu yine kendileri tarafından öne sürülmüştür. Bunlara ek olarak Marmara denizi kıyı çizgisi boyunca

görülen plaj çökellerinin ise iyi boylanmış ince kum, kum ve kavkı içerikli olduğunu da belirtmektedirler.



Şekil 4.1 Küçükçekmece Lagünü ve Havzasının topoğrafyası (<http://sehirrehberi.ibb.gov.tr>)

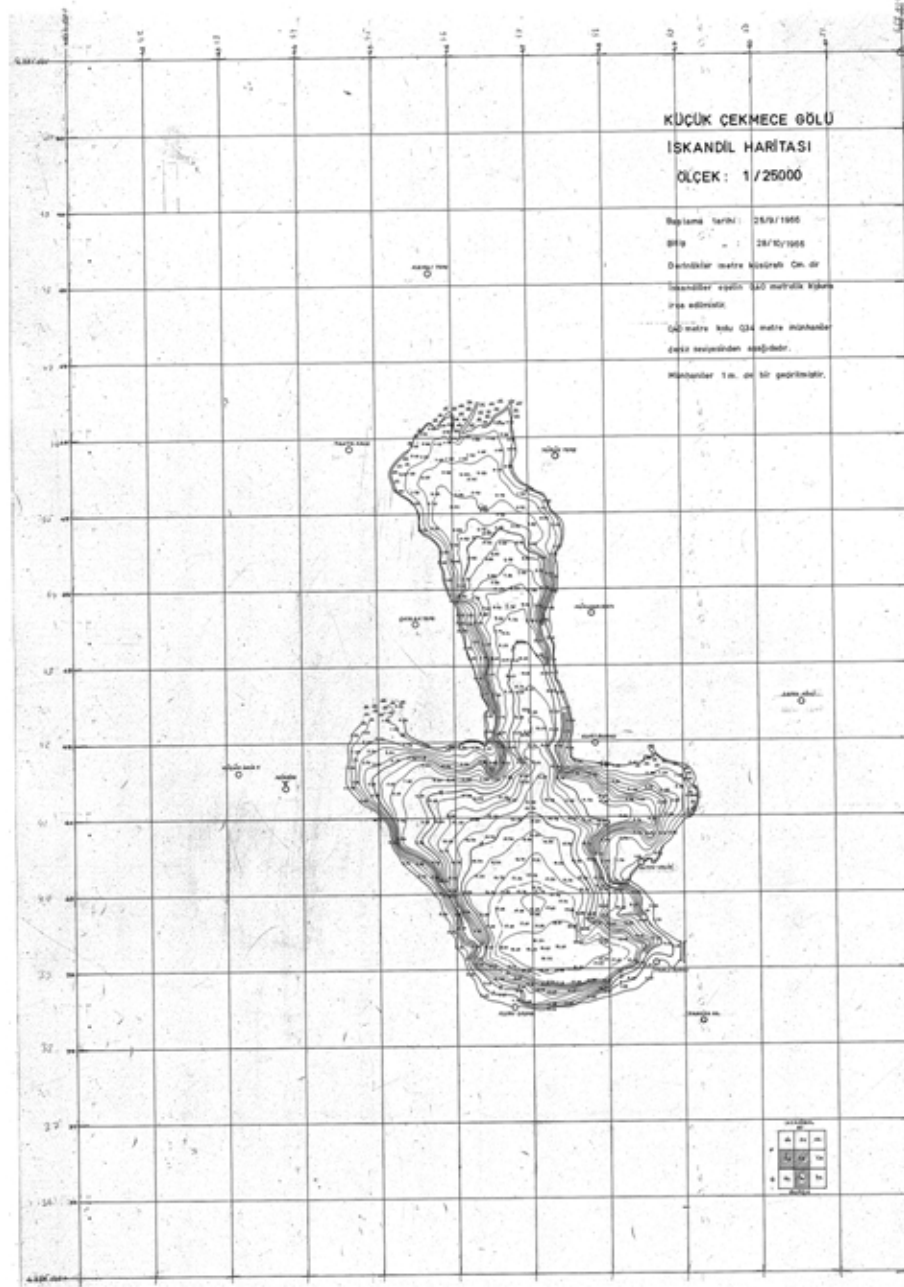
Küçükçekmece Gölü yüksekliği deniz seviyesi ile +100 m kotu arasında değişen kuzey – güney doğrultusunda uzanan iki yayvan sırtın arasında bulunmaktadır. Bu sırtların üst kotlarında yatay veya yataya yakın düzlüklere rastlanmakta, göle bakan batıya ve doğuya eğimli yamaçlarda ise %20 daha yüksek eğimlere ulaşılmaktadır (Yıldırım ve Adatepe, 2004.)

Yüksek eğimli yamaçların bitip alüvyal çökellerin egemen olmaya başladığı alt kotlar deniz seviyesine yakın bulunan düzlük alanları meydana getirmektedir. Çalışma alanı ve çevresi genel olarak güneyde Marmara denizine doğru giderek düşük açılarla alçalın bir topoğrafyada yer almaktadır. Yamaçların bitip alüvyal düzlüklerin başladığı düşük kotlarda kuzey – güney doğrultuda uzanan düşey atımlı fay hatlarının da bugünkü morfolojik yapının şekillenmesinde etken olduğu anlaşılmaktadır (Yıldırım ve Adatepe, 2004.)

4.3 Jeolojik Yapı

Bölgedeki jeolojik elemanlar üç ana grup altında toplanabilirler. Yaşlıdan gence doğru: Paleozoik – Mesozoik alt katmanları, Tersiyer birimleri ve yakın zaman çökelleri (Duman vd., 2005.) Ancak çalışma bölgesinin jeolojisinin daha büyük ölçekli olarak irdelendiği Yıldırım ve Adatepe'nin (2004) çalışması lagün havzasını oluşturan ana formasyonlara daha detaylı ışık tutmaktadır (Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5.) Bu nedenle bölgenin jeolojik yapısının tanımlanmasına Yıldırım ve Adatepe (2004) çalışması kaynakça alınarak devam edilecek

olursa; Küçükçekmece göl havzası ile göle akan dereler ve çevre bölge dikkate alındığında yörede görünür tabanda Paleozoik yaşlı Trakya formasyonunun grovak (kumtaşı-silt taşı) ve kil taşı ardalanmasından oluşan litolojiler bulunmaktadır. Üst Oligosen'den Üst Miyosen'e kadar kesiksiz çökelen Gürpınar, Çukurçeşme ve Güngören formasyonları kumlu – killi litolojilerden, en üst seviyede bulunan Bakırköy formasyonu ise genellikle zayıf dayanımlı marn – kireçtaşı ve kil ardalanmalarından oluşmaktadır.



Şekil 4.2 Küçükçekmece Gölü taban topografyası (DSİ, 1966.)

“Küçükçekmece gölünün kuzey sınırında yaygınca yüzeylenen ve kaya ortamını temsil eden Orta Eosen – Alt Oligosen yaşlı Kırklareli formasyonu, beyazımsı krem renkli, karstik kireç taşlarından oluşmaktadır. Dane birim hacim ağırlığı $\gamma_s = 2.45 - 2.75 \text{ g/cm}^3$, porozitesi $n = \% 6 - 20$ aralıklarındadır.

Gürpınar formasyonu gölün batı ve doğu yamacının tümünde yaygın biçimde bulunmaktadır. Gürpınar formasyonunun taban seviyeleri granüler özellikte (Çakıl – kum) olsa da üste doğru kil oranı artmakta ve aşırı konsolide kile geçilmektedir. Dane birim hacim ağırlığı $\gamma_s = 2.62 - 2.72 \text{ g/cm}^3$ olan Gürpınar formasyonu Casagrande sınıflandırmasına göre aşırı konsolide kil sınıfına girmektedir.

Güngören formasyonu yüksek plastisiteli, organik içeriği yüksek, bataklık ürünü killerdir. Suyla teması halinde şişme özelliğine sahiptir. Dane birim hacim ağırlığı $\gamma_s = 2.40 - 2.62 \text{ g/cm}^3$ olarak verilmiştir.

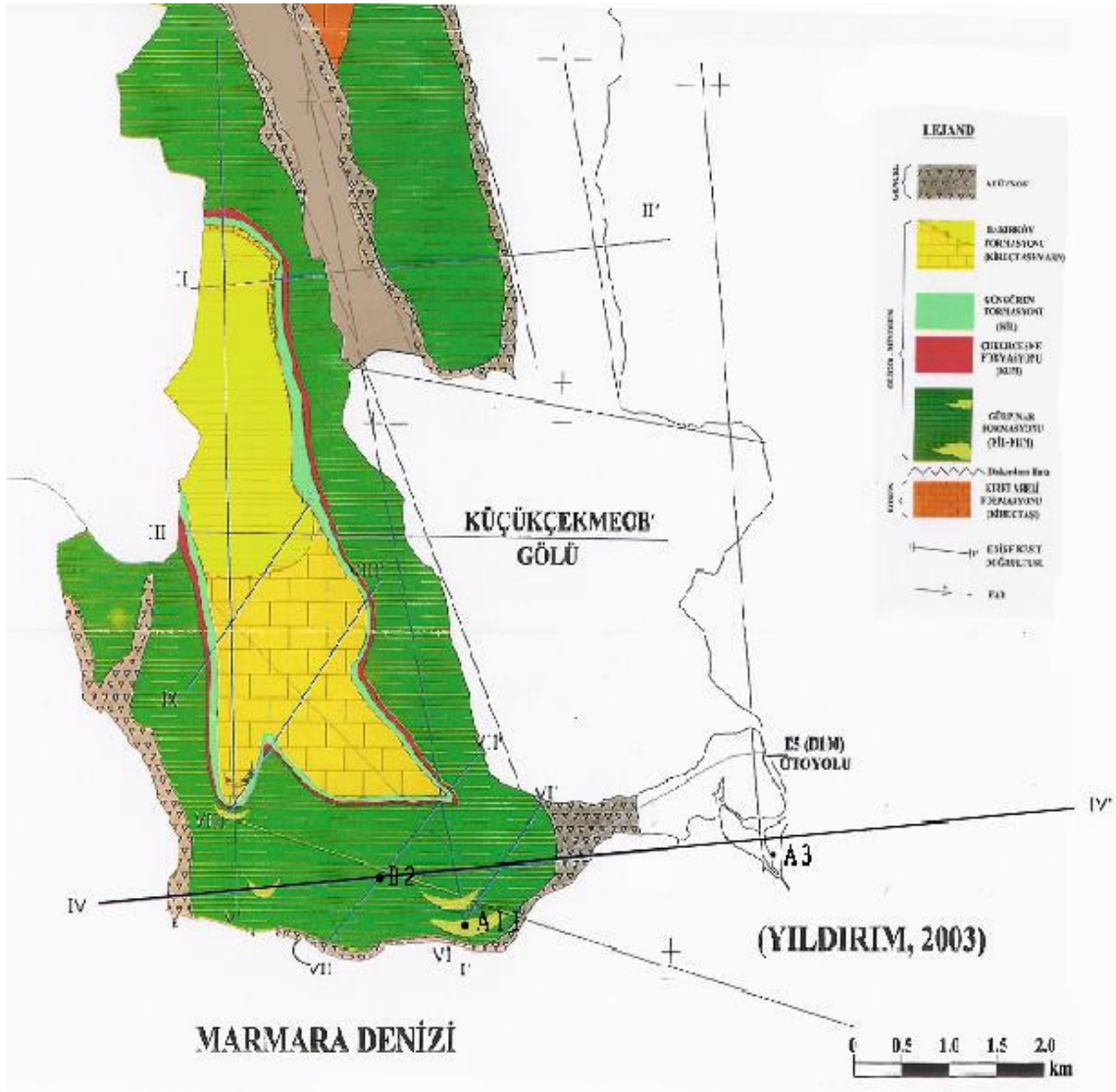
Bakırköy formasyonu gölün batı ve doğusunda tepe düzlüklerinde yüzeylenen beyazımsı krem renkli, boşluklu kil – kum ara katmanlı, killi kireçtaşlarından oluşmaktadır. Dane birim hacim ağırlığı ortalama olarak $\gamma_s = 2.59 \text{ g/cm}^3$, porozitesi $n = \% 5 - 22$ aralığında verilmiştir.” (Yıldırım ve Adatepe, 2004.)

4.4 Hidrojeolojik Yapı

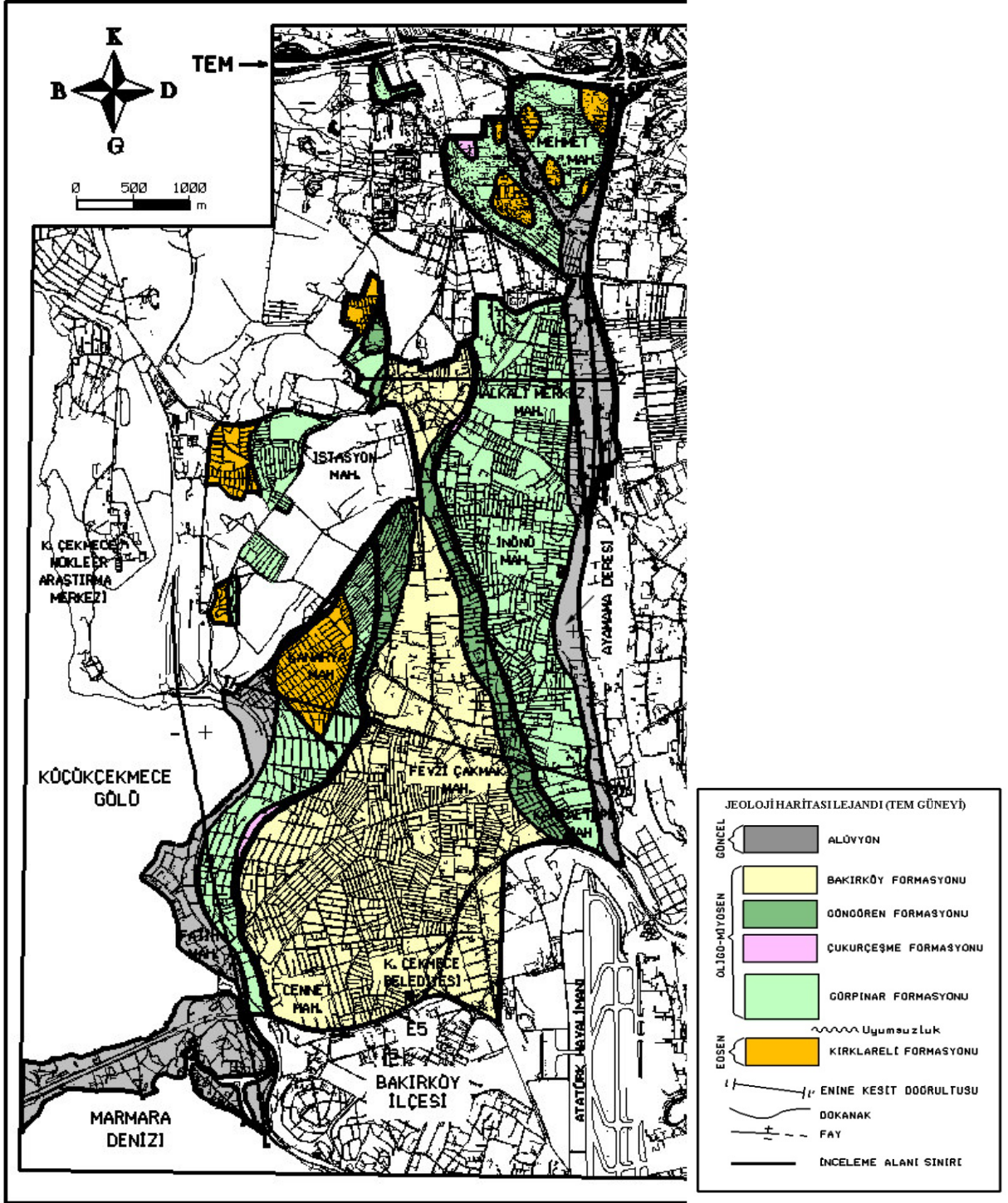
Göl havzasına bakan yamaçlarda farklı karakterlerde kayaç oluşumları yüzeylenmiştir. Buradaki litolojilerin geçirimsizlik dereceleri yüksektir ve yeraltı sularının akışı ve göle karışımı açısından belirleyici önem taşırlar.

4.4.1 Yeraltı suları

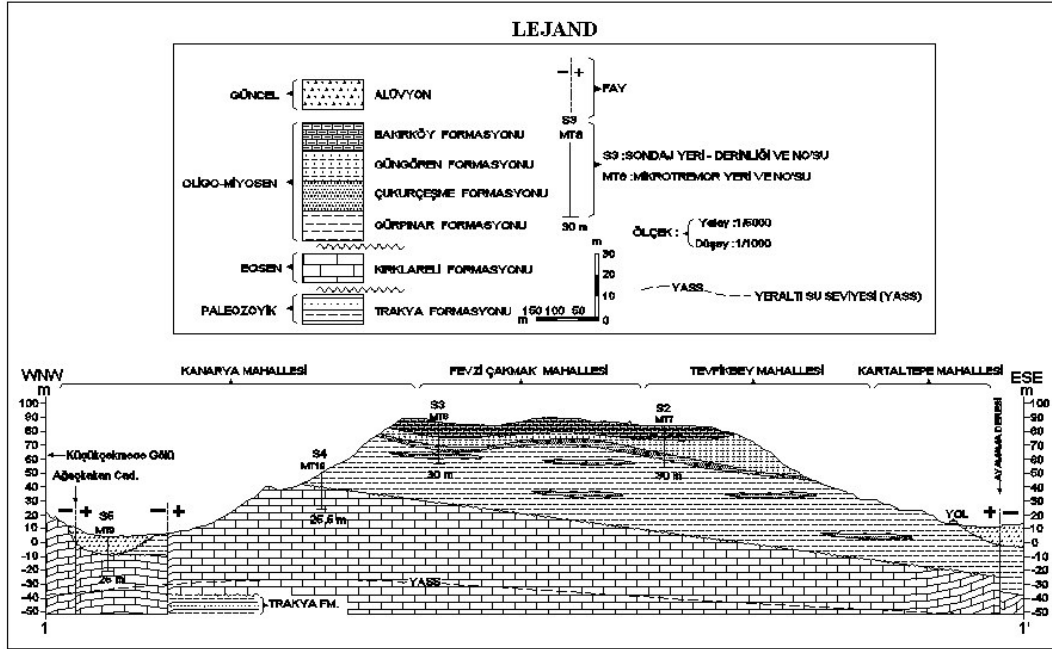
Çevrenin morfolojisi ve yöredeki akifer niteliğine sahip formasyonların sınırlı sayıda olmaları nedeniyle Küçükçekmece Gölü yamaçları yeraltı suyu açısından oldukça fakirdir. Verimli akiferler marmara denizi ile Küçükçekmece Lagünü arasındaki sahil şeridinde kalınlıkları 30m'ye kadar ulaşabilen alüvyonun kum-çakıl tabakaları ile havzanın tabanındaki Gürpınar formasyonu kum mercekleri ve karstik Kırklareli formasyonu kireç taşlarıdır. Yörenin tabanı ile havzanın kuzeyinde bulunan Trakya formasyonu grovaklar pratik olarak geçirimsizdir ve çatlak suları haricinde yeraltı suyu içermemektedir (Yıldırım ve Adatepe, 2004.)



Şekil 4.3 Havzanın batı yakasının jeolojik yapısı (Yıldırım ve Adatepe, 2004'ten)



Şekil 4.4 Havzanın doğu yakasının jeolojik yapısı (Yıldırım ve Adatepe, 2004'ten)



Şekil 4.5 Havzanın doğu yakasının zemin kesiti (Yıldırım ve Adatepe, 2004'ten)

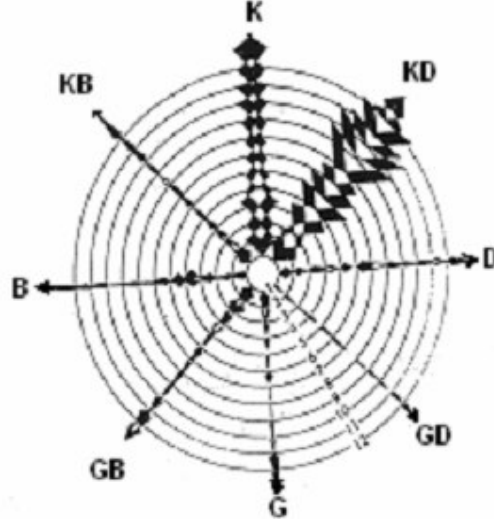
4.5 Meteoroloji

Yağış rejimi Akdeniz ikliminin özelliklerini gösterir. Bölgede yıllık ortalama yağış miktarı 691 mm olup, bu miktarın %70'lik bölümü Ekim-Mart ayları arasında düşmektedir. Yıllık ortalama sıcaklık 13,7 °C'dir. Şubat ayında yılın en düşük sıcaklığı (-8,6 °C) görülürken, Ağustos en yüksek sıcaklığın (35,4 °C) görüldüğü aydır. Ortalama nem oranı %77'dir. Yıl içerisinde en düşük değeri %68 iken en yüksek %81 değeri gözlenmiştir (Bağdatlıoğlu, 1996.) Ortalama yıllık buharlaşma 800 mm'dir. Etkin rüzgar yönleri Kuzey (%16.67), Kuzeydoğu (%45) ve Güneybatı (%16.77) olarak belirlenmiştir, aylık ortalama rüzgar hızları ise 1.8 m/s ve 3.3 m/s arasında değişmektedir (OYAK İkitelli ÇED Raporu, YTÜ Çevre Müh. Bölümü, 2005.) Ayrıca Şekil 4.6'da yine çalışma alanının yakınında bulunan Florya meteoroloji istasyonuna ait rüzgar gülü görülmektedir.

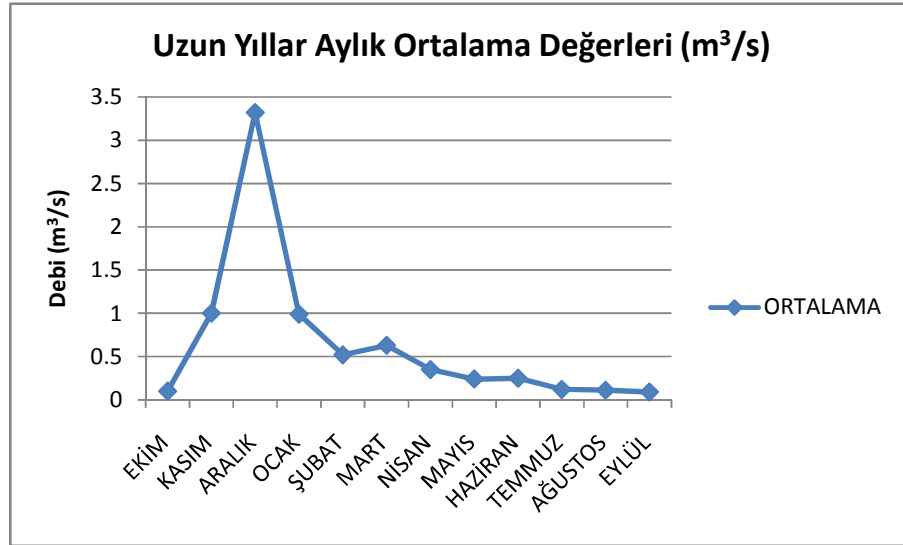
4.6 Hidrolojik ve Limnolojik Yapı

Küçükçekmece Gölünün yaklaşık yüzey alanı 15,2 km² ve hacmi 145x10⁶ m³'dür. Lagünü denize bağlayan kanalın uzunluğu yaklaşık 2 km (Google Earth), derinliği ise 1.5 m'dir (Ertürk, vd. 2004.) Gölü besleyen 3 derenin uzun dönem Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından izlenmiş yıllık ortalama debileri Sazlıdere için 0,86 m³/sn, Eşkinöz deresi için 0,24 m³/sn olarak verilirken Nakkaşdere için 0,29 m³/sn olarak rapor edilmiştir (Bağdatlıoğlu, 1996).

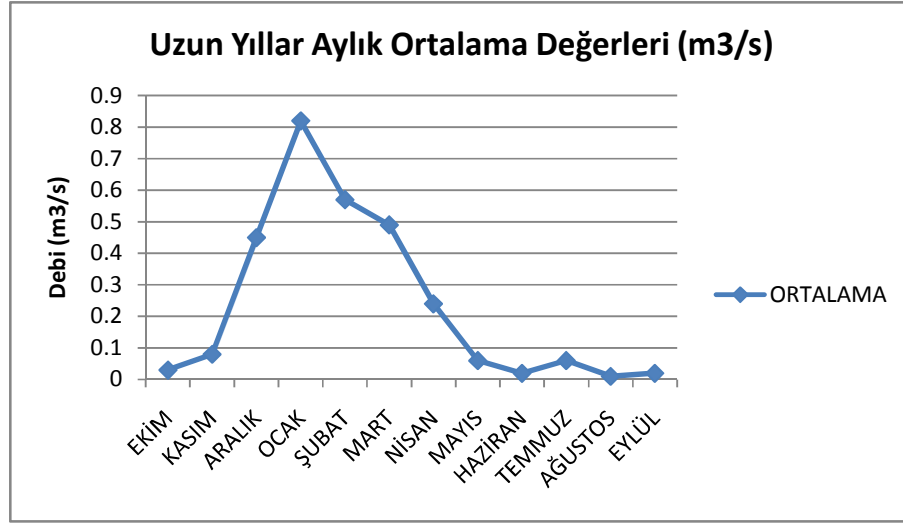
Sazlıdere üzerinde inşaa edilip 1996'da faaliyete geçen Sazlıdere barajı nedeniyle, bu tarihin sonrasındaki DSİ debi ölçümlerinde debinin $0,64 \text{ m}^3/\text{sn}'ye$ düştüğü görülmektedir. DSİ'den elde edilen Sazlıdere ve Nakkaş deresine ait uzun yıllar ortalama aylık değerleri Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.6 Florya meteoroloji gözlem istasyonuna ait rüzgar gülü



Şekil 4.7 Sazlıdere'ye ait 2000 yılından bu yana ölçülen ortalama debi değerleri (DSİ)



Şekil 4.8 Nakkaşdere'ye ait 1966'den bugüne uzun yıllar ortalama debi değerleri (DSİ)

Marmara Denizinden Lagün'e giren akım ile alakalı olarak DSİ tarafından yapılan bir ölçüm sonucuna ulaşılamamıştır. Bu konuyla alakalı ODTÜ Mersin Deniz Bilimlerinin yürüttüğü çalışma neticesinde elde edilen debi değerleri aşağıda belirtilmiştir:

Sazlıdere 1.04 m³/s

Ispartakule 0.63 m³/s

Nakkaşdere 0.47 m³/s

Marmara Denizinden Lagün'e su girişi 0.76 m³/sn

(Bağdatlıoğlu, 1996).

Kışın ve özellikle ilkbaharda iklim şartları nedeniyle artan akarsu debileri taşkınlara neden olur. Buna ek olarak dendritik (dallantılı) Tersiyer çökellerinin bölgede yaygın olarak bulunması ağır yağışlardan sonra akarsularla taşınan malzemenin önemli ölçüde artmasına ve akarsu yataklarının tıkanmasına neden olur (Duman vd., 2005.) Drenaj alanlarında ise geçirgen ve yarı geçirgen jeolojik birimlerin kesildiği yerlerde yüzey akışlarında belirgin yüksek değerlere rastlanır (Duman vd., 2005.)

4.7 Sediment Dağılımı

1987 yılında Algan tarafından yürütülen çalışmada Küçükçekmece Lagününün tabanından 50 adet numune alınarak sedimentin fiziksel özellikleri incelenmiştir. Yapılan analizler dane boyutunun dağılımını incelemeye yönelik elek analizi neticesinde terijen kökenli malzemenin

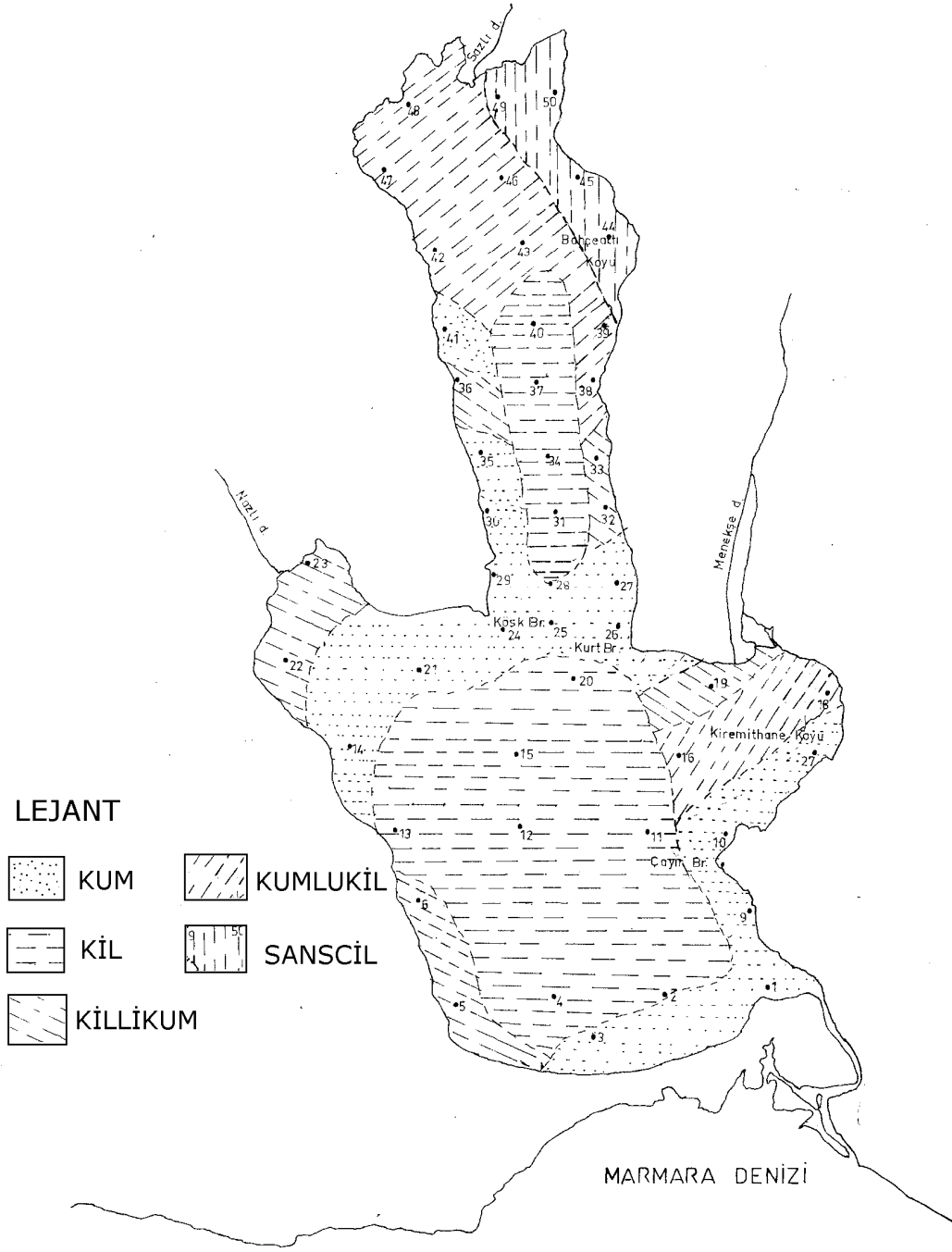
yanısıra önemli miktarda biyojenik malzemeye de rastlanmıştır.

Farklı noktalardan alınan sediment numunelerinde yapılan analizler sonucu Küçükçekmece Göl zemini için bir litofasiyes haritası üretilmiştir (Şekil 4.9.) Algan bu taban sedimenti dağılımını gösteren haritadaki sınıflandırmayı Shepard üçgen diyagramına göre yapmıştır.

Çalışma sonucunda, iri taneli sedimentin beklendiği gibi lagün kıyıları boyunca sınırlı kaldığı ve kıydan 10 m içerideki sedimentin tamamen ince taneli kilden oluştuğu görülmüştür.

Lagünün deniz bağlantısının lagün tarafının kıyıları deniz tarafından taşınımla gelen iri taneli malzeme (kum) ile doldurulmuş olduğu belirlenmiştir.

Lagüne su taşıyan üç akarsunun lagün bağlantı noktalarında tespit edilen yüksek miktarda ince daneli malzeme, bu malzemenin dereler tarafından getirilerek lagünde biriktirildiğini göstermektedir.



Şekil 4.9 Küçükçekmece Gölü litofasiyes haritası (Algan, 1987.)

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

5.1 Küçükçekmece Lagününün Tanımlanması

Küçükçekmece lagününün hidrodinamik yapısı ve taşınım süreçleriyle ilgili yorum yapabilmek için öncelikle lagünün belirgin özellikleriyle kimliğinin ortaya konması gereklidir. Bu amaca yönelik olarak literatürde birçok farklı tipte parametre ve etkileri baz sınıflandırma yöntemi mevcuttur. Bu çalışma kapsamında, çalışmanın amaçlarına ve eldeki verilere en uygun tanımlama yöntemleri ikinci bölümde “Lagünlerin Sınıflandırılması” başlığı altında incelenmiştir.

Küçükçekmece lagününün oluşumunda ve süregiden gelişiminde tektonik ve jeolojik etkilerin yanında denizel süreçlerin de etkisini incelemek gerekir. Lagünün Marmara denizi kıyılarında gelgit salınımasının azami aralığı SHODB tarafından en fazla 0.3 m olarak gözlenmiştir. Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifinde verilen gelgit düzeylerine göre Marmara kıyıları Akdeniz kıyılarının büyük bir kısmı gibi mikro gelgit düzeyine sahiptir. AB Kıyı Birliği EUCC de bahsedilen direktifteki tanımlamayı benimseyen bir kurumdur ve EUCC'nin kıyı tipolojisi bakışıyla Küçükçekmece lagününün bulunduğu kıyıların; gelgit aralığının 2 m'nin altında olması, kıyı eğimi bakımından düzlük olarak nitelendirilebilir olan kıyıda Holosen² ve geç Pleistosen'e³ ait alüvyal ve dilüvyal kökenli malzemenin yaygın olması nedenleri birlikte değerlendirildiğinde dalga etkisinde sediment düzlükleri kategorisinde sınıflandırılması uygundur. Genel olarak nispeten düşük gelgit salınımlarına sahip Akdeniz kıyıları için Tagliapietra ve Ghirardini'nin (2005) önerdiği sınıflandırmaya (Çizelge 2.1) göre ise Marmara denizi Küçükçekmece kıyıları nano gelgit düzeyine sahiptir. Nano gelgit düzeyli kıyılarda bulunan lagünlere özgü özellikler Küçükçekmece lagününde de gözlenmektedir. Bu özellikler; lagünle deniz arasındaki su alışverişinde rüzgar etkisinin nispeten önemli olması, lagün batimetrisi incelendiğinde en derin bölgenin gölün orta kısımlarında olması, ince sedimentin tabanda daha yoğun olarak bu derin bölgelerde birikmiş olması şeklinde sıralanabilir. Hem EUCC hem de Tagliapietra ve Ghirardini yaklaşımının irdelenmesinden sonra varılabilecek ortak sonuç Küçükçekmece lagününün oluşumu ve şekillenmesinde, bulunduğu kıyı alanındaki gelgit etkisinin değil, rüzgar ve rüzgar nedeniyle oluşan dalga

² Holosen (Yakın zaman): Pleistosen'den sonra gelen, 10000 yıl önce başlamış olan jeolojik devir.

³ Pleistosen: Günümüzden iki milyon yıldan önce başlayıp 10000 yıl önceye kadar devam etmiş olan ve Tersiyer'den sonra gelen buzul ve buzul sonrası jeolojik devir.

etkisinin hakim olduğudur.

Küçükçekmece lagününde hidrodinamik ve taşınımı etkileyen süreçler hakkında daha net bilgilere yöntemleri ikinci bölümde açıklanmış olan Kjerfve'ye ait nitel ve Chubarenko vd.'ne ait nicel yaklaşımların uygulanarak ulaşılmaması hedeflenmiştir. Küçükçekmece lagünü bir tek denize bağlantı kanalına sahip olması ve bu bağlantıdan sağlanan su alışverişinin nispeten zayıf olması nedeniyle Kjerfve'ye göre zayıf bağlantılı lagün sınıfına girmektedir. Daha önce de tartışıldığı üzere Kjerfve sınıflandırması lagün üzerindeki deniz etkisiyle ilgili olarak morfolojiye dayalı bir yaklaşım getirmekte ve içerdiği üç sınıfa ait genel karakteristik özellikler ışığında sunduğu bilgi lagünün hidrolik özelliklerini açıklamada yetersiz kalmaktadır. İncelenen sınıflandırma yöntemleri içerisinde en güncel yöntem olan Chubarenko vd.'nin nicel sınıflandırması kullandığı hidrolojik ve morfometrik bir takım parametreyi birlikte irdeleyerek sonuca varması nedeniyle üzerinde daha fazla durulmuş ve Küçükçekmece lagününe ait hidrodinamik yapı ile ilgili bilgilere bu sınıflandırma yöntemi ışığında ulaşılmaya çalışılmıştır.

5.1.1 Hidrolojik ve Morfometrik Parametrelerle Sınıflandırma

Bölüm 2'de açıklanmış olan Chubarenko vd.'nin nicel sınıflandırmasında kullanılan parametrelerden yararlanılarak Küçükçekmece lagününün hidrolik davranışı hakkında bir takım saptamalar yapılmıştır. Bu başlık altında anlatılan hidrolojik ve morfometrik parametrelerle sınıflandırma işlemleri için Chubarenko vd.'nin (2005a ve 2005b) çalışmalarında verilen yöntemler esas alınmıştır. Buna göre ilk iş olarak Küçükçekmece lagünü basit bir dikdörtgen şeklinde kabul edilerek (Şekil 5.1.) basit bir coğrafi bilgi sistemleri aracı olarak kullanılabilen Google Earth yazılımı vasıtasıyla uzun (a) ve kısa (b) kenar uzunlukları ve deniz bağlantı kanalının genişliği (d) belirlenmiştir. Parametre hesapları için kullanılan bütün karakteristik boyutlar aşağıda verilmiştir:

$$a = 7746 \text{ m (Google Earth)}$$

$$b = 2883 \text{ m (Google Earth)}$$

$$d = 3.5 \text{ m (Google Earth)}$$

Lagün yüzey alanı;

$$S_{\text{lag}} = 15.2 \text{ km}^2 \text{ (gerçek yüzölçüm)}$$

$$S_{\text{lag}} = 7.746 \times 2.883 = 22,33 \text{ km}^2 \text{ (Temsili dikdörtgenden hesaplanan)}$$

Lagüne ait ortalama ve maksimum derinlikler;

$$H_{\text{ort}} = 8,3 \text{ m}$$

$$H_{\text{max}} = 20 \text{ m}$$

Lagünün denize bağlantı kanalının en kesit alanı;

$$S_i^{\text{in}} = 4 \text{ m}^2 \text{ (Ertürk, 2004)}$$

derinliği;

$$d = 1.5 \text{ m (Ertürk, 2004)}$$

uzunluğu;

$$L = 2 \text{ km (Google Earth)}$$

Kıyı çizgisi uzunluğu;

$$l = 22200 \text{ m (Google Earth)}$$

Lagünün toplam hacmi;

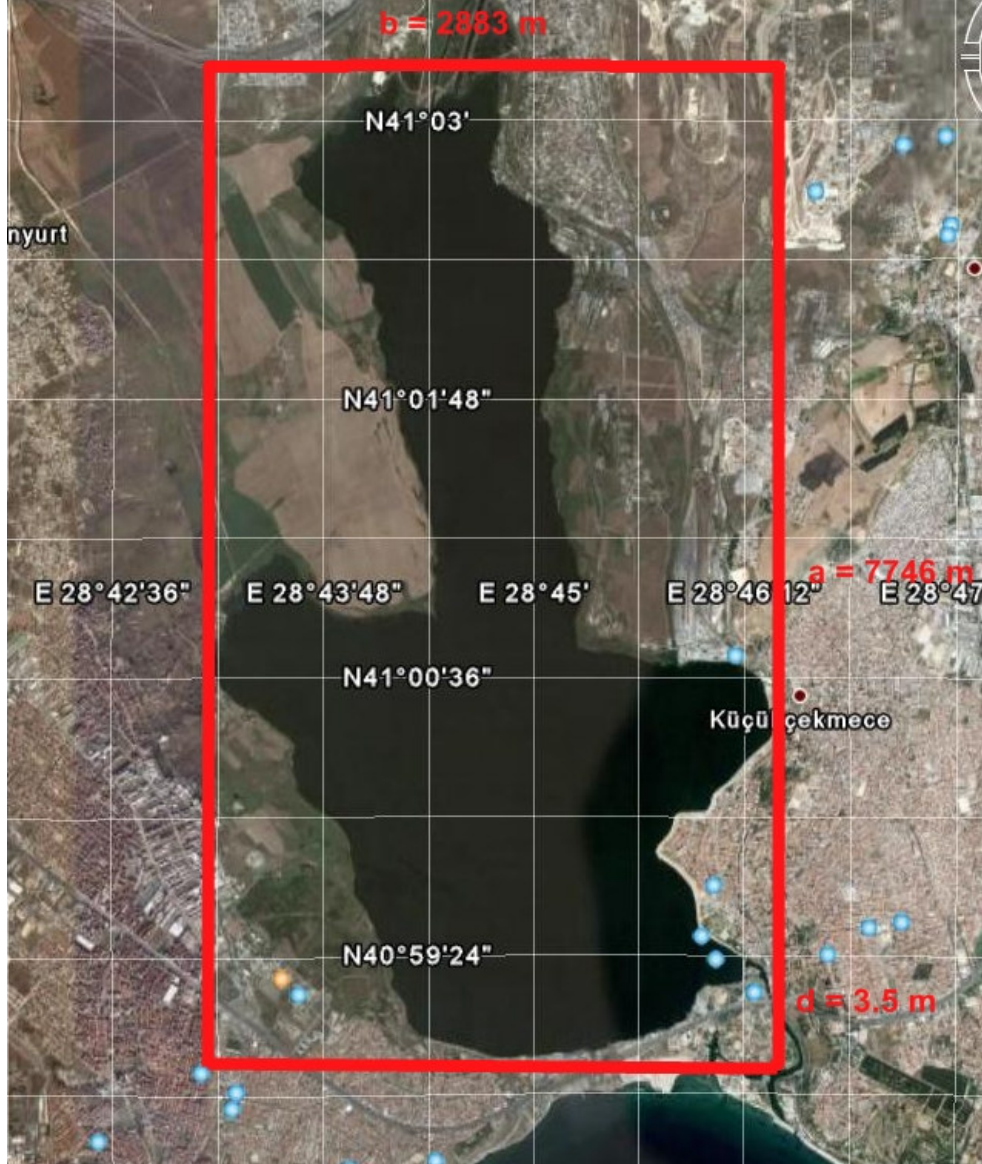
$$V_{\text{lag}} = 145 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ (Bağdatlıoğlu, 1996)}$$

Yukarıdaki karakteristik boyutların Bölüm 2’de verilmiş olan denklemlere (2.1; 2.7 arası) uygulanmasıyla bulunan sonuçlar Çizelge 5.1’de görülmektedir.

P_r olarak simgelenen sınırlama parametresi Küçükçekmece lagünü için 1.24 gibi küçük bir değere sahiptir. Bu sonuç deniz bağlantısının güçlü olmadığını ortaya koymaktadır. Ancak denizin etkisi, denizle bağlantının zayıf olduğu lagünlerde dahi nispeten yüksek olabilir. Sınırlama parametresi Chubarenko vd.’nin 2005b’deki çalışmasında bu parametreyi uyguladığı iki Baltık lagününde (Dars Zingt Bodden Chain ve Vistula lagünü) değerler sırasıyla 8.5 ve 1.5 şeklindedir. DZBC göreceli olarak daha deniz etkisine açık görünmesine rağmen aşağıda açıklanan P_{open} parametresi deniz etkisinin aslında her iki lagün için de hemen hemen aynı olduğunu göstermektedir.

Chubarenko vd.’nin deniz etkisini daha iyi ortaya koymak için bağlantı kanalının en kesit alanının (m^2) lagün yüzey alanına (km^2) oranı olarak önerdiği açıklık parametresini (P_{open}) yorumladığımızda 1’den küçük olan değer, deniz etkisinin zayıf olduğunu göstermektedir. Bu parametre için belirli bir değer aralığı skalası tanımlanmamış olmakla beraber literatürde deniz etkisinin nispeten yüksek olduğu bilinen örneklerle karşılaştırma yapılması daha anlamlı olacaktır. Açıklık parametresi DZBC ve Vistula lagünleri için sırasıyla 4.5 ve 5 olarak

hesaplanmıştır (Chubarenko vd, 2005b.) Bu değerlerle karşılaştırıldığında Küçükçekmece lagünü üzerindeki deniz etkisinin gayet düşük olduğu söylenebilir. Vistula lagününün sınırlama parametresi Küçükçekmece'ye çok yakın olmasına rağmen açıklık parametresinin deniz etkisini ortaya koymada ne kadar önemli olduğu böylece anlaşılmaktadır. Ancak yine de çalışmanın sonraki aşamalarında morfometrik parametrelerin hidrolojik parametrelerle birlikte değerlendirilmesiyle elde edilen sonuçların çok daha açıklayıcı olduğu görülecektir.



Şekil 5.1 Morfometrik sınıflandırmada lagünü temsil eden dikdörtgenin boyutları

P_{or} simgesiyle gösterilen yönlenme parametresi 1'den küçük bir değere sahiptir. Bunun anlamı Küçükçekmece lagününün Marmara denizi kıyısı doğrultusunda uzanan bir lagün

olmadığıdır. Lagünün uzun eksenini kuzey – güney doğrultusunda uzanmaktadır ve dolayısıyla lagünün yönelmesi de kıyıya dik bir konumdadır. Küçükçekmece lagünü bu özelliği açısından tipik kıyı lagünlerinden farklıdır.

P_{ditch} parametresi oldukça küçük bir değere sahiptir ve kanalın lagün hidrodinamiği üzerindeki etkisinin nispeten zayıf olduğunu ortaya koymaktadır. Chubarenko vd. (2005b) Vistula lagünü için bu değeri hesaplamıştır ve bulduğu değer lagünden daha derin olan bağlantı kanalının hidrodinamik etkisinin yüksek olduğunu doğrular niteliktedir.

Küçükçekmece lagününde bağlantı kanalı direnci (P_{ir}) parametresi değeri, yine Chubarenko vd.'nin (2005b) çalışmasında P_{ir} değerlerini sırasıyla 11 ve 2 olarak hesapladığı Dars Zingt Bodden Chain ve Vistula lagününe göre oldukça yüksektir. Hidrolik direncin Küçükçekmece lagününde çok daha büyük olması anlamına gelen bu durum Küçükçekmece lagünündeki su hacminin, Marmara denizinden gelen akımlara tepki vermesinin nispeten uzun zaman alacağını ortaya koymaktadır.

Çizelge 5.1 Küçükçekmece lagünü için hesaplanan morfometrik parametreler

| <i>Morfolojik Parametre</i> | <i>Açıklama</i> | <i>Değeri</i> |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| P_r | Sınırlama parametresi | 1.24 m/km |
| P_{or} | Yönelme parametresi | 0.373 |
| P_{shall} | Sıgılık parametresi | (0.00107;0.00288) m/km |
| P_{deep} | Uç derinlik parametresi | 2.41 |
| P_{open} | Açıklık parametresi | 0.179 m ² /km ² |
| P_{shore} | Kıyı oluşumu parametresi | 1,606 m ² /km ² |
| P_{ditch} | Kanal parametresi | 0,075 |
| P_{ir} | Kanal direnci parametresi | 500 m ⁻¹ |

Chubarenko vd.'nin önerdiği hidrolojik parametrelerden lagüne dökülen üç akarsuyun da ortalama debileri bakımından lagündeki toplam su hacmine katkılarını ortaya koyan hidrolojik su bütçesi parametresi sonuçları Çizelge 5.2'de görülmektedir. Bu parametrelerin hesaplanmasında Bölüm 2'de bahsedilmiş olan yöntem ve denklemler (2.8, 2.9, 2.10)

kullanılmıştır. Küçükçekmece lagününe ait bir su bütçesinin hali hazırda bulunmuyor olması ve yağış verilerinin elimizde olmasına rağmen ne kadarının yüzey akışı, ne kadarının doğrudan düşüşle göl hacmine katıldığını hesaplamak havzanın morfolojik yapısı, yerleşim durumu, vb. Birçok kriteri barındıran detaylı bir çalışma gerektirdiğinden bu çalışma başlı başına ayrı bir tez veya proje konusu olarak düşünülebilir. Bu nedenle hesaplamalar esnasında bir takım zorunlu kabuller yapılmaya gerekliliği ortaya çıkmıştır. Yağış, buharlaşma, yeraltı suyu, deniz suyu alışverişi su bütçesi parametresi hesaplarına katılmamış, yalnızca akarsulardan lagüne giren tatlısu hesaba katılmıştır. Hesaplarda kullanılan debi değerleri;

Sazlıdere için $0.86 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (DSİ),

Eşkinöz deresi için $0.24 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (DSİ),

Nakkaşdere için $0.29 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Bağdatlıoğlu, 1996)

şeklinde kabul edilmiştir.

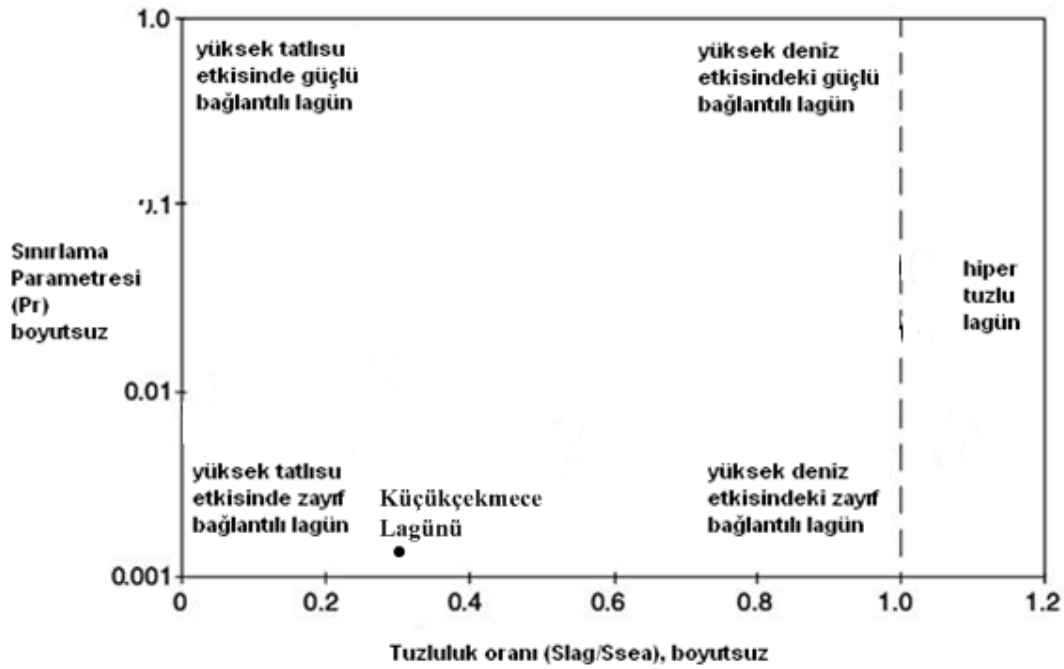
Lagünün su bütçesindeki bu akarsu bileşenlerinin ortalama katkısını lagünün gerçek yüzey alanına (15.2 km^2) oranlamak suretiyle hangisinin etkisinin daha büyük olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak unutulmamalıdır ki kullanılan akım değerleri güncellenmeli, herşeyden önemlisi de toplam su bütçesini belirleyen diğer bileşenler de gelecekte hesaplanmalı veya ölçülmelidir. Ancak bunları gerçekleştirdikten sonra su bütçesi ve hidrolojik durum hakkında sağlıklı fikir elde edilebilecektir.

Çizelge 5.2 Su bütçesi parametresinin lagüne giren akarsu debileri için hesabı

| <i>Hidrolojik Parametre</i> | <i>Coğrafi Konumu</i> | <i>Değeri</i> |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| P_i^{WB} | Sazlıdere | $4.414 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ |
| P_i^{WB} | Nakkaşdere | $2 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ |
| P_i^{WB} | Ispartakule (Eşkinöz) | $1.655 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ |

Morfometrik ve hidrolojik parametrelerin birlikte değerlendirilmesinin lagünün hidrodinamik özellikleri açısından daha açıklayıcı sonuçlar ortaya koyduğundan bahsedilmiştir. Bu amaçla Bölüm 2’de açıklanmış olan morfometrik – hidrolojik diyagram üzerinde morfometrik parametrelerden olan sınırlama parametresi ($P_r = 1,24$ ancak diyagramda kullanılan değer boyutsuzlaştırılmış değerdir. Dolayısıyla $P_r = 1.24 \cdot 10^{-3}$) ve ölçüm yöntemlerine daha sonra

değınilecek olan ortalama tuzluluğun ortalama Küçükçekmece Marmara kıyısı tuzluluğuna oranı $\left(\frac{S_{lag}^{ort}}{S_{deniz}^{ort}} = 0,318\right)$ değerlerini yerleştirdiğimizde lagünün “yüksek tatlı su etkisinde zayıf bağlantılı lagün” sınıfına girdiğı görölmektedir (Şekil 5.2) Lagüne ait ortalama tuzluluk ilerleyen kısımlarda detaylı bir şekilde açıklanacak olan aylık tuzluluk ölçümlerine göre hesaplanmıştır ve yıllık ortalama değeri 6.75 ppt’dir. Marmara’nın Küçükçekmece kıyılarında lagün bağlantı kanalı ağızı civarındaki yıllık ortalama tuzluluk değeri ise 21.2 ppt’dir. (Beşiktepe vd., 2000.)



Şekil 5.2 Morfometrik – hidrolojik diyagramda Küçükçekmece lagününün yeri

Tuzluluk faktörü (F_s) için denklem (2.12)’de hesaplanan Q_{fr} tamamen Q_{riv} olarak kabul edilmiştir. Yani tatlı su girdisi olarak sadece akarsu debilerinin var olduğu ve buharlaşmanın da olmadığı kabul edilerek elde edilen değeri;

$F_s = 0,394 < 0,5$ bulunmaktadır. Denklemde bulunan Q_{in} , yani lagüne giren ortalama deniz suyu debisi olarak $0.76 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ Bağdatlıoğlu’nun (1996) yayınından deniz suyu debisinin ciddi oranda değışmediğı düşünülerek alınmıştır. Bu haliyle F_s değeri Şekil 2.4’teki skalaya yerleştirildiğinde lagünün tatlı su oranının zamanla yükselmesine meyilli olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Ancak elbette ki bu yaklaşımın da su bütçesi tamamlandıktan sonra

tekrardan bütün bütçe bileşenleri hesaba katılarak yorumlanması doğru olacaktır.

Son olarak lagünün hidrolik bekleme süresi Martin ve McCutcheon (1999) yaklaşımıyla denklem (2.15)'e göre;

Lagünün toplam hacmi, $V = 145 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ (Bağdatlıoğlu, 1996.)

Lagüne giren toplam debi, $Q = 56 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ (Bağdatlıoğlu, 1996.)

$t = 145/56 = 2,6$ yıl olarak hesaplanmıştır.

Kabaca lagüne giren bir su partikülünün lagünden çıkması için geçmesi gereken süre 2.6 yıl olarak görülmektedir. Bu yaklaşım gerçekten hidrolik bekleme süresi üzerindeki birçok etkeni ihmal etmektedir. Chubarenko vd. (2005b) hidrolik bekleme süresinin detaylı bir hesaplama yöntemini ortaya koymuştur ancak bu yaklaşımın uygulanması için gerekli olan veriler mevcut olmadığından çalışma yapılamamıştır.

5.2 Arazi Çalışmaları

Lagün içerisinde belirlenen gözlem istasyonlarında sıcaklık, tuzluluk, su seviyesi değişimi incelenmiş ve sediment örnekleri alınmıştır (Şekil 5.3.) Kasım 2005 – Mayıs 2007 tarihleri arasında 10, 11, 12 ve 13 numaralı gözlem istasyonlarında aylık olarak izlenen lagün yüzeyinde sıcaklık (T), tuzluluk (S) değerleri bu çalışmada meteorolojik veriler de göz önünde bulundurulularak değerlendirilmiştir. 12 numaralı gözlem noktasından ayrıca lagünün dikey yoğunluk tabakalaşmasının belirlenmesinde yararlanılmıştır. Hidrodinamik modelleme çalışmalarında, akıntı hızı ölçüm verilerinin mevcut olmadığı durumlarda, tuzluluk verileri kalibrasyon çalışmalarında kullanılabilir (Bielecka ve Kazmierski, 2003.) Su seviyesi ölçümleri deniz ve lagün arasındaki su geçişlerinin ve etkileşimlerinin anlaşılabilmesi için kritik öneme sahiptir ve kalibrasyon çalışmalarında sık kullanılan bir veridir. Biri lagünü denize bağlayan kanal üzerinde ve diğeri lagünde olmak üzere belirlenen iki noktada sürekli olarak su seviyesi, sıcaklık ve tuzluluk parametreleri izlenmiştir. Su seviyesi ölçümünün yapıldığı noktalar haricinde haritada işaretlenen tüm noktalarda (taban) sediment örnekleri alınmıştır.

Kasım 2005 tarihinde ölçülen sıcaklık (T) ve tuzluluk (S) değerleri (Çizelge 5.3) tüm lagün yüzeyinde homojen bir T – S dağılımı ortaya koymaktadır. Ölçüm günü ve önceki 3 güne ait rüzgar ve yağış durumu;

13.11.2005'te NNE yönünden, en yüksek 6.4 m/s hızında rüzgar ve 0.5 kg/m² yağış,

- 14.11.2005'te N yönünden, en yüksek 5.6 m/s hızında rüzgar ve 9.3 kg/m² yağış,
 15.11.2005'te NE yönünden, en yüksek 4.9 m/s hızında rüzgar ve 1.6 kg/m² yağış,
 16.11.2005'te S yönünden, en yüksek 8.1 m/s hızında rüzgar, yağışsız şeklindedir.

Çizelge 5.3 Kasım 2005 T – S ölçümleri

| Nokta | T (°C) | S (ppt) |
|-------|--------|---------|
| 10 | 13 | 10.1 |
| 11 | 12.5 | 9.9 |
| 12 | 12.8 | 10.1 |
| 13 | 12.3 | 10.1 |

Bu bilgiler ışığında lagünün deniz bağlantısına en yakın (10) ve en uzak (13) uçlardaki iki ölçüm istasyonu için yüzeyde ölçülen tuzluluk değerlerinin eşit olması aynı meteoroloji kuruluşu tarafından ölçülen Güneyden esen kuvvetli rüzgarla açıklanabilir.

Şubat 2006 tarihine ait yüzeydeki T – S ölçüm değerleri (Çizelge 5.4) istasyonlar arasında büyük değişim göstermektedir. Ölçüm günü ve öncesindeki 3 güne ait rüzgar ve yağış durumu;

- 12.02.2006'da NNW yönünden, en yüksek 8 m/s hızında rüzgar, yağışsız,
 13.02.2006'da NNW yönünden, en yüksek 7.1 m/s hızında rüzgar ve 2.5 kg/m² yağış,
 14.02.2006'da N yönünden, en yüksek 6.7 m/s hızında rüzgar ve 0.6 kg/m² yağış,
 15.02.2006'da NNE yönünden, en yüksek 4.9 m/s hızında rüzgar ve 0.6 kg/m² yağış şeklindedir.

Çizelge 5.4 Şubat 2006 T – S ölçümleri

| Nokta | T (°C) | S (ppt) |
|-------|--------|---------|
| 10 | 3.5 | 7.2 |
| 11 | 5.4 | 0.4 |
| 12 | 3.9 | 12 |
| 13 | 4.1 | 4.3 |

Lagüne dökülen Sazlıdere ve Eşkinöz'un ağzlarına yakın konumlanan sırasıyla 13 ve 11 no'lu istasyonlarda gözlemlenen nispeten düşük S değerleri meteoroloji kuruluşunun kayıtlarından sağlanan ölçüm günü ve öncesindeki 2 güne ait yağış nedeniyle artan tatlı su girişine ve Kuzey ağırlıklı esen rüzgarlara bağlanabilir.



Şekil 5.3 Numune alma ve izleme noktaları

Mart 2006 tarihli lagün yüzeyinde T – S ölçümleri (Çizelge 5.5) tuzluluk parametresi açısından bir önceki ayda olduğu gibi istasyonlar arasında büyük farklılık göstermektedir. Ölçüm gününe ve öncesindeki 3 güne ait rüzgar ve yağış durumu;

12.03.2006’da ESE yönünden, en yüksek 8.5 m/s hızında rüzgar ve 2.1 kg/m² yağış,

13.03.2006’da NNW yönünden, en yüksek 7.9 m/s hızında rüzgar ve 0.3 kg/m² yağış,

14.03.2006'da NNW yönünden, en yüksek 13.5 m/s hızında rüzgar ve 2.6 kg/m² yağış,
15.03.2006'da NNW yönünden, en yüksek 4.7 m/s hızında rüzgar ve 5 kg/m² yağış
şeklindedir.

Çizelge 5.5 Mart 2006 T – S ölçümleri

| Nokta | T (°C) | S (ppt) |
|-------|--------|---------|
| 10 | 7.5 | 5.6 |
| 11 | 6.9 | 0.1 |
| 12 | 7.5 | 5.7 |
| 13 | 7 | 0.6 |

11 ve 13 no'lu istasyonlardaki sifıra yakın tuzluluk değerlerinin nedeni yine ölçüm döneminde mevcut yağışlar nedeniyle artan akarsu debileriyle gelen tatlı sudur. Bunun yanı sıra ölçüm günü ve öncesindeki 2 gün Kuzey – kuzeybatı yönünden esen rüzgarların 12 ve 10 no'lu istasyonlara ait yüzey tuzluluk değerlerinin nispeten düşük olmasına yol açtığı söylenebilir.

Nisan 2006 lagün yüzeyi T – S ölçüm sonuçlarına (Çizelge 5.6) göre tuzluluk değeri tüm göl yüzeyine neredeyse homojen dağılmış ancak sıcaklık denize doğru yaklaştıkça azalmaktadır. Bu tarihten itibaren deniz bağlantı kanalının deniz tarafındaki ağzında da ölçümler alınmaya başlamıştır (çizelgelerde nokta D.B. olarak gösteriliyor.)

Ölçüm günü ve öncesindeki 4 günün rüzgar ve yağış verileri;

08.04.2006'da NE yönünden, en yüksek 9 m/s hızında rüzgar ve 16.1 kg/m² yağış,

09.04.2006'da NE yönünden, en yüksek 8.1 m/s hızında rüzgar, yağışsız,

10.04.2006'da ENE yönünden, en yüksek 5.8 m/s hızında rüzgar, yağışsız,

11.04.2006'da WSW yönünden, 3.2 m/s hızında rüzgar, yağışsız,

12.04.2006'da W yönünden 16.5 m/s hızında rüzgar, yağışsız şeklindedir.

Çizelge 5.6 Nisan 2006 T – S ölçümleri

| Nokta | T (°C) | S (ppt) |
|-------|--------|---------|
| 10 | 14.3 | 5.5 |
| 11 | 16.4 | 5.2 |
| 12 | 14.8 | 5.3 |
| 13 | 16 | 5 |
| D.B. | 13.2 | 20.6 |

Bütün noktadaki nispeten düşük S değerleri ölçümden birkaç gün önce ölçülmüş olan gayet yüksek yağış miktarı ve kuvvetli rüzgarlar nedeniyle bütün göl yüzeyinde eşit dağılan bir üst akım düşündürmektedir. Yüzey suyu sıcaklığı ise denize en uzak noktadan denizdeki ölçüm noktasına doğru dereceli olarak azalım göstermektedir.

Mayıs 2006 tarihinden itibaren meteorolojik veriler elde edilemediği için su yüzeyindeki T – S değişimlerini (Çizelge 5.7) yorumlamada deniz suyunun tuzluluğunun ciddi anlamda azaldığı ölçüm tarihleri bize gölden denize doğru bir su transferi olduğunu belirtmiştir.

Çizelge 5.7 Mayıs 2006 T – S ölçümleri

| Nokta | T (°C) | S (ppt) |
|-------|--------|---------|
| 10 | 18 | 5.6 |
| 11 | 17.7 | 5.6 |
| 12 | 18.8 | 5.6 |
| 13 | 19.2 | 5.5 |
| D.B. | 19.2 | 20.7 |

Mayıs 2006 değerleri yoruma pek fazla olanak tanımayan nitelikte, hemen hemen homojen dağılımlı değerlerdir.

Haziran 2006'daki ölçümde deniz üzerindeki D.B. noktasında gözlenen Marmara denizinin ortalama tuzluluğunun çok altında olan S değeri (Çizelge 5.8) lagünden denize doğru bir akımı önermekte ancak bunu doğrulayıcı meteorolojik veriler elde bulunmamaktadır.

Çizelge 5.8 Haziran 2006 T – S ölçümleri

| Nokta | T (°C) | S (ppt) |
|-------|--------|---------|
| 10 | 22 | 6 |
| 11 | 22 | 5.5 |
| 12 | 22.5 | 6.1 |
| 13 | 21.5 | 6.3 |
| D.B. | 21 | 14.8 |

Temmuz 2006 tarihinden itibaren D.B. noktası haricindeki tüm istasyonlarda yüzey ölçümlerinin yanı sıra 10 noktasında 1 m, 11 ve 13 noktalarında 0.5 m ve 12 noktasında 5, 10 ve 15 m derinliklerden de T – S ölçümleri alınmaya başlanmıştır. Özellikle 12 no'lu istasyonda yapılan bu uygulama sayesinde derinliğe bağlı sıcaklık ve tuzluluk profilleri gözlemlenebilmiştir.

Temmuz 2006'da da Haziran ayında olduğu gibi yüzey ölçümlerinin sonuçları (Çizelge 5.9) yorumlanırken D.B. noktasındaki düşük S değeri göze çarpmakta ve yine bir önceki aydaki

gibi lagünden denize doğru bir akıntı olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 5.9 Temmuz 2006 T – S ölçümleri

| Nokta | T (°C) | S (ppt) |
|------------|--------|---------|
| 10 | 26.2 | 6.9 |
| 10 (1 m) | 22 | 6.9 |
| 11 | 25.3 | 6.4 |
| 11 (0.5 m) | 22 | 6.4 |
| 12 | 25 | 6.9 |
| 12 (5 m) | 25.7 | 6.8 |
| 12 (10 m) | 13 | 8.5 |
| 12 (15 m) | 9 | 8.6 |
| 13 | 24.7 | 6.9 |
| 13 (0.5 m) | 25 | 6.9 |
| D.B. | 25.1 | 16.8 |

Derinliğe bağlı değişimler daha sonra “tabakalaşma” başlığı altında ayrıca irdelenecektir. Bu kısımda sadece yüzeydeki T – S değerlerinin değişimi üzerinde durulmaya devam edilecektir.

Eylül 2006’da yapılan ölçümler (Çizelge 5.10) yüzeydeki değişimler açısından homojen görünümde, D.B. noktasındaki tuzluluk oranı normalde ortalama değerine yakın durumda olduğu için çok fazla yorum yapma imkanı bulunmamaktadır.

Ekim 2006 tarihli arazi çalışmasında kötü hava koşulları nedeniyle derinlik profilini ortaya koyacak ölçümler yapılamamış, ancak yüzey ölçümleri yapılabilmıştır (Çizelge 5.11.) Bu değerler doğrultusunda D.B. noktasının düşük tuzluluk oranı hakkında daha önceki Haziran ve Temmuz aylarında yapılan yorum tekrarlanarak lagünden denize doğru bir akımın varlığı önerilebilir.

Çizelge 5.10 Eylül 2006 T – S ölçümleri

| Nokta | T (°C) | S (ppt) |
|------------|--------|---------|
| 10 | 26.3 | 8.1 |
| 10 (1 m) | 22 | 8.2 |
| 11 | 24.5 | 7.8 |
| 11 (0.5 m) | 22 | 7.9 |
| 12 | 27.4 | 8.1 |
| 12 (5 m) | 22 | 8 |
| 12 (10 m) | 22 | 8.1 |
| 12 (15 m) | 11 | 8.9 |
| 13 | 24 | 8.3 |
| 13 (0.5 m) | 22 | 8.2 |
| D.B. | 26.4 | 21.9 |

Çizelge 5.11 Ekim 2006 T – S ölçümleri⁴

| Nokta | T (°C) | S (ppt) |
|------------|--------|---------|
| 10 | 15.4 | 8.4 |
| 10 (1 m) | x | x |
| 11 | 16.1 | 7.8 |
| 11 (0.5 m) | x | x |
| 12 | 16.3 | 8.3 |
| 12 (5 m) | x | x |
| 12 (10 m) | x | x |
| 12 (15 m) | x | x |
| 13 | 16.2 | 8.3 |
| 13 (0.5 m) | x | x |
| D.B. | 16.7 | 16.1 |

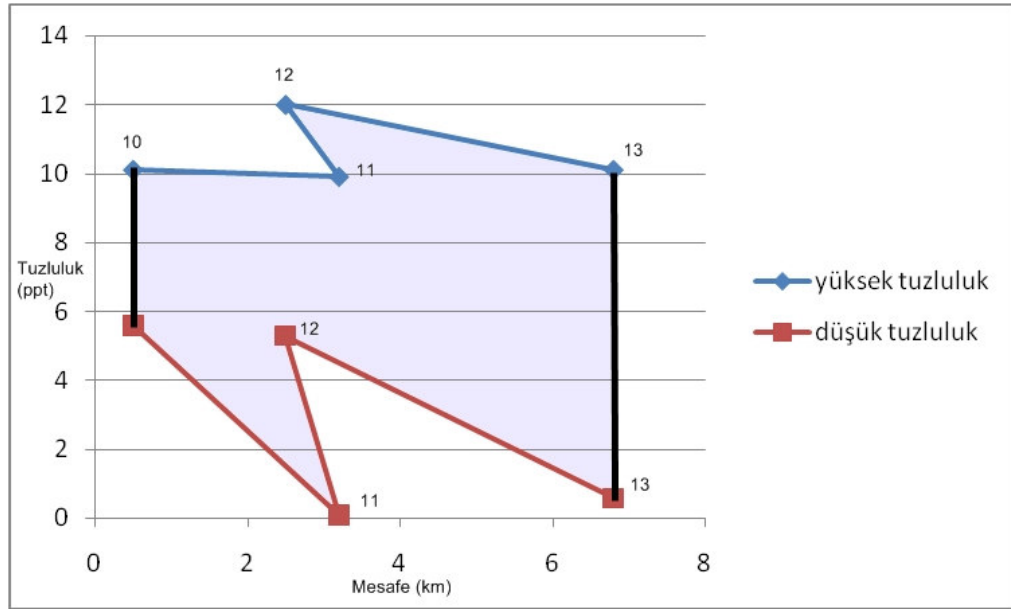
Kasım 2006 ölçümleri (Çizelge 5.12) yüzeydeki tuzluluk değerleri açısından oldukça homojen, sıcaklık açısından ise akarsu ağzlarına yakın olan 2 istasyonda (11 ve 13) ve gölün ortalarındaki 12 noktasında denize en yakın istasyona (10) göre biraz daha yüksek değerler göstermiştir.

Ayrıca 10 no'lu istasyonun 1 m derinlik ölçümünde gözlemlenen nispeten yüksek tuzluluk değerine bakarak hemen lagüne girişte, denizden giren daha tuzlu; dolayısıyla daha yoğun akımın yüzeye paralel bir şekilde yüzeyden değil, bir *alt akım* meydana getirecek şekilde tabana ve ileriye doğru hareket ettiğini tahmin etmek mümkündür.

Aralık 2006 (Çizelge 5.13), Şubat 2007 (Çizelge 5.14) ve Mayıs 2007 (Çizelge 5.15) ölçümleri ne yüzeydeki S – T değişimleri ne de D.B. noktasının tuzluluk oranının belirgin değişimi açısından bir yorum yapmaya olanak tanımamaktadır. Sadece Aralık ayının 10 no'lu istasyondaki yüzey ve 1 m derinlik ölçümlerine bakılarak yukarıda Kasım ayı için varılan alt akım önermesine tekrar atıfta bulunulabilir.

Lagün girişini başlangıç noktası kabul ederek lagün içerisindeki ölçüm istasyonlarının almış olduğu en yüksek ve en düşük tuzluluk değerleri (y) ekseninde, ölçüm istasyonlarının lagün girişinden kuzey yönündeki ana eksen doğrultusundaki mesafelerini de (x) ekseninde gösteren diyagram Chubarenko'nun (2005) çalışmasında denizin tuzluluk etkisi hakkında fikir sahibi olmak için önerilmiş ve bu çalışmada da Küçükçekmece lagününde uygulanmıştır (Şekil 5.4)

⁴ Bu tarihteki bazı ölçümler kötü hava şartları nedeniyle gölde tekneyle barınmak güçleştiği için yapılmamıştır.



Şekil 5.4 Küçükçekmece lagünü için mesafe – tuzluluk diyagramı

Çizelge 5.12 Kasım 2006 T – S ölçümleri

| Nokta | T (°C) | S (ppt) |
|------------|--------|---------|
| 10 | 12 | 8.5 |
| 10 (1 m) | 12.5 | 10.6 |
| 11 | 14 | 8.4 |
| 11 (0.5 m) | x | 8.5 |
| 12 | 13.5 | 8.6 |
| 12 (5 m) | 11.5 | 8.6 |
| 12 (10 m) | 11 | 8.6 |
| 12 (15 m) | 9 | 8.5 |
| 13 | 14 | 8.4 |
| 13 (0.5 m) | 12 | 8.5 |
| D.B. | 15 | 21.2 |

Çizelge 5.13 Aralık 2006 T – S ölçümleri

| Nokta | T (°C) | S (ppt) |
|------------|--------|---------|
| 10 | 11.3 | 8.6 |
| 10 (1 m) | 11.3 | 11.4 |
| 11 | 12.8 | 7.5 |
| 11 (0.5 m) | 11.4 | 8.3 |
| 12 | 12.6 | 8.7 |
| 12 (5 m) | 10.7 | 8.6 |
| 12 (10 m) | 11.2 | 8.7 |
| 12 (15 m) | 12.5 | 10.5 |
| 13 | 11.3 | 8.4 |
| 13 (0.5 m) | 10.8 | 8.5 |
| D.B. | 12.6 | 22 |

Çizelge 5.14 Şubat 2007 T – S ölçümleri

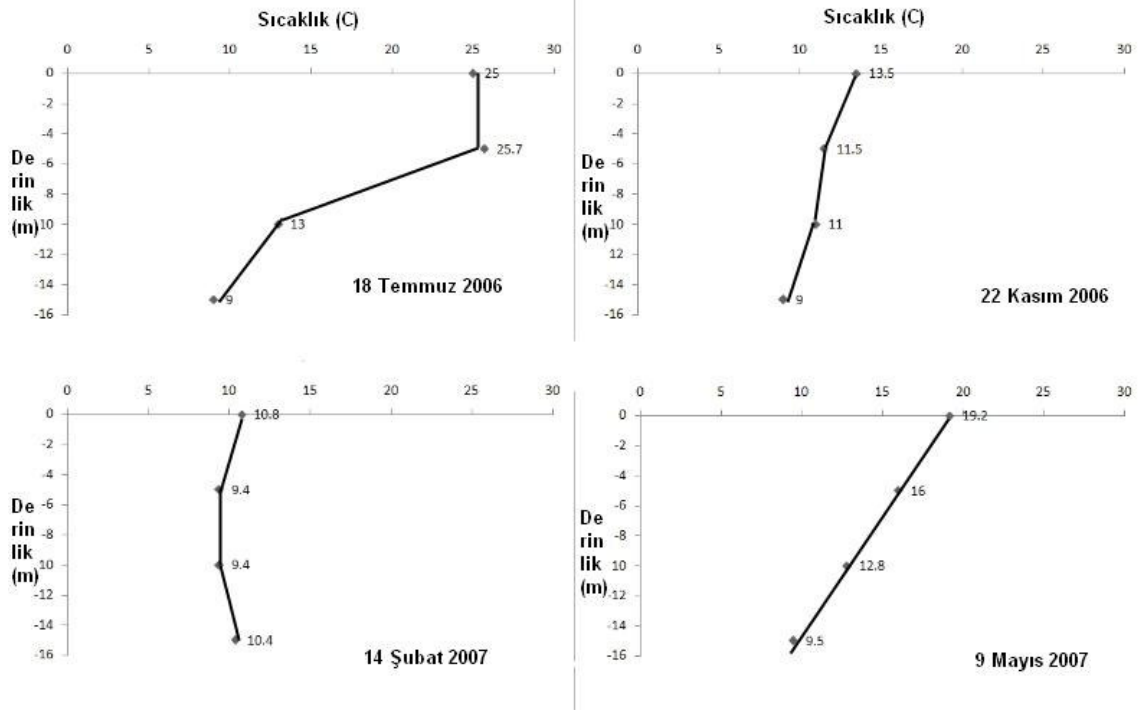
| Nokta | T (°C) | S (ppt) |
|------------|--------|---------|
| 10 | 12 | 8.9 |
| 10 (1 m) | 11.8 | 8.8 |
| 11 | 12.7 | 8.4 |
| 11 (0.5 m) | 12.4 | 8.5 |
| 12 | 10.8 | 8.8 |
| 12 (5 m) | 9.4 | 9 |
| 12 (10 m) | 9.4 | 9.3 |
| 12 (15 m) | 10.4 | 11.3 |
| 13 | 12.5 | 8.7 |
| 13 (0.5 m) | 12.7 | 8.7 |
| D.B. | 12.2 | 20 |

Çizelge 5.15 Mayıs 2007 T – S ölçümleri

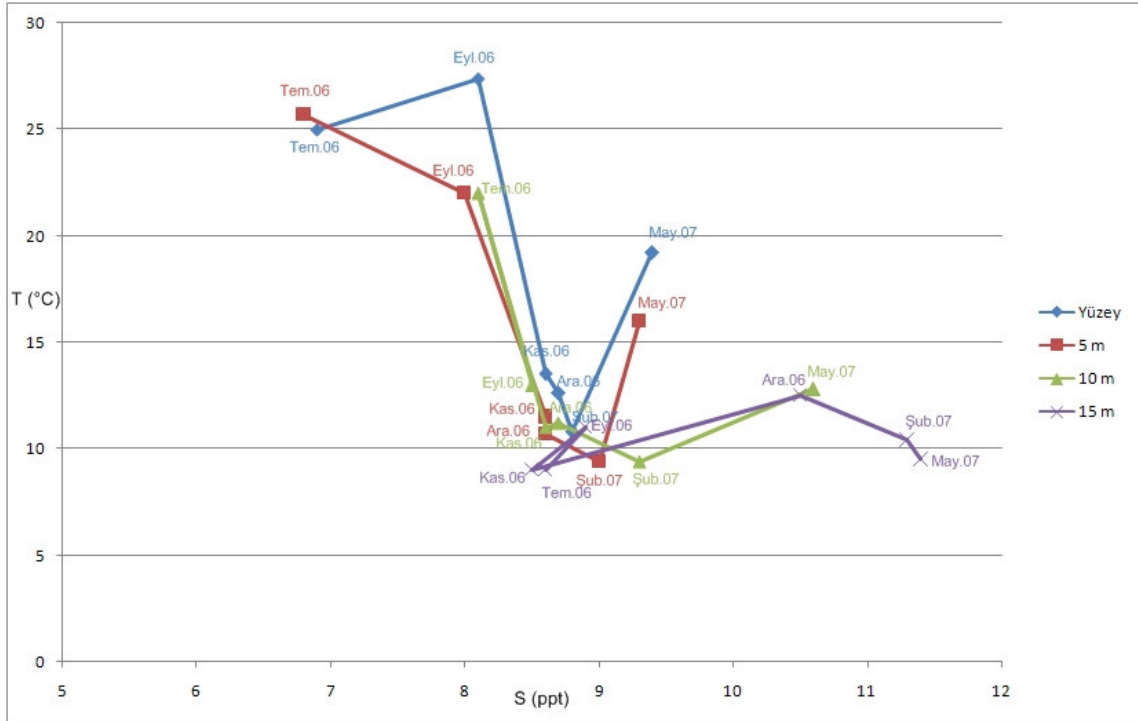
| Nokta | T (°C) | S (ppt) |
|------------|--------|---------|
| 10 | 18.9 | 9.4 |
| 10 (1 m) | 18 | 9.3 |
| 11 | 19.6 | 9.5 |
| 11 (0.5 m) | 19.9 | 9.5 |
| 12 | 19.2 | 9.4 |
| 12 (5 m) | 16 | 9.3 |
| 12 (10 m) | 12.8 | 10.6 |
| 12 (15 m) | 9.5 | 11.4 |
| 13 | 18.5 | 9.4 |
| 13 (0.5 m) | 19.5 | 9.2 |
| D.B. | 17.4 | 20 |

5.2.1 Tabakalaşma ve Karışım

12 numaralı gözlem noktasından elde edilen düşey sıcaklık ve tuzluluk profilleri incelendiğinde tuzluluğun tek başına tabakalaşmaya neden olabilecek büyüklükte düşey farklılıklar göstermediği ancak sıcaklık profilinin yılda bir kez yaz aylarında tabakalaşmaya neden olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.5.) Tuzluluk ve sıcaklık değerlerinin lagün yüzeyinde ve 5, 10, 15 m derinliklerde yapılan ölçümlerle birlikte izlendiği 6 farklı aya ait T – S indeksi Chubarenko'nun (2005) çalışmasında önerilmiş bir yöntemdir. Bu uygulamanın sonuçları (Şekil 5.6) lagündeki tabakalaşmayı oldukça iyi ortaya koymaktadır. Neredeyse tüm derinliklerdeki değerlerin birbirine yakın olduğu Kasım, Aralık ve Şubat ayları su gövdesindeki tam karışım durumunu açığa çıkarmaktadır. Şekilde görülen aynı aya ait farklı derinlikteki noktaların birbirinden uzaklaşması tabakalaşmanın güçlenmesi anlamına gelmektedir.



Şekil 4.5 Yılın dört mevsimine ait sıcaklık – derinlik profilleri (Şenduran, vd., 2007)



Şekil 5.6 12 no'lu istasyona ait T – S indeksi

5.2.2 Su Seviyesi Ölçümleri

Su seviyesindeki değişimin izlenmesi gölde yapılan diğer parametrik ölçüm tarihleriyle eş zamanlı olarak, göl içerisinde (G1) ve gölün Marmara denizine bağlantı kanalı içerisinde (K1) birer noktada zeminden su yüzeyine olan seviye farklarını belirlemek suretiyle gerçekleştirilmiştir (Çizelge 5.16.) Bu iki nokta arasındaki kot farkı nivelman çalışması yapılarak belirlenmiş ($G1 = K1 + 1.38 \text{ m}$) ve su seviyesindeki değişimler iki nokta aynı referans düzleminde tanımlandıktan sonra yorumlanabilir hale gelmiştir. Su seviyesi ölçümleri ayda bir defa yapıldığından lagünün genel hidrolik durumuyla ilgili yorum yapmamıza olanak tanımamaktadır. Ancak eş zamanlı olarak yapılan su kalitesi ve sıcaklık tuzluluk ölçümleriyle birlikte, bir de aynı güne ait meteorolojik veriler hep birlikte değerlendirildiğinde lagünün dinamiğiyle ilgili önemli saptamalar yapılabilir. Çizelge 5.16’da verilmiş olan su seviyesi ölçümleri için ilk olarak 2 adet referans nokta belirlenmiştir. Bu iki nokta da su seviyesinden yeterince yüksekte olup aralarındaki yükseklik farkı yukarıda açıklandığı gibi bir nivelman çalışmasıyla belirlendikten sonra referans düzlem matematiksel olarak eşitlenmiştir. Çizelgede görülen ölçüm sonuçları artık aynı yükseklikte olduğu kabul edilen G1 ve K1 seviyelerinden kanaldaki ve lagün içerisindeki su yüzeyine olan düşey mesafe ölçümleridir. Aralarındaki fark ($K1 - G1$) pozitif değer aldığı anda K1’deki su yüksekliği G1’den fazladır ve kanaldan lagüne doğru bir yüzey akımı beklenebilir sonucuna varılmıştır. Negatif durumda ise bunun tam tersi söz konusudur.

Çizelge 5.16 K1 ve G1 noktaları arasındaki su seviyesi farkları

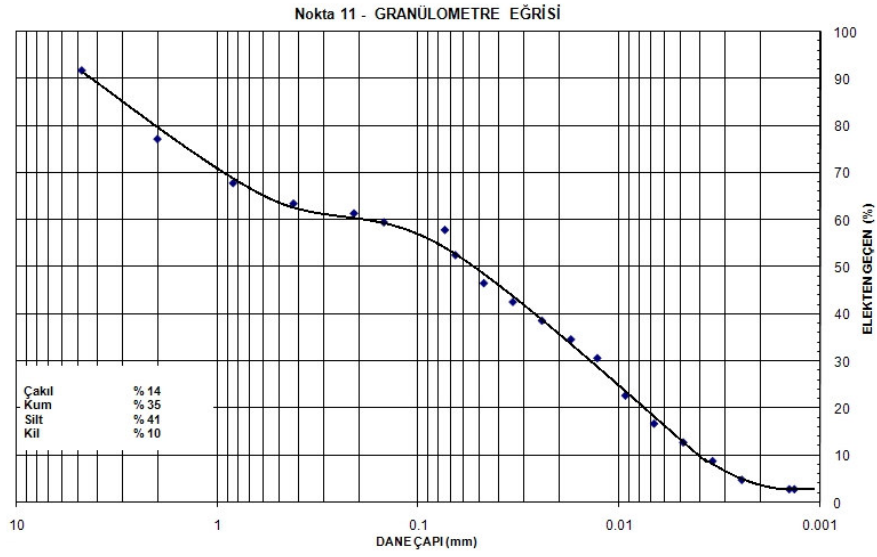
| Su Seviyesi Ölçümleri (cm) | | | | | | | | |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| | Nis.06 | May.06 | Haz.06 | Tem.06 | Ekim.06 | Kas.06 | Ara.06 | Şub.07 |
| G1 | -62 | -57 | -72 | -59 | -77 | -65 | -82 | -55 |
| K1 | -48 | -58 | -62 | -61 | -75 | -59 | -70 | -43 |
| Fark (K1-G1) | 14 | -1 | 10 | -2 | 2 | 6 | 12 | 12 |

5.3 Sediment Analizleri

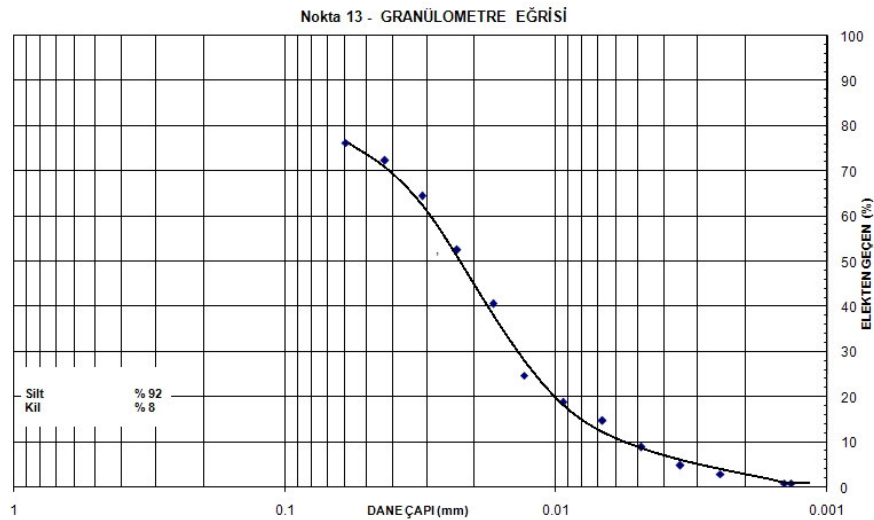
Taban sedimentinin fiziksel özellikleri ve tabanda dağılımı bu çalışmanın öncesindeki bir çalışmada da incelenmiştir (Algan, 1987.) Önceki çalışmalardan elde edilen bu veriler güncel olmamasına rağmen, yeni elde edilen verilerle karşılaştırılarak sistemin geçmişten bugüne olan değişimine ortaya koymak adına çok yararlı olmuştur. Sedimentin dane boyutuna göre

sonuçları;

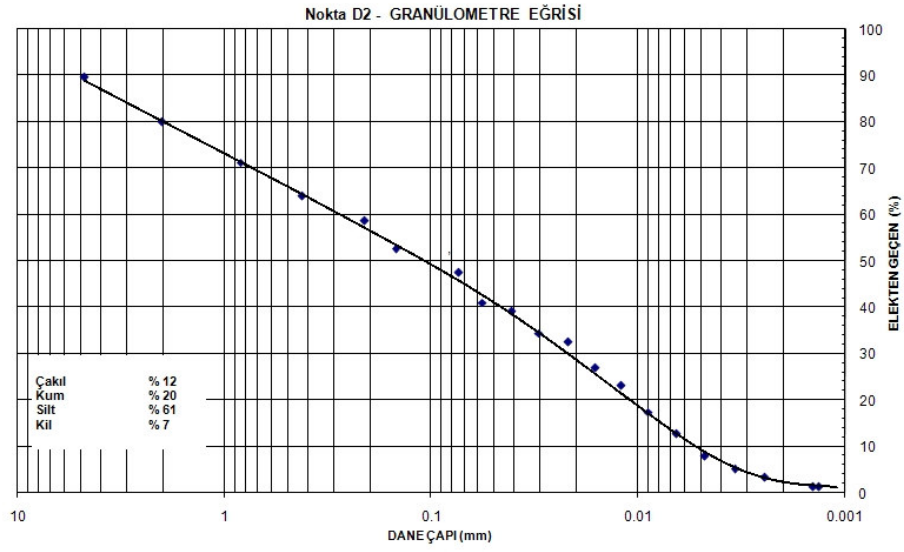
Numune 10; Shepard diyagramına göre siltli kum olarak tanımlanan sediment, numune noktası Algan'ın (1987) çalışmasında verdiği litofasiyes haritasıyla karşılaştırıldığında kumlu bölge içerisinde kalmaktadır (Şekil 5.13.) Algan bu bölgede taban malzemesinin kumlu olmasını bölgenin denize yakın olması nedeniyle hem bağlantı kanalından giren akımlarla hem de rüzgarlar vasıtasıyla kıyidan lagüne taşınım meydana gelmesiyle açıklamıştır.



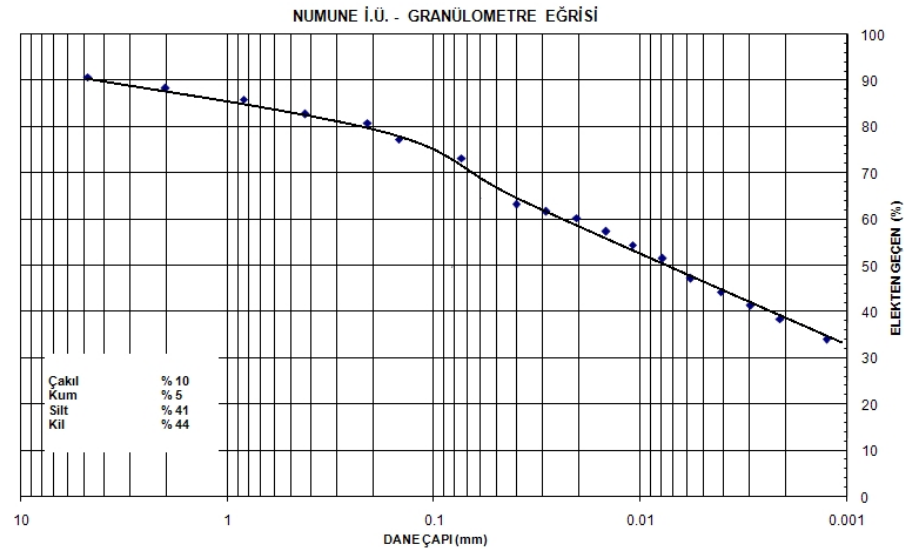
Şekil 5.8 11 no'lu numuneye ait dane çapı dağılımı



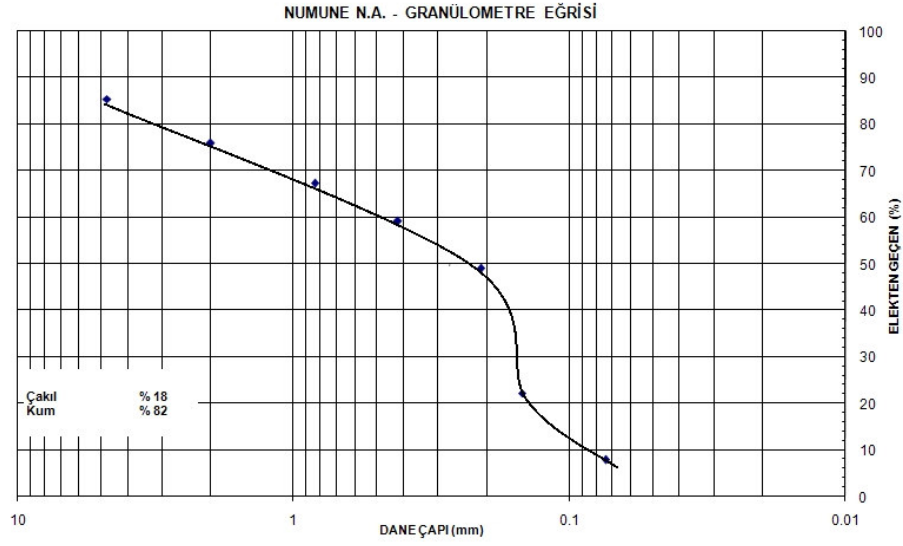
Şekil 5.9 13 no'lu numuneye ait dane çapı dağılımı



Şekil 5.10 D2 numunesine ait dane çapı dağılımı



Şekil 5.11 İ.Ü. numunesine ait dane çapı dağılımı



Şekil 5.12 N.A. numunesine ait dane çapı dağılımı

Çizelge 5.17 Numunelere ait granülometre eğrilerinden okunan dane çapları ve ϕ ölçeğinde karşılıkları

| Boyut | Numune 10 | | Numune 11 | | Numune 13 | | Numune D2 | | Numune İ.Ü. | | Numune N.A | |
|-------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-------------|--------|------------|--------|
| | d | ϕ | d | ϕ | d | ϕ | d | ϕ | d | ϕ | d | ϕ |
| 95 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 84 | - | - | 2,4 | -1,26 | - | - | 4 | -2 | 0,8 | 0,32 | 4,8 | -2,26 |
| 50 | - | - | 0,054 | 4,2 | 0,022 | 5,5 | 0,11 | 3,18 | 0,008 | 6,96 | 0,23 | 2,12 |
| 16 | 0,018 | 5,8 | 0,006 | 7,4 | 0,008 | 6,9 | 0,008 | 6,9 | - | - | 0,14 | 2,84 |
| 5 | - | - | 0,0034 | 8,2 | 0,0035 | 8,16 | 0,0034 | 8,2 | - | - | - | - |

Numune 11; Şekil 5.13'e göre killi kum bölgesi içerisinde bulunan 11 noktasından alınan numunede Shepard diyagramı sonucu kumlu silt olarak görülmektedir.

Numune 13; Shepard diyagramına göre silt olarak belirlenen 13 numunesi Şekil 5.13'te Sanscil (çamur) şeklinde tanımlanan bölgede bulunmaktadır. Sanscil diye tanımlanan yapı Shepard diyagramının merkezinde bulunan küçük üçgenin sınırlarına giren malzemedir ve özelliği en az %20 oranında her üç malzemenin de içermesidir.

Çizelge 5.18 Sediment numunelerine ait hesaplanmış Folk ve Ward parametreleri ile dane birim hacim ağırlıkları

| | 10 | 11 | 13 | D2 | İ.Ü. | N.A. |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Medyan (ϕ_{50}) | - | 4,2 | 5,5 | 3,18 | 6,96 | 2,12 |
| Ortalama Dane boyu | - | 3,45 | - | 2,69 | - | 0,9 |
| γ_s | 2,47 | 2,53 | 2,76 | 2,78 | 2,78 | 2,88 |

Numune İ.Ü; Shepard diyagramına göre siltli kil olarak tanımlanan İ.Ü. numunesi, Şekil 5.13'te killi kum bölgesinin içerisinde görülmektedir.

Numune N.A; Şekil 5.13'e göre kumlu kil bölgesinde bulunan N.A. noktasından alınan sediment analizleri sonucunda Shepard diyagramından elde edilen malzeme tanımı kum niteliğindedir.

5.4 Yorum ve Öneriler

Çeşitli sınıflandırma yöntemleri kullanılarak tanımlanan Küçükçekmece lagünü birkaç dikkat çekici özelliği ile tipik kıyı lagünlerinden ayrılmaktadır. Lagünün tipik kıyı lagünlerine göre oldukça derin olması ve yönlenmesinin kıyıya dik şekilde olması bu özelliklerdendir.

Küçükçekmece'nin Marmara denizi kıyılarının tipik Akdeniz kıyılarında görülen mikro gelgit düzeyinden ziyade lagünün batimetrik şekli ve sediment dağılımına bakılarak nano gelgit düzeyine sahip olduğu saptanmıştır. Bu bağlamda rüzgarın taşınım ve hidrodinamik olayları üzerinde en önemli etken olduğu söylenebilir.

Uygulanan nitel ve nicel sınıflandırma yöntemlerinden elde edilen ortak sonuç Küçükçekmece lagününün zayıf bağlantılı bir lagün olduğudur. Uygulanan morfometrik parametrelere göre; (1) Marmara denizinin lagün üzerindeki etkisi zayıftır. (2) Bağlantı kanalının lagün hidrodinamiği üzerindeki etkisi zayıftır. (3) Marmara denizinden giren akımlara lagün hacmi oldukça geç tepki vermektedir.

Hidrolojik parametrelerin sağlıklı bir şekilde hesaplanabilmesi için öncelikle su bütçesinin bir başka çalışmayla belirlenmesi gereklidir. Sadece akarsu debileri hesaba katılarak yapılan hidrolojik – morfometrik parametrelerin birlikte irdelenmesi sonucunda Küçükçekmece

açıklanabilmiştir. Yağışlı dönemlerde özellikle dere ağızlarında tuzluluk oranının sıfıra yaklaştığı görülmektedir. Lagünün denize en yakın izleme noktası olan 10 no'lu noktada ise tuzluluk oranı hiçbir zaman yaklaşık ortalama tuzluluk oranının çok fazla altına inmemiştir. Lagün - deniz bağlantısına en uzak konumlandırılan 13 numaralı ölçüm noktasında özellikle kurak dönemlerde oldukça yüksek tuzluluk konsantrasyonları (10 no'lu noktada ölçülen değerlere yakın) ölçülmüştür. Bu durumun birinci nedeni: Kurak dönemlerde Sazlıdere barajından su salınmamakta ve bu durum Sazlıdere'nin lagüne döküldüğü bölgedeki karışımı engellemektedir. Bu durumun bir diğer sebebi ise lagünün kuzey kısmında batimetrisinin sığ ve düşük eğimli olması nedeniyle lagünün litoral bölgesinde rüzgar ve yağmur gibi karışımı sağlayan etkilerin olmadığı durumlarda bu bölgedeki suyun oldukça durgun kalmasıdır.

12 numaralı noktada izlenen sıcaklık ve tuzluluğun derinlik profilleri incelendiğinde lagünde yaz aylarında bir tabakalaşma meydana geldiği gözlenmiştir. Bu sonuç Küçükçekmece Gölü'nün monomiktik olarak sınıflandıran Albay'ın (2004) çalışmasıyla uyumludur. 12 noktasında ayrıca Kasım, Aralık ve Şubat aylarında su sütununda dikey tam karışım olayı gözlenmiştir. Yine aynı gözlem noktasında lagün tabanına doğru gidildikçe tuzluluk konsantrasyonunun artma eğiliminde olduğu görülmüştür. Bunun nedeni aynı sıcaklık koşullarında tuzluluğu daha yüksek olan denizden gelen akımın yoğunluğunun da daha yüksek olması ve lagüne girdiğinde alt akım dediğimiz durumun meydana gelmesi olabilir. Kanal derinliği nispeten sığ olduğundan (ortalama 1,5 m) lagüne giren akım ani bir eğimle derinleşen batimetri nedeniyle tabana doğru bir alt akım oluşturur. Kanal ve lagünde yapılan su seviyesi ölçümleri denizden lagüne doğru olan su girişiyle uyumludur ve bu durum 12 no'lu ölçüm noktası tabanında görülen yüksek tuzluluk konsantrasyonlarını açıklamaktadır. Ancak su seviyesi ölçümleri sadece T ve S ölçümleri yapılan gün ve saatlere mahsus yapıldığı için sadece o anki durumlara dair yorum yapmak mümkün olmaktadır. Su seviyesi ölçümlerini sürekli kaydetmek şüphesiz lagün hidrodinamiği ile ilgili çok daha önemli yorumlar yapılmasına olanak tanır.

Sediment analizleri için belirlenen 7 noktadan biri olan 12 numaralı noktadan alınan numuneler hiçbir zaman deney yapmaya elverişli olmadığı için (tamamen biyojenik malzeme) sadece diğer noktalara ait sonuçlar yorumlanmıştır. Sediment numuneleri için hesaplanan dane birim hacim ağırlıkları $2.47 - 2.88 \text{ g/cm}^3$ arasında değişmektedir. Numunelerin çoğunda ince malzeme oranı oldukça yüksektir. Bunun anlamı malzemenin kohezivite ve adsorpsiyon kapasitelerinin yüksek olmasıdır. Bu tip ince daneli sediment su kalitesi açısından kritik önem

taşımaktadır.

Küçükçekmece lagününde hidrodinamik ve sediment taşınımı olaylarını akıntı hızları ve yönleri, sedimentin erozyon ve birikim bölgeleri, taşınım süreçlerini tümüyle ortaya koyacak bir çalışma için sayısal modellerden yararlanmak doğru bir seçenektir. Ancak, hidrodinamik bir modelin kurulup sonuçların alınmasından önce iyi bir hazırlık çalışmasının yapılması gerekmektedir. Bu hazırlıkların en önemlisi sistemin su bütçesinin kurulması olmalıdır. Bu çalışma dahilinde Küçükçekmece lagünü için gelecekte kurgulanabilecek bu tip bir sayısal modele katkı sağlayacak bir takım önemli bulgulara varılmış olmasına rağmen lagünün iyileştirilmesi için yeterli zaman ve bütçeyle bir sayısal model kurulmasını öngören daha kapsamlı bir çalışma yapılması yerinde olacaktır.

KAYNAKLAR

Adatepe, Ş., ve Yıldırım, M., (2004), “Küçükçekmece Gölü Çevresi Kayaçların Mühendislik Özelliklerinin ve Hidrojeolojik Özelliklerinin İrdelenmesi”, 41-50, Küçükçekmece Gölü ve Havzası İçin Çevre Yönetim Biriminin Oluşturulma Süreci ve Bölgeye Katkıları Çalıştayı, Üstün, B., Ağcıoğlu, B., Akyapı, A., Ziylan, A. ve Oflaz, H. (Derl.), 20-22 Ekim 2004, İstanbul, Türkiye.

Albay, M., Akçaalan, R., Gürevin, C. ve Aykulu, G., (2004), “Küçükçekmece Gölü’nde Microcystin’in Dikey Dağılımı ve Çevresel Parametreler ile Olan İlişkilerinin İncelenmesi”, 35-40, Üstün, B., Ağcıoğlu, B., Akyapı, A., Ziylan, A. ve Oflaz, H. (Derl.), 20 – 22 Ekim 2004, İstanbul, Türkiye.

Algan, A., O., (1987), “Küçükçekmece Lagününde Dip Sedimentlerinin Dağılımı”, İ.Ü. Coğrafya ve Deniz Bilimleri Enstitüsü Bülteni, 2: 145-155.

Andrlewicz, E., ve Chubarenko, B., (2005), “Monitoring Program Design”, Coastal Lagoons: Ecosystem Processes and Modeling for Sustainable Use and Development, Gönenç, İ., E., ve Wolflin, J. (Derl.), CRC Press Inc. Boca Raton, Florida.

Bağdathoğlu, A., Ç., (1996), Egölem Modelinin Lagünlere Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Beşiktepe, Ş., Özsoy, E., Latif, M. A., ve Oğuz, T., (2000), “Marmara Denizi’nin Hidrografisi ve Dolaşımı”, 314-326, Marmara 2000 Sempozyumu Bildiriler Kitabı.

Bielecka, M., ve Kazmierski, J., (2003), “A 3D Mathematical Model of Vistula Lagoon Hydrodynamics – General Assumptions and Results of Preliminary Calculations”, Diffuse Pollution Conference Dublin 2003 Proceedings, (6):140-145.

Chubarenko, B., Chubarenko, I. ve Baudler, H., (2005), “Comparison of Darss Zingst Bodden Chain and Vistula Lagoon (Baltic Sea) in a view of Hydrodynamic Numerical Modeling”, Baltica, 18(2): 56-67.

Chubarenko, B., Koutitonsky, V., G., Neves, R., ve Umgiesser, G., (2005), “Modeling Concepts”, Coastal Lagoons: Ecosystem Processes and Modeling for Sustainable Use and Development, Gönenç, İ., E., ve Wolflin, J. (Derl.), CRC Press Inc. Boca Raton, Florida.

Dias, J. M., Lopes, J., F. ve Dekeyser, I., (2003), “A Numerical System to Study the Transport Properties in the Ria de Aveiro Lagoon”, Ocean Dynamics, 53: 220-231.

de Clippele, J., (1998), Cohesive Sediment Transport in the Tagus Estuary, M.Sc. Thesis, Diplôme d’Etudes Approfondies Européen en Modélisation de l’Environnement Marin.

Duman, T. Y., Can, T., Ulusay, R., Keçer, M., Emre, O., Ateş, S. ve Gedik, İ., (2005), “A Geohazard Reconnaissance Study Based on Geoscientific Information for Development Needs of the Western Region of Istanbul”, Environ. Geol., 48: 871-888.

Durand, N., Ouillon, S., ve Fraunie, P., (1998), “3D Sediment Transport Modeling in the Ebro River Plume”, Oceans ’98 Conference Proceedings, 762-766.

Ertürk, A. (2002), Köyceğiz – Dalyan Lagün Sisteminin Hidrolik Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ertürk, A., Gürel, M., Soyer, E., Ekdal, A., ve Tanık, A., (2004), “Lagünlerde Su Kalitesi Modellemede Hidrodinamik Ön İşlemler – Küçükçekmece Lagünü Örneği”, 845-854, Türkiye Kıyıları 04 Konferansı Bildiriler Kitabı, Özhan, E., ve Evliya, H. (Derl.)

- Esen, N., Topçuoğlu, S., Eğılli, E., ve Kut, D., (1999), "Comparison of Trace Metal Concentrations in Sediments and Algae Samples from the Küçükçekmece Lagoon and Marmara Sea", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 240(2):673-676.
- Gamito, S., Gilabert, J., Diego, C., M. Ve Perez-Ruzafa, A., (2005), "Effects of Changing Environmental Conditions on a Coastal Lagoon", *Coastal Lagoons: Ecosystem Processes and Modeling for Sustainable Use and Development*, Gönenç, İ., E., ve Wolflin, J. (Derl.), CRC Press Inc. Boca Raton, Florida.
- Gönenç, İ., E., ve Wolflin, J., (2005), "Introduction", *Coastal Lagoons: Ecosystem Processes and Modeling for Sustainable Use and Development*, Gönenç, İ., E., ve Wolflin, J. (Derl.), CRC Press Inc. Boca Raton, Florida.
- Gönenç, İ., E., (2006), *Sürdürülebilir Havza Yönetimi – Cilt 1: Havzalarda Doğal ve Sosyo Ekonomik Sistemin Özellikleri*. Kayhan Matbaası. Topkapı/Istanbul.
- Jasinska, E., Robakiewicz, M., Staskiewicz, A., (2003), "Hydrodynamic Modelling in the Polish Zone of the Baltic Sea – an Overview of Polish Achievements", *Oceanologia*, 45(1):107-120.
- Koutitonsky, V. G., (2005), "Three-Dimensional Structure of Wind-Driven Currents in Coastal Lagoons", *Coastal Lagoons: Ecosystem Processes and Modeling for Sustainable Use and Development*, Gönenç, İ., E., ve Wolflin, J. (Derl.), CRC Press Inc. Boca Raton, Florida.
- Martin, J., L., and McCutcheon, S., C., (1999), *Hydrodynamics and Sediment Transport for Water Quality Modeling*, CRC Press Inc. Boca Raton, Florida.
- Masselink, G. ve Hughes, M., G., (2003), *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*, Oxford University Press, US.
- OYAK İkitelli Toplu Konutları ÇED Raporu, (2005), Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.
- Spagnoli, F., Specchiulli, A., Scirocco, T., Carapella, G., Villani, P., Casolino, G., Schiavone, P. ve Franchi, M., (2002), "The Lago di Varano: Hydrologic Characteristics and Sediment Composition", *Marine Ecology*, (23):384-394.
- Şenduran, C., Üstün, B., Taner, M. Ü., (2007), "Küçükçekmece Lagoon Hydrodynamics and Sediment Transport: Choosing an Appropriate Model.", 3rd International Conference on Environmental Science and Technology Conference.
- Tagliapietra, D. ve Ghirardini, A. V., (2006), "Notes on a Coastal Lagoon Typology in the Light of the EU Water Framework Directive: Italy as a Case Study", *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst*, 16: 457-467.
- Teeter, A., M., Johnson, B., H., Berger, C., Stelling, G., Scheffner, N., W., Garcia, M., H., ve Parchure, T., M., (2001), "Hydrodynamic and Sediment Transport Modeling with Emphasis on Shallow-Water, Vegetated Areas (Lakes, Reservoirs, Estuaries and Lagoons)", *Hydrobiologia*, (444):1-21.
- Teeter, A., M., (2002), *Sediment Transport in Wind-Exposed, Shallow, Vegetated Aquatic Systems*, Ph.D. Thesis, Louisiana State University, Dept. of Oceanography and Coastal Studies.
- Tsihrintzis, V. A., Sylaios, G. K., Sidiropoulou, M. ve Koutrakis, E. T., (2007), "Hydrodynamic Modeling and Management Alternatives in a Mediterranean, Fishery Exploited, Coastal Lagoon", *Aquacultural Engineering*, 36: 310-324.

Wetzel, R., G., (1983), Limnology, 2nd ed. Saunders College Pub.

Yüksel, Y., (2005), Deniz Tabanı Hidrodinamiği ve Kıyı Morfolojisi, Arıkan Basım Yayım Ltd, İstanbul, Türkiye.

İNTERNET KAYNAKLARI

- 1) www.cevreorman.gov.tr
- 2) www.coastalguide.org
- 3) www.dsi.gov.tr
- 4) www.shodb.gov.tr
- 5) www.waterontheweb.org
- 6) www.mgs.md.gov

ÖZGEÇMİŞ

- Doğum tarihi: 04/06/1979
- Doğum yeri: İstanbul
- Lise: 1993 - 1997 Şişli Yunus Emre Lisesi
- Lisans: 1998 – 2004 Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği
- Yüksek Lisans: 2004 – 2007 Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. ABD. Kıyı ve Liman Müh. Programı
- Çalıştığı Kurum: 2005 (Şubat – Haziran) Kadir Has Üniversitesi, Grafik Tasarım
Yarı zamanlı okutman