

**KIYI LAGÜNLERİNDE SUYUN DEĞİŞİM SÜRESİNİN
MODELLENMESİ**

Buğrayhan BİÇKİCİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAYIS 2011
ANKARA**

Buğrayhan BİÇKİCİ tarafından hazırlanan “KIYI LAGÜNLERİNDE SUYUN DEĞİŞİM SÜRESİNİN MODELLENMESİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Lale BALAS

.....

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Şahnaz TİĞREK

.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, ODTÜ

Prof. Dr. Lale BALAS

.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Önder KOÇYİĞİT

.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 27/05/2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Buğrayhan BİÇKİCİ

KIYI LAGÜNLERİNDE SUYUN DEĞİŞİM SÜRESİNİN MODELLENMESİ**(Yüksek Lisans Tezi)****Buğrayhan BİÇKİCİ****GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ****Mayıs 2011****ÖZET**

Lagünler daha büyük su kütleleriyle bağlantılı sığ göllerdir. 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. Kıyı sistemlerinde gel git, rüzgar etkisi ve yoğunluk farklılaşması gibi nedenlerle oluşan çevrıntiler, su alanı ile açık deniz arasındaki bağlantı kanalı aracılığı ile su değişimi (flushing) meydana getirirler. Su kalitesinin genelde iyi olmadığı yarı kapalı ya da kapalı su alanları bu su değişimi ile temizlenmektedir. Bu tez çalışmasında lagünlere su giriş çıkışları ele alınarak lagün çevrıntıleri incelenmiş, lagündeki suyun kendini yenilemesini benzeştiren sayısal modeller kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında su değişim süresi (flushing time) kütleli (zero line) , bir boyutlu ve üç boyutlu modellemeler yardımıyla irdelenmiştir. Çalışmalar Ölüdeniz Lagünü'ne uyarlanmıştır.

Bilim Kodu : 911.1.083
Anahtar Kelimeler : Kıyı lagünleri, matematiksel modelleme, çevrinti, su alışverişi, rüzgar, kirlenme, akıntılar, Ölüdeniz Lagünü
Sayfa Adedi : 85
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Lale BALAS

MODELING OF FLUSHING TIME IN COASTAL LAGOONS**(M. Sc. Thesis)****Buğrayhan BİÇKİCİ****GAZİ UNIVERSITY****INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY****May 2011****ABSTRACT**

Coastal lagoons are shallow lakes connected to a larger water body. Coastal lagoons exist mostly in the transition zones between the terrestrial and marine ecosystems, and therefore their hydrodynamics have a particular importance. Lagoons are delicate ecosystems that are deeply affected by the physical, geological, chemical and biological processes. In coastal lagoons, flushing is mainly caused by wind, tidal and density induced circulations. In this study the water exchange mechanisms of enclosed coastal lagoons are investigated. Flushing time in coastal lagoons is investigated by numerical and analytical models. In this thesis, flushing time (the water exchange period) is discussed with the help of zero line modelling, one-dimensional modelling and three-dimensional modeling. Ölüdeniz Lagoon is selected as the case study area.

Science Code : 911.1.083**Key Words : Coastal lagoons, numerical modeling, circulation, water exchange, wind, pollution, currents, Ölüdeniz Lagoon****Page Number: 85****Adviser : Prof. Dr. Lale BALAS**

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim sırasında tanışma şansına eriştiğim, engin bilgi birikimi ve duruşuyla sonsuz saygı ve sevgi duyduğum değerli hocam Prof. Dr. Lale BALAS'a, her daim yanımda olup, sevmeyi, saymayı ve güvenmeyi öğreten canım annem Serpil BİÇKİCİ'ye, ilk aşkım babam Celal BİÇKİCİ'ye, biricik kardeşlerime, çeşitli konularda destek aldığım arkadaşım Özkan AKPINAR'a, yaşadığım tüm güzellikleri ve zorlukları paylaşan, sevgilerini yalnızca yanımdayken değil her an hissettiğim arkadaşım Adem ÇETİNKAYA'ya, değerli dostlarım Songül ÇAĞLAR'a, Elif YILMAZ'a, İlkem ATAK'a ve diğer tüm arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
3. ÇALIŞMA ALANI	6
4. ÖLÜDENİZ LAGÜNÜ'NDE SU DEĞİŞİM SÜRESİNİN (FLUSHING TIME) MODELLENMESİ	12
4.1. Kütleli Su Değişim Modeli (Zero Line Model)	12
4.2. Tek Boyutlu Su Değişim Modeli	31
4.3. Hydrotam-3D/Üç Boyutlu Hidrodinamik Taşınım Modeli	35
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	66
EKLER.....	69
EK-1 Kıyı lagünleri.....	70
ÖZGEÇMİŞ	85

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Su alanının kapalılık seviyesinin belirlenmesi.....	18
Çizelge 4.2. Ölüdeniz Lagünü için C/C_0 - t/λ değerleri.....	25
Çizelge 4.3. Fethiye Meteoroloji İstasyonu'ndan sağlanan 1990-2010 yılları arasındaki rüzgar verilerine göre rüzgar hızlarının yönlere göre dağılımı.....	42
Çizelge 4.4. Fethiye Meteoroloji İstasyonu'ndan sağlanan 1990-2010 yılları arasındaki rüzgar verilerine göre rüzgar hızlarının yönlere göre kümülatif dağılımı.....	42

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Lagündeki kütle denge şeması.....	12
Şekil 4.2. Sediment-su arayüzü alanı ile kütle akışının şematik gösterimi.....	15
Şekil 4.3. Ölüdeniz Lagünü'nde konsantrasyon değerinin zamanla değişimi.....	24
Şekil 4.4. Ölüdeniz Lagünü için C- t_{ϕ} değerlerinin grafiksel gösterimi	26
Şekil 4.5. Anlık yüklemenin grafiksel olarak ifadesi	27
Şekil 4.6. Anlık yükleme uygulanan Ölüdeniz Lagünü'nde çeşitli tepki sürelerinde (t_{50} , t_{75} , t_{90} , t_{95} , t_{99}) konsantrasyonun değişimi.....	28
Şekil 4.7. Sürekli yüklemenin grafiksel olarak ifadesi	30
Şekil 4.8. Sürekli yükleme uygulanan Ölüdeniz Lagünü'nde çeşitli tepki sürelerinde (t_{50} , t_{75} , t_{90} , t_{95} , t_{99}) konsantrasyonun değişimi.....	31
Şekil 4.9. Farklı oranlarda kirletici eklenmesi ile kirletici derişiminin zamana bağlı değişimi	35
Şekil 4.10. Ölüdeniz Lagünü su derinlikleri	41
Şekil 4.11. Fethiye Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan, 1990-2010 yılları arasındaki rüzgar verilerinden elde edilen Ölüdeniz Lagünü'ne ait rüzgar gülü.....	43
Şekil 4.12. SE (güneydoğu) yönünden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde yatışkın durumda su yüzeyinde oluşan hızlar (cm/s).....	44
Şekil 4.13. SE (güneydoğu) yönünden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde yatışkın durumda su tabanında oluşan hızlar (cm/s).....	44
Şekil 4.14. S (güney) yönünden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde yatışkın durumda su yüzeyinde oluşan hızlar (cm/s).....	45
Şekil 4.15. S (güney) yönünden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde yatışkın durumda su tabanında oluşan hızlar (cm/s).....	45
Şekil 4.16. Doğu (doğu) yönünden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde yatışkın durumda su yüzeyinde oluşan hızlar (cm/s).....	46

Şekil	Sayfa
Şekil 4.17. Doğu (doğu) yönünden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde yatışkın durumda su tabanında oluşan hızlar (cm/s).....	46
Şekil 4.18. Güney doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yükleme durumunda, 1 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	47
Şekil 4.19. Güney doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yükleme durumunda, 2 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	48
Şekil 4.20. Güney doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yükleme durumunda, 3 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	48
Şekil 4.21. Güney doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yükleme durumunda, 4 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	49
Şekil 4.22. Güneyden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yükleme durumunda, 1 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	50
Şekil 4.23. Güneyden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yükleme durumunda, 2 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	50
Şekil 4.24. Güneyden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yükleme durumunda, 3 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	51
Şekil 4.25. Güneyden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yükleme durumunda, 4 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	51
Şekil 4.26. Doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yükleme durumunda, 1 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	52
Şekil 4.27. Doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yükleme durumunda, 2 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	53
Şekil 4.28. Doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yükleme durumunda, 3 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	53
Şekil 4.29. Doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yükleme durumunda, 4 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	54
Şekil 4.30. Güney doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yükleme durumunda, 1 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	55
Şekil 4.31. Güney doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yükleme durumunda, 2 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	55

Şekil	Sayfa
Şekil 4.32. Güney doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yükleme durumunda, 3 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	56
Şekil 4.33. Güney doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yükleme durumunda, 4 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	56
Şekil 4.34. Güneyden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yükleme durumunda, 1 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	57
Şekil 4.35. Güneyden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yükleme durumunda, 2 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	58
Şekil 4.36. Güneyden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yükleme durumunda, 3 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	58
Şekil 4.37. Güneyden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yükleme durumunda, 4 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	59
Şekil 4.38. Doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yükleme durumunda, 1 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	60
Şekil 4.39. Doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yükleme durumunda, 2 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	60
Şekil 4.40. Doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yükleme durumunda, 3 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	61
Şekil 4.41. Doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yükleme durumunda, 4 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı.....	61
Şekil 4.42. Anlık yüklemede (600m, 800m) koordinatında kirletici Konsantrasyon değerinin zamanla değişim grafiği.....	62

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Çalışma alanı.....	7
Resim 3.2. Ölüdeniz boğazı.....	8

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
a	Özümseme kapasitesi (asimilatif kapasite)
A	Kapalı alanın su yüzeyinin alanı
A_k	Kanaldan lagüne su girişinin olduğu kesit alanı
A_m	Ortalama gel git seviyesindeki su yüzey alanı
A_s	Sediment yüzey alanı
b	Boğaz giriş genişliği
C₀	Başlangıç anında lagündeki kirletici konsantrasyonu
C_{in}	Kaynakların ortalama giriş konsantrasyonu
C_n	n gelgit devrimindeki kirletici konsantrasyonu
C_{out}	Çıkış konsantrasyonu
C	Kirletici konsantrasyonu
d	Ortalama kirletici dane çapı
D_{p1}	Kapalı alanın ortalama su derinliği
D_{p2}	Girişteki ortalama su derinliği
E.I	Kapalılık indeksi
f	Coriolis katsayısı
g	Yerçekimi ivmesi
\bar{h}	Ortalama su derinliği
J	Birim zamanda birim alanda çöken kütle miktarı
k	Birinci dereceden reaksiyon katsayısı
k_s	Birinci dereceden oturma oranı sabiti
m	Kirletici kütlesi
M	Su değişim parametresi
n	Pozitif bir tamsayı
p	Basınç

Simgeler	Açıklama
Q	Sisteme giren tüm su kaynaklarının hacimsel akış oranı
R	Ortalama alçak seviyeden ortalama yüksek seviyeye dalga yüksekliği
S_s	Kirletici kaynağı
t_φ	Tepki süresi
t_w	Suyun lagün içerisinde kalma süresi
T_w	Gel git dalga dönemi
v_b	Boğazdaki akıntı hızı
v_ç	Çökme hızı
V	Sistemin hacmi
V_m	Ortalama gel git seviyesindeki su hacmi
W(t)	Kütle yükleme oranı
ρ_w	Su yoğunluğu
ρ_o	Referans yoğunluk (kirletici yoğunluğu)
λ	Karakteristik değer
δ(t)	Bir su bünyesine kütlelerin ani yüklenmesi (delta fonksiyonu)
μ	Su düzeyi değişimi
ν_w	Suyun kinematik viskozitesi
E	Doğu
ENE	Doğu kuzey doğu
ESE	Doğu güney doğu
GD	Güney doğu
N	Kuzey
NE	Kuzey doğu
NNE	Kuzey kuzey doğu
NNW	Kuzey kuzey batı
NW	Kuzey batı
S	Güney

Simgeler	Açıklama
SE	Güney doğu
SSE	Güney güney doğu
SSW	Güney güney batı
SW	Güney batı
W	Batı
WNW	Batı kuzey batı
WSW	Batı güney batı
DMI	Devlet Meteoroloji İstasyonu
RH	Rüzgar hızı

1. GİRİŞ

Lagünler daha büyük su kütleleriyle bağlantılı sığ göllerdir. 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. Kıyı sistemlerinde gel git, rüzgar etkisi ve yoğunluk farklılaşması gibi nedenlerle oluşan çevrıntiler, su alanı ile açık deniz arasındaki bağlantı kanalı aracılığı ile su değişimi (flushing) meydana getirirler. Su kalitesinin genelde iyi olmadığı yarı kapalı ya da kapalı su alanları bu su değişimi ile temizlenmektedir. Bu tez ile bir lagüne su giriş çıkışları ele alınarak lagün çevrıntıleri incelenmiş, lagündeki suyun kendini yenilemesini benzeştiren sayısal modeller kullanılmıştır.

Lagünler çevresel etkilere karşı çok duyarlı alanlar oldukları için lagün içi hidrodinamiğinin çok iyi anlaşılması, uzun süreçler içerisinde yaşayabilecekleri değişimlerin tahmin edilmesi ve oluşabilecek problemlere karşı gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir. Türkiye kıyılarında yer alan çok sayıda kıyı lagünleri önemli ekosistemlerdir. Lagün-deniz etkileşiminin hidrodinamik özelliklerinin ve doğal denge karakteristiklerinin belirlenmesi, lagünlerin kendilerini yenileme sürelerinin tespit edilmesi, lagün içi çevrinti düzenlerinin anlaşılması özellikle su kalitesi açısından büyük önem taşımaktadır. Türkiye kıyıları lagünlerinin çevrinti haritalarının hazırlanması yönetim planları açısından gerekli ve önceliklidir.

Çalışma alanı olarak Ölüdeniz Lagünü seçilmiştir. Çalışmalarda kullanılan modellerle, Ölüdeniz Lagünü içerisinde rüzgar, çevrinti, gelgit etkisiyle zamana bağlı olarak başlangıç konsantrasyon değerinin değişimleri ve Lagün içi kirliliği için değişik senaryolar irdelenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Gomez-Reyes ve Blumberg, nehir akışının olmadığı kıyı lagünlerinde suyun lagün içinde kalma süresini tahmin etmek için pratik bir yöntem kullanmışlardır. Su değişim süresinin tahmini için kullanılan bu yöntem, örnek bir durumla açıklanmıştır. Bu çalışmanın amacı, nehir akışının olmadığı dikey yönde karışmış kıyı lagünlerinde su değişim süresinin tahmini için sayısal bir model ortaya koymaktır. Burada suyun lagün içinde kalma süresi, su değişim süresi ile ilgili bir parametredir. Bu yöntem, lagün içerisinde boya maddesinin dağılımının sayısal simülasyonu ile suyun lagün içinde kalma süresinin tahmini için bir veri sağlar [Gomez-Reyes ve Blumberg, 1995].

Balas ve Özhan, kıyı sularında oluşan akıntıları ve su düzeyi değişimlerini hesaplayan üç boyutlu bir matematiksel model geliştirilmiştir. Model, hidrodinamik, taşınım ve türbülans alt modellerinden oluşmaktadır. Hidrodinamik alt modelinde, düşey yöndeki su taneciklerinin ivmesinin önemsiz olduğu ve Boussinesq yaklaşımının geçerliliği varsayılarak, Navier-Stokes eşitlikleri çözülmektedir. Taşınım alt modelinde, su sıcaklığı, tuzluluğu ve deniz suyuna karışan bir kirleticinin zamansal ve yersel derişimlerini benzeştiren taşınım model elemanları bulunmaktadır. Bu alt modelde, su sıcaklığı, tuzluluğu ve kirletici taşınımları için, üç boyutlu ilerlemeli yayılma denklemleri ayrı ayrı çözülmektedir. Türbülans alt modelinde, değişken düşey akışkanlık katsayısı, türbülans kinetik enerjisi ve kinetik enerjinin sönmelenme hızı, iki eşitlikli $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılarak hesaplanmaktadır. Sayısal çözüm yöntemi olarak yatay düzlemde sonlu farklar, düşeyde ise sonlu elemanlar kullanılmıştır. Kara sınırları hareketli alınabilmekte, yatay düzlemde değişik büyüklükte çözüm ağı uzunlukları seçilebilmekte ve düşeyde çözüm ağı kümeleşmesi uygulanarak çözünlürlük artırılabilir. Geliştirilen matematiksel model sonuçları, bilimsel kaynaklarda yayınlanan analitik ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak gerçekleştirilmiştir. Model lagün ortamında kullanılmaya uygun duruma getirildikten sonra, topografya ve batimetri, hidrodinamik özellikler,

rüzgar iklimi ve benzeri konularda mevcut bilgiler toplanıp değerlendirilerek, Ölüdeniz Lagünü'ne uyarlanmıştır [Balas ve Özhan, 1998].

Balas ve Özhan, yaptıkları çalışma ile düşey ve yatay düzlemlerde önemli yoğunluk değişimlerine neden olan tuzluluk ve sıcaklık katmanlarının bulunduğu kıyusal sularda, yoğunluk etkenli akıntıları, rüzgar ve gelgit etkenli çevrintileri benzeştirebilen üç boyutlu sayısal bir model geliştirmişlerdir. Model sonuçları, düz tabanlı kapalı bir kanalda, rüzgar etkisiyle oluşan akıntı hızlarının analitik çözümü, rüzgar kuvveti etkisiyle oluşan türbülanslı bir akımın deneysel ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Model Göksu Lagünü'ne uyarlanmış, lagünde rüzgar etkisiyle oluşan çevrintiler, hareketli kara sınırı uygulaması ile benzeştirilmiştir [Balas ve Özhan, 1999].

Balas, yapmış olduğu çalışmada, kıyı lagünlerinde rüzgar, gel git ya da yoğunluk farklılaşması sebebiyle oluşabilecek akıntıları ve su düzeyi değişimlerini benzeştirebilecek olan üç boyutlu sayısal bir model ve uygulamalarını sunmuştur. Model hidrodinamik, taşınım ve türbülans alt modellerinden oluşmaktadır. Sayısal çözüm yöntemi; yatay düzlemde sonlu farkların, düşeyde ise sonlu elemanların kullanıldığı bileşik bir yöntemdir. Geliştirilen sayısal modelin sonuçları, düz tabanlı kapalı bir kanalda, rüzgar etkisiyle oluşan akıntı hızlarının analitik çözümü, rüzgar kuvveti etkisiyle oluşan türbülanslı bir akımda yapılan deneysel ölçümler ve duran dalga etkisiyle oluşan akıntı düzeninin analitik çözümü ile karşılaştırılmıştır. Model Ölüdeniz Lagünü'ne uyarlanarak, rüzgar ve gelgit etkenli akıntı düzenleri benzeştirilmiştir [Balas, 2002].

Balas ve Özhan, çalışmalarında rüzgar, gelgit ya da yoğunluk farklılaşması sebebiyle oluşabilecek akıntıları ve su düzeyi değişimlerini benzeştiren üç boyutlu sayısal model ve uygulamalarını sunmuştur. Üç boyutlu Navier-Stokes denklemlerini çözen model, hidrodinamik, taşınım ve türbülans alt modellerinden oluşmaktadır. Geliştirilen sayısal model kullanılarak iki farklı su yoğunluğuna sahip tabakanın karışımıyla oluşan akıntı düzeni benzeştirmeleri deneysel ölçümler ile gerçekleştirilmiştir. Model, rüzgar ve yoğunluk akıntılarının, hareketli sınırlar ile

benzeştirilmesi için Göksu Lagünü'ne uyarlanmış ve yapılan saha ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Model, Ölüdeniz Lagünü'nde yürütülen akıntı ölçümleri ile de gerçekleştirilmiştir. Lagün suyuna bırakılan bir kirleticinin ilerlemeli dağılımı da benzeştirilmiştir. Model Marmaris Körfezi'ne uyarlanmış, Yalancı Boğaz'da deniz deşarjından çıkan kirleticinin dağılımı incelenmiştir. Uygulamalar, geliştirilen üç boyutlu hidrodinamik taşınım modelinin kıyusal sulardaki çevrinti ve taşınım olaylarının benzeştirilmesinde güvenilir bir araç olduğunu göstermektedir [Balas ve Özhan, 2002].

Fethiye İç Körfezi'nde yapılacak yat limanı projesi kapsamında, basen taraması sonucunda çıkan malzemenin denize dökümü sırasında çevreye yayılacak kısmının dağılımı, ABD'de Princeton Üniversitesi tarafından geliştirilmiş olan üç boyutlu Killworth matematiksel modeli yardımıyla incelenmiştir. Model, momentum dengesini Navier-Stokes denklemlerini kullanarak yapmaktadır. Modelde çeşitli kuvvetlerin etkisiyle oluşan ve izleyici dağılımlarını etkileyen akıntılar simule edilerek, dökü sonucu suda asılı kalan maddelerin, akıntılar etkisiyle liman içindeki davranışları incelemiştir [Sayın ve Pazı, 2002].

“Kaş Yat Limanı” projesi kapsamında öncelikle rüzgar ve dalga iklimi çalışmaları yürütülmüştür. Daha sonra ise deniz dalgalarının yat limanının bulunduğu bölge olan Bucak Denizi'ne transformasyonu incelenmiş ve yüzer sistem olarak düşünülen dalgakıranın konumu belirlenmiştir. Tamamen yüzer sistemle yapılması planlanan yanaşma yerlerinin belirlenmesinden sonra, oluşması beklenen kirliliğin bölgenin hidrodinamik yapısı içinde nasıl dağılacığı ve değişik koşullarda oluşan akıntı düzeninin limanda oluşacak kirliliği nasıl etkileyeceği 3 boyutlu matematiksel model çalışmasıyla belirlenmiştir. Model çalışmalarında HR Wallingford Ltd. (İngiltere) ile EDF-LNH (Fransa) tarafından geliştirilmiş olan Telemac3D ve yardımcı programlar (Matisse, Postel-3D ve Rubens) kullanılmıştır. Telemac3D, tanımlanan ağ sistemi ve zaman aralıklarında sistemde oluşan üç boyutlu akıntı hızlarını (u,v,w) ve su derinliğini belirleyen bir yazılımdır. Ayrıca iki grup kirleticinin sistem içindeki taşınımını da modelleyebilmektedir. Telemac3D üç ana yöndeki su düzeylerini ve hız dağılımlarını Navier-Stokes denklemlerini kullanarak çözmektedir. Model iki

basitleştirici yaklaşım kullanmıştır. Bunlardan ilki, akışkanın ağırlığının basıncı dengelediği yaklaşımı, yani hidrostatik basınç kabulüdür diğeri ise Boussinesq yaklaşımıdır [Güç ve Özgen, 2002].

Lagünlerin ekolojik dengesi, özellikle kentsel gelişmelerin olduğu çevreyle değişmektedir. Yaygın problemler, kirlilik ve ötrifikasyondur. Lagünler genellikle yapay veya doğal kanallarla denizle bağlantılı olduğu için, lagündeki su kalitesini artırmanın bir yolu bu kanallar vasıtasıyla lagüne deniz suyu girişini artırmak. Böylece kirlilik su değişimiyle dışarı atılacak ve böylelikle ötrifikasyon kontrol altına alınmış olacaktır. Bu çalışma, Meksika'da bulunan ve aşırı ötrifikasyona uğramış bir kıyı-lagün sistemine, Karayip Denizi'ne doğal yollarla bağlı olan Quintana Roo, uyarlanmıştır. Bu su değişim sisteminin temel prensibi, bir yükselticinin oluşturduğu dalga yansıması sayesinde hidrolik yükün değişmesine dayanmaktadır [Mendieta ve ark., 2003].

Sheng ve arkadaşları, çalışmalarında lagün sistemi içindeki çevrinti ve su değişimi, 3 boyutlu çevrinti modeli CH3D kullanmışlardır. Bu model sayesinde GTM içerisindeki suyun sirkülasyonu ve yenilenme süresi incelenmiştir [Sheng ve ark., 2008].

2 Boyutlu Ortalama Derinlik Modeli, Cidde şehrinin yaklaşık 100 km güneyinde, Kızıldeniz'in doğusunda yer alan ve derinliği 2-3 metre kadar olan Shoaiba Lagünü'ne uygulanmıştır. Shoaiba Lagünü'nün su sirkülasyonu tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu model, süreklilik denklemlerini çözen bir sonlu farklar modelidir. Model Fortran dilinde yazılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, lagündeki su sirkülasyonunun temel olarak gelgit kuvvetlerinin etkisinde olduğunu göstermektedir [Alaa M.A. Albarakati, 2010].

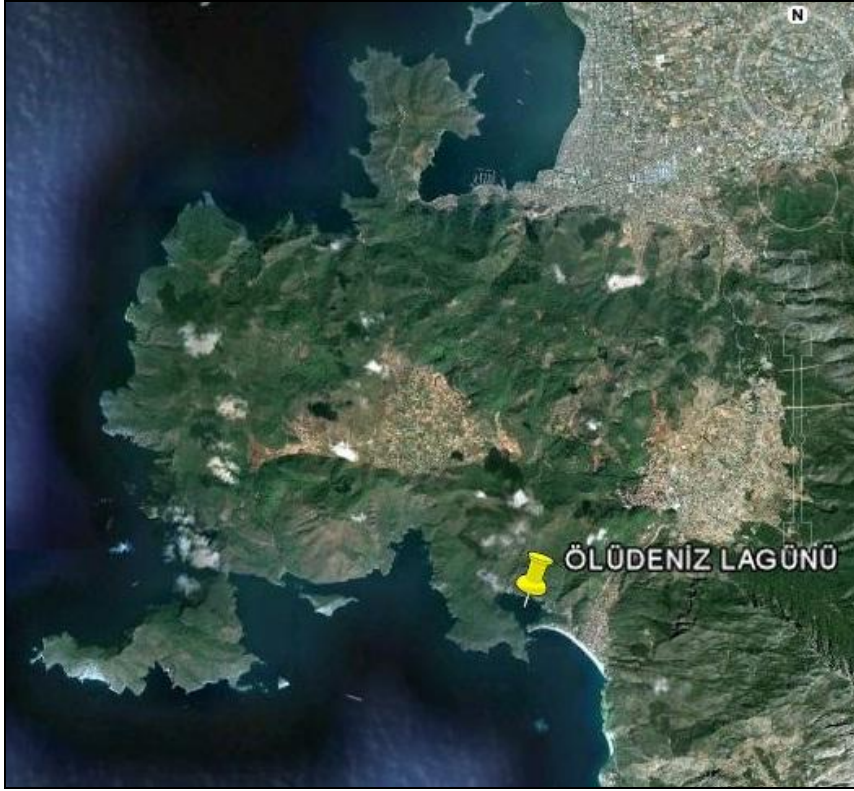
3. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı olarak Ölüdeniz Lagünü seçilmiştir. Ölüdeniz, Muğla ilinin Fethiye ilçesine bağlı bir beldedir. Anadolu'nun güneybatısında yer alan Teke Yarımadası'nda bulunan Ölüdeniz, özel çevre koruma alanlarından biridir.

Ölüdeniz Lagünü Hakkında Genel Bilgiler

Ölüdeniz Lagünü ve çevresi doğal güzelliği nedeniyle özellikle yaz aylarında sezon boyunca yoğun bir ziyaretçi akınına uğramaktadır. Dolayısıyla, aşırı ve yanlış kullanımlar yüzünden bölge tahrip olmakta ve evsel atıklar nedeniyle kirliliğe hassas bir duruma gelmektedir. Bu nedenlerden dolayı özel statülere tabi tutulmuştur. Bunlar, arkeolojik ve doğal sit koruma statüleri, özel çevre koruma statüsü (Ö.Ç.K), (12.06.1988), tabiat parkı statüsü (01.12.1983), su ürünleri av yasakları statüsüdür [Toparlak, 2005].

Fethiye'nin kuş uçuşu 7,5 km güneyinde yaklaşık 0,6 km² alan kaplayan Ölüdeniz Lagünü (Resim 3.1), 3 km güneydoğusundaki Kıdrak Deresi'nin denize taşıdığı alüvyonların kıyı boyu akıntılarıyla kuzey-kuzeybatı yönünde taşınarak eski Belceğiz Körfezi'nin önünü bir kıyı dili halinde kapatması sonucunda oluşmuştur. Türkiye'de bulunan lagün oluşumlarından biridir. Ölüdeniz durgun bir göl niteliğindedir [Ozaner ve ark., 1997].



(a)



(b)

Resim 3.1. Çalışma alanı (a), (b)

Ölüdeniz' i açık denizden ayıran kıyı kordonu, Belceğiz Körfezi'nin kuzey kesiminin Belceğiz Ovası ve Ölüdeniz Lagünü haline gelmesini sağlayan ve günümüzde gelişimi hala süren bir jeomorfolojik birimdir. Kıyı dilinin, Belceğiz Ovası'nın doğu sınırındaki başlangıç noktasından, batıdaki Kumburnu'na kadar toplam uzunluğu 1650 m, Ölüdeniz' in önünü kapatan kesiminin uzunluğu ise 900 metredir. Kıyı dilinin genişliği 80 ila 175 m arasında değişmektedir. Ölüdeniz'i Belceğiz Körfezi'ne bağlayan boğaz, doğu kesiminde kıyı dilinin sürekli uzaması, batı kesiminde ise boğaza açılan bir derenin getirdiği çökellerin oluşturduğu siltasyon nedeni ile giderek sıkışmaktadır (Resim 3.2). Ölüdeniz Lagünü'nün açık denizle bağlantısını sağlayan boğazın kıyı dili önündeki uzunluğu 125 m, genişliği yer yer 60-200 m arasındadır. Boğazın kıyı dili ile sonlanan doğu kesimi oldukça sık bir profil sergilemektedir [Ozaner ve ark., 1997].



Resim 3.2. Ölüdeniz Boğazi

Ölüdeniz Lagünü'nün Meteorolojik Özellikleri

Ölüdeniz yöresinde yazları uzun ve sıcak, kışları ılık ve yağışlı tipik Akdeniz iklimi hakimdir. En soğuk kış aylarında ortalama 10°C olan hava sıcaklığı, açık güneşli günlerde 20°C üzerine çıkar. Bahar aylarında 25-30°C olan hava sıcaklığı yaz aylarında ortalama 35°C'dir [Toparlak, 2005].

Ölüdeniz Lagünü'nün Oşinografik Özellikleri

Ölüdeniz Lagünü' nü açık denize bağlayan boğazın en derin yeri 7 m olarak ölçülmüştür. Ölüdeniz Lagünü'nün, günümüzdeki derinliği -39 metreye inen eski bir karstik çukurluk içerisinde yer alıyor olması karalaşma sürecini uzatacak olumlu bir etkidir.

Deniz suyu sıcaklığı ağustos aylarında 30° C' ye kadar çıkar. Genel olarak bu değer 26- 30° C' dir. Deniz suyu tuzluluğu ise % 36-38 arasında değişmektedir. Denizde bölgesel olarak izlenen soğuk su alanları ve düşük tuzluluktaki alanlar deniz tabanından kaynaklanan soğuk suların varlığına işaret etmektedir. En düşük tuzluluk % 36,9 ile Kıdrak Plajı açıklarında görülmektedir. Ölüdeniz' de, sudaki çözülmüş oksijen değerleri de yıl içinde çeşitli zamanlarda değişim göstermekle birlikte genel olarak 7,4-9 arası değişmektedir [Toparlak, 2005].

Deniz tabanından boşalan suların civarında ters yönlü akıntı farkı sonucu bölgeye göre, az tuzlu ve düşük sıcaklık meydana gelir. Bu alanlar, aynı zamanda kara alanından kaynaklanan kirleticilerin denize boşaldığı alanlardır.

ODTÜ' nün Ölüdeniz bölgesinde yaptığı çalışmada, deniz tabanında soğuk su kaynaklı bölgelerde ters yönlü akıntılarının varlığı saptanmıştır. Ortalama akıntı hızı genel olarak derinlikle değişmektedir. Lagünde ki en hızlı akıntılar lagün-deniz bağlantı kanalında gözlenmektedir. Bağlantı kanalında ölçülen ortalama akıntı hızı yüzeyde 9 cm/sn' dir. Lagünün kuzey batısı, akıntı bakımından en hareketsiz bölümdür, bu bölümde ortalama akıntı hızları 1,5 cm/sn' dir [Toparlak, 2005].

Ölüdeniz ile açık deniz arasındaki su sirkülasyonu dar ve sığ bir boğaz vasıtasıyla gerçekleştiği için mevsimlik derelerle lagüne taşınan çökellerin çok azı lagün dışına çıkarılabilmekte, çökellerin büyük bir bölümü lagün içerisinde birikerek Ölüdeniz' in giderek karlaşmasına neden olmaktadır. Ölüdeniz kıyı kordonunun ve lagün bağlantı kanalının hemen güneyindeki kayalık alan da, deniz ile lagün arasındaki su sirkülasyonuna engel teşkil etmektedir.

Fethiye Körfezi'nin dışında bir kıyı okuyla açık deniz rüzgarlarına karşı tamamen korunmuş olan Ölüdeniz, Akdeniz' in dünya yat turizminde en çok tanınan koyu olmakla beraber kirlilik sorunu nedeniyle, 1984 yılından itibaren yat turizmine kapatılmış ve yapılaşma yasaklanmıştır. Böylece kıyı ve yat turizmine kapanan lagün, göl turizmine hizmet vermektedir.

Durgun gibi gözüken Ölüdeniz, gözle görünmeyen üç nedenle kendini hemen her gün yenilemektedir. Bunlardan ilki, Ölüdeniz' de mevcut yoğun kaynak suyu çıkışları, dipte içeriden açık denize doğru bir akıntı meydana getirmektedir. İkincisi, bu kaynak sularının yarattığı tuz farkından dolayı açık denizden içeriye ve dışarıya devamlı bir sirkülasyon oluşmasıdır. Üçüncüsü ise gel-git etkisi ile iki-üç günde bir deniz ortalama yarım metre yükselir ve alçalır. Bu da büyük miktarda deniz suyu giriş ve çıkışı sağlamaktadır [Wikipedia, 2011].

Ölüdeniz bölgesinde son yıllarda meydana gelen yoğun yapılaşma ve turizm aktiviteleri nedeniyle kirlilik şikayetleri artmıştır. Bu kirlenme kaynakları, karasal ve denizel kirlilik olarak ikiye ayrılabilir. Karasal kaynaklı kirliliğe, evsel ve arıtma tesislerinden denize ulaşan atıklar, insan kaynaklı meydana gelen kirlilikler örnek verilebilir. Deniz kaynaklı kirliliğe örnek olarak da günlük tur ve yatların atıkları nedeniyle oluşan kirlilik verilebilir. Bölgede kirlenme sorununun baş göstermesi üzerine üniversiteler ve yerel kurumlar tarafından çeşitli projeler gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak, tüm ölçümler göz önüne alınarak yapılan değerlendirmede, Ölüdeniz' in kirlenme tehdidi altında olduğu görülmektedir. Bu kirlenme özellikle yaz

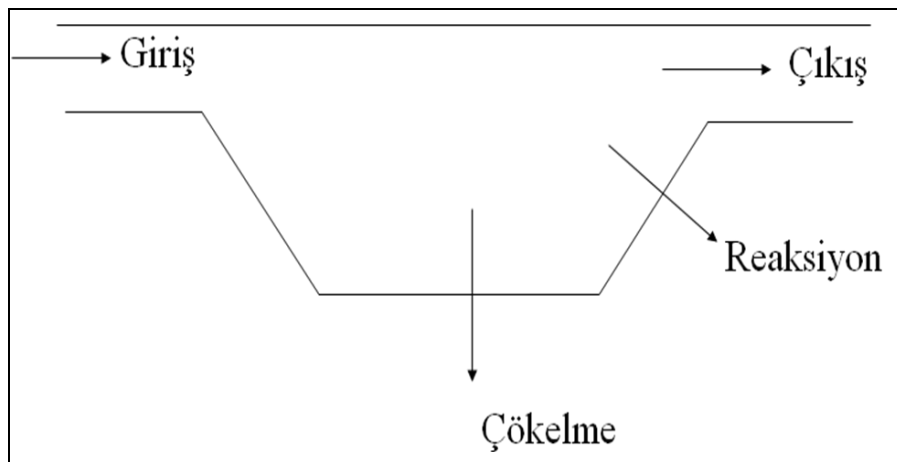
aylarında en yüksek değerlere ulaşmaktadır. Kirlenme nedenlerinin en önemlisini insan kaynaklı karasal kirliliğin yani mikrobiyolojik kirliliğin teşkil ettiği gözlenmiştir. Kirlenme daha çok yaz aylarında, turizmin en yoğun olduğu dönemlerde meydana gelmektedir. Karasal kirlilik probleminin çözülmesi için, bölgedeki otellerin en kısa zamanda bir kanalizasyon sistemine bağlanarak, atıkların merkezi arıtma sistemi ile bertaraf edilmesi sağlanmalıdır.

4. ÖLÜDENİZ LAGÜNÜ'NDE SU DEĞİŞİM SÜRESİNİN (FLUSHING TIME) MODELLENMESİ

Lagünler çevresel etkilere karşı çok duyarlı alanlar oldukları için lagün içi hidrodinamiğinin çok iyi anlaşılması, uzun süreler içerisinde yaşayabilecekleri değişimlerin tahmin edilmesi ve oluşabilecek problemlere karşı gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir. Türkiye kıyılarında yer alan çok sayıdaki kıyı lagünleri önemli ekosistemlerdir. Lagün-deniz etkileşiminin hidrodinamik özelliklerinin ve doğal denge karakteristiklerinin belirlenmesi, lagünlerin kendilerini yenileme sürelerinin tespit edilmesi, lagün içi çevrinti düzenlerinin anlaşılması özellikle su kalitesi açısından büyük önem taşımaktadır. Çalışma alanı olarak seçilen Ölüdeniz Lagünü'nün Özel Çevre Koruma alanı olması bu önemi bir kat daha artırmaktadır. Bu çalışmada 3 farklı model kullanılmıştır.

4.1. Kütleli Su Değişim Modeli (Zero Line Model)

Lagünün hidrodinamik yapısının araştırılması ekosistemin iyileştirilmesi ve çevre yönetim çalışmalarında doğrudan karar alma aşaması için katkı sağlayacağından önemlidir. Bu amaçla yapmış olduğumuz çalışmada, Ölüdeniz Lagünü'ne su giriş çıkışları ve bunların kütle dengesi dikkate alınarak su değişim süresi modellenmesi yapılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Lagündeki kütle denge şeması

Herhangi bir zaman için sistemdeki kütle dengesi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$V \frac{dC}{dt} = W(t) - QC - kVC - v_{\phi} A_s C \quad (4.1)$$

Eş. 4.1' deki ifadeler aşağıdaki şekilde açıklanabilir.

$V \frac{dC}{dt}$: Herhangi bir t anında sistemdeki kütle değişimi (kg/gün),

$W(t)$: Herhangi bir t anında sisteme olan tüm kütle girişleri (kütle yükleme oranı)
(kg/gün),

QC : Herhangi bir t anında sistemden kütle çıkışları (kütle transfer oranı)
(kg/gün),

kVC : Herhangi bir t anında sistemde reaksiyona giren kütle miktarı (kg/gün),

$v_{\phi} A_s C$: Herhangi bir t anında sistemde çökelen kütle miktarı (kg/gün).

Eş. 4.1'deki her bir ifade aşağıda incelenmiştir.

Sistemdeki Kütle Değişimi ($V \frac{dC}{dt}$):

Herhangi bir t anında sistemdeki kütle değişimi $\frac{\Delta M}{\Delta t}$ şeklinde gösterilebilir. Kütlelerin

konsantrasyonla ilişkisini aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$m = VC \quad (4.2)$$

Eş. 4.2' de;

m: Kirletici kütlesi (kg),

V: Sistemin hacmi (m^3),

C: Kirletici konsantrasyonu (bac/ml)

ile ifade edilir. $\frac{\Delta M}{\Delta t}$ ifadesinde Eş. 4.2 yerine yazılacak olursa, herhangi bir t anında sistemdeki kütle değişimi $V \frac{dC}{dt}$ şeklinde yazılabilir.

Sistemdeki Tüm Kütle Girişleri (W(t)) :

Bir lagüne kütle girişleri farklı kaynaklarla veya akarsularla olmaktadır. Mesela kütle girişi bir arıtma tesisinin atık sularıyla ya da lagüne bağlantısı olan bir akarsuyla olabilir. Lagüne olan tüm girişler bu kısımda yer almalıdır (Eş. 4.3).

$$W(t) = Q.C_{in}(t) \quad (4.3)$$

Eş. 4.3'te;

W(t) : Kütle yükleme oranı (kg/gün),

Q : Sisteme giren tüm su kaynaklarının hacimsel akış oranı (m³/gün),

C_{in}(t) : Kaynakların ortalama giriş konsantrasyonu (kg/m³) olarak gösterilir.

Sistemden Kütle Çıkışı (Q.C)

Şekil 4.1' de gösterilen basit sistemde kütle, çıkış akımı ile sistemden ayrılır. Kütle transfer oranı, hacimsel akış oranı Q ve çıkış konsantrasyonu C_{out} ile belirlenir. Lagünde well-mixed kabulü yapıldığında, çıkış konsantrasyonu lagün içindeki konsantrasyona eşit olarak tanımlanır. Bu durumda C_{out}=C olur.

Reaksiyona Giren Kütle Miktarı (k.V.C)

Lagün içerisinde kirlilikten ötürü reaksiyona giren kütle miktarı aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$k_m = kVC \quad (4.4)$$

Eş. 4.4' e göre;

k: Birinci dereceden reaksiyon katsayısı (1/gün),

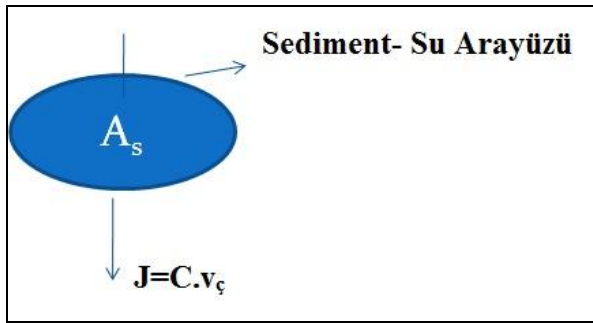
m: Kirletici kütlesi (kg),

C: Kirletici konsantrasyonu (bac/ml),

V: Sistemin hacmidir (m^3).

Sistemde Çökelen Kütle Miktarı

Çökme kayıpları, sediment-su ara yüzünün yüzey alanının kütle akışı ile formüle edilebilir. Bu ifade Şekil 4.2'de şematik halde gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Sediment-su arayüzü alanı ile kütle akışının şematik gösterimi

Bu durumda;

$$\text{Çöken Kütle Miktarı} = k_s VC \quad (4.5)$$

$$\text{Çöken Kütle Miktarı} = A_s J = A_s C v_\ç \quad (4.6)$$

eşitlikleri elde edilir.

Burada;

$v_\ç$ = Çökme hızı (m/gün),

k_s = Birinci dereceden oturma oranı sabiti ($k_s = v_\ç/H$)(1/gün),

A_s = Sedimentlerin yüzey alanı (L^2),

J = Birim zamanda birim alanda çökelen kütle miktarı (kg/m^2 gün)

olarak ifade edilebilir.

Özümseme Kapasitesi (Assimilation Capacity):

Eğer sistem, yeterli bir süre sabit W yüklemesiyle yüklenirse “kararlı hal” denilen dinamik denge durumuna ulaşacaktır. Yani matematiksel olarak ifade edilecek olunursa, $dC/dt=0$ 'dır. Bu ifade, Eş. 4.1'de yerleştirilirse denklem aşağıdaki duruma gelecektir;

$$C = \frac{W}{Q + kV + v_{\phi} A_s} \quad (4.7)$$

$$C = \frac{1}{a} W \quad (4.8)$$

$$a = Q + kV + v_{\phi} A_s \quad (4.9)$$

Formüllerde;

a : Özümseme kapasitesi (assimilation capacity) ($m^3/gün$),

W : Kütle yükleme oranı (birim zamanda boğazdan lagüne giren kirletici miktarı) ($kg/gün$),

C : Birim hacimden geçen kirletici miktarı (kirletici konsantrasyonu) (bac/ml),

Q : Sisteme giren tüm su kaynaklarının hacimsel akış oranı ($m^3/gün$),

k : Birinci dereceden reaksiyon katsayısı ($1/gün$),

V : Sistemin Hacmi (m^3),

v_{ϕ} : Çökme hızı ($m/gün$),

A_s : Sedimentlerin yüzey alanı (L^2) ile ifade edilir.

Özümseme kapasitesi, bir su kütlelerinin mevcut yapısını sürdürülebileceği düzeyde (örneğin gübre, kirletici, atık su vb ile) yüklenebilme yeteneğidir. Özümseme kapasitesinin hesaplanması, istenilen konsantrasyon seviyesi ve kalitesini elde etmek için gerekli yüklemenin tahminini sağlar.

Su Değişim Süresi (Flushing Time):

Kıyı sistemlerinde gelgit, rüzgar etkisi ve yoğunluk farklılaşması gibi nedenlerle oluşan çevrıntiler, su alanı ile açık deniz arasındaki bağlantı kanalı aracılığı ile su değişimi (flushing) gerçekleştirirler. Açık denizden kıyıya doğru esen rüzgar etkisi ile oluşan su değişiminde, su üst katmanlarda açık denizden su alanına hareket ederken, alt katmanlarda su alanından açık denize doğru hareket etmektedir. Su kalitesinin genelde iyi olmadığı yarı kapalı ya da kapalı su alanları, bu su değişimi ile temizlenmektedir. Ancak, su alanındaki su hacminin açık deniz suyu ile değişmesi belli bir zaman almaktadır. Su hacminin %99'unun değişmesi için gereken bu zamana "su değişimi süresi" (flushing time) denir. Su değişimi süresi bir çok etkene bağlıdır. Alanın kapalı, yarı kapalı ya da açık olması en belirleyici etkenlerden biridir. Kıyı alanının kapalılık seviyesinin belirlenmesi için bir parametre önerilmiştir (Eş. 4.10).

$$E.I = \frac{\sqrt{A} D_{p1}}{bD_{p2}} \quad (4.10)$$

Eş. 4.10'daki değerler;

E.I : Kapalılık indeksi,

A : Kapalı alanın su yüzeyinin alanı (m²),

b : Giriş genişliği (m),

D_{p1}: Kapalı alanın ortalama su derinliği (m),

D_{p2}: Girişteki ortalama su derinliği (m)

olarak ifade edilir. Kapalılık indeksi hesaplandıktan sonra Çizelge 4.1 kullanılarak su alanının kapalılık durumu belirlenir.

Çizelge 4.1. Su alanının kapalılık seviyesinin belirlenmesi [Murakami, 1993]

<i>İndex</i>	<i>Tanım</i>
E.I.>2	Kapalı su alanı
1<E.I.<2	Yarı-kapalı su alanı
E.I.<1	Açık su alanı

Bir su alanının kapalı, yarı kapalı ya da açık olması su değişim süresini etkileyen en önemli etkenlerdendir. Bunun için öncelikli olarak, çalışma alanımız olan Ölüdeniz Lagünü'nün kapalı, yarı kapalı ya da açık olduğunu belirlememiz gerekmektedir. Bunun için de Ölüdeniz Lagünü'ne ait verilerden yola çıkarak Lagün'ün kapalılık endeksini bulmamız gerekmektedir. Ölüdeniz Lagünü'ne ait bazı veriler aşağıda verilmiştir.

$$A= 600000 \text{ m}^2$$

$$b= 60 \text{ m}$$

$$D_{p1}= 16,7 \text{ m}$$

$$D_{p2}= 7 \text{ m}$$

Bu değerler Eş. 4.10'da yerine yerleştirildiğinde Ölüdeniz Lagünü'nün kapalılık endeksi (E.I);

$$E.I = \frac{\sqrt{600000 \cdot 16,7}}{60,7}$$

E.I = 30,8 olarak bulunur. Çizelge 4.1'e göre, E.I >2 olduğu için Ölüdeniz Lagünü, kapalı su alanı sınıfına girmektedir.

Kapalı su alanları gel-git, yoğunluk farklılaşması ya da rüzgar kuvveti nedeniyle açık denizle su alışverişinde bulunmaktadır.

Ölüdeniz Lagünü'ne su girişi boğazdan olmaktadır. Boğazın genişliği (b) 60 m ve ortalama alçak seviyeden ortalama yüksek seviyeye dalga yüksekliği (R) 0,5 metredir. Lagüne su girişinin olduğu boğaz kesitinin dikdörtgen olduğu kabulü yapıldığında, kanaldaki akıntı hızı da 9 cm/sn olarak bilindiğine göre kanaldan lagüne su girişinin olduğu kesit alanı;

$$A_k = b \frac{R}{2} = b\mu \quad (4.11)$$

Eş. 4.11'de;

A_k : Kanaldan lagüne su girişinin olduğu kesit alanı (m^2),

b: Boğazın genişliği (m),

R: Ortalama alçak seviyeden ortalama yüksek seviyeye dalga yüksekliği (m),

μ : Su düzeyi değişimi (R/2) (m)

olarak ifade edilebilir. Eş. 4.11'den, kanaldan Ölüdeniz Lagünü'ne su girişinin olduğu kesit alanı;

$$A_k = 60 \frac{0,5}{2}$$

$A_k = 15 m^2$ olarak bulunur.

Lagüne giren suyun debisi Eş. 4.12 ile ifade edilebilir.

$$Q = A_k v_b \quad (4.12)$$

Bu denklemde;

Q: Lagüne giren suyun debisi ($m^3/gün$),

A_k : Kanaldan lagüne su girişinin olduğu kesit alanı (m^2),

v_b : Boğazdaki akıntı hızı (m/gün)

olarak ifade edilir. Eş.4.12'den hareketle Lagün'e giren suyun debisi,

$$Q = 15.0,9$$

$$Q = 1,35 \text{ m}^3/\text{sn} = 116640 \text{ m}^3/\text{gün} \text{ olarak bulunur.}$$

Parçalanabilir atıklar için birinci dereceden bozulma oranı Eş. 4.13'ten elde edilebilir.

$$\frac{dC}{dt} = -kC \quad (4.13)$$

Eş. 4.13'ten yola çıkarak başlangıç anından herhangi bir t zamanına kadar konsantrasyondaki değişim aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\int_{C_0}^{C_t} \frac{dC}{C} = -\int_0^t k dt \quad (4.14)$$

$$\ln C_t - \ln C_0 = -kt \quad (4.15)$$

$$\ln \frac{C_t}{C_0} = -kt \quad (4.16)$$

$$\frac{C_t}{C_0} = e^{-kt} \quad (4.17)$$

Eşitliklerde;

k: Bozulma oranı katsayısı (yok olma oranı sabiti) (1/gün),

dC/dt: Kirlilik konsantrasyonundaki azalma oranı,

C₀: t=0 anındaki bakteri konsantrasyonu (bac/ml),

C_t : Herhangi bir t anındaki bakteri konsantrasyonu (bac/ml) olarak ifade edilir.

Aynı zamanda;

C(t=0)= C₀ ve C(t>0)<C₀' dır.

Su alanındaki bakterilerin ölerek, %90 oranında azalması için gereken süre T_{90} olarak isimlendirilir ve bu süre Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre, Akdeniz kıyıları için 1,5 saattir. Aynı zamanda, $t = T_{90}$ anı için C_t/C_0 değeri 0,1' dir.

Eş. 4.17'de bu değerler yerine konulduğunda k (yok olma oranı sabiti) değeri;

$$0,1 = e^{-kT_{90}}$$

$$\ln 0,1 = -kT_{90} \ln e$$

$$-2,3 = -kT_{90}$$

$$k = \frac{2,3}{T_{90}}$$

$$k = 4,26 \cdot 10^{-4} (1/\text{sn}) = 36,8 (1/\text{gün})$$

olarak bulunur. Çalışmalarımızda çökelmeyi ihmal edeceğimiz için Eş. 4.9;

$$a = Q + k \cdot V \quad (4.18)$$

halini alacaktır. Eş. 4.18'deki değerler;

a: Özümseme kapasitesi ($\text{m}^3/\text{gün}$),

Q: Lagüne giren suyun debisi ($\text{m}^3/\text{gün}$),

V: Lagündeki suyun hacmi (m^3)

şeklinde ifade edilir. Bulduğumuz k değerini Eş. 4.18'de yerine koyulacak olunursa özümseme kapasitesi;

$$a = 1,35 + 4,26 \cdot 10^{-4} \cdot 6224702$$

$$a = 2653,073 (\text{m}^3/\text{sn}) = 2,29 \cdot 10^8 (\text{m}^3/\text{gün}) \text{ olarak bulunur.}$$

Suyun Lagün İçinde Kalma Süresi (Residence Time):

Suyun bir deniz ya da gölde yenileninceye kadar kalma süresidir. Bu süre, su giriş çıkışı olan küçük bir havuzda bir iki gün olabilecekken büyük göl ya da iç denizde birçok yüzyıla kadar uzayabilir. Suyun lagün içerisinde kalma süresi (t_w), Eş. 4.19 ile ifade edilebilir.

$$t_w = \frac{V}{Q} \quad (4.19)$$

Eş. 4.19'da;

t_w : Suyun lagün içerisinde kalma süresi (gün),

V : Lagündeki suyun hacmi (m^3),

Q : Lagün içerisine giren suyun debisi ($m^3/gün$)

olarak gösterilir. Bu durumda Ölüdeniz Lagünü için t_w değeri,

$$t_w = \frac{6224702}{116640}$$

$t_w = 53,4$ gün= 1281 saat olarak bulunur.

Zamansal Açıdan Kirliliğin Azalması:

Kütlenin korunumu için yazdığımız Eş. 4.1'de eşitliğin her iki tarafı V 'ye bölünürse;

$$\frac{dC}{dt} = \frac{W(t)}{V} - \frac{Q}{V}C - kC - \frac{v_s}{H}C \quad (4.20)$$

eşitliği elde edilir. Bu etapta λ ile gösterilen karakteristik değer denklemde aşağıdaki şekilde ifade edilir (Eş. 4.21), (Eş. 4.22).

$$\frac{dC}{dt} + \lambda C = \frac{W(t)}{V} \quad (4.21)$$

$$\lambda = \frac{Q}{V} + k + \frac{v_s}{H} \quad (4.22)$$

Eşitliklerde;

λ : Karakteristik değer (1/t) 'dir.

Ölüdeniz Lagünü için çökme ihmal edilerek işlemler yapılmış olup, λ değeri;

$$\lambda = \frac{116640}{6224702} + 36,8$$

$\lambda = 36,82$ (1/gün) olarak hesaplanmıştır.

Genel Çözüm:

$t=0$ anında $C=C_0$ 'dır ve $W(t)=0$ olduğunda, Eş. 4.21 düzenlenecek olursa denklem aşağıdaki hali alacaktır (Eş. 4.23).

$$C = C_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (4.23)$$

Eş. 4.23'te;

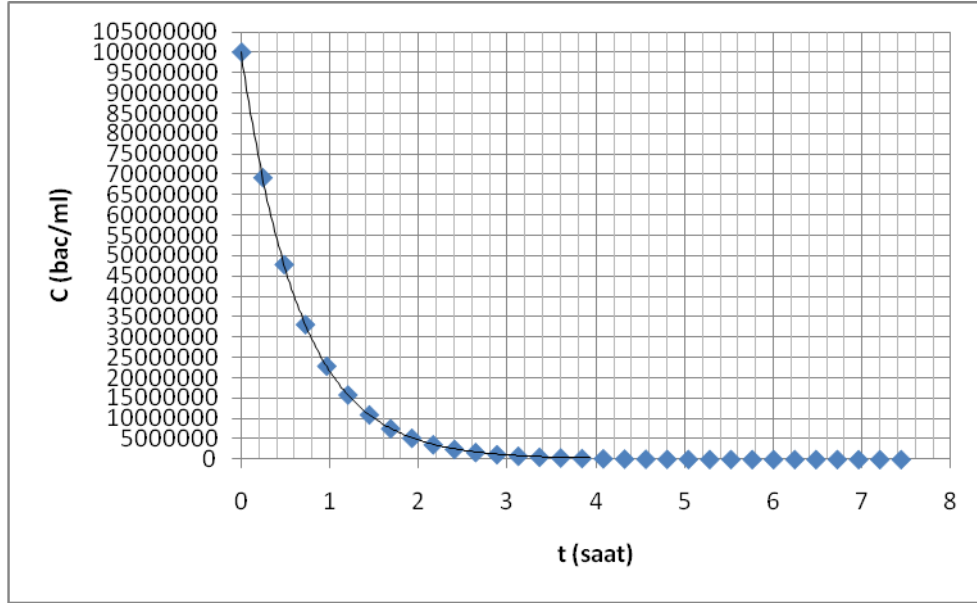
C: Herhangi bir t anındaki bakteri konsantrasyonu (bac/ml),

C_0 : $t=0$ anındaki bakteri konsantrasyonu (bac/ml),

λ : Karakteristik değer (1/gün),

t: Zaman (gün)

olarak ifade edilir. Denklem, atıkların uzaklaşmasıyla birlikte lagündeki konsantrasyonun zamanla nasıl değiştiğini gösterir. Ölüdeniz Lagünü'nde konsantrasyonun zamanla değişimi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Ölüdeniz Lagünü'nde konsantrasyon değerinin zamanla değişimi

Şekil 4.3' te, Eş. 4.23 genel çözüm denkleminde hareketle $C_0=10^8$ bac/ml başlangıç konsantrasyon değerinin zamanla değişimi görülmektedir. $t=0$ anında $C=C_0$ 'dır. Zamanla Lagün içerisindeki başlangıç konsantrasyon değerinin, flushing etkisiyle 3 saat sonra 10^6 bac/ml değerine, 7,5 saat sonra da 10^3 bac/ml değerine düştüğü gözlemlenmiştir.

Tepki Süresi (Response Time):

Tepki süresi olarak adlandırdığımız parametre grubu, lagünün temizlenmesinin belli bir yüzdesini tamamlaması için geçen zamanı temsil eder. Örneğin, %50 tepki süresi, konsantrasyonun başlangıç değerinin %50'sinin düşmesini gerektiren süredir. Bu ifade sayısal olarak Eş. 4.23'te yerine yazılacak olunursa %50 tepki süresi;

$$0,50C_0 = C_0 e^{-\lambda t_{50}}$$

$$0,50 = e^{-\lambda t_{50}}$$

$$\ln 0,50 = -\lambda \cdot t_{50} \cdot \ln e$$

$$t_{50} = \frac{0,693}{\lambda}$$

$$t_{50} = 0,019 \text{ gün}$$

olarak bulunur. Bu değer de konsantrasyonun başlangıç değerinin %50'sinin düşmesini gerektiren süredir. Aynı şekilde konsantrasyonun başlangıçtaki değerinin %75, %90, %95 ve % 99' unun azalmasını gerektirecek süreler de hesaplanabilir. Bu durumda t_{50} , t_{75} , t_{90} , t_{95} ve t_{99} tepki süreleri aşağıdaki şekilde bulunmuştur.

$$t_{50} = \frac{0,693}{\lambda}, t_{75} = \frac{1,39}{\lambda}, t_{90} = \frac{2,3}{\lambda}, t_{95} = \frac{3}{\lambda}, t_{99} = \frac{4,6}{\lambda}$$

Tepki süresi kavramını genel bir formülle aşağıdaki şekilde belirtilebilir (Eş. 4.24).

$$t_{\phi} = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{100}{100 - \phi} \quad (4.24)$$

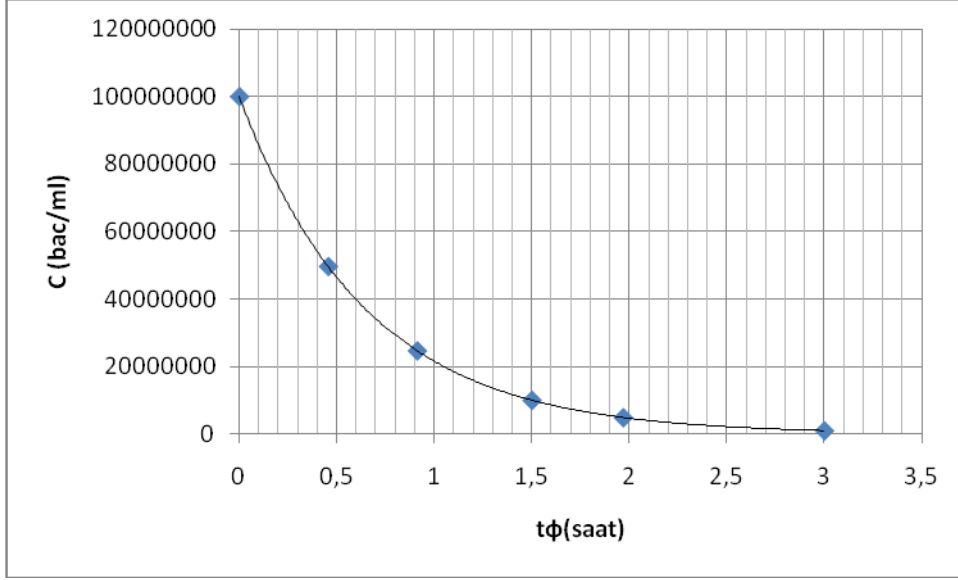
t_{ϕ} : Bakteri konsantrasyon değerinin başlangıçtaki bakteri konsantrasyonunun % ϕ azalmasını gerektiren süre (saat)

Ölüdeniz Lagünü için çeşitli tepki sürelerindeki konsantrasyon oranlaması aşağıdaki çizelgede gösterilmektedir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Ölüdeniz Lagünü için C/C_0 - t/λ değerleri

ϕ	C/C_0	$t_{\phi} (t/\lambda) (gün)$
0	1	0
50	0,5	0,019
75	0,25	0,038
90	0,1	0,0625
95	0,05	0,082
99	0,01	0,125

Ölüdeniz Lagünü için Çizelge 4.2' de verilen tepki sürelerindeki konsantrasyon değişimi Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. Ölüdeniz Lagünü için C- tφ değerlerinin grafiksel gösterimi

Şekil 4.4, Eş. 4.23 genel çözüm denkleminde hareketle $C_0=10^8$ bac/ml başlangıç konsantrasyon değerinin, t_{50} , t_{75} , t_{90} , t_{95} ve t_{99} tepki süreleri için zamanla değişimini göstermektedir.

Özel Çözümler

Bu bölümde yükleme fonksiyonlarının özel formları için ayrıntılı çözümleri şekillendireceğiz. Bu çözümler, su kalitesi modellemesinde bize büyük bir yarar sağlar. Aynı zamanda oluşturduğumuz bu modellerle gelecekte oluşabilecek etkileri tahmin edebiliriz. İdealize edilmiş bu yükleme fonksiyonları bir modelin nasıl çalıştığını daha iyi anlamamızı sağlar. Ölüdeniz Lagünü'ne anlık ve sürekli yüklemeler yaparak, bu değişik senaryolar üzerinde duralım.

Anlık Yükleme (Impulse Loading):

Bu yükleme durumunda sisteme kirletici yüklemesi anlık olarak yapılmakta ve zamanla başlangıç kirletici konsantrasyon değerinin zamanla değişimi gözlenmektedir. Bir su bünyesine kütlenin anlık yüklenmesi delta fonksiyonu ($\delta(t)$) ile temsil edilebilir. Bu da Eş. 4.25 ile ifade edilebilir.

$$W(t) = m.\delta(t) \quad (4.25)$$

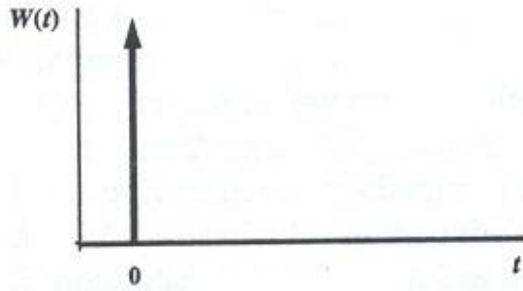
Eş. 4.25' deki değerler;

$W(t)$: Herhangi bir t anında sisteme giren kirletici miktarı (kg/gün),

m : Kirletici kütlesi (kg),

$\delta(t)$: Bir su bünyesine kütlenin anlık yüklenmesi (delta fonksiyonu)

olarak ifade edilir. Şekil 4.5' te kapalı su alanına kirleticinin anlık bırakılması grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Anlık yüklemenin grafiksel olarak ifadesi

Eş. 4.25 ifadesi Eş. 4.21 denkleminde yerleştirilirse Eş. 4.26 elde edilir.

$$\frac{dC}{dt} + \lambda C = \frac{m.\delta(t)}{V} \quad (4.26)$$

Bu durum için özel çözüm (Eş.4.27) ;

$$C = \frac{m}{V} \cdot e^{-\lambda t} \quad (4.27)$$

ile ifade edilir. Eş. 4.27' de;

C: Konsantrasyon değeri (bac/ml),

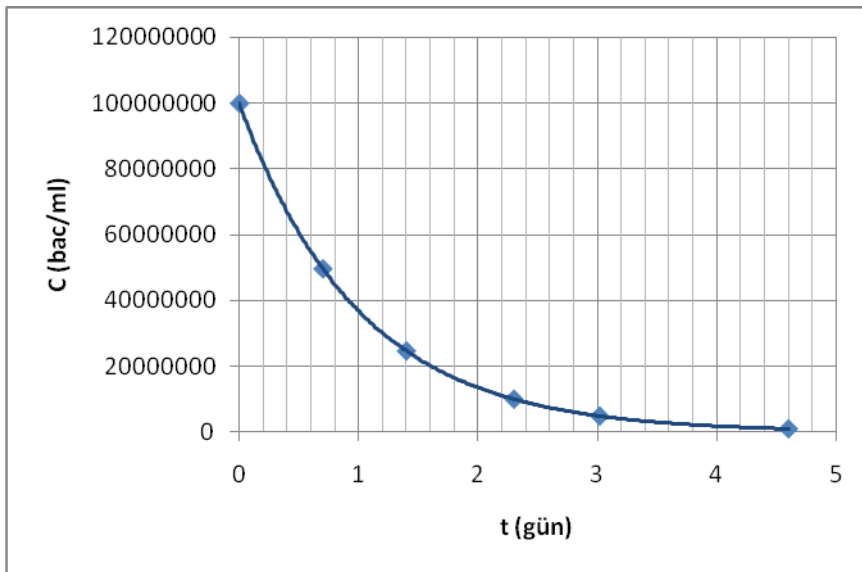
m: Kirletici kütlesi (kg),

V: Sistemin hacmi (m³),

λ : Karakteristik değer (1/gün)

şeklinindedir. Denklemden de görüldüğü gibi, λ 'nın büyümesiyle konsantrasyon üssel olarak azalma eğilimindedir.

Eş. 4.27 Özel çözümü, çeşitli tepki süreleri için (t_{50} , t_{75} , t_{90} , t_{95} , t_{99}) Ölüdeniz Lagünü'ne uyarlandığında, Lagün içerisindeki konsantrasyonun zamanla değişimi Şekil 4.6' da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Anlık yükleme uygulanan Ölüdeniz Lagünü'nde çeşitli tepki sürelerinde (t_{50} , t_{75} , t_{90} , t_{95} , t_{99}) konsantrasyonun değişimi

$t=0$ anındaki konsantrasyon değeri C_0 , 10^8 bac/ml olarak alınmıştır. Grafikte de görüldüğü gibi, lagüne kirletici anlık olarak bırakıldığında, lagündeki bu başlangıç konsantrasyon değeri, lagündeki sirkülasyon sayesinde zamanla bir azalma gösteriyor. Grafikte t_{50} , t_{75} , t_{90} , t_{95} , t_{99} tepki sürelerindeki konsantrasyon değişimleri görülmektedir. Bu şekilde konsantrasyonun başlangıçtaki değerinin %50, %75, %90, %95, %99' unun azalmasını gerektirecek sürelerle karşılık gelen konsantrasyon değerlerini grafikten (Şekil 4.6) okuyabiliriz. Örneğin, 10^8 bac/ml olan başlangıç konsantrasyonu değerinin %99' unun azalmasını gerektirecek süre yaklaşık olarak 4,6 gündür (110 saat) diyebiliriz.

Sürekli Yükleme

Sisteme, kirletici yüklenmekte ve bu yükleme belli bir zaman aralığında devam etmektedir (Şekil 4.7). Bu durumda konsantrasyonun zamanla değişimi Eş. 4.28 ile ifade edilir.

$$C = \frac{W}{\lambda V} \cdot (1 - e^{-\lambda t}) \quad (4.28)$$

Eş. 4.28' de;

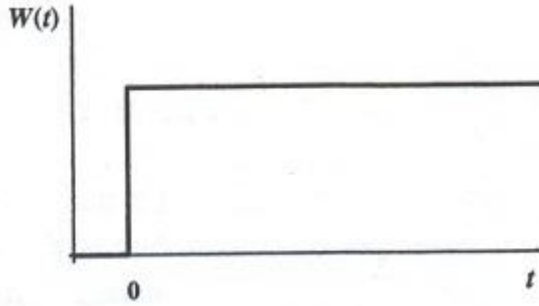
C: Konsantrasyon değeri (bac/ml),

W(t): Herhangi bir t anında sisteme giren kirletici miktarı (kg/gün),

V: Sistemin hacmi (m^3),

λ : Karakteristik değer (1/gün)

olarak ifade edilir. Sürekli yükleme için W(t)-t grafiği Şekil 4.7' de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Sürekli yüklemenin grafiksel olarak ifadesi

Ölüdeniz Lagünü'ne konsantrasyonu 10^8 bac/ml olan kirletici sürekli olarak yüklenmiş olsun. Bu durumda;

$$\lambda = \frac{Q_{\text{atık}}}{V} + k$$

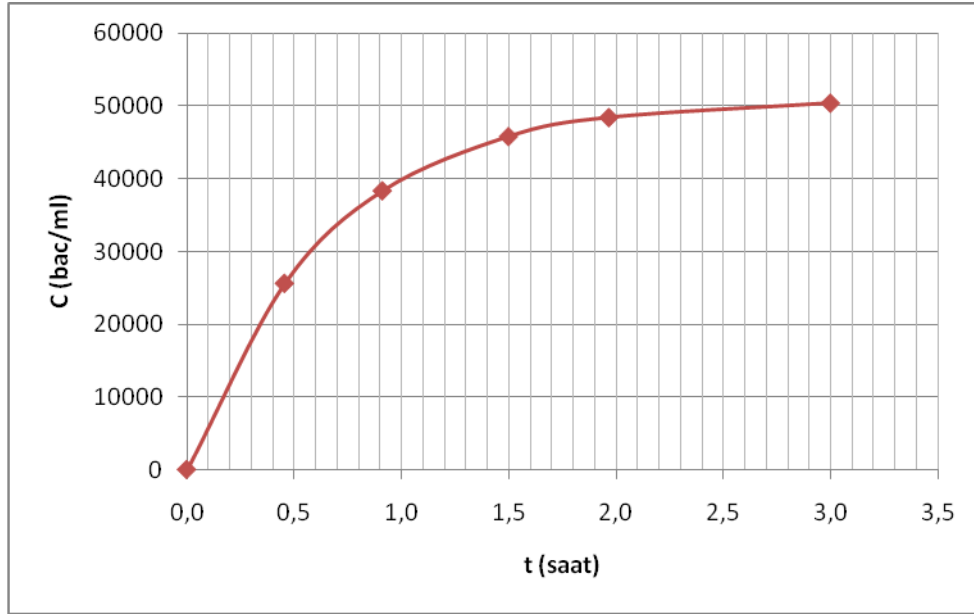
$\lambda = 36,82$ (1/gün) olarak bulunur.

Değerler Eş. 4.28'de yerleştirilirse;

$$C = \frac{116640 \cdot 10^8}{36,82 \cdot 6224702} (1 - e^{-36,82 \cdot t})$$

$C = 50891(1 - e^{(-36,82 \cdot t)})$ eşitliği elde edilir.

Bu denklemi kullanarak, çeşitli tepki süreleri için (t_{50} , t_{75} , t_{90} , t_{95} , t_{99}) konsantrasyonun değişimi (Şekil 4.8)'de görülmektedir.



Şekil 4.8. Sürekli yükleme uygulanan Ölüdeniz Lagünü'nde çeşitli tepki sürelerinde (t_{50} , t_{75} , t_{90} , t_{95} , t_{99}) konsantrasyonun değişimi

Grafikte de görüldüğü gibi, lagüne kirletici yüklemesi yapılıyor ve kirletici belli bir süre devamlı olarak bırakıldığında, lagündeki konsantrasyon değerinde zamanla bir artış gözleniyor. Bunun nedeni kirletici yüklemesi yapıldıktan sonra bu yüklemenin bir müddet daha devam etmesidir. Lagüne sürekli kirletici yüklemesi yapıldığında t_{50} , t_{75} , t_{90} , t_{95} , t_{99} tepki sürelerindeki konsantrasyon değişimleri Şekil 4.8' de görülmektedir. Sürekli yükleme yapıldıktan yaklaşık 3 saat sonra Lagün içerisindeki konsantrasyon değerinin kararlı hale ulaştığı gözlemlenmiştir.

4.2. Tek Boyutlu Su Değişim Modeli

Zamanla azalmayan, korunan bir kirletici düşünülmüştür. Hesaplarda başlangıçtaki kirletici derişimi C_0 alınmıştır. Su alanına kirletici girişi sabit bir oran, P , ile sürmektedir. Model tek boyutlu olduğu için kirletici derişiminin yatayda ve düşeyde değişmediği kabul edilmektedir. Bu durum su alanı içerisinde her zaman tam karışım olduğu kabulünü getirmektedir. Kapalı veya yarı kapalı bir su alanındaki kirletici kütlesinin korunumu şöyle ifade edilmektedir;

$$\frac{dC}{dt} = -\left(k_p + \frac{Q}{V}\right)C + \frac{P}{V} \quad (4.29)$$

Eşitlikte;

C: Herhangi bir andaki kirletici derişimi,

k_p : Kirleticinin yok olma hızı,

Q: Giren su hacmi (debi),

V: Alandaki su hacmidir.

Su değişiminde gel-git etkisi göz önüne alınır, kirletici kütlesi korunum denklemleri Şu hale gelir:

$$\frac{dC}{dt} = -k_p C + \frac{P}{V} \quad nT_w \leq t \leq \left(n + \frac{1}{2}\right)T_w \dots \text{git zamanı} \quad (4.30)$$

$$\frac{dC}{dt} = -\left(k_p + \frac{Q}{V}\right)C + \frac{P}{V} \quad \left(n + \frac{1}{2}\right)T_w \leq t \leq (n+1)T_w \dots (\text{gel zamanı}) \quad (4.31)$$

Eşitlikte;

T_w : Gel-git dalga dönemi,

n: Pozitif bir tamsayı,

$t=0, T, 2T, \dots$: Ortalama yüksek gel-git seviyesinin süresidir (ya da cezirin başlangıcı).

Gel-gittteki su girişı Q ve su hacmi V'nin, zamanla değişimi Şöyle belirlenmiştir:

$$Q = -\frac{1}{2} A_m R w \sin(wt) \quad (4.32)$$

$$V = V_m + \frac{1}{2} A_m R \cos wt \quad (4.33)$$

Eşitlikte;

A_m : Ortalama su seviyesindeki yüzey alanı;

V_m : Ortalama gel-git seviyesindeki hacim;

R : Gel-git aralığı (ortalama alçak seviyeden, ortalama yüksek seviyeye)

$$w = \frac{2\pi}{T_w} \quad (4.34)$$

olarak ifade edilir.

Yüksek gel-git anındaki, n gel-git devri sonraki kirlitici derişiminin hesaplanmasında kullanılan eşitlik:

$$C_n = a^n C_o + \frac{b(1-a^n)}{1-a} C_a \quad (4.35)$$

Eşitlikteki:

$$a = \frac{M-1}{M+1} e^{-kT} \quad (4.36)$$

$$b = \frac{2}{kT} \left[\frac{M}{M+1} \left(1 - e^{-\frac{kT}{2}} \right) - a \left(1 - \frac{k^2}{M(k^2 + w^2)} \right) + a e^{\frac{kT}{2}} \left(1 + \frac{k^2}{M(k^2 + w^2)} \right) \right] \quad (4.37)$$

$$M = \frac{2V_m}{A_m R} = 2 \frac{\bar{h}}{R} \quad (4.38)$$

$$C_a = \frac{PT}{2V_m} \quad (4.39)$$

Eşitliklerde;

\bar{h} : Ortalama su derinliği;

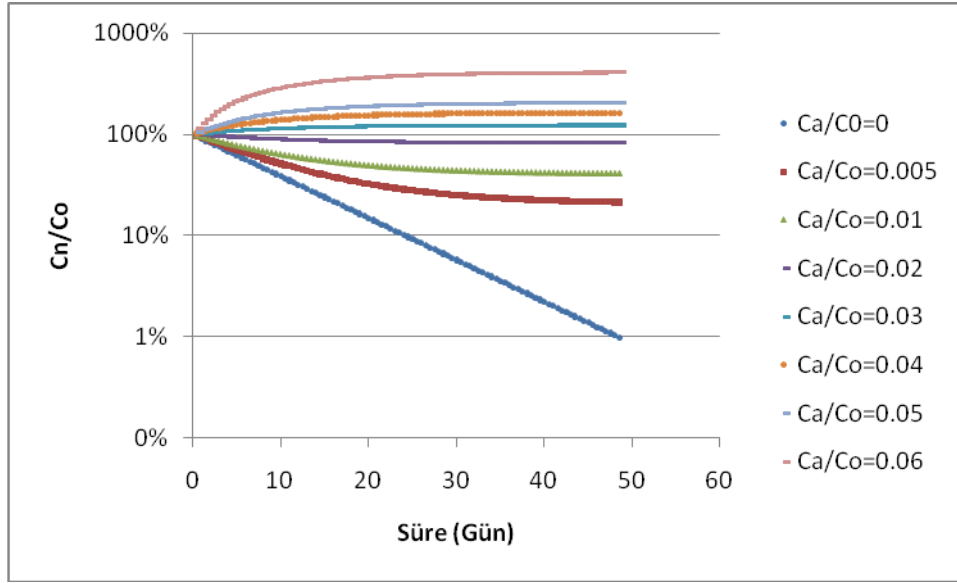
M: Su değişim parametresidir.

Eğer kirletici madde korunan türden ise, o zaman $k = 0$ olur ve C_n eşitliği değişmez.

Ancak a ve b parametreleri şöyle tanımlanır:

$$a = \frac{M-1}{M+1} ; \quad b = \frac{M \left(1 + \frac{M-1}{M+1} \right)}{M+1} \quad (4.40)$$

Yukarıda tanımlanmış olan tek boyutlu model Ölüdeniz Lagünü'ne uygulanmıştır. Model, gel-git ile beklenen su değişimi derecesine, hızlı bir tahmin sağlamaktadır. Lagün'ün ortalama derinliği 16,7 m ve yüzey alanı yaklaşık 600 000 m² 'dir. Ortalama gel-git aralığı yaklaşık 0,50 metredir. Su değişim parametresinin değeri 42 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.9. Farklı oranlarda kirletici eklenmesi ile kirletici derişiminin zamana bağlı değişimi

Lagün'e kirletici girişi olmadığındaki durum ($C_a/C_o = 0$) Şekil 4.9'da görölmektedir. Lagün'deki kirletici miktarının sadece gel-git akıntısı ile %99 oranında temizlenmesi, başka bir deyişle C_n/C_o oranının % 1 olması, 48 gün sürmekte, 97 gel-git devrine ihtiyaç duymaktadır. Eğer lagün suyuna kirletici girişi devam ederse, Lagün'ün temizlenme süresi daha da uzamaktadır. Kirletici girişinin oranı $C_a/C_o = \%1$ olduğunda; her zaman $C_n = C_o$ olmaktadır. Şekilden de görüldüğü üzere, $C_a/C_o > \%2,4$ olduğu bütün değerlerde su alanının temizlenmesinden bahsetmek mümkün değildir. Bu çalışma, Lagün'deki su değişiminde, sadece gel-git hareketinin, Lagün'ün kendisini temizlemesi için, yeterli olmaktan uzak olduğunu göstermektedir.

4.3. Hidrotam-3 Üç Boyutlu Hidrodinamik Taşınım Modeli

HİDROTAM-3, hidrodinamik, türbülans ve taşınım (su sıcaklığı ve tuzluluğunun taşınımı, kirletici taşınımı ve askı maddesi taşınımı) alt modellerini içeren üç boyutlu hidrodinamik taşınım modelidir. Hidrodinamik alt modelinde kullanılan tek basitleştirici yaklaşım, Boussinesq yaklaşımı (yoğunluk farklarının yerçekimi kuvveti ile çarpılmadıkça ihmal edilmesi) olup üç boyutlu Navier-Stokes denklemleri

sayısal olarak çözülmektedir. Temel hidrodinamik denklemler üç boyutlu Kartezyen koordinat sisteminde çözülmektedir. Çözüm yönteminde yatayda sonlu farklar ve düşeyde sonlu elemanlar yaklaşımları uygulanmaktadır.

HİDROTAM-3 modeli, hidrodinamik, türbülans ve taşınım (su sıcaklığı ve tuzluluğunun taşınımı, kirletici taşınımı ve askı maddesi taşınımı) alt modellerini içermektedir. Bu model kullanılarak üç boyutlu rüzgar, gelgit ve yoğunluk farklılaşması etkenli akıntı düzeni tespit edilebilmekte ve deniz suyuna bırakılan bir kirleticinin dağılımı ve askıda madde taşınımı benzeştirilebilmektedir.

Hidrodinamik Alt Model

Hidrodinamik alt modelinde üç boyutlu Navier-Stokes denklemleri sayısal olarak çözülmektedir. Bu çözümlerde kullanılan tek basitleştirici yaklaşım, yoğunluk farklarının yerçekimi kuvveti ile çarpılmadıkça ihmal edilmesi anlamına gelen Boussinesq yaklaşımıdır. Kullanılan temel hidrodinamik denklemler üç boyutlu kartezyen koordinat sisteminde tanımlanmakta ve denklemler aşağıda verilmektedir.

Süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4.41)$$

Yatayda birbirine dik konumdaki x ve y yönleri için momentum denklemleri;

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = f_v - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left(v_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_y \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_z \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right) \quad (4.42)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -f_u - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_x \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left(v_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_z \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right) \quad (4.43)$$

Düşeyde z yönü için momentum denklemi;

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial z} + gz + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_x \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_y \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right) + 2 \frac{\partial}{\partial z} \left(v_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) \quad (4.44)$$

Bu eşitliklerde;

x ve y: Yatay koordinatlar

z: Düşey koordinat

t: Zaman

u, v, w: Herhangi bir çözüm ağı noktasında x, y ve z yönlerindeki hız bileşenleri

v_x, v_y, v_z : Sırasıyla x,y ve z yönlerindeki eddy viskozitesi

f: Coriolis katsayısı

$\rho(x,y,z,t)$: Su yoğunluğu

ρ_0 : Referans yoğunluk

g: Yerçekimi ivmesi

p: Basınçtır.

Taşıma ve Dağılım Denklemleri

Hesaplanan su yoğunluğu, sıcaklık, tuzluluk ve basınç değerlerine göre sıcaklık, tuzluluk ve kirletici taşıma-dağılım denklemleri üç boyutlu olarak çözülmektedir. Aşağıdaki denklem sıcaklık veya tuzluluğun dağılımını ifade etmektedir.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + u \frac{\partial Q}{\partial x} + v \frac{\partial Q}{\partial y} + (w - w_f) \frac{\partial Q}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial Q}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial Q}{\partial z} \right) \quad (4.45)$$

Bu eşitlikte;

D_x, D_y ve D_z : Sırasıyla x, y ve z yönlerindeki türbülansın difüzyon katsayıları

Q: Su sıcaklığı (T) veya tuzluluğudur (S).

Su alanında, ortama bırakılan bir kirleticinin zamanla nasıl değiştiğini gözlemleyebilmek için kirletici sakınım denklemi kullanılmaktadır:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + k_p C + S_s \quad (4.46)$$

Bu eşitlikte;

C: Kirleticinin derişimi

k_p : Kirleticinin yok olma hızı

D_x , D_y ve D_z : Sırasıyla, x, y ve z yönlerindeki türbülansın difüzyon katsayıları

S_s : Kirletici kaynağı

w_f : Çökme hızıdır ve aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır (Eş. 4.47).

$$w_f = \frac{1}{18} \frac{\rho_w - \rho_0}{\rho_w} g \frac{d^2}{\nu_w} \quad (4.47)$$

Bu denklemde,

ρ_w ve ρ_0 : Sırasıyla suyun ve kirleticinin yoğunluğu

d: Ortalama kirletici dane çapı

ν_w : Suyun kinematik viskozitesidir.

Sınır Koşulları

Model için dört farklı sınır koşulu vardır. Bunlar; serbest yüzey, deniz tabanı, açık deniz ve kıyı sınır koşullarıdır.

Yüzeydeki rüzgardan dolayı oluşan kesme kuvveti yüzeyin altında su hızının değişmesine neden olur. Yüzeyde kirletici ve tuzluluk değeri de sıfır olarak alınmaktadır. Kinetik enerjinin ve dağılım oranının yüzey sınır koşulları da rüzgar kuvvetine bağlıdır.

Deniz tabanındaki taban kesme kuvvetleri, hızların logaritmik duvar kanunu ile eşleştirilmesi olarak tanımlanmıştır. Tabandaki sıcaklık, tuzluluk ve kirletici

değerlerinin değişimi de sıfır alınmaktadır. Deniz tabanının içine etki eden bir dağılım ve akıntı olmadığı düşünülmektedir.

Açık deniz sınırı yatay bir sınırdır su alanının içine ya da dışına doğru akıntı olabilmektedir. Gel-git hareketi olmadığında sınıra dik hızlar, su derinliğinin bilindiği hücre ortasında hesaplanmaktadır. Gel-git akıntısı eşitliklerde gel git dalga dönemi, dalga boyu ve gel-git dalga genliği ile tanımlanmaktadır.

Modelde kıyı sınırı hareketli olarak tanımlanmaktadır. Modelde herhangi bir zaman adımında, su alanındaki bütün hızlar ve serbest su yüzeyi hesaplandıktan sonra, diğer zaman adımına geçmeden önce, toplam su derinliği ve düşey çözüm ağı aralıkları yeniden hesaplanmaktadır. Her zaman adımında su yüzeyinin eğimi bulunmaktadır. Eğer su yüzeyinin eğimi pozitif ise, su yüzeyindeki bu eğim ile su, kıyıyı kestiği noktaya kadar uzatılmaktadır.

Kıyıda yatayda gidilen mesafenin bir hareket olarak kabul edilmesi için, yatay çözüm ağındaki aralığın 1/50'si kadar değişmiş olması gerekmektedir. Daha sonra, yatay çözüm ağı aralığı modifiye edilir ve çözüm ağının orta noktasındaki su derinliği hesaplanır.

Çözüm ağının ortasındaki su derinliği, taban pürüzlülüğünün uzunluğu L_b ile kıyaslanmaktadır. Eğer hesaplanan su derinliği, L_b derinliğinden küçükse ya da sıfırsa, o hücrenin kuruduğu kabul edilmektedir. Daha sonraki bir zamanda su derinliği pozitif olursa, o hücre yeniden ıslanacaktır. Kuru bir hücrede u ya da v hız bileşenleri sıfır olarak tanımlanmaktadır. Kıyı boyunca kıyıya dik yöndeki sıcaklık, tuzluluk ve kirletici değerlerinin değişimi sıfır kabul edilmektedir, başka bir deyişle kıyının içine doğru yayılma ve difüzyon yoktur.

Sayısal Yöntem

Eşitlikler şaşırtmacalı sonlu farklar çözüm ağı kullanılarak sayısal olarak çözülmektedir. Düşey düzlemde Galerkin sonlu elemanlar metodu kullanılmaktadır. Su derinliği taban topoğrafyasını takip eden eşit sayıda katmana ayrılmaktadır. Çözüm ağının her noktasında katman kalınlığının oradaki su derinliğine oranı sabittir. Sonlu elemanlar yaklaşımı izlenerek, hız değerleri, u , v , w ; eddy viskoziteleri, ν_x , ν_y , ν_z ; sıcaklık, T ; tuzluluk, S ; kirletici konsantrasyonu, C ; türbülansın difüzyon katsayıları, D_x , D_y , D_z ; kinetik enerji, k ; kinetik enerjinin dağılım oranı, ε ; basınç, p ; su derinliği üzerindeki her noktada düşeydeki çözüm ağı noktaları arasında lineer şekil fonksiyonu kullanılarak sonlu değerlerin terimleri cinsinden tekrar yazılmaktadır.

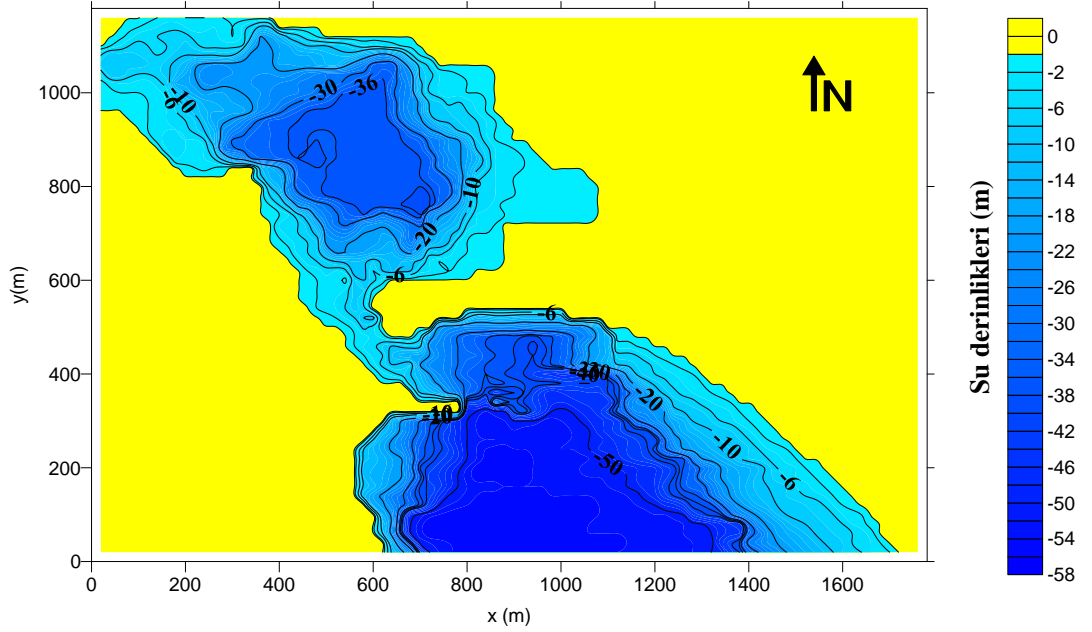
Değişkenlerin yaklaşım eşitlikleri korunum denklemlerine yerleştirilmekte ve kalan hatalar “Galerkin” yöntemi kullanılarak minimize edilmektedir. Düşey çözünürlüğü artırmak için, gerektiği yerde, düşey düzlemde sıklaştırma uygulanabilmektedir. Çözüm ağı tabanda, yüzeyde ya da orta katmanlarda sıklaştırılabilir. Galerkin metodu uygulandıktan sonra, eşitliklerde görülen; yatay koordinatlardaki türev terimleri merkezi sonlu farklar yaklaşımı ile değiştirilmektedir. Yataydaki çözüm ağı aralığı değiştirilebilmektedir. Yatay düzlemdeki herhangi bir çözüm ağı noktasında, düşey bir çizgideki bütün elemanların yerel eleman matrisleri, zamana bağlı türev değişken terimlerini belirlemek için, bir arada gruplanarak global matris eşitliği oluşturulmaktadır. Global matris su derinliği boyunca oluşturulurken, deniz yüzeyindeki ve tabanındaki sınır koşulları da hesaba katılmaktadır.

Lineer olmayan eşitlik sistemleri, zamanda ikinci dereceden hassas olan Crank-Nicholson metodu ile çözülmektedir. Bu hassaslığı sağlayabilmek için sonlu farklar yaklaşımları zaman adımının ortasında geliştirilmektedir. Geçici ilk türev terimine $(t + 1/2)$ zamanında yaklaşılmaktadır ve o andaki diğer değişkenler ile türev terimleri zaman adımının başlangıç (t) ve bitişindeki $(t+1)$ sonlu farklar yaklaşımlarının ortalaması alınarak tanımlanmaktadır. Sonuçta çıkan dolaylı zaman adımı eşitlikler, hızlandırma etkili sıklaştırma yöntemi kullanılarak çözülmektedir.

Bu yöntem, genelde sonuca yaklaşmayan bir sistemi yaklaştırmak ya da salınımlara engel olarak yaklaşımı hızlandırmak için kullanılmaktadır.

Ölüdeniz Lagünü Hidrodinamik Taşınım Modeli Uygulaması

Üç boyutlu sayısal model Ölüdeniz Lagünü'ne uygulanmıştır. Lagündeki su derinlikleri Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.10. Ölüdeniz Lagünü su derinlikleri

Sistemde 20 x 20 m kare bir çözüm ağı kullanılmıştır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan ve Ölüdeniz Lagünü'ne en yakın meteoroloji istasyonu olan Fethiye Meteoroloji İstasyonu'ndan sağlanan 20 yıllık (1990-2010) rüzgar verilerine göre Ölüdeniz Lagünü'ne ait rüzgar gülü çizilmiştir (Şekil 4.11).

Çizelge 4.3. Fethiye Meteoroloji İstasyonu'ndan sağlanan 1990-2010 yılları arasında alınan rüzgar verilerine göre rüzgar hızlarının yönlere göre dağılımı

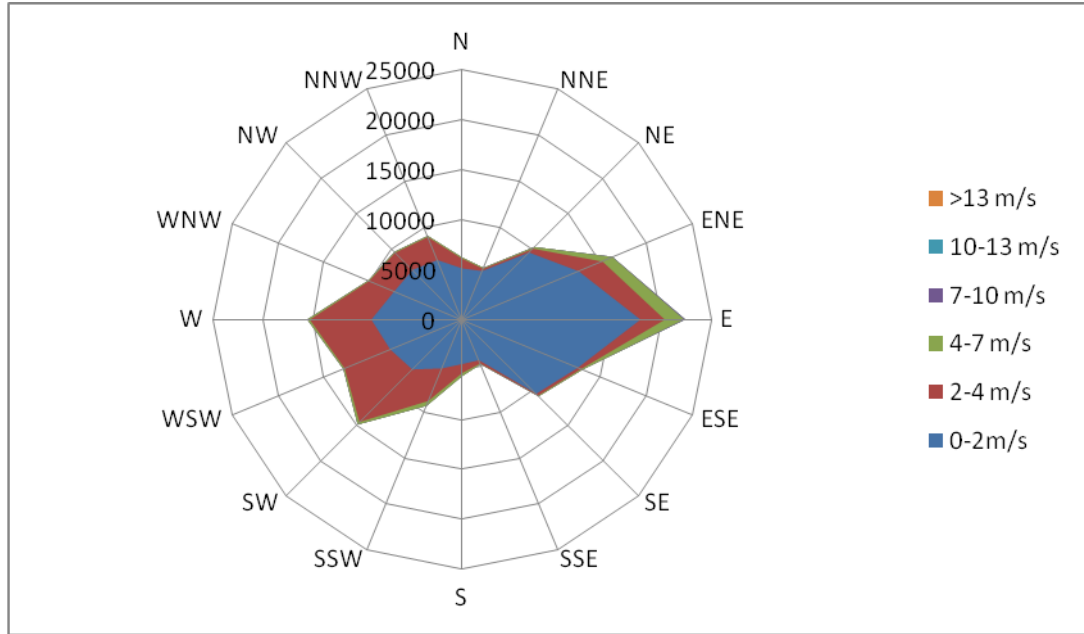
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
0-2m/s	5144	5279	9524	12684	17932	12608	10547	4424
2-4 m/s	987	258	562	2571	2402	319	243	343
4-7 m/s	39	30	118	992	1873	125	37	58
7-10 m/s	2	0	4	66	184	17	8	5
10-13 m/s	0	0	0	2	2	1	2	0
>13 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0

	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0-2m/s	4471	5314	7082	7828	9124	7388	7055	6469
2-4 m/s	887	3517	7461	4919	6136	2716	2451	2511
4-7 m/s	281	476	279	150	269	63	42	32
7-10 m/s	8	5	0	1	0	1	0	0
10-13 m/s	1	0	0	0	0	0	0	0
>13 m/s	0	1	0	0	0	0	0	0

Çizelge 4.4. Fethiye Meteoroloji İstasyonu'ndan sağlanan 1990-2010 yılları arasında alınan rüzgar verilerine göre rüzgar hızlarının yönlere göre kümülatif dağılımı

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
0-2m/s	5144	5279	9524	12684	17932	12608	10547	4424
2-4 m/s	6131	5537	10086	15255	20334	12927	10790	4767
4-7 m/s	6170	5567	10204	16247	22207	13052	10827	4825
7-10 m/s	6172	5567	10208	16313	22391	13069	10835	4830
10-13 m/s	6172	5567	10208	16315	22393	13070	10837	4830
>13 m/s	6172	5567	10208	16315	22393	13070	10837	4830

	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0-2m/s	4471	5314	7082	7828	9124	7388	7055	6469
2-4 m/s	5358	8831	14543	12747	15260	10104	9506	8980
4-7 m/s	5639	9307	14822	12897	15529	10167	9548	9012
7-10 m/s	5647	9312	14822	12898	15529	10168	9548	9012
10-13 m/s	5648	9312	14822	12898	15529	10168	9548	9012
>13 m/s	5648	9313	14822	12898	15529	10168	9548	9012

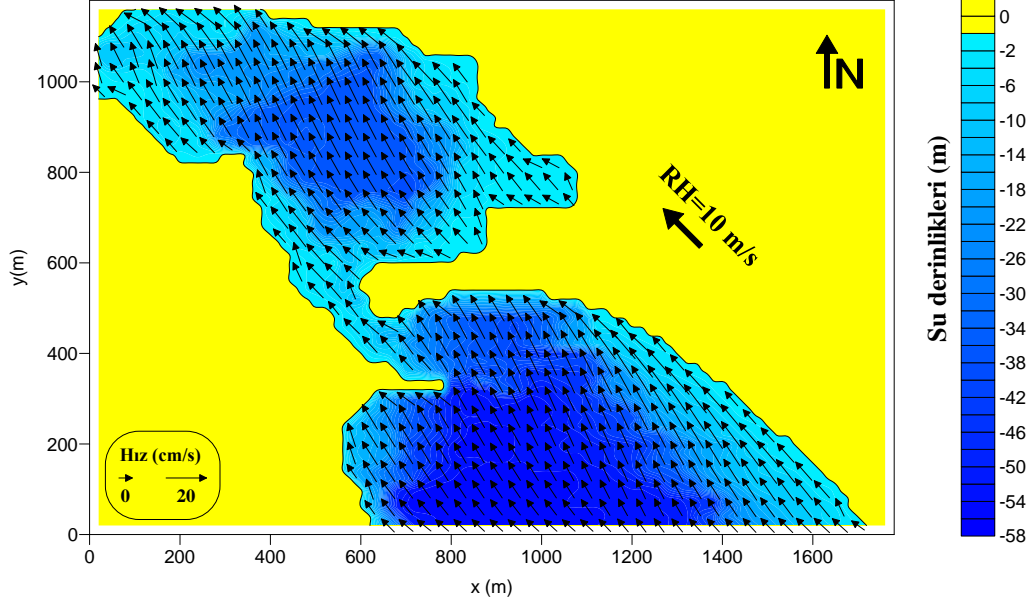


Şekil 4.11. Fethiye Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan, 1990-2010 yılları arasındaki rüzgar verilerinden elde edilen Ölüdeniz Lagünü'ne ait rüzgar gülü

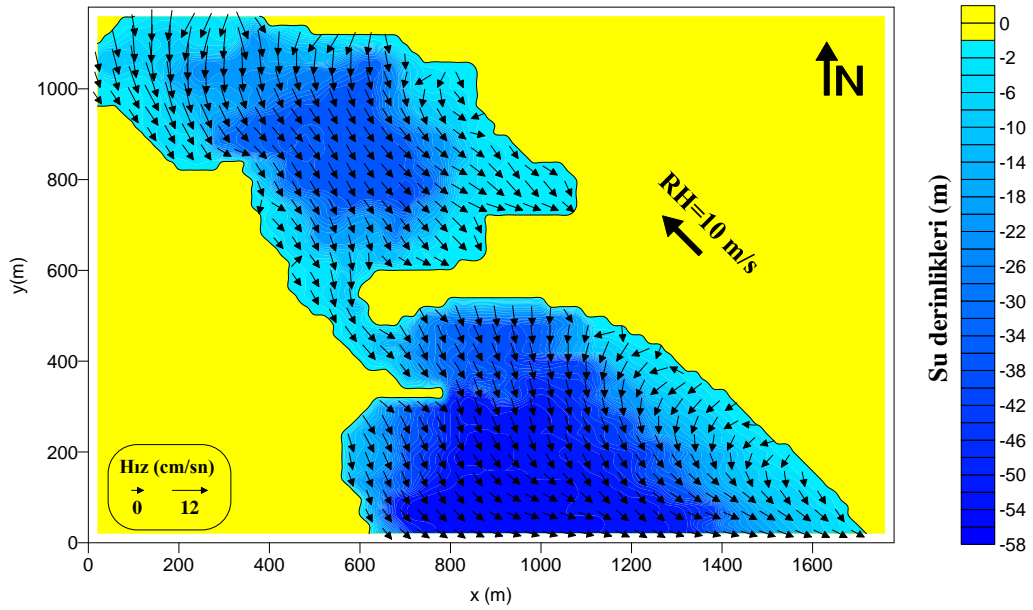
Bu rüzgar gülü incelendiğinde en yüksek rüzgar hızlarının 10-13 m/s aralığında bulunduğu gözlemlenmektedir. Rüzgar gülüne göre hakim rüzgar yönünün doğu (E) olduğunu görülmektedir (Şekil 4.11).

Rüzgar kuvveti su alanı yüzeyinde çekme gerilmesi yaratmakta, yüzey tabakasını sürükleyerek su yüzeyinde rüzgar yönünde bir akım oluşturmaktadır. Bu yöndeki kıyı kenarında su seviyesinin yükselmesine, karşı yöndeki kıyıda ise seviyenin düşmesine neden olmaktadır. Rüzgar yönünde oluşan bu su düzeyi eğimi, barotropik basınç değişimi meydana getirerek, su tabanına yakın tabakalarda, yüzey tabakasının sürüklenme yönüne karşı yönde bir akıntı oluşturmaktadır. Yüzeydeki su tabakasını sürükleyerek alt tabakaların sürtünmeden dolayı ters yönde akmasına yol açan rüzgar kuvveti, düşeyde güçlü bir su çevrintisi yaratır. Bu çevrinti hareketi, düşeydeki momentum değişimini artırmakta, yatay düzlemdeki karışmanın artmasına neden olmaktadır.

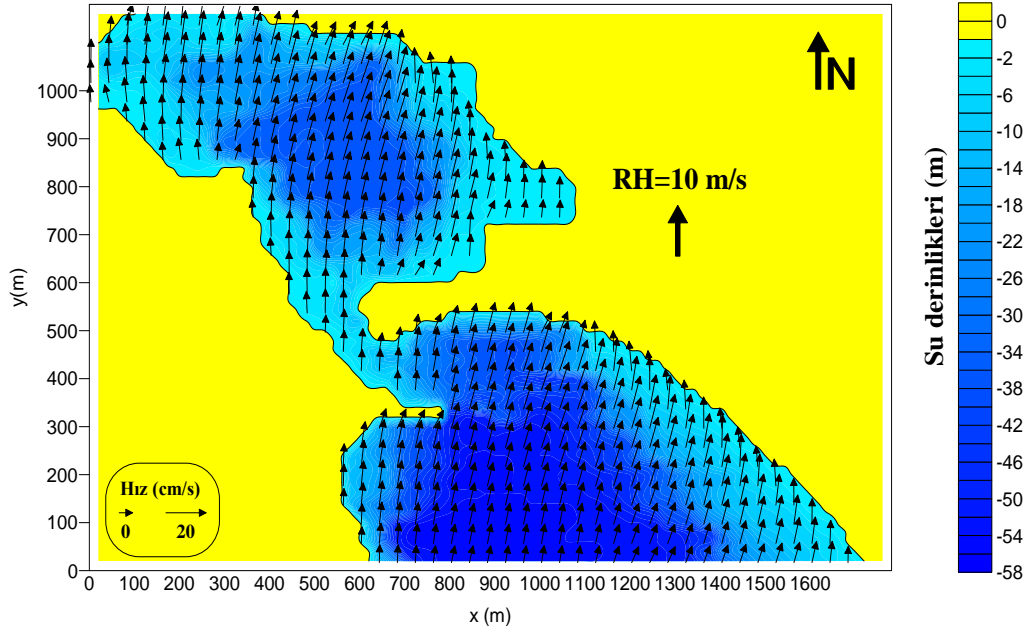
SE, S ve E yönlerinden, RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde su yüzeyinde ve su tabanında oluşan hızlar (cm/s) aşağıdaki grafiklerde açık bir şekilde gösterilmektedir.



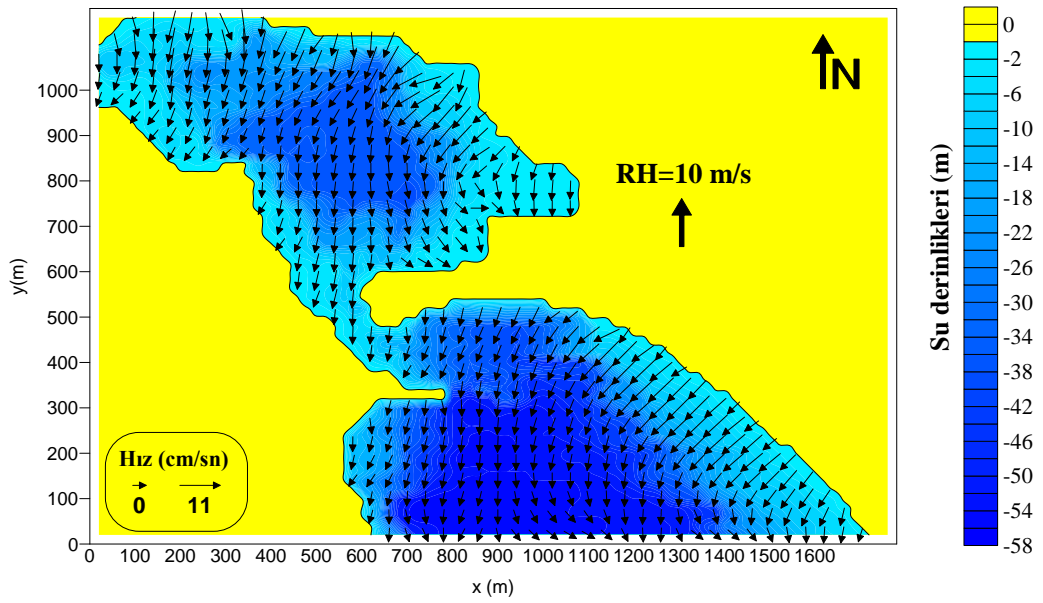
Şekil 4.12. SE (güneydoğu) yönünden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde yatışkın durumda su yüzeyinde oluşan hızlar (cm/s)



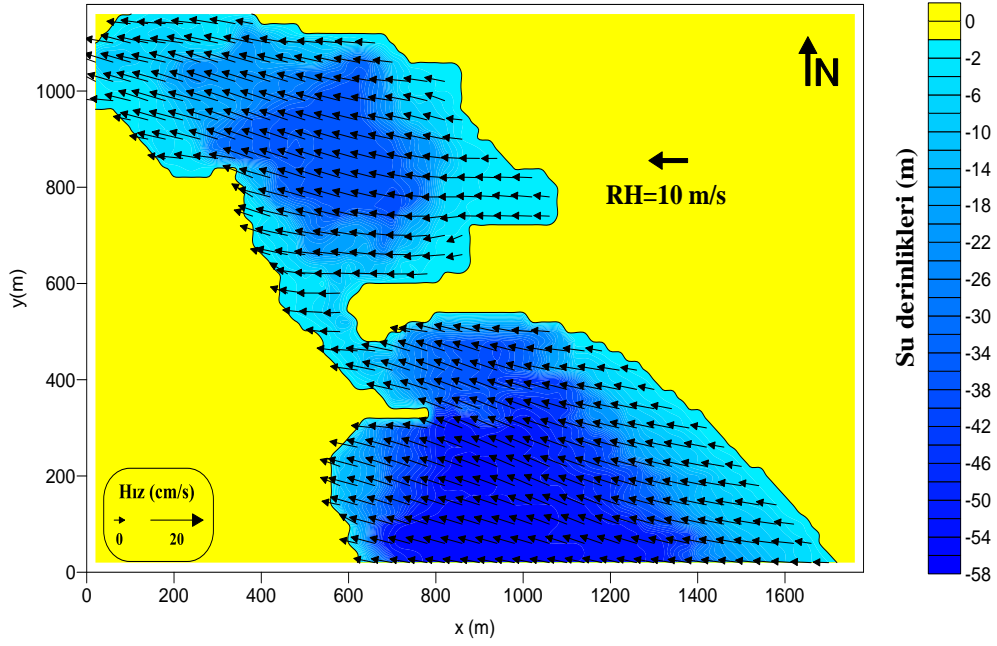
Şekil 4.13. SE (güneydoğu) yönünden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde yatışkın durumda su tabanında oluşan hızlar (cm/s)



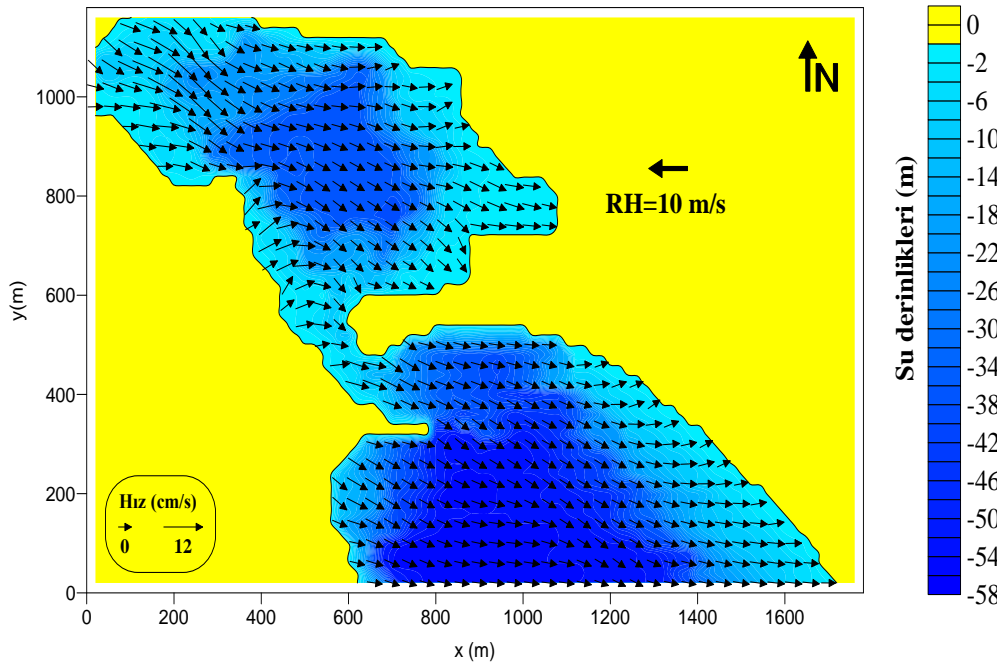
Şekil 4.14. S (güney) yönünden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde yatışkın durumda su yüzeyinde oluşan hızlar (cm/s)



Şekil 4.15. S (güney) yönünden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde yatışkın durumda su tabanında oluşan hızlar (cm/s)



Şekil 4.16. Doğu (doğu) yönünden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde yatışkın durumda su yüzeyinde oluşan hızlar (cm/s)



Şekil 4.17. Doğu (doğu) yönünden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde yatışkın durumda su tabanında oluşan hızlar (cm/s)

Modelde, Lagün içerisine farklı koordinatlarda (Ölüdeniz Lagünü'nün doğu kesimindeki bir koordinattan, Lagün boğazına yakın bir koordinattan ve Lagün'ün orta kesiminde alınan bir koordinattan) anlık ve sürekli olarak bırakılan kirleticinin ($C_0=10^8$ bac/ml), güneydoğu (SE), güney (S) ve doğu (E) yönlerinden 10 m/s hız ile esen rüzgarın, esmeye başlamasından 1, 2, 3 ve 4 saat sonra su yüzeyinde oluşacak kirlilik dağılımı benzeştirilmiştir.

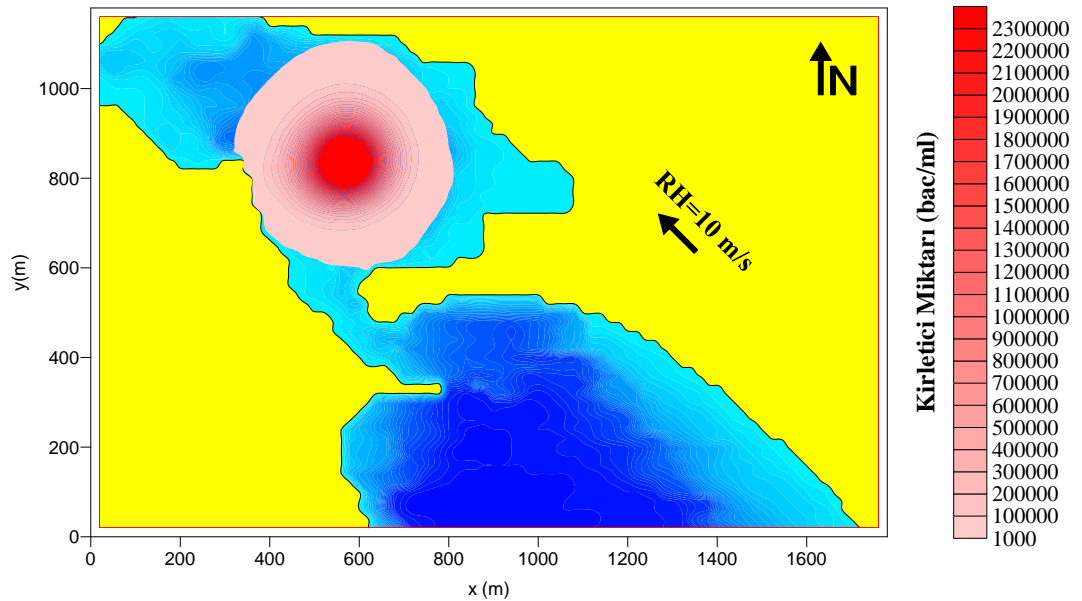
Anlık yükleme durumunda ilk 4 saat içinde lagün yüzeyinde kirleticinin dağılımı

Rüzgar Yönü: Güneydoğu (SE)

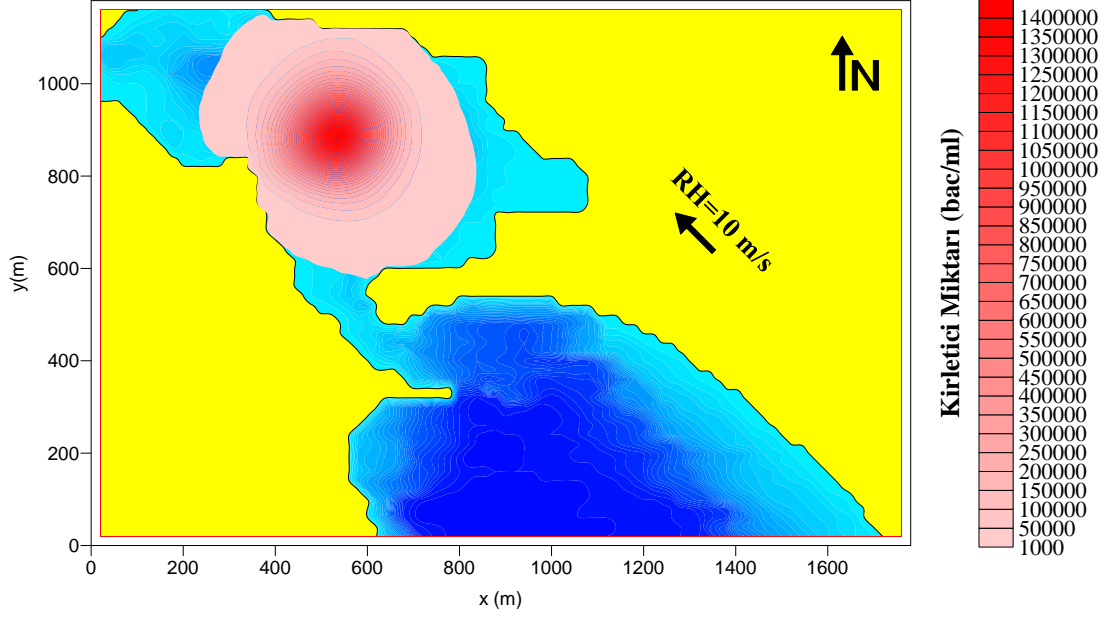
Koordinatlar: (600 m, 800 m)

Kirletici Miktarı: 10^8 bac/ml

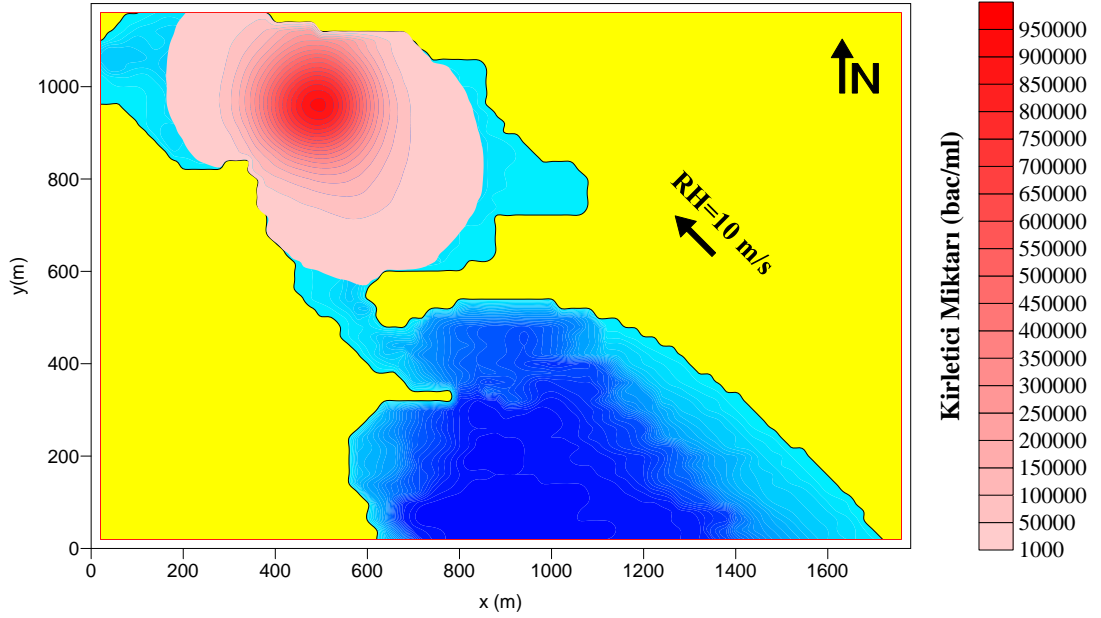
Ölüdeniz Lagünü içerisinde (600 m, 800 m) koordinat noktasına, 10^8 bac/ml lik bir kirletici yüklemesi anlık olarak bırakıldığında, güneydoğu yönünden esen 10 m/s' lik rüzgar hızı etkisinde kirleticinin ilk 4 saat içerisinde Lagün içerisindeki dağılımını gösteren grafikler aşağıda verilmiştir.



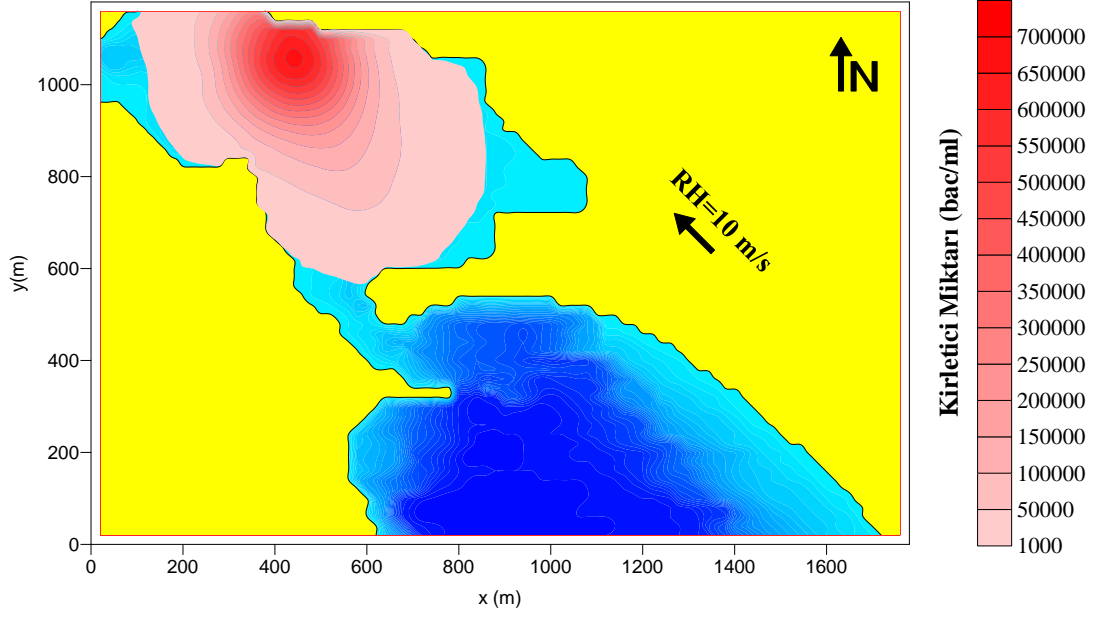
Şekil 4.18. Güney doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yükleme durumunda, 1 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı



Şekil 4.19. Güney doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yükleme durumunda, 2 saat sonra yüzeydeki kirlenici dağılımı



Şekil 4.20. Güney doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yükleme durumunda, 3 saat sonra yüzeydeki kirlenici dağılımı



Şekil 4.21. Güney doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yükleme durumunda, 4 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı

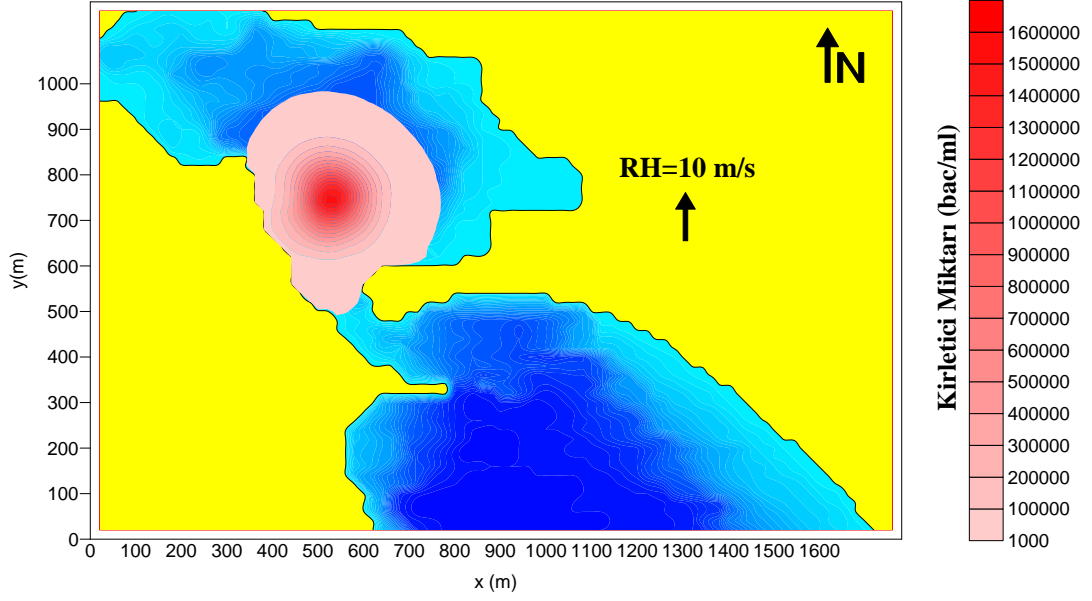
Yukarıdaki grafiklerde de görüldüğü üzere, (600 m, 800 m) koordinatına anlık 10^8 bac/ml' lik kirletici yüklemesi yapıldığında, güneydoğu yönünden esen 10 m/s' lik rüzgar hızının etkisiyle 4 saatin sonunda maksimum kirlilik konsantrasyonu 7.10^5 bac/ml' ye düşmektedir.

Rüzgar Yönü: Güney (S)

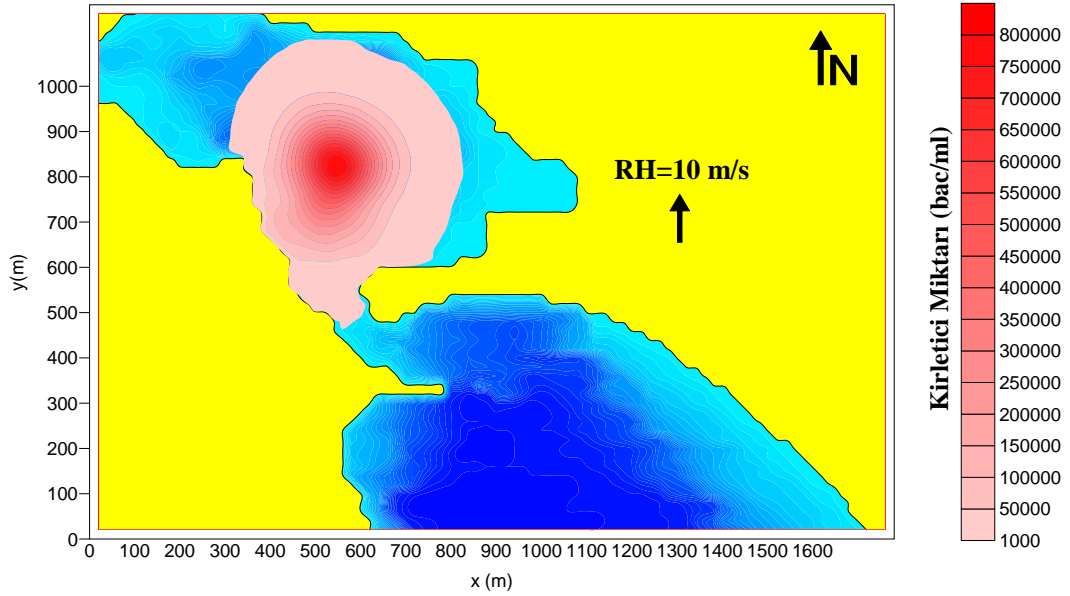
Koordinatlar: (520 m, 680 m)

Kirletici Miktarı: 10^8 bac/ml

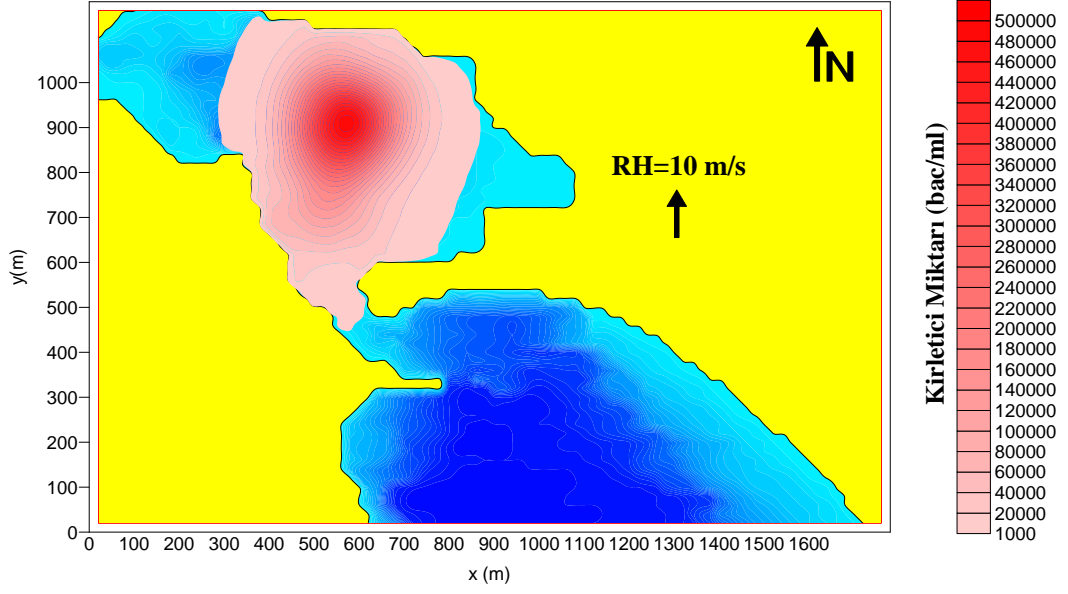
Ölüdeniz Lagünü içerisinde (520 m, 680 m) koordinat noktasına, 10^8 bac/ml lik bir kirletici yüklemesi anlık olarak bırakıldığında, güney yönünden esen 10 m/s' lik rüzgar hızı etkisinde kirleticinin ilk 4 saat içerisinde Lagün içerisindeki dağılımını gösteren grafikler aşağıda verilmiştir.



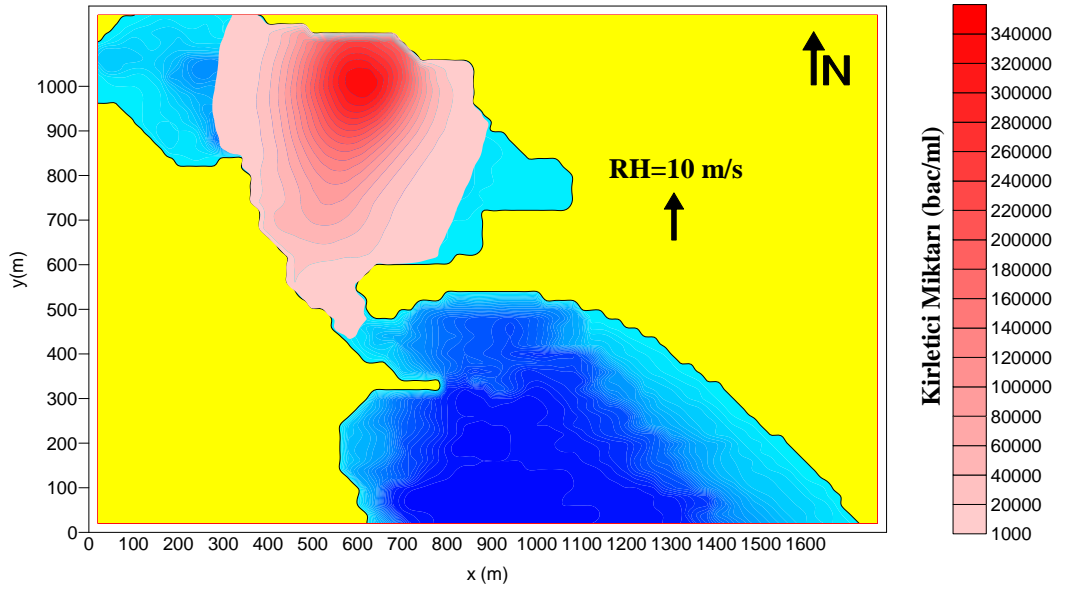
Şekil 4.22. Güneyden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yükleme durumunda, 1 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı



Şekil 4.23. Güneyden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yükleme durumunda, 2 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı



Şekil 4.24. Güneyden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yüklenme durumunda, 3 saat sonra yüzeydeki kirlenici dağılımı



Şekil 4.25. Güneyden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yüklenme durumunda, 4 saat sonra yüzeydeki kirlenici dağılımı

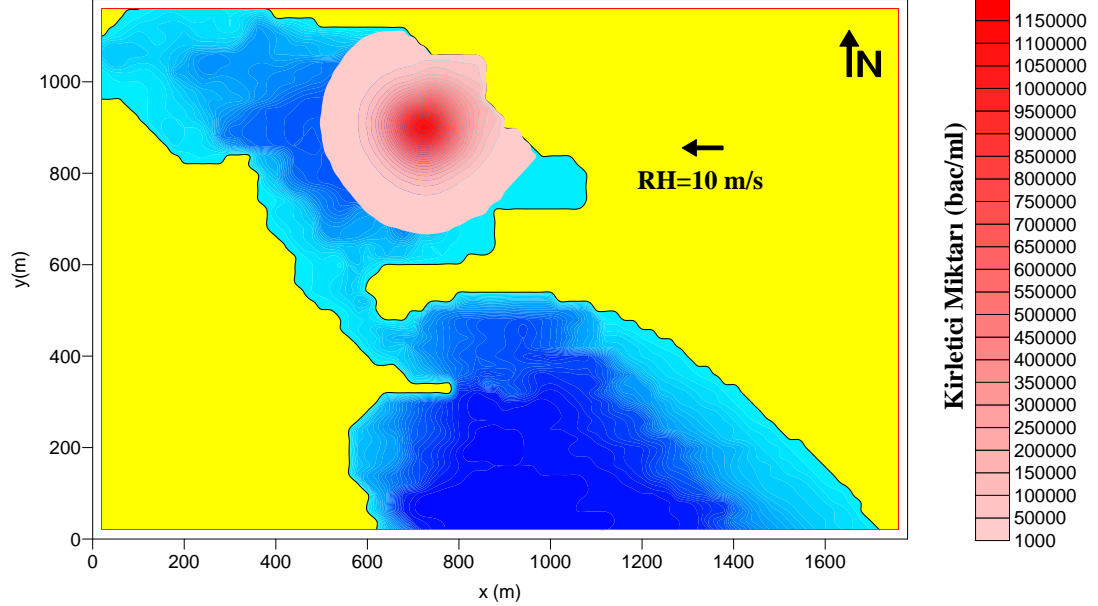
Yukarıdaki grafiklerde de görüldüğü üzere, (520 m, 680 m) koordinatına anlık 10^8 bac/ml' lik kirletici yüklemesi yapıldığında, güney yönünden esen 10 m/s' lik rüzgar hızının etkisiyle 4 saatin sonunda maksimum kirlilik konsantrasyonu $3,4 \cdot 10^5$ bac/ml' ye düşmektedir.

Rüzgar Yönü: Doğu (E)

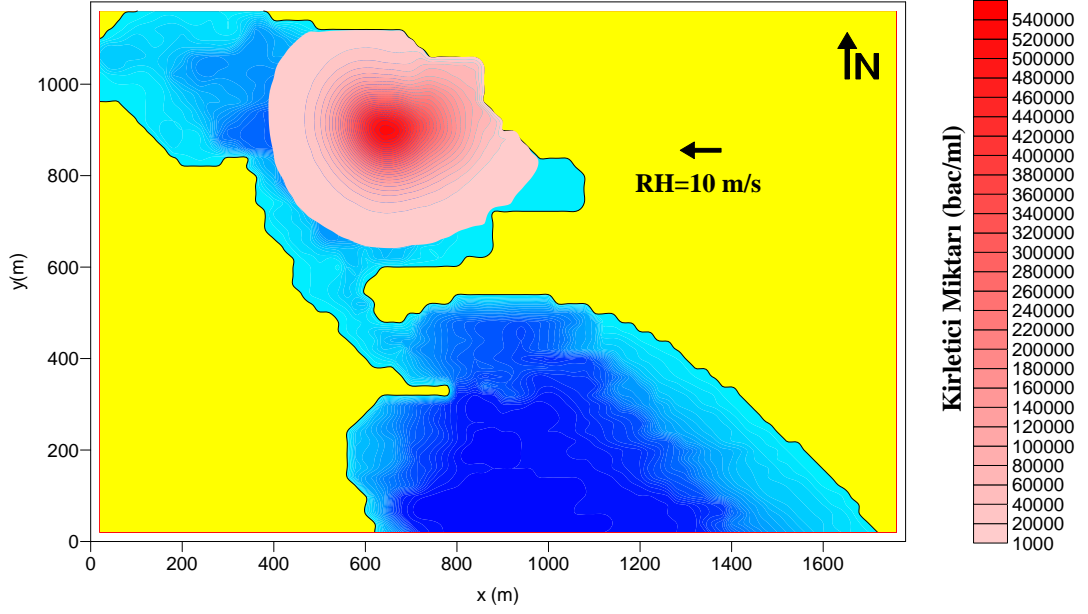
Koordinatlar: (800 m, 900 m)

Kirletici Miktarı: 10^8 bac/ml

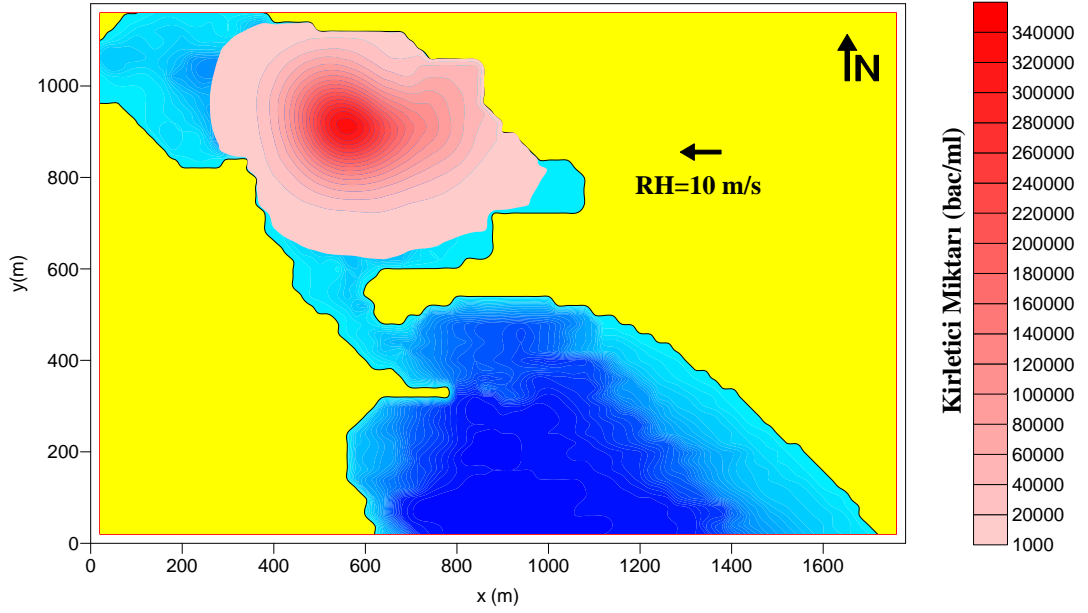
Ölüdeniz Lagünü içerisinde (800 m, 900 m) koordinat noktasına, 10^8 bac/ml lik bir kirletici yüklemesi anlık olarak bırakıldığında, doğu yönünden esen 10 m/s' lik rüzgar hızı etkisinde kirleticinin ilk 4 saat içerisinde Lagün içerisindeki dağılımını gösteren grafikler aşağıda verilmiştir.



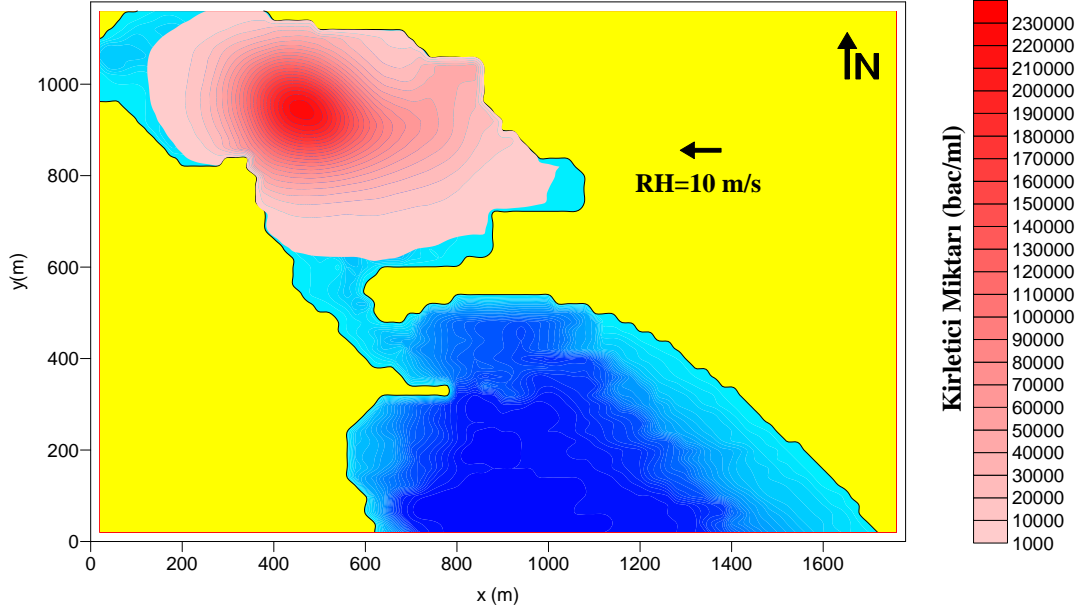
Şekil 4.26. Doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yükleme durumunda, 1 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı



Şekil 4.27. Doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yükleme durumunda, 2 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı



Şekil 4.28. Doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yükleme durumunda, 3 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı



Şekil 4.29. Doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, anlık yükleme durumunda, 4 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı

Yukarıdaki grafiklerde de görüldüğü üzere, (800 m, 900 m) koordinatına anlık 10^8 bac/ml' lik kirletici yüklemesi yapıldığında, doğu yönünden esen 10 m/s' lik rüzgar hızının etkisiyle 4 saatin sonunda maksimum kirlilik konsantrasyonu $2,3 \cdot 10^5$ bac/ml' ye düşmektedir.

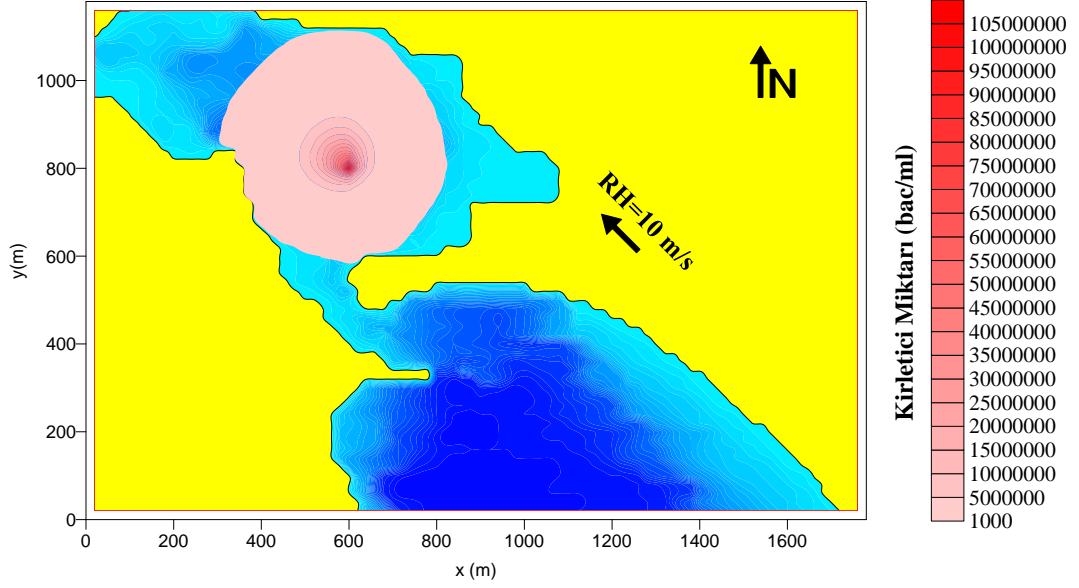
Sürekli yükleme durumunda 4 saat sonunda lagün yüzeyinde kirleticinin dağılımı

Rüzgar Yönü: Güneydoğu (SE)

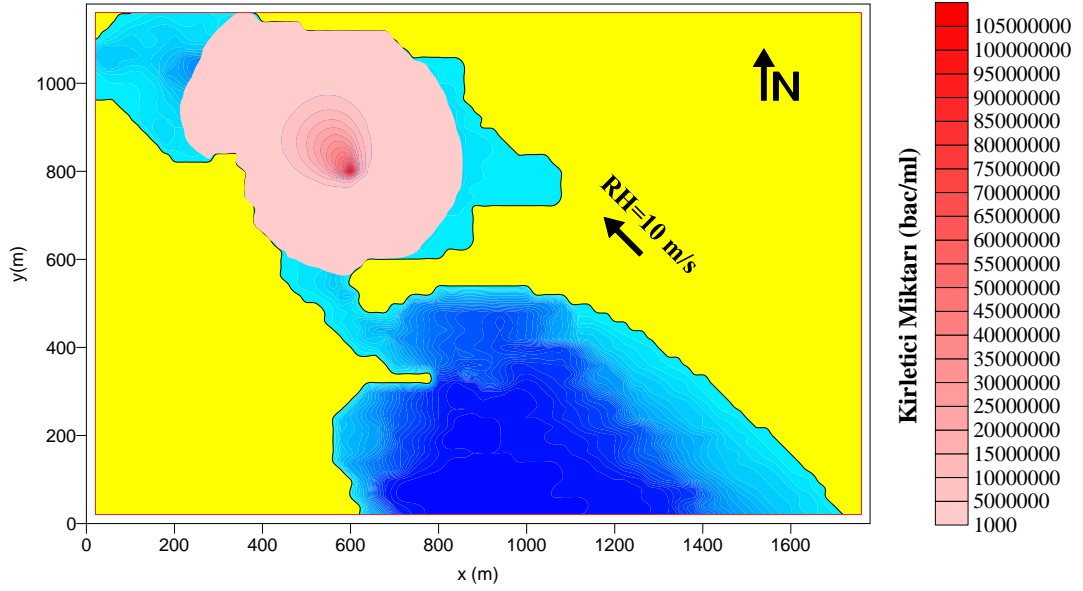
Koordinatlar: (600 m, 800 m)

Kirletici Miktarı: 10^8 bac/ml

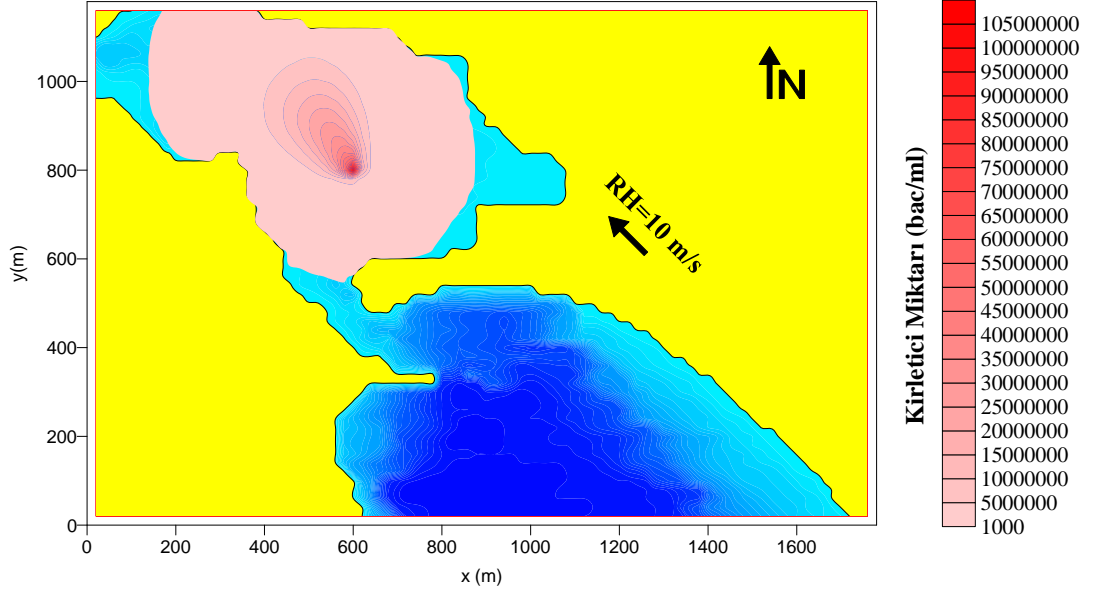
Ölüdeniz Lagünü içerisinde (600 m, 800 m) koordinat noktasına, sürekli olarak 10^8 bac/ml lik bir kirletici yüklemesi yapıldığında, güneydoğu yönünden esen 10 m/s' lik rüzgar hızı etkisinde kirleticinin ilk 4 saat içerisinde Lagün içerisindeki dağılımını gösteren grafikler aşağıda verilmiştir.



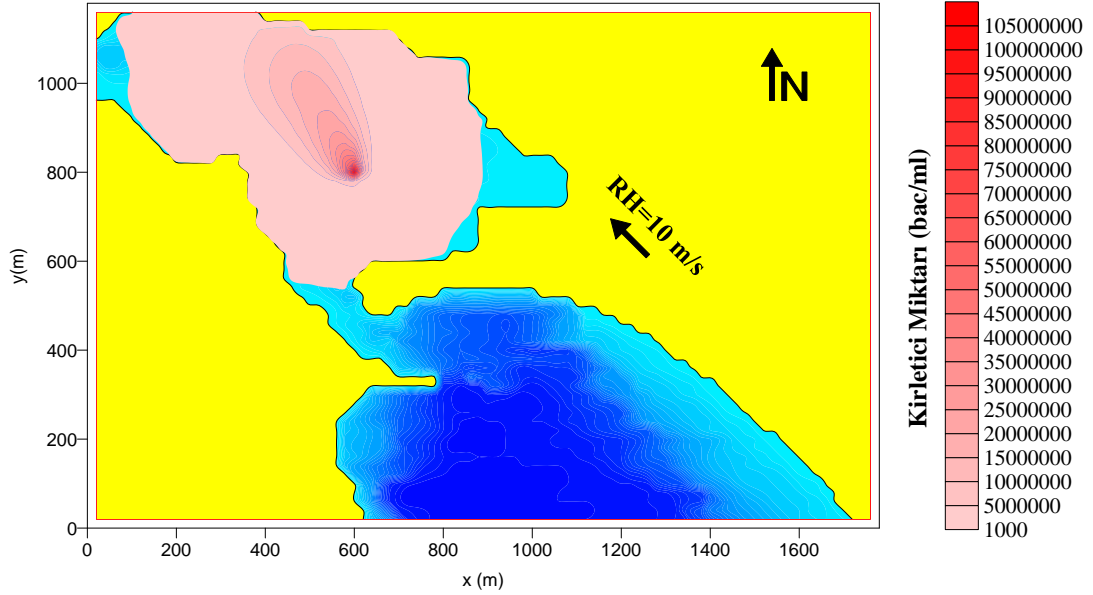
Şekil 4.30. Güney doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yüklenme durumunda, 1 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı



Şekil 4.31. Güney doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yüklenme durumunda, 2 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı



Şekil 4.32. Güney doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yükleme durumunda, 3 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı



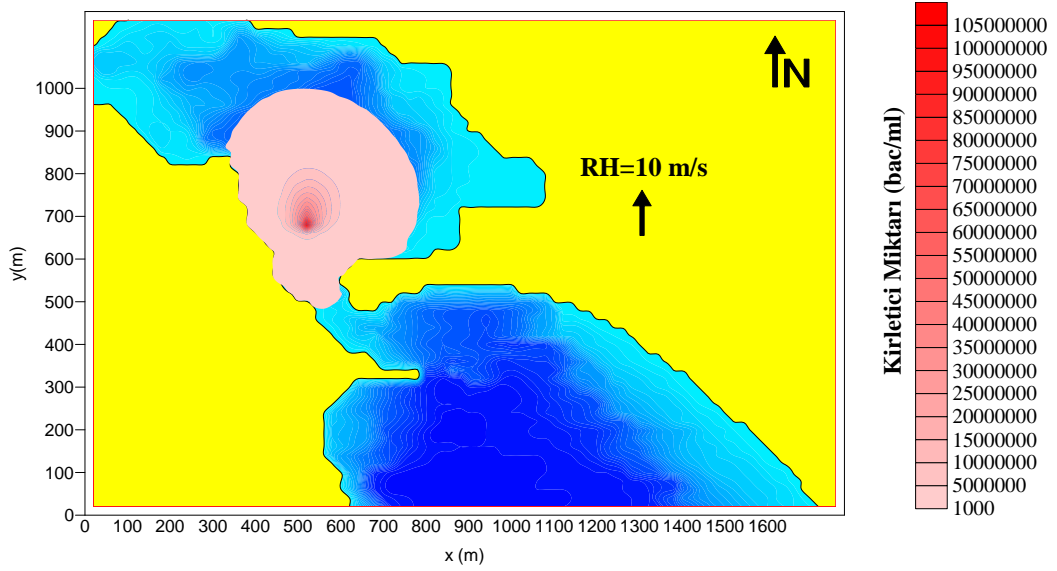
Şekil 4.33. Güney doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yükleme durumunda, 4 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı

Rüzgar Yönü: Güney (S)

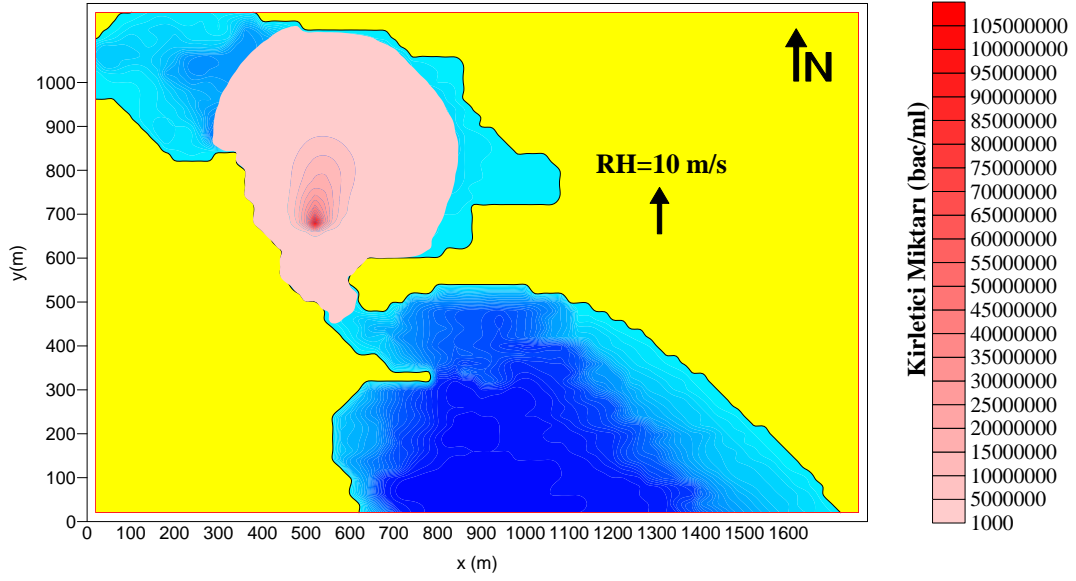
Koordinatlar: (520 m, 680 m)

Kirletici Miktarı: 10^8 bac/ml

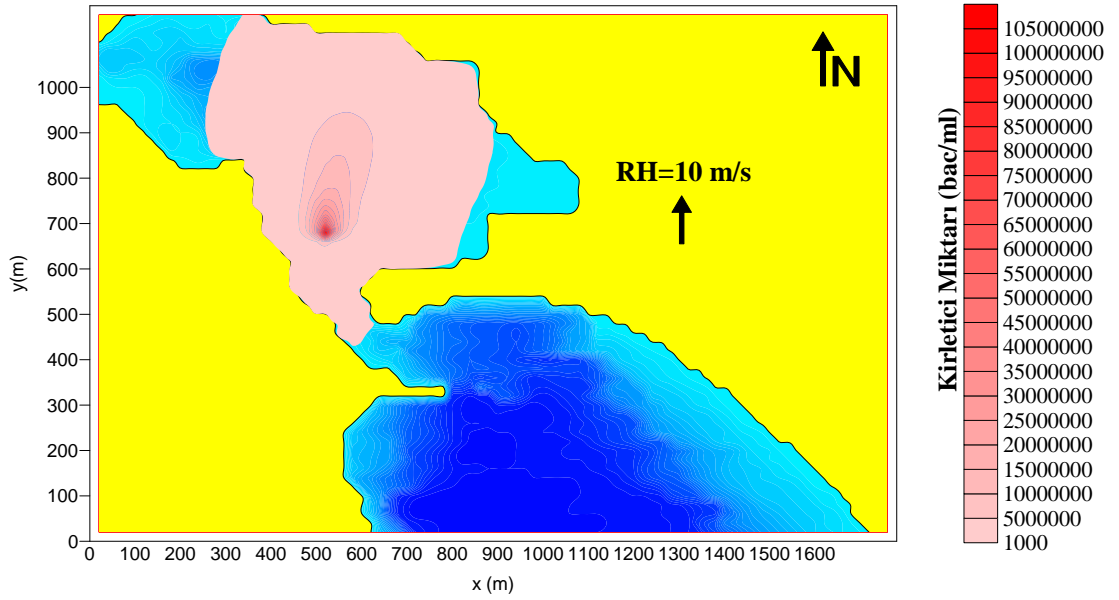
Ölüdeniz Lagünü içerisinde (520 m, 680 m) koordinat noktasına, sürekli olarak 10^8 bac/ml lik bir kirletici yüklemesi yapıldığında, güney yönünden esen 10 m/s' lik rüzgar hızı etkisinde kirleticinin ilk 4 saat içerisinde Lagün içerisindeki dağılımını gösteren grafikler aşağıda verilmiştir.



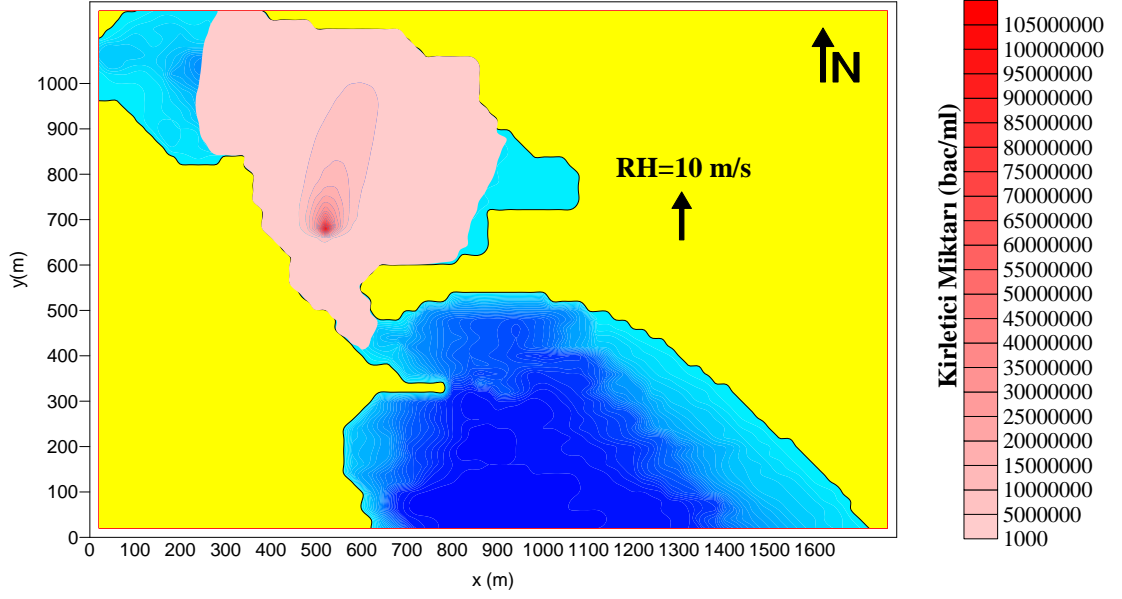
Şekil 4.34. Güneyden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yükleme durumunda, 1 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı



Şekil 4.35. Güneyden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yükleme durumunda, 2 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı



Şekil 4.36. Güneyden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yükleme durumunda, 3 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı



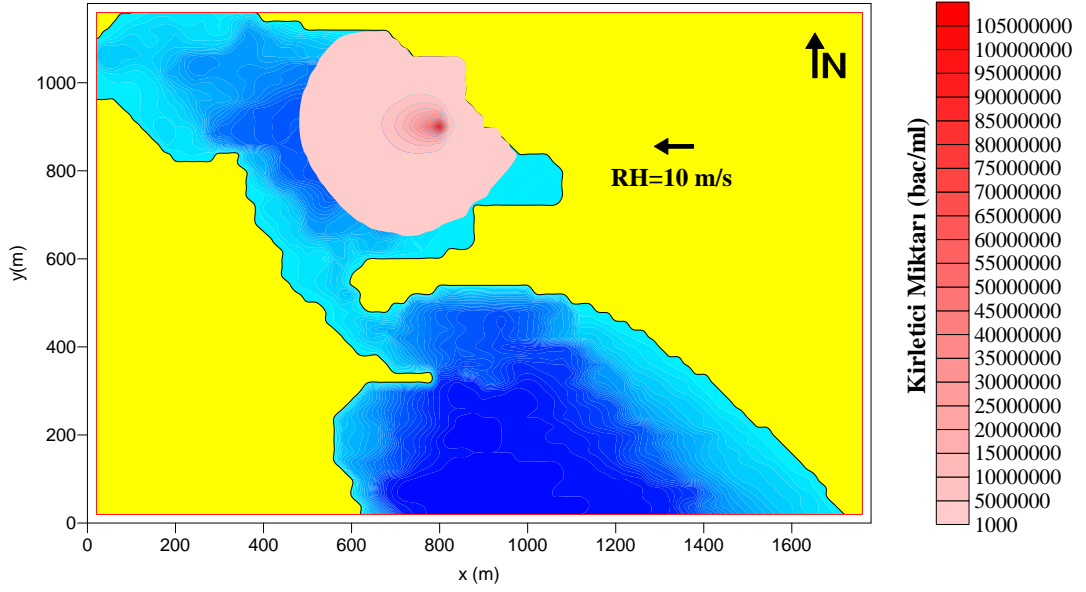
Şekil 4.37. Güneyden RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yüklenme durumunda, 4 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı

Rüzgar Yönü: Doğu (E)

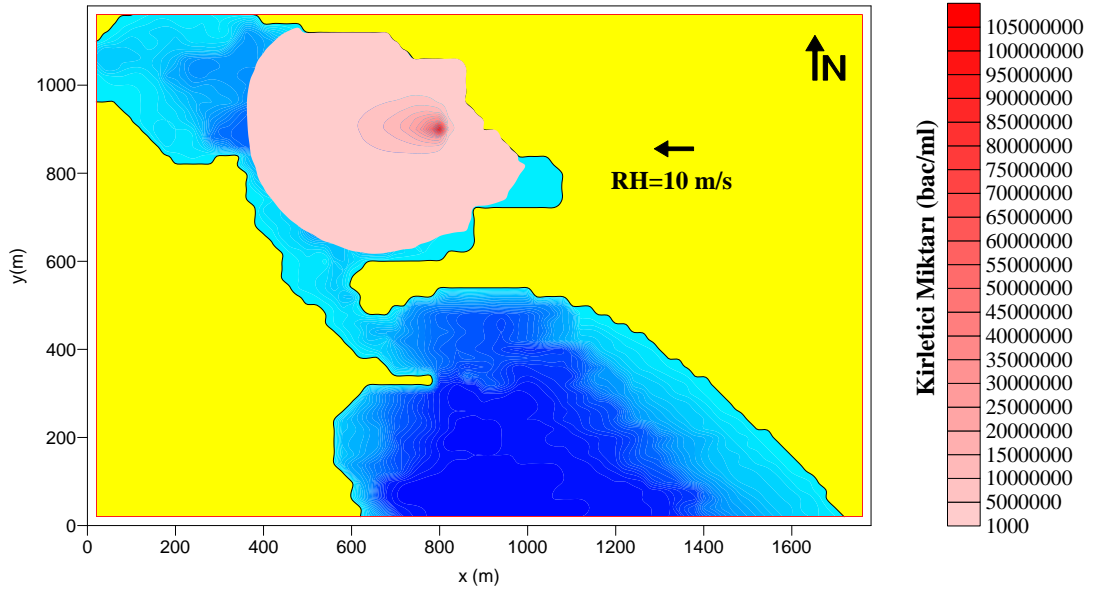
Koordinatlar: (800 m, 900 m)

Kirlenici Miktarı: 10^8 bac/ml

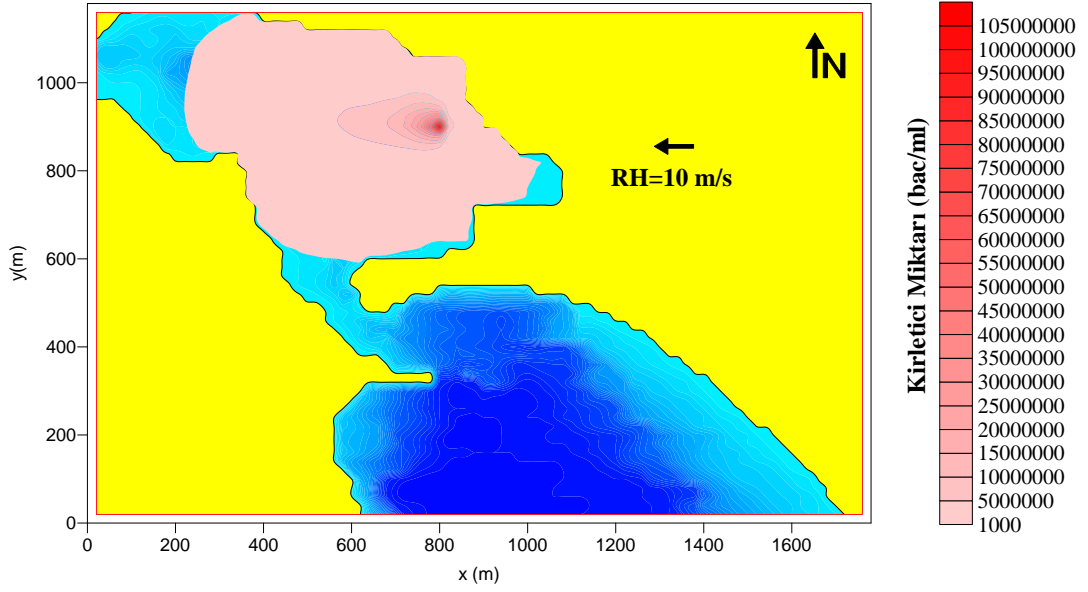
Ölüdeniz Lagünü içerisinde (800 m, 900 m) koordinat noktasına, sürekli olarak 10^8 bac/ml lik bir kirlenici yüklemesi yapıldığında, doğu yönünden esen 10 m/s' lik rüzgar hızı etkisinde kirlenicinin ilk 4 saat içerisinde Lagün içerisindeki dağılımını gösteren grafikler aşağıda verilmiştir.



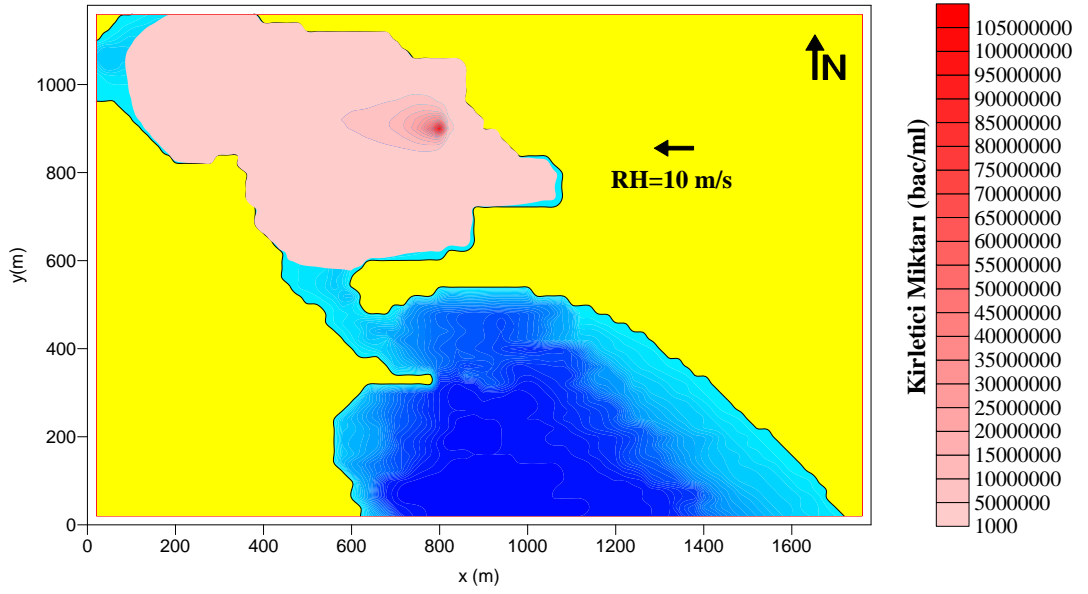
Şekil 4.38. Doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yükleme durumunda, 1 saat sonra yüzeydeki kirlenici dağılımı



Şekil 4.39. Doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yükleme durumunda, 2 saat sonra yüzeydeki kirlenici dağılımı

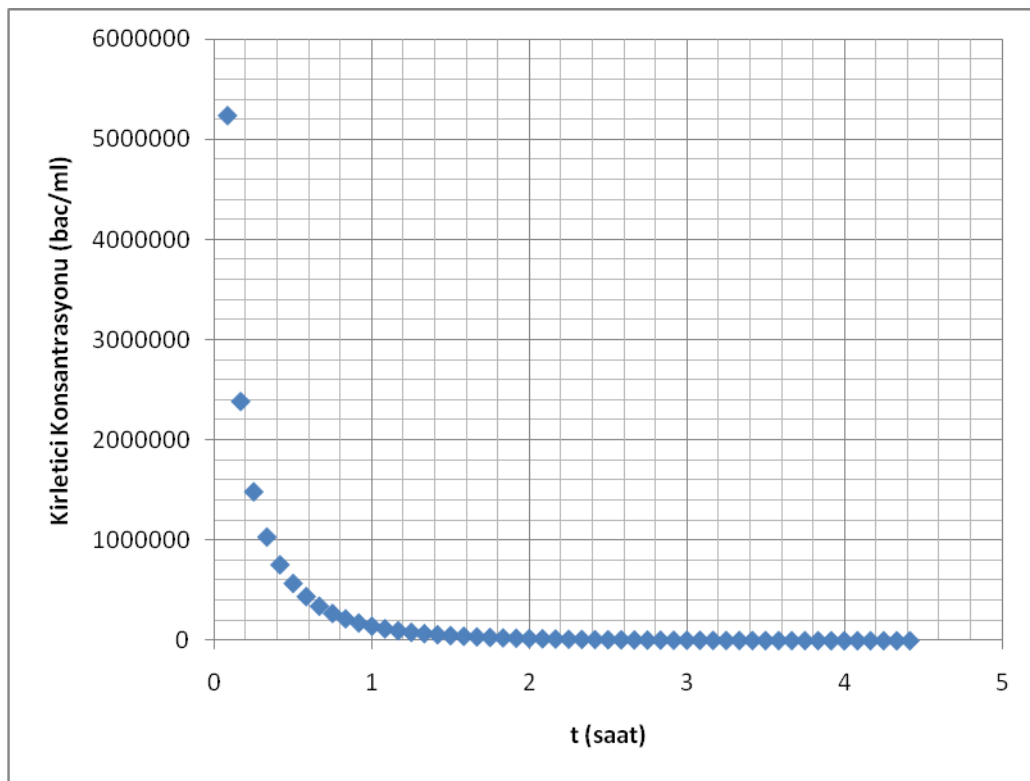


Şekil 4.40. Doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yükleme durumunda, 3 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı



Şekil 4.41. Doğudan RH= 10 m/s hızla esen rüzgar etkisinde, sürekli yükleme durumunda, 4 saat sonra yüzeydeki kirletici dağılımı

Yukarıdaki grafiklerde, farklı koordinatlarda Lagün içerisine sürekli olarak 10^8 bac/ml' lik kirlenici yüklemesi yapıldığında, değişik yönlerden esen 10 m/s' lik rüzgar hızının etkisiyle 4 saatin sonunda Lagün içerisindeki kirlilik konsantrasyonu dağılımı görülmektedir. Grafiklerden de görüldüğü üzere 4 saatin sonunda bu kirlilik konsantrasyonu neredeyse Lagün'ün tamamını kaplamakta ve Lagün için ciddi bir tehlike oluşturmaktadır.



Şekil 4.42. Anlık yüklemde (600m, 800m) koordinatında kirlenici konsantrasyon değerinin zamanla değişim grafiği

Şekil 4.42'de verilen grafikte 10^8 bac/ml'lik başlangıç konsantrasyonunun Lagün içerisine bırakıldıktan 4,5 saat sonra da 10^3 bac/ml değerine düştüğü gözlemlenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Lagünler çevresel etkilere karşı çok duyarlı alanlar oldukları için lagün içi hidrodinamiğinin çok iyi anlaşılması, uzun süreçler içerisinde yaşayabilecekleri değişimlerin tahmin edilmesi ve oluşabilecek problemlere karşı gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir. Türkiye kıyılarında yer alan çok sayıdaki kıyı lagünleri önemli ekosistemlerdir. Lagün-deniz etkileşiminin hidrodinamik özelliklerinin ve doğal denge karakteristiklerinin belirlenmesi, lagünlerin kendilerini yenileme sürelerinin tespit edilmesi, lagün içi çevrinti düzenlerinin anlaşılması özellikle su kalitesi açısından büyük önem taşımaktadır. Türkiye kıyıları lagünlerinin çevrinti haritalarının hazırlanması yönetim planları açısından gerekli ve önceliklidir.

Bu çalışmada Ölüdeniz Lagünü modellenmiştir. Bu tez çalışmasında, Ölüdeniz Lagünü'nde su değişim süresi (flushing time), kütleli (sıfır boyutlu), bir boyutlu ve üç boyutlu modellerle yardımcıyla irdelenmiştir. İlk olarak sıfır boyutlu model yardımcıyla belli bir başlangıç konsantrasyon değerindeki kirleticinin (10^8 bac/ml) çökme kayıpları ihmal edilerek sadece çevrinti etkisiyle, sürekli ve anlık yükleme etkileri altında zamana bağlı olarak başlangıç değerinin değişimleri incelenmiştir. Boyutsuz modellemede Lagün içerisindeki kütleli su değişimleri hesaba katılarak modelleme yapılmıştır. Kıyı sistemlerinde gelgit, rüzgar etkisi ve yoğunluk farklılaşması gibi nedenlerle oluşan çevrintiler, su alanı ile açık deniz arasındaki bağlantı kanalı aracılığı ile su değişimi (flushing) gerçekleştirirler. Açık denizden kıyıya doğru esen rüzgar etkisi ile oluşan su değişiminde, su üst katmanlarda açık denizden su alanına hareket ederken, alt katmanlarda su alanından açık denize doğru hareket etmektedir. Su kalitesinin genelde iyi olmadığı yarı kapalı ya da kapalı su alanları, bu su değişimi ile temizlenmektedir. Ancak su alanındaki su hacminin açık deniz suyu ile değişmesi belli bir zaman almaktadır. Su hacminin %99'unun değişmesi için gereken bu zamana "su değişimi süresi" (flushing time) denir. Su değişimi süresi birçok etkene bağlıdır. Alanın kapalı, yarı kapalı ya da açık olması en belirleyici etkenlerden biridir. Ölüdeniz Lagünü'nün kapalı, yarı kapalı ya da açık olduğunu belirlemek için Ölüdeniz Lagünü'ne ait verilerden yola çıkarak Lagün'ün kapalılık endeksi bulunmuştur. Elde edilen sonuca göre Lagün'ün kapalı lagün

sınıfına girdiği belirlenmiştir. Lagün içerisindeki suyun değişim süresini etkileyen parametrelerden biri de özümseme kapasitesidir. Özümseme kapasitesi; bir su kütlesinin mevcut yapısını sürdürülebileceği düzeyde (örneğin gübre, kirletici, atık su vb ile) yüklenebilme yeteneğidir. Özümseme kapasitesinin hesaplanması, istenilen konsantrasyon seviyesi ve kalitesini elde etmek için gerekli yüklemenin tahminini sağlar. Bu modelde kirleticinin zamanla yok olduğu kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Bu kabule göre, Ölüdeniz Lagünü'ndeki mevcut su kütlesinin mevcut yapısını sürdürebileceği düzeyde yüklenebilme değeri günde $2,29 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ olarak bulunmuştur. $C = C_0 \cdot e^{-\lambda t}$ genel çözüm denkleminde hareketle, $C_0 = 10^8 \text{ bac/ml}$ başlangıç konsantrasyon değerinin, t_{50} , t_{75} , t_{90} , t_{95} ve t_{99} tepki süreleri için zamanla değişimi grafiklerle açıklanmış ve Lagün içerisindeki $C_0 = 10^8 \text{ bac/ml}$ 'lik başlangıç konsantrasyon değerinin, flushing etkisiyle 3 saat sonra 10^6 bac/ml değerine, 7,5 saat sonra da 10^3 bac/ml değerine düştüğü gözlemlenmiştir. Anlık ve sürekli yüklemeler yapılarak kirleticinin zamansal olarak Lagün içerisine dağılımı incelenmiştir. Lagüne kirletici anlık olarak bırakıldığında, lagündeki 10^8 bac/ml 'lik başlangıç konsantrasyon değerinin, lagündeki sirkülasyon sayesinde zamanla bir azalma gösterdiği gözlemlenmiştir. Başlangıç konsantrasyon değerinin %99'unun azalmasını gerektirecek süre yaklaşık olarak 4,6 gün (110 saat) olarak hesaplanmıştır. Lagün'e kirletici belli bir süre devamlı olarak bırakıldığında, lagündeki konsantrasyon değerinde zamanla bir artış gözleniyor. Bunun nedeni kirletici yüklemesi yapıldıktan sonra bu yüklemenin bir müddet daha devam etmesidir. Lagüne sürekli kirletici yüklemesi yapıldığında t_{50} , t_{75} , t_{90} , t_{95} , t_{99} tepki sürelerindeki konsantrasyon değişimleri incelenmiş ve kademeli yükleme yapıldıktan yaklaşık 3 saat sonra Lagün içerisindeki konsantrasyon değerinin kararlı hale ulaştığı gözlemlenmiştir.

Çalışmada, ikinci olarak analitik tek boyutlu model Ölüdeniz Lagünü'ne uyarlanmıştır. Model, gel-git ile beklenen su değişimi derecesine, hızlı bir tahmin sağlamaktadır. Bu çalışmada kirleticinin korunduğu yani zamanla yok olmadığı kabulü yapılmıştır. Yapılan çalışma ile Lagün'deki kirletici miktarının sadece gel-git akıntısı ile %99 oranında temizlenmesi, başka bir deyişle C_n/C_0 oranının % 1 olması,

48 gün sürmektedir. Eğer lagün suyuna kirletici girişi devam ederse, Lagün'ün temizlenme süresi daha da uzamaktadır. Çalışma sonuçlarına göre, kirletici giriş oranının (C_a/C_o) %2,4 olduğu bütün değerlerde su alanının temizlenmesinden bahsetmek mümkün değildir. Bu çalışma, Lagün'deki su değişiminde, sadece gel-git hareketinin, Lagün'ün kendisini temizlemesi için, yeterli olmaktan uzak olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında, üçüncü olarak HİDROTAM-3 (Üç Boyutlu Hidrodinamik Taşınım Modeli) modeli de kullanılmıştır. Model çalışmaları ile Ölüdeniz Lagünü'ndeki olası rüzgar etkenli çevrinti düzenleri ve bu çevrıntiler ile Lagün içerisindeki noktasal kirlilik dağılımı incelenmiştir. Modelde, Lagün içerisine farklı koordinatlarda (Ölüdeniz Lagünü'nün doğu kesimindeki bir koordinattan, Lagün boğazına yakın bir koordinattan ve Lagün'ün orta kesiminde alınan bir koordinattan) anlık ve sürekli olarak bırakılan kirleticinin ($C_o=10^8$ bac/ml), güneydoğu (SE), güney (S) ve doğu (E) yönlerinden 10 m/s hız ile esen rüzgarın, esmeye başlamasından 1, 2, 3 ve 4 saat sonra su yüzeyinde oluşacak kirlilik dağılımı benzeştirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan, özellikle Lagün içerisine kirleticinin sürekli yüklenmesi durumunda kirletici konsantrasyonunun sadece birkaç saat sonra Lagünün neredeyse tamamına dağılım gösterdiği ve bu durumun da Lagün için ciddi bir tehlike oluşturduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

Albarakati, M.A., “ Application of 2-D Tidal Model, Shoaiba Lagoon, Eastern Red Sea Coast”, *Canadian Journal on Computing in Mathematics, Natural Sciences, Engineering&Medicine*, 1(1): 9 (2010).

Balas, L., “Kıyı Lagünlerindeki Çevrıntilerin Üç Boyutlu Sayısal Modelle İncelenmesi”, *İMO Teknik Dergi*, 2691-2708 (2002).

Balas, L., Özhan, E., “Three Dimensional Modelling of Transport Process in Göksu Lagoon System”, *Proceedings of the Second International Conference on the Mediterranean Coastal Environment (MEDCOAST 95)*, Cilt 3, Editör: E. Özhan, İspanya, 1661-1673 (1995).

Balas L., Özhan, E., Öztürk, C., "Ölüdeniz Lagünü Akıntılarının Üç Boyutlu Matematiksel Modelle İncelenmesi", *Türkiye Kıyıları'98, Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları İkinci Konferansı*, Kıyı Alanları Yönetimi Türkiye Milli Komitesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Editör: E. Özhan, 817-830 (1998).

Balas, L., Özhan, E., "Flushing of Ölüdeniz Lagoon", *Proceedings of the Joint Conference on the Mediterranean Coastal Environment MEDCOAST'99 - EMECS'99*, Antalya, Cilt 3, 1873-1884 (1999).

Balas, L., Özhan E., “Kıyı Lagünlerindeki Çevrıntilerin Üç Boyutlu Matematiksel Modelle İncelenmesi”, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, Cilt 13, 3(13): 2691- 2708, (2002).

Bamber, “Saline Lagoons: A Guide to Their Management and Creation (interim version)” *English Nature*, 157 (2001).

Biçkici, B., Balas, L., “Kıyı Lagünleri Hidrodinamiği”, *Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları VIII. Ulusal Kongresi*, Trabzon, 3: 1267-1277 (2010).

Di Silvio, G., “Modelling the Morphological Evolution of Tidal Lagoons and Their Equilibrium Configurations”, *23rd IAHR Congress*, Ottawa, Canada, 55 (1989).

Gomez-Reyes, E., Blumberg, A.F., “Flushing Time in Coastal Lagoons”, *Computational Mechanics*, USA, 261-266, (1995).

Güç, İ., Özgen, Y., “ Kaş yat limanı üç boyutlu matematiksel hidrodinamik model ve liman içi kirlilik çalışması”, *IV. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu*, Antalya, 233 (2002).

İnternet: Wikipedia “Ölüdeniz, Fethiye” <http://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%96%C3%BCdeniz,Fethiye> (2011).

Kapdaşlı, S., Maktav, D., Yüksel, Y., Mutlu, T., Fer, İ., Ünal, E., Kırdaglı, M., Gakko, A., “Lagün-Deniz Etkileşiminin Hidrodinamik Özelliklerinin ve Doğal Denge Karakteristiklerinin Belirlenmesi”, *Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), YDABÇAG-93 Nolu Proje*, 3, 5-9, 160 (1997).

Kırdaglı, M., “Lagün Deniz Etkileşiminin İncelenmesi”, *Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi’ 99 Bildiri Kitabı*, 1-2: 367-377 (1999).

Kjerfve, B., “Coastal Lagoons Process. In: Kjerfve B (Ed) Coastal Lagoons Processes”, *Elsevier Oceanography Series*, 1-8 (1994).

Mendieta, M., Casarin, R., Renteria, F., Ibarra, M., “A flushing system to clean up coastal lagoons”, *Coastal structures*, 902 (2003).

Murakami, K., “Water exchange in enclosed coastal seas”, *Report of the Port and Harbor Research Institute*, 31(5): 103-134 (1993).

Ozoner, S., Erkal, T., Güneysu, C., “Ölüdeniz Lagünü’ndeki Siltasyonun Önlenmesine İlişkin Hidrojeomorfoloji Projesi”, *Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), YDABÇAG-187 Nolu Proje*, 37 (1997).

Öztürk, B., Öztürk, H., Görgün, M., “Deniz ortamı ve Ölüdeniz, Ölüdeniz Lagünü ve Çevresinin Korunması Projesi”, *TÜDAV Eğitim Serisi*, 1 (2003).

Sayın, E., Pazı, İ., “Çevrim ve taşınım modelleri ve Fethiye Körfezi Uygulaması”, *IV. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu*, Antalya, 67-78 (2002).

Sheng, P., Tutak, B., Davis, J.R., Paramygin, V., “Circulation and flushing in the lagoonal System of the Guana-Tolomato-Matanzas National Estuarine Research Reserve (GTMNERR)”, *Journal of Coastal Research*, Florida, 55: 9-25, (2008).

Sylaios, G., Theocharis, V., “Hydrology and Nutrient Enrichment at Two Coastal Lagoon Systems in Northern Greece”, *Water Resources Management*, 171-196 (2002).

Şenduran, C., “Küçükçekmece Lagünü’nde Limnolojik Özellikler ve Sediment Taşınımının Araştırılması”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1, 4-5 (2007).

Tagliapietra, D., Ghirardini, A. V., “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 (2006).

Toparlak, Ç., “Ölüdeniz Lagünü ve Çevresindeki Kirletici Parametrelerin Tayini”, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 4 (2005).

TÜGEM (Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü), “*Türkiye Kıyılarındaki Lagünlerin Yönetim ve Geliştirme Stratejileri ve Islahı*”, 1 (1997).

Wetzel, R.G., “Limnology”, 2nd ed., *Saunders College Pub.*,1 (1983).

Whigham, D.F., Dykyjova, D., Hejny, S., “Wetlands of the World: Inventory, ecology and management”, R.Tuxen, H. Leith, *Handbook and Vegetation Science*, Netherlands, 745 (1993).

Zarillo, Gray A., Liu, James T., Surak, Clem, “Comprehensive Analysis of Physical Processes in a Coastal Lagoon: New Insights for Estuarine Management”, *Proceedings of the 8th Symposium on Coastal and Ocean Management, V.1, ASCE*, New York, USA, 1108-1122 (1993).

EKLER

EK-1. Kıyı Lagünleri

Kıyı lagünleri, genellikle kıyıya paralel olarak uzanan, denizden bir kara şeridi ile ayrılmış, denize bir veya birden fazla sınırlı açıklıkla bağlanan, derinlikleri birkaç metreyi genellikle aşmayan, kara içerisindeki su alanlarıdır (Resim 1.1). Deniz ile sınırlı bağlantıya sahip sığ sular olarak tanımlanan lagünler için denizle su alış veriş mekanizmaları su kalitesi için temel etkidir [Biçkici ve Balas, 2010].

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 sundukları 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 artış; büyük bir hızla yerkürenin sahip olduğu yeraltı ve yerüstü kaynaklarının tükenmesine ve artan çevre kirliliğiyle beraber doğal ekosistemler üzerinde büyük tahribatlara 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 savaşlara 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 [Şenduran, 2007].

Lagün içindeki su, tuz ve sıcaklık dengesi gibi fiziksel oluşumlar başlıca beş jeomorfolojik faktörden etkilenirler:

EK-1. (Devam) Kıyı Lagünleri

Bunlar:

- Lagün ağzının yapısı
- Lagün büyüklüğü
- Ortalama derinlik
- Etkin rüzgar yönlerine göre lagünün konumu
- Dip topoğrafyasıdır.

Lagünlerin Oluşumu

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].

Wetzel (1983) kıyı lagünlerinin oluşumuyla ilgili şu tanımı 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.” [Şenduran, 2007].

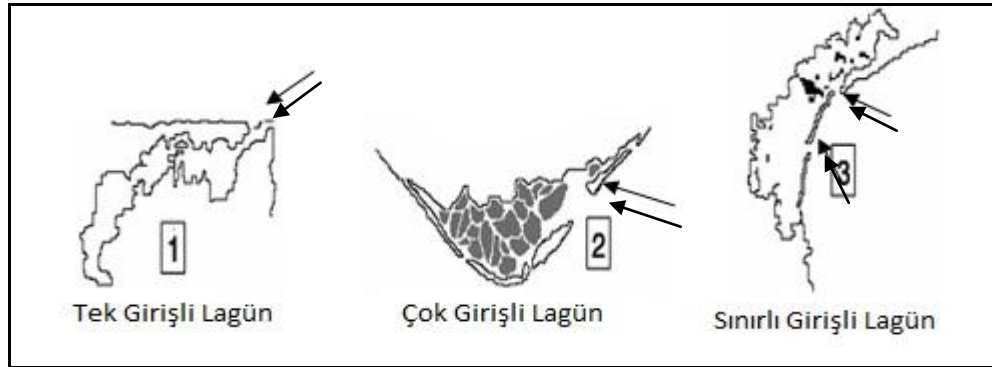
EK-1. (Devam) Kıyı Lagünleri

Lagünlerin Sınıflandırılması/ Lagün Tipleri

Kıyı lagünleri, bir bariyerle denizden ayrılmış, ancak denize bir ya da birkaç kanaldan bağlantısı olan, genellikle sığ su kütleleridir [Kjerfve, 1994]. Kıyı lagünleri deniz ile olan su alışverişlerine göre üç temel grupta incelenebilirler: tek girişli (tıkali) lagünler, sınırlı girişli lagünler ve çok girişli lagünler [Balas, 2002] (Şekil

EK-1. (Devam) Kıyı Lagünleri

1.1). Tek girişli lagünler, yüksek dalga enerjisinin ve önemli ölçüde kum taşınımının görüldüğü kıyıları boyunca oluşan, uzun ve dar bir giriş kanalıyla denize bağlanan lagünlerdir. Sınırlı girişli lagünler, iki ya da daha fazla giriş kanalına sahip, kıyıya paralel olarak uzanan, büyük ve geniş su alanlarıdır. Çok girişli lagünler, çok sayıda denizle bağlantı kanalına sahip, kıyıya paralel uzanan su alanlarıdır.

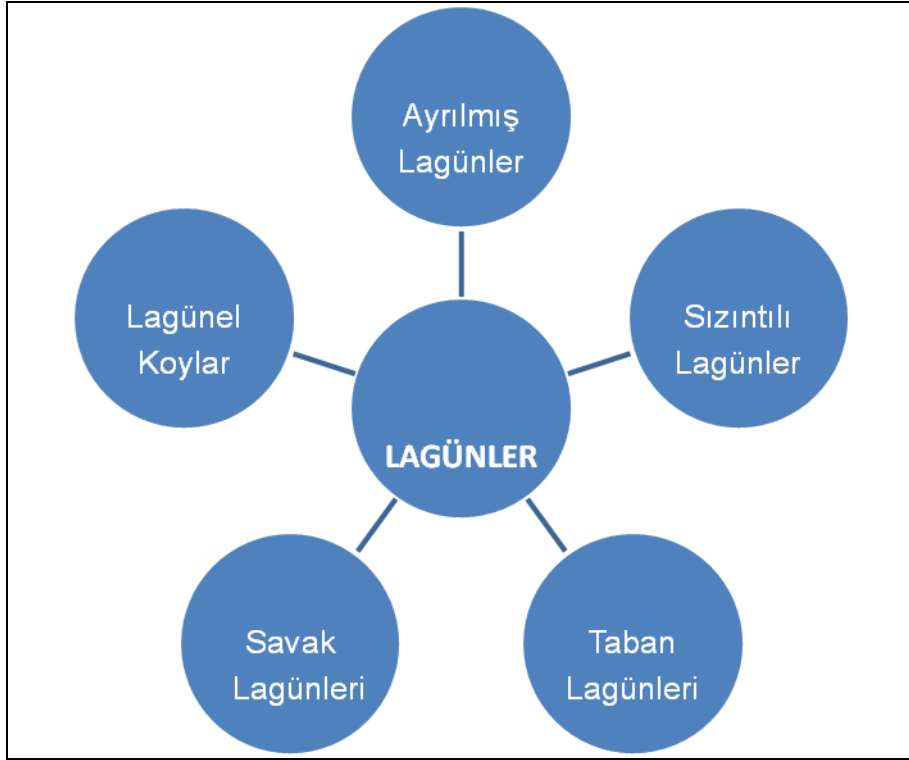


Şekil 1.1. Deniz ile olan su alışverişlerine göre lagün sınıflandırması

Kıyı lagünleri kara parçası ile deniz arasında kalan alanlar olduğu için karadan ve denizden gelebilecek etkilere karşı çok duyarlıdır. Lagünlere, kara-deniz ikilisinin birçok parametresi etki etmekle beraber, tatlı su girişleri, yağış, buharlaşma, rüzgar gibi etkiler de mevsimsel olarak lagünlerde değişimlere yol açmaktadır. Bu değişimler, zaman içerisinde kıyusal bölgenin diğer yapılarında olduğu gibi kalıcı yapısal değişikliklere neden olabilmektedir.

EK-1. (Devam) Kıyı Lagünleri

Lagünler doğal bariyerler vasıtasıyla fiziki coğrafyalarına bağlı olarak sınıflandırılabilir [Bamber, 2001]. Bu bağlamda, lagünler Özel Koruma Alanları ve Özel Bilimsel Fayda Alanlarını (SSSI) kapsayan 5 ana tipe ayrılmıştır [Biçkici ve Balas, 2010] (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Fiziki coğrafyalarına bağlı olarak lagün sınıflandırması [Biçkici ve Balas, 2010]

Şekil 1.2' de verilen lagün sınıflandırmasında, lagün hidrodinamiğini, morfolojisini ve ekolojik özelliklerini etkileyecek parametreler göz önüne alınarak tanımlamalar yapılmıştır [Biçkici ve Balas, 2010] (Çizelge 1.1).

EK-1. (Devam) Kıyı Lagünleri

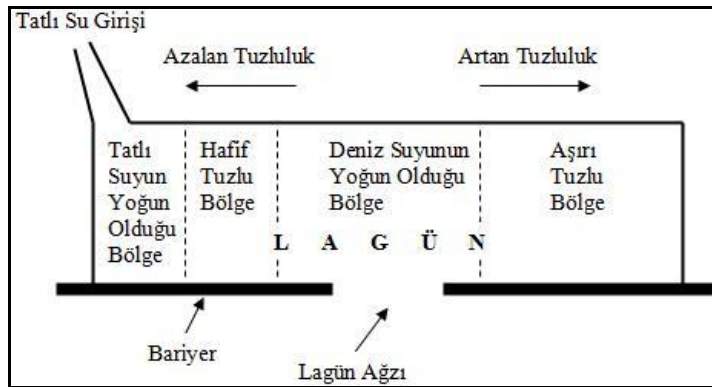
Çizelge 1.1. Lagün tipleri tanımları [Biçkici ve Balas, 2010]

<i>Lagün Tipleri</i>	<i>Set türü /Denize bağlantı Açıklık-Kapalılık</i>	<i>Deniz Etkisi</i>	<i>Gel-Git</i>	<i>Tuzluluk</i>	<i>Buharlaştırma</i>
<i>Ayrılmış Lagünler</i>	Taş ya da sediment birikimli/kapalı	Çok az	Yok	Çok yüksek	Çok yüksek
<i>Sızıntılı Lagünler</i>	İri taş veya çakıl türü/kapalı	Az	Çok az	Yüksek	Yüksek
<i>Taban Lagünleri</i>	Bir açıklık	Deniz-su değişimi düzenli ve sık	Az	Bitişik denizle aynı seviyeye yakın	Az
<i>Savak Lagünleri</i>	Bir açıklık	Deniz-su değişimi mekanik bir savak veya bariyer ile kontrol edilebilir	Kontrol altına alınabilir	Değişken	Değişken
<i>Lagünel Koylar</i>	Bir açıklık	Çok	Bitişik denizle aynı seviyede	Bitişik denizle aynı seviyede	Az

EK-1. (Devam) Kıyı Lagünleri

Deniz suyu, sedimentten oluşan bariyer boyunca süzülerek, dar bir kanal boyunca sızarak veya açıklıktan ilerleyerek lagünlerin ekolojik dengesi için çok önemli olan tuzlu suyu sağlar. Lagünlerin tuzluluğu, tatlı su ve deniz suyu girişi ile bağlantılı olarak mevsimsel olarak değişiklikler göstermektedir [Whigham ve ark., 1993]. Denize bir açıklık ile bağlı olan ve bir noktadan da tatlı su girişi olan lagünlerdeki tuzluluk değişimi bölgeleri Şekil 1.3' de sunulmuştur. Şekil 1.3' de görüldüğü üzere denize yakın noktalarda ve tatlı suya uzak alanlarda tuzluluk oranı artmaktadır.

Kıyı lagünlerinde su değişimini sağlayan ana sebep, nehir akışı ve gel-git etkisiyle deniz seviyesinde meydana gelen değişimlerdir. Bunlar, lagün içerisinde tuzluluk ve sıcaklık gibi su özelliklerinin yanında lagün içerisindeki ekolojik çevrimi de etkileyen ana parametrelerdir.



Şekil 1.3. Bir açıklıklı bir lagünün tuzluluk değişim bölgeleri

Kıyı lagünleri çökeltme, rüzgar etkisi ve gelgit akışlarından, buharlaşma dengesi ve yüzey sıcaklık dengesine kadar bir takım doğal kuvvetlerden etkilenirler ve bu kuvvetlere farklı şekillerde tepki verirler [Kjerfve, 1994].

Kıyı lagünleri, inorganik çökeltilerle organik maddeleri yakalayarak filtre görevi görürler. Bu sebeple, balıkçılık, su tarımı, tuz üretimi yönünden değerli alanlardır ve üretim çeşitliliği açısından da zenginlik gösterirler [Biçkici ve Balas, 2010].

EK-1. (Devam) Kıyı Lagünleri

Lagünlere Etki Eden Faktörler

Su insanlık tarihi için en önemli doğal kaynaklardan birisidir. Kıyısal su alanlarının korunması da toplumların bugünü ve yarını açısından büyük önem taşımaktadır. Lagünler karasal ve denizsel aktivitelere karşı savunmasız ekosistemlerdir. Özellikle de insanların yoğun etkileri sonucu ortaya çıkan çevresel kirlilik her geçen gün artarak, su alanlarını ve insan sağlığını tehlikeye sokan bir boyut kazanmıştır. Doğal çevrenin bozulması ve özellikle su kaynaklarının atık maddelerle yoğun olarak kirletilmesi; çevre korumasını, sosyal ve ekonomik boyutları ile günümüzde önemli bir konu haline getirmiştir. Kıyı lagünlerini etkileyen faktörler; dalga, akıntı ve rüzgar etkileri, kirlilik etkisi, morfolojik etkenler, gel git etkisi, sedimentasyon ve buharlaşma-tuzluluk etkisi gibi faktörlerdir.

Kıyı lagünleri, rüzgar etkisiyle oluşan su hareketlerinin incelendiği, yüzey alanı/ortalama su derinliği oranı en büyük sığ su sistemleridir. Bu sistemlerin hidrolik ve hidrografik özellikleri, belirtilen orana bağlı olarak değişim gösterir. Bu özellikler, ayrıca tatlı su girişi, rüzgar şiddeti, gelgit, buharlaşma ve yağış dengesi ile yüzey ısı dengesi gibi değişkenlerin etkisi altındadır ve her bir değişken ile farklı etkileşim gösterirler. Su kalitesi, ötrifikasyon, su ve tuz dengesi büyük oranda belirtilen değişkenlere, lagün içi çevrıntilere, tuz ve sıcaklık dağılımına ve denizle su alışverişine bağlıdır [Balas, 2002].

Lagün sistemleri, biyolojik çeşitliliğin korunması ve devamlılığının sağlanması konusunda büyük öneme sahip biyolojik zenginlik kaynaklarıdır. Kirlilik ve insan aktivitelerindeki değişimlerin sebep olduğu başlıca çevresel bozulmalar lagündeki hassas dengeyi olumsuz olarak etkilemektedir.

Akarsulara göre akış kısıtlaması olan lagünlerdeki kirliliğin boyutları daha farklıdır. Lagünlerde bozulmayan kirleticilerin giderek kirlilik potansiyelini artırmaları,

EK-1. (Devam) Kıyı Lagünleri

yüzeysel sular arasında kirlenmeye karşı en hassas su gruplarından olan lagünlerin korunmasında ne denli hassas olunması gerektiğini ortaya koyar.

Kıyısız bölgelerde kentleşme, çevre sorunları ortaya çıkmakta ve böylelikle yarı kapalı su kütlelerinin ötrifikasyonuna neden olmaktadır. Ötrifikasyon; suyun içindeki azot bileşiklerinin, suyun kalitesine ve su içindeki mevcut organizmaların dengesine zarar verebilecek düzeyde yosun büyümesinin hızlanmasına veya daha yüksek bitki formlarının oluşmasına neden olacak şekilde artmasıdır.

Yerleşim bölgelerinin atık sularının lagünlere deşarj edilmesi, lagünde biyolojik ve kimyasal kirlenmeye, balıkçılık faaliyetlerine etki etmektedir. Özellikle tarımsal ve evsel kökenli atıkların karıştığı lagünlerde nitritli, fosfatlı, azotlu besleyici tuzların suda artması ötrifikasyonu hızlandırır ve ilkbahar aylarında alglerin aşırı çoğalmasına neden olur. Aşırı çoğalan bu algler sıcaklar arttıkça canlılıklarını kaybederek kütleler halinde dibe çökerler ve çürümeleri sonucu ortamda oksijen azalması ve H₂S oluşur. Lagündeki bu oksijen azalması ve H₂S artışı, omurgalı ve omurgasız hayvanların ölümüne sebep olur. Olayların bu şekilde devam etmesi sonucunda lagünün dibi bakterilerin parçalayabileceğinden daha fazla maddeyle kaplanır ve oksijence fakirleşme hızla devam eder. Bakterilerin ayrıştırdığı organik maddelerden açığa çıkan mineral maddeler yeni canlı oluşmasında görev alırlar ve ötrifikasyona yardım ederler. Bu aşamada lagünlere su girişinin, içerideki su sirkülasyonunun ve lagünden su çıkışının ne kadar önemli olduğunu anlıyoruz. Eğer bu sirkülasyon olmazsa zamanla lagün bataklığa dönüşecek, daha sonra da bu bataklık çayıra dönüşerek kara haline geçecektir.

Lagünlere etki eden faktörlerden biri de buharlaşmadır. Buharlaşma özellikle sıg lagünlerde etkili olur. Buharlaşmanın yoğun olduğu, kanal suyu veya akarsu kaynaklarının iyice zayıfladığı yaz aylarında lagünlerde su seviyesi düşer ve denizden lagüne doğru oluşan akım sonucu lagünün tuzluluğu artar. Lagün ağzından giren tuzlu su akım yönünde ve rüzgar etkisinde içerilere doğru ilerler. Yağmurlu

EK-1. (Devam) Kıyı Lagünleri

sezon sonrası iyice azalan tuzluluk oranı da böylece giderek artmaya başlar [Kırdağlı, 1999].

Lagünlerin Önemi

İnsanoğlu lagün çevresini balıkçılık, ulaştırma, mesire yeri ve endüstriyel faaliyetler açısından her zaman oldukça önemli görmüştür [Zarillo ve ark., 1993]. Lagün ve lagün kanallarında inşa edilebilecek yeterince iyi etüd edilmemiş mühendislik yapıları, kum elde edilmesi için dip taraması, arazi ıslahı, kentsel, tarımsal ve endüstriyel atık tahliyelerine bağlı olarak meydana gelebilecek ekolojik dengedeki değişimler bu hassas sistemin dengesinin bozulmasına neden olur ve lagündeki değişimleri hızlandırabilir [Di Silvio, 1989]. Lagün morfolojisindeki bu değişimlerin insan aktiviteleri üzerinde olabilecek olumsuz etkileri unutulmamalıdır. Bu nedenle lagün sisteminin ve hidrodinamiğinin anlaşılması çok önemli bir konudur.

Türkiye'deki Lagünler

Türkiye üç tarafı denizlerle çevrili, kıyı uzunluğu yaklaşık olarak 8333 km olan bir kıyı ülkesidir. Ülkemizde 72 adet lagün sahası bulunmaktadır [TÜGEM, 1997]. Bölgelerimize göre lagünler aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

Karadeniz Bölgesi lagünleri

Karadeniz, kıyı suları haliç özelliklerini taşıyan, çok kirli ve yüksek hidrodinamizmi olan yarı kapalı bir havzadır. Yüzey suyu sıcaklığı kışın minimum 7°C, yazın ise maksimum 25°C'dir. Yüzey suları dinamiktir, dalgalar batı-doğu yönünde ilerlemektedir. Karadeniz kıyıları boyunca toplam 3139 hektarlık bir alanı kaplayan 14 adet lagüne rastlanmıştır. Karadeniz lagünleri Kızılırmak Nehri'ndeki geniş delta alanında yoğunlaşmaktadır [TÜGEM, 1997].

EK-1. (Devam) Kıyı Lagünleri

Marmara Bölgesi lagünleri

Marmara Denizi, Karadeniz'i Ege Denizi'ne bağlayan küçük, kapalı bir havzadır. Yaz mevsiminde Çanakkale Boğazı'ndan deniz suyu girmektedir. Yüzeysel sıcaklığı kışın 7°C, yazın 24°C civarındadır. Marmara Denizi'nde yer alan 12 lagün, toplam 2650 hektarlık bir alan kaplamaktadır [TÜGEM, 1997].

Ege Bölgesi lagünleri

Ege kıyıları Yunanistan sınırından, Akdeniz sınırını çizen Dalaman Yarımadası'na uzanmaktadır. Ege sahil şeridi, lagün sayısı, alanı ve balık üretimi açısından en zengin sahil şerididir. Bu lagünler toplam 20000 hektarlık bir alan kaplamaktadır. Bafa ve Köyceğiz Lagünleri toplam alanın %60'ını oluşturur. Ortalama olarak su yüzeyi sıcaklıkları Karadeniz'de ve Marmara Denizi'nde olduğundan daha yüksektir ve kuzeyden güneye doğru artmaktadır. Ortalama sıcaklık kışın 11°C (güneyde 16°C), yazın 24°C (güneyde 27°C) civarındadır [TÜGEM, 1997].

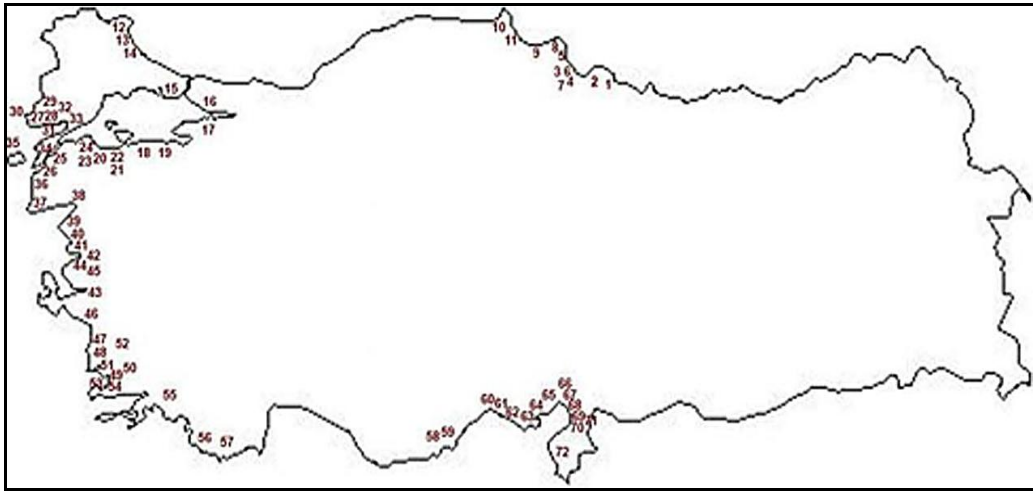
Akdeniz Bölgesi lagünleri

Akdeniz kıyılarındaki lagünler, Silifke yakınındaki Meriç Nehri ve Çukurova'daki Ceyhan ve Seyhan Nehirleri' nin delta alanlarında bulunmaktadır. Kuzeyden güneye doğru sıralanmış, toplam alanı 11600 ha olan 17 lagün vardır. Seyhan ve Ceyhan nehirleri deltası Suriye sınırından önce yer alan son lagün alanıdır. Bunlar büyüklük, balık üretim potansiyeli ve doğal zenginlik açısından Türkiye'nin en önemli lagünleri arasındadırlar.

Türkiye kıyılarında Akdeniz oldukça istikrarlı bir tuzluluğa sahiptir, bütün Akdeniz havzasında en yüksek yüzey sıcaklıkları görülmektedir. Sıcaklık yazın 28°C, kışın 18°C civarındadır. Batıdan doğuya gidildikçe ortalama sıcaklıkta küçük bir artış vardır.

EK-1. (Devam) Kıyı Lagünleri

Sanayi bölgelerinin atıklarından dolayı özellikle İskenderun, İçel ve biraz daha az olmak üzere Antalya endüstriyel kirliliğin çok fazla olduğu yerlerdir. Ayrıca turistik tesislerden ve gittikçe sayıları artan tatil beldelerinden gelen pis sular da kirliliği artırmaktadır [TÜGEM, 1997].



(a)

KARADENİZ BÖLGESİ	EGE BÖLGESİ	AKDENİZ BÖLGESİ
1.Simerlik+Akgöl, Terme, SAMSUN	27. Taşaltı Gölü, Enez, EDİRNE	56. Gelemiş Gölü, Kaş, ANTALYA
2.Ahubaba Gölleri, Terme, SAMSUN	28. Dalyan Gölü, Enez, EDİRNE	57. Beymelek Lagün Gölü, Silifke, ANTALYA
3.Balık, Bafra, SAMSUN	29. Bücürmene Gölü, Enez, EDİRNE	58. Akgöl, Silifke, İÇEL
4.Uzun, Bafra, SAMSUN	30. Karagöl Gölü, Enez, EDİRNE	59. Paradeniz Gölü, Silifke, İÇEL
5.Çemek, Bafra, SAMSUN	31. Vakıf Tuzla Gölü, Vakıf, EDİRNE	60. Dipsiz Dalyanı, Tarsus, İÇEL
6.Gıcı, Bafra, SAMSUN	32. Tuzla Gölü, Erikli, EDİRNE	61. Tuzla Gölü, Tuzla, ADANA
7.Tatlı, Bafra, SAMSUN	33. Kavak Lagün Gölleri, Evreşe, ÇANAĞKALE	62. Akyatan Gölü, Karataş, ADANA
8.Liman, Bafra, SAMSUN	34. Anafarta Tuz Gölü, Eceabat, ÇANAĞKALE	63. Ağyatan Gölü, Karataş, ADANA
9.Karaboğaz, Bafra, SAMSUN	35. Tuz Gölü, Gökçeada, ÇANAĞKALE	64. Çamlı Dalyanı, Yumurtalık, ADANA
10.Sankum, Bafra, SAMSUN	36. Kumkale Lagün Gölü, Kumkale, ÇANAĞKALE	65. Yelkoma Dalyanı, Yumurtalık, ADANA
11.Küçükboğaz, SİNOP	37. Diremli Azmağı, Gülpınar, ÇANAĞKALE	66. İkizler Kum Ocağı Mev, Erzin, HATAY
12.Erikli, İğneada, KIRKLARELİ	38. Çıknkç Dalyanı, Edremit, BALIKESİR	67. Yeni yurt Gölcükleri, Dörtyol, HATAY
13.Merç, İğneada, KIRKLARELİ	39. Alibey Dalyanı, Ayvalık, BALIKESİR	68. Seçil Gölcüğü, Dörtyol, HATAY
14.Saka, İğneada, KIRKLARELİ	40. Uzun Göl, Altınova, BALIKESİR	69. Tarım İl Müd. Gölet, Dörtyol, HATAY
MARMARA BÖLGESİ	41. Dalyan Gölü, Çandarlı, İZMİR	70. Tigem Gölcüğü, Dörtyol, HATAY
15.Küçükçekmece, İSTANBUL	42. Zeytindağ Dalyanı, Çandarlı, İZMİR	71. Katıboğulu Sahası Göleti, Dörtyol, HATAY
16.Tuzla, İSTANBUL	43. Homa+K.Kırdeniz, Merkez, İZMİR	72. Tuz Göleti, Samandağ, HATAY
17.Hersek, Karamürsel, YALOVA	44. Raufpaşa Dalyanı, Çandarlı, İZMİR	
18.Arapçiftliği, Karacabey, BURSA	45. Çakal Burnu Dalyanı, Çandarlı, İZMİR	
19.Dalyan+Poyraz, Karacabey, BURSA	46. Gebekilise Gölü, Selçuk, İZMİR	
20.Yanmtı, Misakça, BALIKESİR	47. Karine Gölü, Söke, AYDIN	
21.Tahir, Misakça, BALIKESİR	48. Arapça Lagünü, Yenihisar, AYDIN	
22.Tuzluazmak, Misakça, BALIKESİR	49. Karaca Dalyanı, Yenihisar, AYDIN	
23.Hoyrat, Karabiga, ÇANAĞKALE	50. Bölme Dalyanı, Yenihisar, AYDIN	
24.Karabiga Gölleri, Karabiga, ÇANAĞKALE	51. Kabahayıt Dalyanı, Yenihisar, AYDIN	
25.Çardak Burunucu, Misakça, ÇANAĞKALE	52. Bafa Gölü, Yenihisar, AYDIN	
26.Çatal Azmak G., Umurbey, ÇANAĞKALE	53. Güllük Dalyanı, Milas, MUĞLA	
	54. Tuzla Lagünü, Milas, MUĞLA	
	55. Köyceğiz Dalyanı, Köyceğiz, MUĞLA	

(b)

Şekil 1.4. Türkiye'deki lagünlerin, (a) coğrafi konumları, (b) isimleri ve bölgelere göre dağılımları [Biçkici ve Balas, 2010]

EK-1. (Devam) Kıyı Lagünleri

Şekil 1.4'ten de görüldüğü üzere Türkiye'de kıyı bölgelerinde bulunan lagünlerin yaklaşık olarak, %24'ü Akdeniz, %40'ı Ege , %19'u Karadeniz ve %17'si Marmara kıyılarında bulunmaktadır (Şekil 1.4) [Biçkici ve Balas, 2010].

Lagün Çevrintileri

Kıyı lagünleri, rüzgar etkisiyle oluşan hareketlerin incelendiği yüzey alanı/ortalama su derinliği oranı en büyük sığ su sistemleridir. Bu sistemlerin hidrolik ve hidrografik özellikleri, belirtilen orana bağlı olarak değişim gösterir. Bu özellikler, ayrıca tatlı su girişi, rüzgar şiddeti, gelgit, buharlaşma ve yağış dengesi ile yüzey ısı dengesi gibi değişkenlerin etkisi altındadır ve her bir değişken ile farklı şekillerde etkileşim gösterirler. Su kalitesi, ötrifikasyon, su ve tuz dengesi büyük oranda belirtilen değişkenlere, lagün içi çevrintilere, tuz ve madde dağılımına ve deniz bağlantılarıyla gerçekleşen su alışverişine bağlıdır. Bu nedenle, lagünlerde kıyı yönetimi ve planlama, ancak lagünlerin fiziksel, kimyasal, jeolojik ve ekolojik dinamiğinin anlaşılması ile mümkün olmaktadır [Balas, 2002].

Kıyı lagünleri deniz ile olan su alışverişlerine göre üç temel grupta incelenebilirler. Bunlar:

- Tek girişli (tıkali) lagünler,
- Sınırlı girişli lagünler,
- Çok girişli lagünlerdir.

Tek girişli lagünler, yüksek dalga enerjisinin ve önemli miktarda kum taşınımının görüldüğü kıyılar boyunca bir dizi eliptik hücre şeklinde oluşan, uzun ve dar bir giriş kanalıyla denize bağlanan lagünlerdir. Tek girişli lagünlerin en önemli özelliği, açık denizdeki gelgit oluşumuyla aynı frekansa sahip gelgit etkisi altında kaldıkları halde, lagün içi su düzeyi değişimlerini ve gelgit akıntılarını büyük ölçüde engelleyen ve

EK-1. (Devam) Kıyı Lagünleri

dinamik bir filtre görevini gören tek bir giriş kanalına sahip olmalarıdır. Lagünün denizle olan etkileşimini sağlayan tek giriş kanalının uzun ve dar yapısı, bu lagünlerde gelgit etkisiyle oluşan su düzeyi değişimlerini, aynı bölgede gözlenen gelgit miktarının yüzde 5'i ya da daha azı düzeyine indirgemektedir. Bu lagünler, dünyanın kurak veya yarı-kurak bölgelerinde sürekli ya da geçici olarak aşırı miktarda tuzluluğa erişirler. Tek girişli bir lagünün temel özellikleri, uzun dönemli bir su yenilenme süresine sahip olması, rüzgar kuvvetinin baskın olması, yoğun güneş ışınması ve tatlı su girişleri nedeniyle değişik yoğunluklu tabakaların oluşmasıdır. Tek girişli lagünlerin büyük bir çoğunluğu kıyıya paralel olarak uzanmaktadır, ancak bazen nehir deltalarıyla birlikte yeni bir oluşum meydana getirerek kıyıya dik bir konum kazandıkları da gözlenmiştir.

Sınırlı girişli lagünler, kıyıya paralel olarak uzanan ve iki ya da daha fazla giriş kanalına sahip büyük ve geniş su alanlarından oluşurlar. Sonuç olarak, bu lagünlerde belirgin bir gelgit çevrintisi gözlenir.

Gelgit ve rüzgar etkisiyle oluşan çevrintiler, düşeyde tam bir karışım sağlar ve lagünün tuzluluğu hafif tuzlu su ile deniz suyu aralığında değişkenlik gösterir. Sınırlı girişli lagünlerdeki suyun yenilenme süresi, tek girişli bir lagün ile karşılaştırıldığında oldukça kısadır.

Çok girişli lagünler, birçok deniz bağlantısına sahip kıyıya paralel uzanan su alanlarıdır. Bu lagünlere, dalga ve kum taşınım olaylarının etkisiyle deniz ile olan bağlantı kanallarının kapanma eğilimine karşı, güçlü gelgit akıntılarının bulunduğu kıyılarda rastlanır. Bu lagünlerin temel özellikleri, tek girişli lagünler ile karşılaştırıldığında, yapısal yelpazenin diğer ucunda yer alırlar. Çok sayıda ve geniş yapıdaki gelgit geçiş ağzları; yalnızca gelgit etkisiyle değil, dalga ve uzun süreli diğer etkileşim mekanizmaları ile de kesintisiz su alışverişini sağlar. Güçlü gelgit akıntıları ve deniz suyuna yakın tuzluluk değerleri bu lagünlerin en önemli özellikleridir.

EK-1. (Devam) Kıyı Lagünleri

Lagün içindeki su, tuz ve sıcaklık dengesi; lagün ağzının yapısı, lagün büyüklüğü, etkin rüzgar yönlerine göre lagünün konumu, dip topografyası ve ortalama derinliğe bağlıdır. Lagün girişinin boyutları, çözülmüş ve askı maddeleri ile su alışverişini kontrol eder. Lagün-deniz alışverişi, suyun yenilenme süresini, lagün içindeki kalış süresini ve dolayısıyla da lagünün su kalitesini belirler. Büyük lagünlerde rüzgar etkisi, özellikle lagünün uzun eksenine, etkin rüzgar yönüyle aynı doğrultuda olduğunda oldukça belirgindir. Dip topografyası, doğal oluşumlu veya insan yapısı lagün içi kanalların da etkisiyle; gelgit, rüzgar veya diğer etkenlerle oluşan çevrintileri yönlendirir ve taşınımı kontrol eder. Ortalama derinlik ise, yukarıda belirtilen etkenler içinde en önemli olanıdır. Kıyı lagünleri, sığ su sistemleri olduklarından, ısınma ve soğumaya karşı oldukça duyarlıdırlar. Ayrıca, belirgin dalga etkisi sonucu oluşan su tabakalarındaki karışmalar, bazen lagün tabanına kadar ulaşabilmekte ve düşey tabakalanmayı tamamen yok etmektedir. Bunun sonucu olarak, lagünlerde yoğunluk değişimleri yatay düzlemde düşeye oranla daha büyüktür.

Sığ su sistemleri olan lagünlerde, dip sürtünme tabakası, düşey tabakalanmanın alışılmışın dışında çok güçlü olduğu bölgeler dışında, su yüzeyine kadar ulaşmaktadır. Böylece akıntılar, etken olan kuvvetin sona ermesi ile bir kaç saat içinde sönümlenmektedirler. Başka bir deyişle, lagünlerde belirgin akıntı düzenlerinin oluşması için kuvvetlerin sürekli ve bölgesel etkenli olması gerekmektedir. Örneğin, gelgit kuvveti periyodik olarak sürekli bir etkendir, ancak gelgit hareketleri açık denizle olan su alışverişinden kaynaklandığından, lagün girişinin kısıtlayıcı özelliği sebebiyle etkisi oldukça azalmaktadır. Buna rağmen, gelgit hareketleri özellikle lagün girişleri etrafında önemli bir etken durumundadırlar. Rüzgar kuvveti ise, bölgesel olduğundan lagünü doğrudan etkiler, fakat zaman içinde hızı ve yönü değişkendir. Bu yüzden, lagünün giriş ağız bölgesinde gelgit akıntıları baskınken, iç kesimlerde rüzgar etkisi çevrintilerin oluşumunda etkilidir. Rüzgar etkenli çevrintiler, rüzgarın esiş yönünde su yüzeyinde bir akıntı oluştururken, lagün

EK-1. (Devam) Kıyı Lagünleri

tabanında ters yönlü bir akıntı meydana getirirler. Bunun sonucu olarak, gelgit etkisi uzun dönemde etken bir kuvvet haline dönüşse bile, kısa dönemde, bölgesel rüzgar etkisine karşı oluşan net akım çevrintilerde daha baskın olarak gözlenmektedir. Türkiye kıyı lagünleri çoğunlukla tek girişli lagünler olup, temel su çevrintileri, rüzgar ve yoğunluk farklılaşması etkenlidir [Balas, 2002; Balas ve Özhan, 1995].

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BİÇKİCİ, Buğrayhan
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 07.01.1985, Erzurum
 Medeni hali : Bekar

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Atatürk Üniversitesi / Mak. Müh. Bölümü	2007
Lisans	Atatürk Üniversitesi / İnş. Müh. Bölümü	2006
Lise	Erzurum Anadolu Lisesi	2002

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Biçkici, B., Balas L., “Kıyı Lagünleri Hidrodinamiği”, *Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları VIII. Ulusal Kongresi*, Trabzon, 1267-1277, 2010.
2. Kocabaş, F., B. Ünal, Biçkici, B., Vardar, M. ve Kızıl, Y., "Yapay Sinir Ağı ve Lineer Model İle Köprü Ayaklarında Oyulma Derinliğinin Tahmini", *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 147-157, 2009.
3. Kocabaş, F., Ünal, B., Biçkici, B., Vardar, M. ve Kızıl, Y., “ Köprü Ayaklarında Oyulma Derinliğinin Tahmininde Lineer Model Uygulaması”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 30. Yıl Sempozyumu* , Adana, 296-303, 2008.

Hobiler

Bilgisayar, gezi, spor, belgesel ve müzik.