

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TUZLA KAMİL ABDÜŞ LAGÜNÜ'NÜN HİDRODİNAMİK
MODELİ VE SİMÜLASYONU**

DOKTORA TEZİ

Y.Fizikçi Banu TANSEL

Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Hasan KARABAY

Eş Danışman : Doç. Dr. Ata BİLGİLİ

KOCAELİ, 2010

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TUZLA KAMİL ABDÜŞ LAGÜNÜ'NÜN HİDRODİNAMİK
MODELİ VE SİMÜLASYONU**

DOKTORA TEZİ

Y.Fizikçi Banu TANSEL

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26/07/2010

Tezin Savunulduğu Tarih: 07/12/2010

Tez Danışmanı

Yrd.Doç.Dr.

(Hasan KARABAY)

**Eş Danışman
Doç.Dr.**

(Ata BİLGİLİ)

Üye

Prof.Dr.

(Orhan YENİGÜN)

Üye

Prof.Dr.

(H. Şinasi ONUR)

Üye

Prof.Dr.

(H. İbrahim SARAÇ)

Üye

Yrd.Doç.Dr.

(İlyas KANDEMİR)

Üye

Doç.Dr.

(K.Süleyman YIGİT)

istediğim düzeltmeleri yapmamıştır.

K

KOCAELİ, 2010

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Tez çalışmasında uygulama alanı olarak seçilen Tuzla Kamil Abdüş Lagünü için deniz ve lagün suyunun değişimi Lagrange parçacık yöntemi ile incelenmiştir. Tez kapsamında, deniz kirliliğinden etkilenen lagün sistemlerinin, su kalitesi ile ilgili olarak acil eylem ve risk planlamasında kullanılacak bilimsel öngörülerini ortaya koyabilecek analizleri sunulmuştur. Bu analizler, değişik rüzgâr, akıntı ve gelgit koşullarında denizden gelen ve/veya lagünden denizi etkileyebilecek kirlenmelerin simülasyon sonuçlarıdır. Buna bağlı olarak ne kadarlık parçacık sayısı ile sağlıklı öngörülerin yapılabileceğinin analizi için parçacık sayısının optimizasyonunun belirlenmesi çalışılmıştır.

Bu tez çalışması sırasında tez danışmanım Yrd.Doç.Dr. Hasan KARABAY'a katkılarından ötürü ve eş tez danışmanım Doç.Dr. Ata BİLGİLİ'ye çok değerli bilgi birikimleriyle bana yön verip destek olduğundan dolayı,

Tez izleme jürimde bulunan Prof.Dr. Orhan YENİGÜN ve Doç.Dr. İlyas KANDEMİR'e çalışmam sırasındaki yapıcı yönlendirmelerinden dolayı,

Prof.Dr. Levon ÇAPAN'a doktora başlama kararında beni cesaretlendirerek akademik ilerlememe katkıda bulunduğu için dolayı,

Prof.Dr. Taner OSKAY'a, fen bilimleri enstitü müdürü Prof.Dr. İlhan T. ÖZTÜRK'e ve fen bilimleri enstitü sekreteri Leyla ŞENOL'a doktora sürecinde yaşadığım zor zamanlarda verdikleri desteklerden dolayı,

Doç.Dr. Sibel MENTEŞ'e tez çalışmamda tarafıma sağladığı veri desteğinden dolayı,

şükran ve saygılarımı

ve kızım Tansel ÖZEN'e küçük yaşına rağmen annesine gösterdiği büyük anlayış ve yardımından dolayı minnettarlığımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLO DİZİNİ	v
SEMBOLLER	vi
ÖZET.....	viii
İNGİLİZCE ÖZET	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1.Lagün Sistemlerinin Ekolojik Risk Problemleri	4
2.2. Hedef ve Yöntem	5
2.3. Literatür Araştırması	7
2.4. Kapsam.....	12
3. MATEMATİK MODEL	15
3.1. Kinematik Yaklaşım.....	15
3.2. Dinamik Yaklaşım	31
4. İKİ BOYUTLU ÜÇGENSEL HESAPLAMA AĞI.....	33
5. SAYISAL MODEL.....	38
5.1.Bellamy Bileşenleri	41
5.2. Bellamy Süreçleri.....	45
5.3. Dip Sürtünmesi	45
5.3.1. CD dip gerilmesi	45
5.3.2. Manning dip gerilmesi	46
5.3.3. Chezy dip gerilmesi	46
5.4. Parçacık İzleme Modülü	48
6. TUZLA KAMİL ABDÜŞ LAGÜNÜ ÇALIŞMALARI.....	50
6.1. Tuzla Kamil Abdüş Lagünü'nün Hesaplama Ağının Oluşturulması	50
6.2. Tuzla Kamil Abdüş Lagünü Simülasyon Çalışmaları.....	64
6.2.1. Hidrodinamik model parametreleri	65
6.2.2. Parçacık izleme modülü parametreleri.....	70
6.2.3. Hidrodinamik model çıktı analizi.....	72
6.2.4. Parçacık izleme çıktı analizi.....	79
6.2.5. Parçacık sayısının etkisi	80
6.2.6. Rüzgarlı rüzgarsız durum karşılaştırması.....	83
6.2.7. Pecllet sayısı analizi	85
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	89
KAYNAKLAR	92
KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER.....	96
ÖZGEÇMİŞ	98

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Tuzla Kamil Abdüş Lagünü uydu fotoğrafı.....	2
Şekil 2.1: Bir lagünün tuzluluk değişimine göre bölgelere ayrılması.....	4
Şekil 3.1: x yüzeylerine giren ve çıkan kütle akılarını gösteren kartezyen sistemde ifade edilen sonsuz küçük sabit bir kontrol hacmi	14
Şekil 3.2: Akışkan sütunu	15
Şekil 3.3: Yüzey yükselmesi ve batimetri arasındaki ilişki	16
Şekil 3.4: Kanal geometrisi	23
Şekil 3.5: Hidrolik iletkenliği κ olan gözenekli ortamdan geçen akış şeması.....	24
Şekil 4.1: BatTri akış algoritması	30
Şekil 4.2: Cape Ann çevresindeki bir kıyısal alanın BatTri ağı.....	31
Şekil 5.1: BELLAMY hidrodinamik hesaplamalarında ADAM2 ve FOX bileşenleri'nin kullanımı	38
Şekil 5.2: BELLAMY'nin hidrodinamik hesaplama ve parçacık izleme modülü arasındaki ilişki.....	39
Şekil 6.1: Tuzla Kamil Abdül Gölü'nün batimetri haritası.....	45
Şekil 6.2: Lagünün kuzey batısında bulunan tersaneler bölgesi	46
Şekil 6.3: Lagün- deniz bağlantısının olduğu kuzey ağız bölgesi.....	46
Şekil 6.4: Lagünün kuzeydoğusunda bulunan adacığın görünümü.....	47
Şekil 6.7: Tuzla Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü'nden alınan lagün konfigürasyonun son durumu	47
Şekil 6.6: Model bölgesinin genel ağ yapısı	49
Şekil 6.7: Model alanının farklı derinlik sınırlarına göre elde edilmiş düzlemsel doğru çizgisi	50
Şekil 6.8: Lagün alanının farklı derinlik sınırlarına göre elde edilmiş düzlemsel doğru çizgi detayı.....	51
Şekil 6.9: Lagün içi ve çevresi ağ detayı.....	52
Şekil 6.10: Lagün girişleri ve çevresinin ağ yapısının derinliklere göre detayı.....	53
Şekil 6.11: Model bölgesinin genel batimetrik haritası	54
Şekil 6.12: Lagün içi ve dışı batimetrik haritası	55
Şekil 6.13: Lagün girişleri detaylarının batimetrik harita gösterimi	56
Şekil 6.14: BatTri programına göre rafine edilmiş lagün içi ağ yapısının iç açılara göre gösterimi.....	57
Şekil 6.15: BatTri Programına göre belirlenen bölgesel zaman adımları	58
Şekil 6.16: Hesaplama ağı elemanlarının kalite haritası	59
Şekil 6.17: Lagün çevresi için test koşusu sonucu elde edilen karakteristik örnek akıntı vektörleri	60
Şekil 6.18: Güney lagün girişi için test koşusu sonucu elde edilen karakteristik örnek akıntı vektörleri	60
Şekil 6.19: Şubat 2001 aylık rüzgar dağılımı.....	62
Şekil 6.20: Aylık M_2 , S_2 , K_1 ve O_1 gelgit bileşenlerinden oluşan ve modeli zorlamakta kullanılan zaman serisi	63

Şekil 6.21: Hidrodinamik simülasyondan elde edilen eleman bazındaki saniye cinsinden model zaman aralıkları	66
Şekil 6.22: Lagün girişleri çevresinde modellenen bir aylık akıntı yönlerinin açısai histogramı	69
Şekil 6.23: Lagün girişleri çevresinde modellenen bir aylık akıntı büyüklüklerinin açısai dağılımı.....	70
Şekil 6.24: Model bölgesinde ortalama rüzgar hızları (mavi) ile ortalama artık akıntı hızı değişiminin (siyah) yaklaşık 10,5 günlük zaman serileri.....	71
Şekil 6.25: Model bölgesinde ortalama rüzgar yönü (mavi) ile ortalama artık akıntı hızı değişiminin (siyah) yaklaşık 10,5 günlük zaman serileri.....	72
Şekil 6.26: Lagün girişleri civarında lodos sonrası artık akıntı vektörleri (A.....)	74
Şekil 6.27: Lagün güney girişinin lodos sonrası artık akıntı vektörleri detayı (A.....)	75
Şekil 6.28: Lagün kuzey girişinin lodos sonrası artık akıntı vektörleri detayı (A.....)	76
Şekil 6.29: Kanal ve sıklık sınırında lodos sonrası örnek artık akıntı vektörleri (A..)	77
Şekil 6.30: Lagün güney girişinde simülasyon sonu aylık artık akıntı vektörleri (B	78
Şekil 6.31: Lagün içi parçacıkların sayısındaki zaman bağlı değişim	81
(kirli lagün + kirli deniz	81
Şekil 6.32: Lagün içi parçacıkların sayısındaki zaman bağlı değişim (kirli lagün.....)	82
Şekil 6.33: Koşu 350 için düşük (1 m ² /sn) ve yüksek (10 m ² /sn) dispersiyon durumlarında 10 günlük rüzgar etkisinin karşılaştırılması	84
Şekil 6.34: Peclet sayısının düşük dispersiyon (1 m ² /sn) durumunda model bölgesindeki dağılım haritası	86
Şekil 6.35: Peclet sayısının yüksek dispersiyon (10 m ² /sn) durumunda model bölgesindeki dağılım haritası	87

TABLolar DİZİNİ

Tablo 6.1: Alpar ve Yüce (1998)'ye göre Fenerbahçe, İstanbul'da ölçülen gelgit Değerleri	64
Tablo 6.2: Parçacık izleme senaryo özellikleri ve bilgisayar simülasyon verileri	68
Tablo 6.3: Değişik simülasyonlarda hesaplanan lagün <i>e</i> -katlanma süreleri	80

SEMBOLLER

A	: Ağ eleman alanı (m ²)
a	: Dalga genliği (cm)
b	: Kanal kesit genişliği (m)
C	: Direnç katsayısı
Ç	: Islak kanal çevresi (m)
D	: Difüzyon (m ² /sn)
g	: Yer çekimi ivmesi (m/sn ²)
H	: Akışkan sütununun kalınlığı (m)
h	: Ortalama ağ elemanı derinliği (m)
L	: Ağ elemanı kenar uzunluğu (m)
m	: Eğim
n	: Manning pürüzlülük sabiti
P	: Basınç (Pa)
Pe	: Peclet sayısı
Q	: Hacimsel akı (m ³ /sn)
q	: Eleman kalite ölçütü
R	: Hidrolik yarıçap (m)
r	: direnç
S	: Kanal kesit alanı (m ²)
T	: Periyot (sn)
t	: Zaman (sn)
\vec{U}	: Yatay doğrultudaki hız vektörü bileşeni (m/sn)
\vec{V}	: Hız vektörü (m/sn)
\vec{W}	: Dikey doğrultudaki hız vektörü bileşeni (m/sn)
α	: Sınırlama oranı
γ	: Özgül ağırlık (N/m ³)
ρ	: Yoğunluk (kg/m ³)
ξ	: Dalga genliği (m)
μ	: Dinamik vizkozite (kg/m.sn)
τ	: Gerilme (N/m ²)
κ	: Hidrolik geçirgenlik (m/sn)
Φ	: Faz açısı (rd)

Alt İndisler

o	: açık kanal
p	: gözenekli ortam
rüzgar	: rüzgar
d	: dip
D	: C _D tipi
a	: hava

w : su
r : artık (rezidüel) akıntı
h : Chezy sabiti

TUZLA KAMİL ABDÜŞ LAGÜNÜ'NÜN HİDRODİNAMİK MODELİ VE SİMÜLASYONU

Banu TANSEL

Anahtar Kelimeler: Tuzla Kamil Abdüş Lagünü, Hidrodinamik Model, Lagrange Parçacık Yöntemi, Parçacık Optimizasyonu, Su kalitesi.

Deniz kirliliği, ekolojik değerleri yüksek olan lagün sistemlerinin su kalitesini negatif yönde etkileyen önemli bir unsurdur. Bu tez çalışmasının amacı deniz kirliliğinden etkilenen lagün sistemlerinin, su kalitesi ile ilgili olarak acil eylem ve risk planlamasında kullanılacak bilimsel öngörülerini ortaya koyabilecek analizleri sunmaktır. İstanbul'un Tuzla ilçesinde bulunan Kamil Abdüş Lagünü'nün 2D hidrodinamik modellemesi oluşturulmuş ve akıntı alanları hesaplanmıştır. Bu akıntı alanlarına bırakılan ötelenme ve rastgele yürüyüş ile yayılıma uğrayan değişik sayıdaki Lagrange parçacığının, zaman içindeki konumları değişik rüzgâr ve gelgit koşullarında sayısal olarak hesaplanmıştır. Böylelikle deniz ve lagün arasındaki parçacık değişimlerinin, değişik koşullar altında simülasyonları yapılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. Hidrodinamik model sonuçlarına göre Şubat 2001 klimatolojisi altında lagünün güney ağzının denizden gelen parçacık taşınımı ile bir giriş, kuzey ağzının ise denize parçacık tahliyesi ile bir çıkış görevi üstlendiği gözlenmiştir. Simülasyon sonuçlarına bakıldığında lagünün kendisini temizleme süresi, kullanılan parçacık sayılarına göre önemli anlamda değişiklikler göstermektedir. Farklı parçacık sayıları (65.073, 299.771 ve 1.200.850) içeren koşullar, 13 ile 23 işlemciden oluşan paralel bilgisayarlar kullanılarak yapılmış ve sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. İstatistiksel güvenilirliğin artan parçacık sayısı ile yükseleceği düşünülürse, Kamil Abdüş Lagünü'nün farklı parçacık sayıları ile denizden gelen kirlenme etkisinden 9.1 ile 12.6 gün arasında temizlenerek kurtulacağı gözlenmiştir. Buradan da anlaşılacağı gibi parçacık izleme yöntemlerinde kullanılan toplam parçacık sayılarının sonuçlar üzerindeki etkisinin önemi büyüktür.

HYDRODYNAMIC MODELING AND SIMULATION OF TUZLA KAMIL ABDUS LAGOON

Banu TANSEL

Keywords: Tuzla Kamil Abdüş Lagoon, Hydrodynamic Model, Lagrangian Particle Method, Particle Optimization, Water Quality.

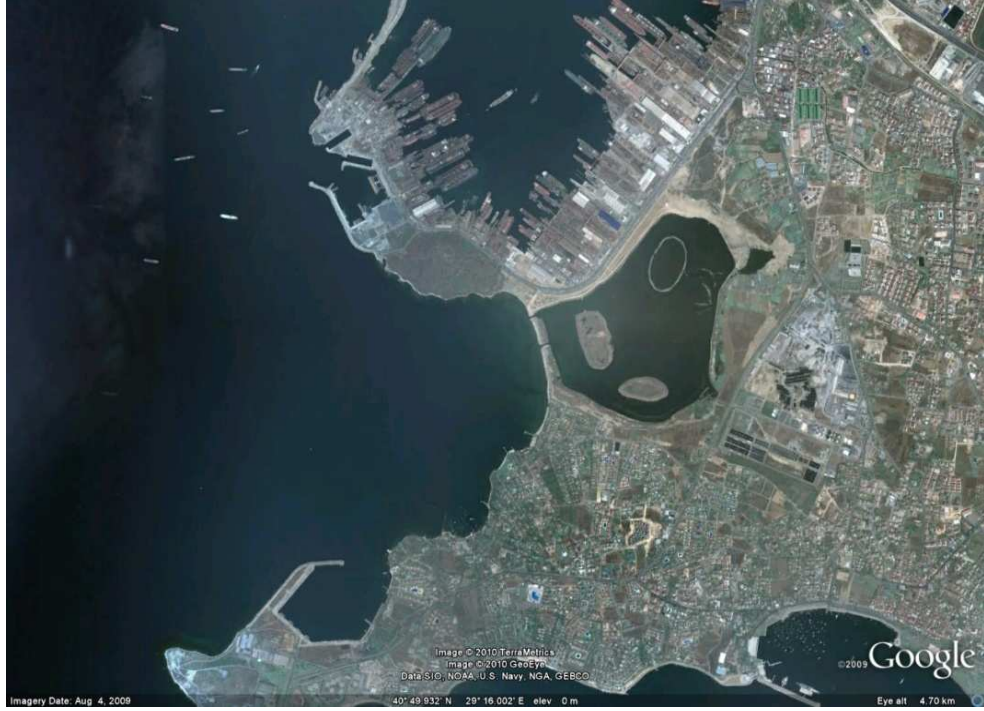
Sea pollution is an important factor that negatively affects the water quality of lagoon systems with high ecological values. The aim of the study is to present analyses which could establish the scientific evidences used in urgent action and risk planning regarding the water quality of lagoon systems affected by sea pollution. 2D modeling of Kamil Abdus Lagoon in Tuzla County of Istanbul, and stream fields were determined. Locations of different numbers of Lagrange particles, left in these stream fields and dispersed by random walks and shifts were determined under different wind and tidal conditions in times. Thus, simulation of particle exchanges between sea and lagoon was performed and the obtained results were analyzed. According to the results of hydrodynamic modeling, southern mouth of the lagoon was observed to function as an inlet through the accumulation of particles from sea in the climatology of February 2001, while the northern mouth assumed the role for discharging particles. Simulation results demonstrated that self-clearing time of the lagoon showed highly significant differences depending on the number of particles in use. Conditions including different particle numbers (65.073, 299.771 and 1.200.850) were carried out using parallel computers with 13 and 23 processors, and the results were compared. Considering the fact that statistical reliability is increased with high particle numbers, it is observed that Kamil Abdus Lagoon is cleaned from the pollution effect of sea origin with different particles between 9.1 and 12.6 days. As can be concluded, the total number of particles used in the particle monitoring methods has a highly significant effect on the results.

1.GİRİŞ

Lagünler dar bir karayla sahilden ayrılarak kıyı gerisinde oluşmuş, bir su yoluyla denizle bağlantısı olan göllerdir. Muğla-Fethiye'deki Ölüdeniz, Marmara Bölgesi'ndeki Büyükçekmece, Küçükçekmece ve Durusu (Terkos Gölü) ülkemizdeki önemli lagünlerdendir.

Dünyanın bir çok yerinde kıyılar; körfez, haliç ve lagünler tarafından kesintiye uğratılmışlardır. Bu yapılardan, haliç ve lagünler sayıca daha yaygınlardır ve aşağı yukarı 10 km genişlik skalalarında birkaç metrelik derinlikleriyle gelgit, rüzgar ve akıntılar tarafından etkilenen yapılardır. Bu etkilerin sonucunda akıntı hızları ve dip gerilimi, zaman serileri içinde büyük önem taşıyan sediman taşınımını ve birikimi gerçekleşmektedir.

Lagün gölünün oluşumunun temel nedeni, denizin zaman içinde kumulları set şeklinde gölün deniz ile bağlantısı olan ağız kısmına yığılmasıdır. Tuzlu deniz suyu-tatlı su karışımları ve kıyı-su birleşmelerinden dolayı sığ derinlikleri, geometrileri ve su özellikleri ile zengin yapıya sahip eko sistemlerdir. Şekil 1.1'de Tuzla ilçesinde bulunan Kamil Abdüş Lagünü'ne ait bir uydu fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 1.1: Tuzla Kamil Abdüş Lagünü uydu fotoğrafı[1].

Bu durumlar lagünleri değişik hayvan ve bitki türleri için uygun habitatlar haline getirir. Sığ yapıları, organik materyal ve plankton açısından zengin olan lagünler balıkların yaşaması için uygun ortam oluştururlar. Sazlık, balık ve organik materyaller ile kuşlarında tercih ettikleri yaşam alanlarıdır. Özellikle kış mevsimi olmak üzere yılın belirli dönemlerinde deniz, büyük dalgalarıyla lagünlerle arasındaki ince kıyı şeridini yutarak birleşir, bu yüzden bitkiler ve fauna elemanları tuzlu suya da dayanıklıdır. Haliç ve lagün gibi kıyısal alanlar; doğal, estetik, ekonomik ve coğrafi olanakları nedeniyle önemli alanlar olmuşlardır. Denizden beslenen lagün göllerinin ekolojik sistem üzerindeki değeri büyüktür. Canlılar ile yaşadıkları doğal çevrenin, süreklilik arz eden karşılıklı ilişkileri olarak tanımlayabileceğimiz ekosistemler, yaşamsal bir düzeni de ifade etmektedirler. Günümüzde ekolojik değerleri anlaşılan lagün sistemlerinin, yaşamsal döngüleri yasalar ve yönetmeliklerle korunmaya çalışılmaktadır.

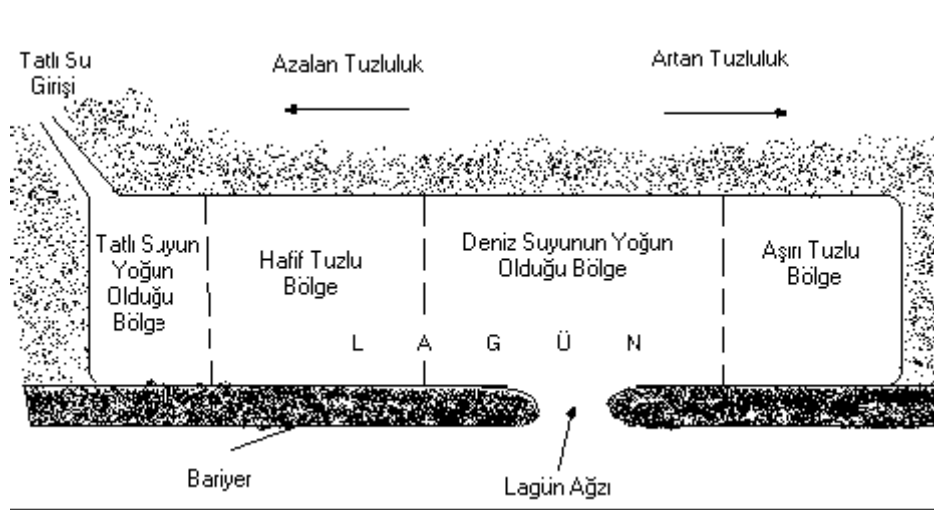
Bir akışkanın akış hareketi, geometriye, sınır şartlarına ve mekaniğin kanunlarına bağlıdır. Dolayısı ile lagün alanlarının hidrodinamik çözümlenmeleri de, girintili çıkıntılı sahil yapıları, birbirini etkileyen sirkülasyonlar, parçacık taşınımı ve değişken dip yapılarından dolayı üç boyutlu zor bilimsel problemler haline

gelmektedir. Genel olarak bir akışkanın akış hareketi geometriye sınır şartlarına ve mekaniğin kanunlarına bağlıdır. Bu bölgelerin hidrodinamik çözümlenmelerinde kullanılan yöntemlerden birisi de sayısal bilgisayar modelleridir. Bu aşamada, sonlu elemanlar hesaplama ağı kullanımı, karmaşık geometrileri çözümlemede ve programlamada getirdiği kolaylıklar açısından uygun bir seçenektir. Akışkanlar mekaniğinde, akışkanların davranışı Navier-Stokes denklemlerini ifade edilen bir grup kısmi diferansiyel denklem ile tanımlanır. Bu tez çalışmasında, lagün sisteminin hidrodinamik hesaplamaları için bir takım kabullere dayanarak basitleştirilen Navier-Stokes denklemleri kullanılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Lagün Sistemlerinin Ekolojik Risk Problemleri

Lagün sistemleri hem deniz kirliliği hem de karasal kaynaklı kirlilik problemlerinden çift taraflı etkilenmektedir. Rüzgâr, dalga, akıntı etkileri ve sedimantasyon taşınımı, dip yapısı etkileri lagün dinamiği olarak tanımlanabilir. Lagün dinamiğinin etkisi ile de, denizden lagünlere aynı zamanda lagünlere de denize sürekli su girişi ve çıkışı olmaktadır. Böylelikle denizden gelen kirlilik lagünü ve lagün kirliliği de deniz ortamını direkt olarak etkilemektedir. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi, lagünlere bölgesel olarak tuzluluk farklılıkları bulunmaktadır ve tuzluluk oranlarını etkileyecek girişimler (lagün ağzının kapatılması, tatlı su kaynaklarının kurutulması vb.) lagün ekolojisini olumsuz yönde etkileyecek durumlardır [2].



Şekil 2.1: Bir lagünün tuzluluk değişimlerine göre bölgelere ayrılması [2]

Tuzlu deniz suyunun lagün gölüne giriş yaparak tabakalaşmaya sebep olması ve derelerin lagünlere dökülerek tatlı su girişinin olması lagün için oldukça büyük öneme sahiptir [2]. Lagünlere su kalitesi deniz suyu kalitesine bağlı olarak değişmektedir. 1985 yılında Büyükçekmece Lagünü'nün deniz ile etkileşimi

antropojenik nedenlerle kesilerek tamamen bir göl haline dönüştürülmesi sonucu, tatlı suya dönüşen gölde tuzluluğun hızla düşmesinden ve ötrofikasyondan dolayı göldeki kirliliğin de arttığı tespit edilmiştir [3]. Bunun dışında, normal şartlarda denizle bağlantısı olan lagünlerde, deniz suyunun kalitesi lagün sağlığını birinci derecede etkilemektedir. Denizden gelen kirlilikler (atık deşarjı, petrol kirlilikleri vb.) lagüne taşınmakta ve kirlilik parçacıkları lagün içinde birikerek ekolojik dengeyi olumsuz yönde etkilemektedir.

Günümüzde dünyada ve ülkemizde ekolojik açıdan oldukça önemli olan bu alanlar kanunlar, yönetmelikler ve sözleşmelerle korunmaya çalışılmaktadır. 28 Aralık 1993 tarihli ve 3958 sayılı kanun ile onaylanması uygun bulunan RAMSAR "Uluslararası Önem Sahip Sulak Alanlar Listesi" sözleşmesi, 15 Mart 1994 tarihli ve 94/5434 sayılı Bakanlar Kurulu kararıyla onaylanmıştır. RAMSAR sulak alanların kaybedilmeleri halinde bir daha geri getirilemeyeceğine inanarak, günümüzde ve gelecekte kaybına sebep olacak her türlü faaliyeti durdurmak isteyen bir uluslararası bir sözleşmedir. Çevre ve Orman Bakanlığının 17/05/2005 tarihli resmi gazetede yayınladığı "Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği" kapsam ve içerik olarak RAMSAR'ı desteklemektedir ve bu alanların Ekonomik, kültürel, bilimsel ve rekreasyonel olarak büyük bir kaynak teşkil ettiği vurgulanmaktadır. Önemi bu kadar büyük olan bu sulak alanların korunmasına yönelik bilimsel verilere dayanan prosedürlerin yetkili kurumlar tarafından kullanılması şu an ve ilerisi için önemlidir.

2.2 . Hedef ve Yöntem

Lagünler yerkürenin en üretken ekosistemlerindedir. Çok sayıda bitki ve hayvan türünü barındırarak, tür çeşitliliğini ve üretkenliğini sağlayan lagünler, doğal zenginlikleri nedeniyle korunmaları gerekmektedir. Lagün sistemlerinin su kalitelerinin izlenmesi burada yaşamlarını sürdüren canlı türleri için oldukça önemlidir. Deniz kirliliği, lagün sistemlerinin su kalitesini negatif düzeyde etkileyen önemli bir unsurdur ve ciddi şekilde kontrol edilerek yetkili kurumların gereken önlemleri almaları gerekmektedir. Sadece denizden gelen kirlilik etkisinin değil, bu bölgelerin tüm fonksiyonlarının sağlıklı olarak sürekliliklerinin sağlanabilmesi için

gerekli izlemelerin, kontrollerin ve önlem faaliyetlerinin sağlanması gerekmektedir. Bu durum ancak yetkili kurumların, bilimsel verilere dayanan yönetim planlamalarını oluşturması ve uygulamalarını gerçekleştirmeleriyle sağlanabilir. Yönetim planlamalarında en önemli kısım, kirlilik etkilerinin zaman ve mekan içinde takibinin sağlanmasıdır. Özellikle kirlilik faktörleri ile ilgili durumların, değişik senaryolarla çoğaltılarak risk planlaması ve acil durumlarda kullanılmak üzere gereken öngörüler çoğaltılmalıdır. Rasyonel yönetim süreçleri bilimsel verilere dayandırılarak kısa, orta ve uzun vadeli planlamalarla elde edilmelidir. Bunun yanında bu bölgelerle ilgili acil eylem planlamalarının da beklenmeyen durumlar için hesaba katılması sağlanmalıdır. Bu çerçevede, bu tez çalışmasının amacı deniz kirliliğinden etkilenen lagün sistemlerinin, su kalitesi ile ilgili olarak acil eylem ve risk planlamasında kullanılacak bilimsel öngörülerini ortaya koyabilecek analizleri sunmaktır. Bu analizler, değişik rüzgâr, akıntı ve gelgit koşullarında denizden gelen ve/veya lagünden denizi etkileyebilecek kirlenmelerin simülasyon sonuçlarıdır. Bu tez çalışmasında hesaplama ağı oluşturmak için kullanılan BatTri Programı ve BELLAMY hidrodinamik modeli daha önce New Hampshire (USA) Great Bay Haliç sistemi için uygulanmış ve ölçüm sonuçları ile büyük ölçüde tutarlılık göstermiştir [4,5,6]. BELLAMY’de daha önce kullanılmayan farklı bir parametre olarak rüzgar kuvvetinin hesaba katılması ile ve haliç yapısından farklı yapıda olan bir lagün gölüne uyarlanması ilk olarak bu tez çalışması kapsamında yapılacaktır. Bu tez çalışmasında, Tuzla Kamil Abdüş Lagünü için deniz ve lagün suyunun değişimi Lagrange parçacık yöntemi ile incelenmiştir. Bu inceleme için yapılan ilk çalışma matematiksel modelin çözümlenmesinde kullanılacak programın donanım bakımından donanım bakımından yeterli bilgisayarlarda koşturulması olmuştur. Hidrodinamik modelden elde edilecek akıntı alanı içinde ötelenme ve rasgele yürüyüş metodu ile dispersiyona (yayılmaya) uğrayarak hareket eden Lagrange parçacıklarının zaman içindeki konumları sayısal olarak hesaplanmıştır. Buna bağlı olarak ne kadarlık parçacık sayısı ile istatistiksel anlamda sağlıklı öngörülerin yapılabileceğinin analizi için parçacık sayısının optimizasyonunun belirlenmesi çalışılmıştır. Literatür araştırmaları sırasında, parçacık sayısının optimizasyonu ile ilgili benzer bir çalışmaya rastlanmamıştır. Risk değerlendirmeleri ve acil durumlar için gerekli karar süreçlerinde en hızlı ve etkin şekilde sonuçları sağlayacak parçacık sayısının istatistiksel olarak anlam ifade edecek miktarının belirlenmesi, lagün sistemleri için

gerekli acil durum eylemlerinde büyük önem taşımaktadır. Parçacık sayısının optimizasyonu daha hızlı ve az maliyetli simülasyonlar için belirleyici unsurdur. Denizden gelen kirliliğin değerlendirilmesinde, örneğin batan bir tankerden hızla yayılan petrolün, değişik akıntı ve rüzgâr senaryolarında ne kadar bir süre içinde lagünü etkileyeceği, ne kadar süre lagünde kalacağı ve temizlenme süresinin ne olacağının belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu durumların incelenmesi, tez çalışmasında kullanılan yöntem ve analizler ile tespit edilmiştir. Tuzla Kamil Abdüş Lagünü üzerinde tez çalışması tatbik edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Tez çalışmasının ilk kısmını oluşturan matematiksel ağ oluşturma ile ilgili çıktılar ve sonuçlar kullanılarak İstanbul Büyük Şehir Belediyesi için “Tuzla Kamil Abdüş Lagününün Bilgisayarda Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Çevresel Akıntı Modellemesi için Veri Toplanması ve bir Ağ Sistemi Geliştirilmesi” (Projem İstanbul’2008) isimli akademik bir araştırma projesi gerçekleştirilmiştir ve Tuzla’nın bu önemli lagünü için elde edilen sonuçlar İstanbul Büyük Şehir Belediyesi’nin kullanımına sunulmuştur.

2.3 . Literatür Araştırması

Tez konusu ile ilgili literatürler incelenmiş ve aşağıda genel olarak özetlenmiştir. İncelenen literatürlerde, uygulama alanında optimize edilmiş parçacık sayıları ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Prabin Paul ve Vladimir Cvetkovic [7], sonlu elemanlar yöntemini kullanarak fiziksel, kimyasal ve tortusal prosesleri ifade edebilen matematiksel bir haliç modelini oluşturmuş ve modelin çözümlemesini zamana bağımlı denklemler ile başlangıç koşulları ($t = 0$ anındaki) ve sınır koşulları (tuzluluk ve gelgit yüksekliği) kullanılarak çözümlenmişlerdir. Kurulan test modeli bir açık ağzı olan dikdörtgenel bir alana sahip olan Cochin Halici (Güney Hindistan) üzerinde uygulanmış ve sonuçları literatürlerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak Cochin Halici için uyguladıkları test model ile haliç içindeki kanallardaki akıntı problemlerini çözdüklerini ifade etmişlerdir.

Andrei Novikov ve Amvrossios C. Bagtzoglou [8], aşağı Hudson Nehri için hidrodinamik model kurmuşlar ve momentum denklemini iki boyuta indirgenmiştir. Eulerian zamana bağlı hız alanlarını, değişik dış parametreler altında incelenmiştir. İnceledikleri sisteminin karmaşık adveksiyon süreçlerinde çeşitli başlangıç şartları altında ‘Lagrangian parçacık yöntemi’ ile kirlilik parçacıklarının yörünge tespitlerini yapmışlardır. Parçacık yörüngeleri, Eulerian hız alanları formu temel alınarak belirlenmiştir. Çalışmada karmaşık yörüngelere sahip parçacık takiplerini belirtmişlerdir.

Wenping Gong ve diğerleri [9], parçacıkların Xiaohai Lagün’nde kalma sürelerini hesaplamak üzere Lagrangian parçacık izleme yöntemi kullanılmıştır. Lagrangian yöntemi ile parçacıkların hareketlerinin hidrodinamik alanlarda izlenebilmesi için Xiaohai Lagün’ünün hidrodinamik bir modelinden yararlanılmıştır. Gel-git hidrodinamiklerinin benzerini yapmak için derinlik bağlantılı ELCIRC isimli barotropik bir model kullanmışlardır. Lagrangian parçacık izleme modeli, 4.derece Runge–Kutta (RK) yöntemi ile çözümlenerek 2D olarak gerçekleştirilmiştir. Bu da; turbülans karışımının molekül bazlı istatistiksel değerlendirmesine olanak sağlayan yatay anafor difüzyonunun rastlantısal hareket modeliyle birleştirilmiştir. Çalışmada parçacıkların kalma süresi, yüksek ve alçak gelgitler esnasında; çekilme, en st çekilme, sel ve en st sel fazlarında serbest bırakılan sekiz simülasyonun ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Model simülasyonları için $0.01 \text{ m}^2/\text{s}$ oranında benzer bir difüzyon katsayısı kullanmıştır. Kalma sresinde difüzyon katsayısının seçenek hassasiyetini test etmek için, farklı difüzyon katsayıları kullanımı esas alınarak bir dizi model deneyi gerçekleştirilmiştir.

J.M. Dias ve diğerleri [10], Ria de Aveiro Lagnndeki (Portekiz) dispersiyon süreçlerini ve parçacık kalma sürelerini incelemek üzere, molekül izleme modeline bağlı, dikey biçimde birleştirilmiş 2D hidrodinamik bir model uygulanmıştır. Bu çalışmada göz önünde bulundurulan, tek parçacık hareketi olarak öteleme ilerlemesi incelenmiş ve 4. dereceden Runge-Kutta yöntemi kullanarak her adımda moleküllerin pozisyonunu hesaplanmıştır. Makalelerinin sonuç kısmında Ria de Aveiro Lagnndeki dispersiyon fenomenleri için güçlü bir araç olarak parçacık

izleme modelini uyguladıklarını belirtmiş ve bunun ayrıca parçacıkların kalma sürelerini belirleyerek su kalitesi hakkında tahminlerde bulduklarını yazmışlardır.

XinJian Chen [11], dar nehirler ve nehir ağızları için 2D bir hidrodinamik modelini konu etmekte ve Alafia Nehri (Florida) ağızındaki parçacık taşıma süresi ölçeğini tahmin etmede sağladığı faydayı sunmaktadır. Modelde, parçacıkların advectif hareketi, çoklu alt zaman basamakları içeren yüksek dereceli bir yaklaşım kullanılarak hesaplanırken, molekülün difüzyon hareketi, rastgele yürüyüş yöntemi kullanılarak çözümlenmiştir. Moleküllerin, alt ve serbest yüzey sınırlarını geçmelerini önlemek için yansıma rutini kullanılmıştır. Yani, parçacıklar herhangi bir sınırı (kara, dip, serbest su yüzeyi) aşmaya çalıştıklarında o sınıra çarptıkları açı ile yansımaya tabi tutulmuşlardır. Her bir zaman adımında yer alan hız alanı, LAMFE denilen ve Alafia Nehri ağızı için düzgün biçimde ayarlanmış olan bir hidrodinamik yöntem modelince sağlanmıştır. Kanallardaki su parsellerinde bulunan parçacık sayılarının bulunmasında öteleme denkleminden yararlandıklarını sonuç kısmında ifade etmişlerdir.

Gomez-GM ve diğerleri [12] , yaz mevsimi şartları altında iki adet Galik ağızın (A Coruna ve Vigo, İspanya) dispersiyon süreçlerini ve parçacık kalma sürelerini incelemek üzere, Lagrangian parçacık izleme modeline bağlı, 2D, barotropik hidrodinamik bir model uygulanmıştır. Çalışmada pasif bir izleyen, su kütlesi içinde serbest bırakılmış herhangi bir atık taşıyan su kütesine atanmıştır. Bu şekilde, verilen bir izleyenin ilk yerleştirildiği alanda kalma olasılığının; hesaplamının bakiyesi, o alandaki suyun yoğunluğu ile bağlantılı olarak elde edilmiştir.

Ierotheos Zacharias ve Areti Gianni [13], MIKE 21 isimli hidrodinamik bir model ile nehir ağızları, körfezler ve kıyı alanlarındaki su seviyeleri ve akıntılarının simülasyonu için kullanılan genel bir sayısal çözümleme sistemi üzerine çalışmışlardır. Drana Lagünü için tek tabakalı (dikey olarak homojen) yapılar, değişken 2D akıntıları simüle etmişler ve ısı ve tuzluluğun mekânsal ve zamansal simülasyonu için bir öteleme/yayılma hesaplaması kullanılmıştır Drana Lagünü için su basmalarından sonra hidrodinamik ve adveksiyon/dispersiyon modellerini uygulayarak ölçümler elde etmişlerdir.

Jay A. Austin [14], etkili boylamsal dispersiyon katsayısının, zamanın ve mekanın fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. Bu dispersiyon katsayısının değerleri, ortalama değerler yaklaşık $650 \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$ olmak üzere, 200 ve $1000 \text{ m}^2 \text{ sn}^{-1}$ arasında farklılık göstermektedir. Geçici olarak değişkenlik gösteren etkili dispersiyon katsayısı; mekansal olarak nehir ağzı arakesiti ile ters orantılı olarak ve tatlı su akıntısının küp kökü olarak geçici değişkenlik göstermiştir. Çalışma en azından nitel açıdan nehir ağzı sirkülasyon modelleri ve bir önceki alan çalışmalarının sonuçları ile tutarlılık gösterdiğini bulmuşlardır.

Seung-Won Suh [15] Kore Yarımadası'nın kıyusal alanı gibi adveksiyonun hakim olduğu kıyı bölgelerinde 2D ELM isimli hidrodinamik model uygulanmıştır. Dik konsantrasyon eğimlerinin meydana geldiği noktasal kaynak civarında rastgele yürüyüş yöntemine göre parçacık hareketleri incelenmiştir. Parçacıkların özgül ağırlıkları göz önüne alınarak dispersiyon etkileşimi incelenmiş ve bu durumun ilave bir yatay ötelemeye de neden olduğu belirlenmiştir. Kıyı bölgelerinin adveksiyon hakimiyetli özelliklerinin incelenmesi Eulerian–Lagrangian konsantrasyon modelleri kullanılarak belirlenmiştir. Makalelerinin sonuç bölümünde, bu kıyusal alanda ELM modeli ile adveksiyon tabanlı materyal değişimini 2D olarak belirlediklerini ifade etmişlerdir.

E.M.S. Wijeratne ve L. Rydberg [16], 2D barotropik sıg su denklemlerini çözmek için yarı kapalı algoritma kullanılarak sayısal model elde edilmiştir. Puttalam Lagünü için gel-git ve rüzgar etkisiyle parçacıkların kalma sürelerini araştırmak üzere, Lagrangian parçacık izleme yöntemi kullanarak gerekli öngörülere erişmişlerdir.

A. Bellucci ve diğerleri [17], bu çalışmada dağılım özellikleri ve özellikle de yukarıdaki integral miktarlar sistematik bir şekilde çeşitli parametrelere hassasiyetleri için incelenmiştir. Akış yapısının ve 2-D yatay sabit ve derinlikli serbest akışlardaki sirküle bölgelerin etkileri tek yönlü akışların sonuçları ile sirkülasyon haldeki dairelerin akışların sonuçları karşılaştırılmak yolu ile araştırılmıştır. Eulerian adveksiyon difüzyon modeli kullanılarak sayısal simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Parametrik çalışma salınımın ilk pozisyonunu ve sistemin iki kontrol parametresini değiştirerek yapılmıştır. Bu iki parametre eddy

difüzyon katsayısı K (ya da muadili Peclet sayısı) ve dışarı akıştaki sınır koşulunu karakterize eden v parametresi şeklindedir. Bu kontrol parametresi seçimi yarı kapalı bir hazne için izleme sisteminin (deniz seviyesi sondaları, akım ölçerler, meteoroloji istasyonları) uygun bir hidrodinamik modelle beraber büyük ölçekli ivme alanını tahmin etmek için gerekli yeterli bilgiyi sağlamak için olacağı düşünülmüştür. Küçük ölçekli hareketlerin etkileri ve dışarı akış sınırındaki izleyici davranışı genellikle deneysel değerlendirme için daha zorlu alanlardır. Çalışmanın nihai amacı dağılım sürecinin genel bir tanımını yapmak ve çeşitli ölçeklerdeki uygulamalarda rehber olarak kullanılabilen $C(t)$ ve T değerlerinin olası parametreleştirmeleri ve tahminlerinin araştırılmasıdır. Tahminlerin genellikle kullanılabilir olduğu ve sürekli sirkülasyonların difüzyonun çok doğru bir şekilde değerlendirilmesinin önemini (ki yukarıda söylenildiği gibi değerlendirmesi genellikle zordur) ciddi bir şekilde azalttığı görülmüştür.

Takeoka, H [18], kıyı denizinde su ya da madde hareketinin değişimini tanımlamada yararlı etkenler olan yaş, bulunma süresi, geçiş süresi ve dönüş süresi özetlenmiştir. Parçacığın yaşı parçacığın hazneye girmesinden sonra geçen zaman olarak tanımlanırken bulunma zamanı ise parçacığın çıkışa ulaşana kadar geçireceği zaman olarak belirtilmiştir. Yaşa bağlı zaman ölçekleri bulunma yaşına bağlı olanlarla basit bir ilişki içindedir. Değişim karakteristiklerini temsil edecek uygun bir zaman çizelgesinin sıklıkla değişim zaman ölçeği olarak kullanılan dönüş zamanı değil ortalama bulunma zamanı olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, değişim olgusunu ya da hareketin/naklin başlamasını tanımlayan bir kavram olan “kalıntı fonksiyonu” açıklanmış ve bulunma zamanı ile bağlantısı kurulmuştur. Kıyı denizinde değişim ve hareket/nakil zamanları sadece durgun durumlara değil maddenin anlık olarak enjekte edildiği durumlara da uygulanabilen bulunma zamanı temelinde tartışılmıştır. Ortalama bulunma zamanı tek boyutlu bir kanal ve körfezde adveksiyon difüzyon denklemi kullanılarak bulunmuştur.

J.W McLaughlin ve diğerleri [4], New Hampshire (USA) bölgesinde bulunan Great Bay Haliç sistemi hidrodinamik olarak incelenmiştir. Akarsu deşarjlarının ve yüksek gelgit etkilerinin göz önüne alınarak yapılan çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ile 2D matematiksel model kullanılmıştır. Rüzgar etkisinin hesaba katılmayarak yapılan

modelleme çalışmalarında su kalitesi ile ilgili bölümde Lagrange parçacık izleme modeli kullanılmıştır. Bu çalışmada doğrusal olmayan, zaman adımlı sonlu eleman modeli olarak BELLAMY kullanılmış ve simülasyon sonuçları ile bölgede yapılan ölçümler yüksek oranda örtüşmüştür. Bölgede, derinliğe göre matematiksel modellere rüzgar etkisi katılmadan kinematik ve dinamik yaklaşımlar getirilmiştir. Kinematik ve dinamik yaklaşımlarda ivme terimlerinin etkileri derinliğe göre analiz edilerek hidrodinamik hesaplamalarda kullanılmıştır. Deniz haliç su etkileşimi, kalma süreleri ve deşarj süreleri simülasyonlar sonucunda bölge için tespit edilmiştir.

2.4 . Kapsam

Karmaşık geometrileri ve gelgit, rüzgar, akıntı etkileri ile çözümlenmesi oldukça zor matematik problemler haline gelen lagün sistemlerinin modellemeye temel teşkil edecek önemli bir adımı hesaplama ağı kısmının oluşturulmasıdır. Hesaplama ağının oluşturulması ile çalışılacak bu doğal bölgenin matematiksel bir tanımlaması yapılmıştır. Matematiksel modellemesinin çözümlenmesinde kullanılacak dengeli ve bazı kuramsal şartları sağlayacak hesaplama ağı için okyanus modelleme araştırmalarının ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik olarak geliştirilen kamuya açık ağ üretim programı olan BatTri kullanılmıştır. Açık deniz, kıyı bölgeleri ve lagün içi bölümlerinin modellemelerinde en önemli adım, su kütlelerinin hareketlerini tanımlayan Navier-Stokes denklemlerinin sayısal yöntemler kullanılarak bilgisayarda çözümleri ve bu işlemin sonunda akışkan serbest su yüzeyi hareketlerinin ve akıntı alanlarının elde edilmesidir. Bu tez çalışmasında, episodik meteorolojik olaylar dışında tuzluluk gradyenti göstermeyen ve sığ lagün sistemleri için basınç gradyenti, dip gerilmesi ve yerel ivmenin önemli olduğu akış şartları için matematiksel model çözümlenmesi yapılmıştır ve BELLAMY isimli sonlu eleman modeli, seçilen lagün sistemi için kullanılmıştır.

BELLAMY, firma ürünü bir paket program olmayıp “Ulusal Oşinografi ve Atmosfer Yönetimi” kurumu tarafından Dartmouth Üniversitesi’ne (USA) verilen destek ile “Disiplinler arası Denizle İlgili Modelleme ve Yönetim Programı” kapsamında oluşturulmuş (Destek numarası: NA96RP0030) halka açık bilimsel bir Fortran 77 kodudur.

BELLAMY'nin gerçek ölçüm sonuçları ile karşılaştırma çalışması sadece J.W McLaughlin ve diğerleri [4], New Hampshire (USA) bölgesinde bulunan Great Bay Haliç sistemi için yapılmıştır. Bu karşılaştırmada BELLAMY çıktıları ile gerçek ölçüm sonuçları büyük oranda örtüşme sağlamıştır. Dolayısıyla doğruluğu ispatlandığı ve bilimsel tabanlı bir kod olduğu için bu tez çalışmasın kullanılmıştır. Great Bay Haliç sistemi için gerçekleştirilen proje [4] yüksek bütçeli ve yeterli sayıda araştırmacı ile teorik çalışma ve deneysel çalışma grupları paralel yürütülerek sonuçlar karşılaştırılabilmiş ve çalışma yaklaşık 5 sene sürmüştür.

BELLAMY, tuzluluk gradyenti göstermeyen, sığ su gibi şartların sağlandığı ve hidrodinamik hesaplamalarda kullanılan ana denklemlerinin geçerli olduğu her sistemde kullanılabilir. Güçlü gelgit akıntıları ve bu tez çalışması kapsamında eklenen rüzgar etkileri sadece sistemin tepkisinde (yani akıntı vektörlerinde) sayısal değişimlere yol açacaktır.

Ayrıca BELLAMY ilk defa haliç yapısından daha farklı yapıda olan bir lagün sistemi için bu tez kapsamında kullanılmış ve daha önceki kullanımından farklı olarak güçlü rüzgar etkisi programa ilave edilmiş ve aynı zamanda da bir gelgit akıntısı da kullanılmıştır. BELLAMY gelgit akıntılarının çok büyük olduğu ve akarsu deşarjlarının bulunduğu haliç yapısı için parçacık sayısının etkinliği ele alınmadan çalışılmıştır [4,5]. Bu tez çalışmasında ise deniz lagün etkileşimi ile ortaya çıkan parçacık taşınımı, izlemesi ve bölgesel birikim süreleri farklı Lagrange parçacık sayıları kullanılarak istatistiksel anlamda doğru analizlerin yapılabilmesi için çalışılmıştır. Farklı parçacık sayıları ile yapılan taşınımların incelenmesi ise şu ana kadar literatür taramalarında rastlanmamış bir çalışma değildir. Parçacık sayısının optimizasyonu, acil durumlar için yapılacak risk değerlendirmeleri için oldukça önemlidir. Örneğin, gemilerin normal operasyonlarından kaynaklanan sintine ve balast sularının denize boşaltması, lagün sistemleri gibi ekolojik değere sahip habitatları olumsuz yönde etkilemektedir. Önemli olan böyle bir durum oluşmadan, bu tip potansiyel riskler karşısında lagün su kalitesini etkileyecek,, parçacık yayılımının hangi rüzgar ve akıntı koşullarında kıyı, lagün ağızları ve lagün içi bölgeleri etkileyebileceğini tespit edebilmektir. Ayrıca bu etkinin ne kadar süre devam edeceği ve bu bölgelerin ne kadar sürede temizleneceği gibi analizlerin

yapılabilmesi için istatistiksel olarak bize doğruyu verecek parçacık sayısının belirlenmesi de oldukça önemlidir.

3. MATEMATİK MODEL

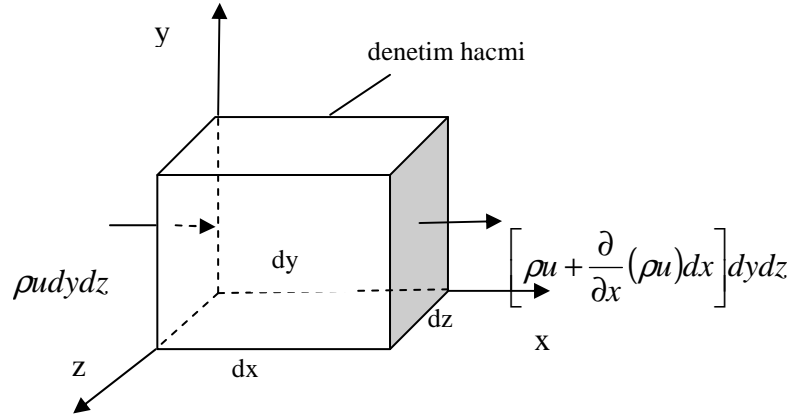
Lagünün hidrodinamik hesaplamalarında kullanılan matematiksel model iki aşama olarak tanımlanmıştır. Matematiksel model kinematik ve dinamik yaklaşımlarla farklı dengeler kullanılarak iki kısımda çözümlenmiştir. Model, lagün sisteminin oldukça sığ kısımları için kinematik çözümlenme, derinliği daha fazla olan kısımlarda ise dinamik çözümlenme yapılarak ele alınmıştır. Oluşturulan matematiksel model denklemleri BELLAMY’de her zaman adımında (Δt) tekrarlanarak çözümlenmiştir.

Kinematik ve dinamik yaklaşımının özünü, basınç gradyenti ile dip ve yüzey gerilmesi arasındaki momentum dengesi oluşturmaktadır. Bu yaklaşımlara göre biri süreklilik denklemi diğeri yatay doğrultudaki momentum denklemi olmak üzere iki önemli ana denklem bulunmaktadır.

3.1. Kinematik Yaklaşım

Kinematik yaklaşım derinliğin 0,5 m den daha az olduğu oldukça sığ bölgeler için uygulanan bir yaklaşımdır [4,5,6] BELLAMY’de hidrodinamik hesaplamalar için kullanılan süreklilik ve momentum denklemlerinin çözümlenmeleri aşağıda verilmektedir.

Süreklilik Denklemi, sürekli bir ortamda ve sıkıştırılmaz akışkanlar için şekil 3.1’de gösterildiği gibi kartezyen koordinatlarda alınan küp şeklinde sonsuz küçük bir kontrol hacmi üzerinden giren ve çıkan kütle akıları üzerine kurulan denklemdir [19]. Süreklilik denklemi 3.1 eşitliğinde gösterildiği gibi ifade edilir.



Şekil 3.1: x yüzeylerine giren ve çıkan kütle akılarını gösteren, kartezyen sistemde ifade edilen sonsuz küçük sabit bir kontrol hacmi [19].

$$\frac{d\rho}{dt} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V}) = 0, \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} + w \frac{\partial \rho}{\partial z} + \rho \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{V} \cdot \text{grad } \rho + \rho \text{ div } \vec{V} = 0$$

Denklem 3.1' de ρ yoğunluk, \vec{V} hız vektörüdür. Sıkıştırılmaz akışkan demek, yoğunluğun maddesel (toplam) türevinin sıfır olması, yani yoğunluğun değişmemesi demektir.

$$\frac{d\rho}{dt} = 0 \quad (3.2)$$

Tuzlu deniz suyunun ve tatlı suyun iyi karışmış olduğu bölgelerde homojen olan ρ (yoğunluk) konuma göre değişmez, sabittir. Çalışma alanı olarak seçilen Tuzla Kamil Abdüş Lagünü, sığ yapısı, tatlı su girişinin olmaması ve yüzeydeki etkin

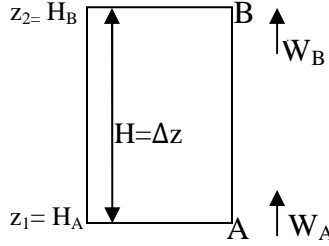
rüzgarlar nedeniyle iyi karışmış bir lagündür. Dolayısı ile denklem 3.1'deki ifade aşağıdaki denklem 3.3'e dönüşür.

$$\rho(\vec{\nabla} \cdot \vec{V}) = \rho \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \quad (3.3)$$

$$\rho \neq 0 \text{ için } \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

$\vec{V} = \vec{U} + \vec{W}$ olmak üzere $\vec{U} = u\vec{i} + v\vec{j}$ ve $\vec{W} = w\vec{k}$ şeklinde yazılırsa burada, \vec{U} yatay hız, \vec{W} dikey hız vektörüdür. O halde denklem 3.3 aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{U} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.4)$$



Şekil 3.2: Akışkan sütunu

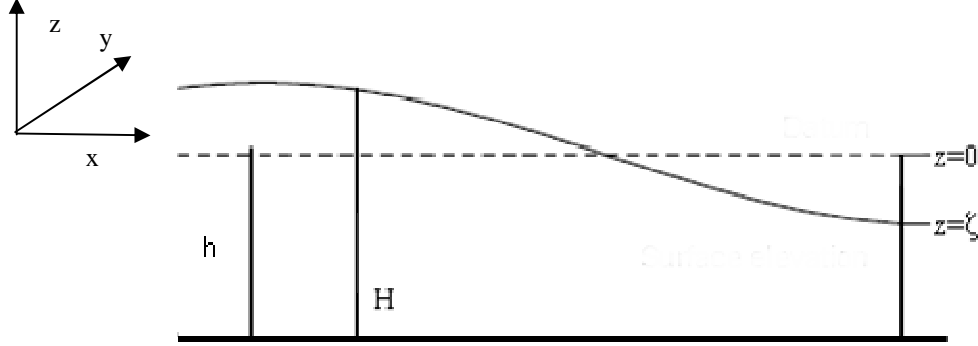
Şekil 3.2'de görüldüğü gibi bir akışkan sütunu ele alınacak olunursa, $\frac{\partial w}{\partial z}$ dikey hızın dikey doğrultudaki değişimi, H akışkan sütunu kalınlığı, W_A A noktasındaki dikey hız şiddeti, W_B B noktasındaki dikey hız vektör şiddeti olmak üzere akışkan kolonunun hız değişimine aşağıdaki şekilde bir yaklaşım getirebiliriz.

$$W_B = W_A + \frac{\partial w}{\partial z} \Delta z \quad \text{veya} \quad \frac{\partial w}{\partial z} \cong \frac{W_B - W_A}{\Delta z} \quad (3.5)$$

şeklinde tanımlayabiliriz. Denklem 3.5'deki $\frac{\partial w}{\partial z}$ terimi, dikey hızın gradyentidir.

birim uzunluktaki değişimini ifade eder. $\Delta z = H$, $W_A = 0$ ve $W_B = \frac{\partial H}{\partial t}$ kabulleri yapılırsa denklem 3.6 elde edilir.

$$\frac{\partial w}{\partial z} = \frac{1}{H} \frac{\partial H}{\partial t} \quad (3.6)$$



Şekil 3.3: Yüzeysel yükselmesi ve batimetri arasındaki ilişki[5]

Denklem 3.6 ile ifade edilen durum, Şekil 3.3.'de tanımlanan bir M2 gelgit dalgası için uygulanarak toplam derinlik ifadesi tanımlanabilir. Şekil 3.3'de görüldüğü gibi $z=0$ ortalama su yüksekliği, h batimetrik dip, H toplam derinlik, serbet su yüksekliği ise $z = \xi$ olarak tanımlanmıştır.

Gelgit dalgasının su derinliği ile ilişkisini veren ξ dalga genliği yani serbest su yüzeyinden dalga tepesine veya dalga çukuruna ölçülen metre boyutunda düşey yükseklik $\xi(t) = a \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$ olarak ifade edilir. Burada a genlik, T periyot ve t zamandır[5]. Denklem 3.6 için toplam derinlik $H = h + \xi(t)$ ifadesi kullanılabilir.

$$\frac{\partial w}{\partial z} = \frac{1}{(h + \xi)} \frac{\partial(h + \xi)}{\partial t}$$

Bu eşitliği de denklem 3.4'de yerine yazarak

$$\frac{1}{(h + \xi)} \frac{\partial(h + \xi)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \vec{U} = 0 \quad (3.7)$$

ifadesine ulaşılır.

Elde ettiğimiz denklem 3.7' nin her iki tarafını $(h + \xi)$ ile çarpılırsa yeni durum aşağıdaki şekli alır.

$$\frac{\partial(h+\xi)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (h+\xi)\vec{U} = 0 \quad (3.8)$$

Denklem 3.8'de bulunan 1. terimde h batimetrik derinliktir ve zamana göre değişim göstermez, $\frac{\partial h}{\partial t} = 0$. 2.terimde ise $\xi \ll h$ olduğundan yani dalga genliğinin serbest su yüzeyinden dalga tepesine veya dalga çukuruna ölçülen metre boyutunda düşey yükseklik batimetrik derinliğe göre çok küçük olduğundan dolayı ξ ihmal edilir ve böylelikle denklem 3.8' de ifade edilen kinematik yaklaşıma göre süreklilik denklemini aşağıdaki şekle dönüştür.

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (h\vec{U}) = 0 \quad (3.9)$$

Sıkıştırılmaz (sabit yoğunluk), viskoz bir akış için süreklilik ve momentum denklemleri kartezyen koordinat sisteminde Navier Stokes bileşenleri ile aşağıdaki eşitliklerle ifade edilir [19],

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \rho g_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \nabla^2 u + \frac{1}{3} \mu \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right] \quad (3.10)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \rho g_y - \frac{\partial P}{\partial y} + \mu \nabla^2 v + \frac{1}{3} \mu \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right] \quad (3.11)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = \rho g_z - \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \nabla^2 w + \frac{1}{3} \mu \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right] \quad (3.12)$$

Denklem 3.10, 3.11 ve 3.12’de kullanılan, g_x x doğrultusundaki, g_y y doğrultusundaki, g_z z doğrultusundaki yer çekimi ivmesi terimleri, P basınç ve μ dinamik viskozitedir.

Denklem 3.10’da ifade edilen x yönündeki Navier Stokes bileşeninin kapalı form ifadesi aşağıda bulunan denklem 3.13’deki gibi yazılabilir.

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{V} \cdot \vec{\nabla} u \right) = \rho g_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \nabla^2 u + \frac{1}{3} \mu \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right] \quad (3.13)$$

Yoğunluğun sabit olduğu sıkıştırılmaz akışkanlar için süreklilik denklemi, 3.3 eşitliğinde verildiği gibi ifade edilir, yani $\vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0$.

Bu kabul denklem 3.10, 3.11 ve 3.12’ye uygulanırsa tüm doğrultulardaki denklemlerin sıkıştırılabilirlik ile ilgili terimleri sıfır olur.

O halde, tüm doğrultudaki Navier Stokes bileşenleri,

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{V} \cdot \vec{\nabla} u \right) = \rho g_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \nabla^2 u \quad (3.14)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + \vec{V} \cdot \vec{\nabla} v \right) = \rho g_y - \frac{\partial P}{\partial y} + \mu \nabla^2 v \quad (3.15)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + \vec{V} \cdot \vec{\nabla} w \right) = \rho g_z - \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \nabla^2 w \quad (3.16)$$

Denklem 3.14, 3.15 ve 3.16’de ifade edildiği durumlara gelir. Akışkanın yatay hız bileşenlerinin dikey hız bileşenlerinden çok daha büyük olduğunu kabul edersek yani $u, v \gg w$ ise dikey hız bileşeni ile ilgili olarak $\frac{dw}{dt} \cong 0$ ve $\mu \nabla^2 w \cong 0$ olur. Bu durumda, z doğrultusundaki Navier Stokes denklemi aşağıdaki duruma gelir.

$$\rho g_z = \frac{\partial P}{\partial z} \quad (3.17)$$

şeklini alır. Denklem 3.14 ve 3.15 için yerçekimi ivmesi terimleri $g_x=0$, $g_y=0$ ve denklem 3.17 ivme terimi için $g_z= -g$ değerlerini kullanarak z doğrultusu için denklem 3.18 yazılır.

$$\rho g = -\frac{\partial P}{\partial z} \quad (3.18)$$

Yani akışkanın kütle ağırlığı basınç gradyentine sebep olur, bu hidrostatik bir yaklaşımdır.

Elde ettiğimiz denklem 3.18'de ki basınç terimi olan P 'yi bulmak için denklem 3.18'in dipten anlık serbest su yüzeyine kadar integrali alınır.

$$-P = \int_z^\xi \rho g dz = \int_z^0 \rho g dz + \int_0^\xi \rho g dz \quad (3.19)$$

Şekil 3.3' de gösterildiği gibi 0 ile ξ arasındaki mesafe (yani ortalama su yüzeyi $z=0$ ile serbest su yüzeyi, $z=\xi$ arasındaki mesafe), z ile 0 arasındaki mesafeyle (yani ortalama su yüzeyi $z=0$ ile batimetri $z=h$ arasındaki mesafe) karşılaştırıldığında oldukça küçük bir terim olduğu için ve yoğunluk değişimi olmadığı düşünülerek, sabit olarak alınabilir. Böylece yukarıdaki 3.19 denklemini ile ifade edilen eşitlik denklem 3.20'de ifade edildiği gibi yazılabilir.

$$P = -g \int_z^0 \rho dz - \rho g \int_0^\xi dz = -g \int_z^0 \rho dz - \rho g \xi \quad (3.20)$$

u, v yatay hız bileşenlerindeki yatay doğrultulardaki değişim, özellikle sığ sularda z doğrultusundaki değişime göre çok küçüktür yani $\frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y} \ll \frac{\partial u}{\partial z}$. Aynı durum v yatay hız bileşeni içinde geçerlidir. Bu dip sınır tabakasının oluşumuna tekabül eder. Bundan dolayı denklem 3.14 ve 3.15’de verilen x ve y doğrultusundaki Navier Stokes eşitliklerinin sağ taraflarındaki 3. terimler aşağıdaki duruma indirgenir,

$$\mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) = \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) = \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (3.21)$$

$$\mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) = \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) = \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (3.22)$$

olarak ifade edilir. Denklem 3.21 ve 3.22’ de eşitliği sol taraflarındaki 1. ve 2. terimlerin değerleri sıfırdır. Denklem 3.21 ve 3.22’ yi ρ ile bölerek ve basınç ifadesini veren denklem 3.20, denklem 3.14 ve 3.15’de yerine yazılırsa, x ve y doğrultusundaki Navier Stokes denklemlerinin yeni durumları elde edilir. x doğrultusundaki denklem 3.14’ün son hali aşağıda denklem 3.23’de verilmiştir.

$$\left(\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla u \right) = - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{g}{\rho} \int_z^0 \rho dz + g \xi \right) + \mu \nabla^2 u$$

$$\frac{du}{dt} = - \frac{g}{\rho} \int_z^0 \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - g \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\mu}{\rho} \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (3.23)$$

Eşitliğin sağ tarafındaki 3. terim eşitliğin sol tarafına atılarak denklem 3.24 elde edilir.

$$\frac{du}{dt} - \frac{\partial}{\partial z} \left[\left(\frac{\mu}{\rho} \right) \frac{\partial u}{\partial z} \right] = - \frac{g}{\rho} \int_z^0 \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - g \frac{\partial \xi}{\partial x} \quad (3.24)$$

Denklem 3.24'de eşitliğin solundaki 1.terim yoğunluk değişimine bağlı baroklinik basınç gradyenti, 2. terim ise serbest su yüzeyinin değişimine bağlı barotropik basınç gradyentidir.

Tuzlu deniz ve tatlı su karışımının iyi olduğu sığ sularda $\rho = sbt$ olduğundan dolayı baroklinik basınç gradyenti ihmal edilebilir. O halde Navier Stokes denklemlerindeki 1. terim ihmal edebiliriz ve x, y doğrultusundaki bileşenler,

$$v = \frac{\mu}{\rho} \text{ olmak üzere } \frac{du}{dt} - \frac{\partial}{\partial z} \left[v \frac{\partial u}{\partial z} \right] = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} \text{ olur.} \quad (3.25)$$

Denklem 3.25 dip ve serbest su yüzeyi sınır şartları etkisi altında çözülür. $\vec{U} = u\vec{i} + v\vec{j}$ ortalama hız vektörü olarak alınırsa, Newton tipi akışkanlar için denklem 3.26 yazılır.

$$\frac{\bar{\tau}_{dip}}{\rho} = v \frac{\partial \vec{U}}{\partial z} \Big|_{z=-h} \quad (3.26)$$

Denklem 3.26'da v kinematik vizkozite, τ_{dip} dip gerilmesidir. Gerilme teriminin genel tanımını kullanılarak aşağıdaki denklem 3.27 yazılabilir.

$$\frac{\bar{\tau}_{dip}}{\rho} = v \frac{\partial \vec{U}}{\partial z} \Big|_{z=-h} = C_d |\vec{U}| \vec{U} \quad (3.27)$$

Denklem 3.27 C_d dip direnç katsayısıdır. Aynı ilişki su yüzeyi ile atmosfer arasında da bulunmaktadır. Bu durumda denklem 3.27, denklem 3.28 şeklinde yazılabilir.

$$\frac{\bar{\tau}_{rüzgar}}{\rho_a} = v \frac{\partial \vec{U}_{rüzgar}}{\partial z} \Big|_{z=0} = C_{rüzgar} |\vec{U}_{rüzgar}| \vec{U}_{rüzgar} \quad (3.28)$$

$C_{rüzgar}$ rüzgâr direnç katsayısıdır ve en yaygın kullanımıyla $(0,8 + 0,065U_{rüzgar10}) \times 10^{-3}$ bağıntısıyla verilir. $\vec{U}_{rüzgar10}$ yüzeyden 10 m. yükseklikteki rüzgar hız vektörü, ρ_a havanın yoğunluğudur ve değeri $1,25 \text{ kg/m}^3$ olarak alınmıştır. $\frac{\vec{\tau}_{rüzgar}}{\rho_a}$ terimi ise kinematik rüzgar gerilmesini ifade eder [20,21].

Denge durumunda, denklem 3.25 ‘deki $-\frac{\partial}{\partial z} \left[\nu \frac{\partial u}{\partial z} \right]$ teriminin $z=-h$ ’dan $z=0$ ’ a kadar olan derinlik boyutundaki ortalamasının denklem 3.29’da yazıldığı gibi sıfır olması beklenir.

$$-\int_{z=-h}^{z=0} \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu \frac{\partial u}{\partial z} \right) dz = 0 \text{ veya } -\left(\nu \frac{\partial u}{\partial z} \right) \Big|_{z=0} + \left(\nu \frac{\partial u}{\partial z} \right) \Big|_{z=-h} = 0 \quad (3.29)$$

Denklem 3.27 ve 3.28’de tanımlanan sınır ifadeleri kullanılarak denklem 3.29’a göre integral işlemi yapılır ve elde edilen sonuç denklem 3.25’de yerine konulursa aşağıdaki denklem 3.30 elde edilir.

$$\frac{d\vec{U}}{dt} + \frac{C_d}{H} |\vec{U}| \vec{U} - \frac{C_{rüzgar}}{H} |\vec{U}_{rüzgar10}| \vec{U}_{rüzgar10} = -\vec{g} \frac{\partial \zeta}{\partial x} \quad (3.30)$$

Gerekli düzenlemeler yapılır ve denklem 3.30 eşitliğinin sol tarafındaki 3. terimde ifade edilen kinematik rüzgar gerilmesini \vec{R} olarak ifade edilir ve $\frac{d\vec{U}}{dt}$ ihmal edilerek yatay doğrultudaki momentum denklemi aşağıdaki denklem 3.31’de verildiği şekilde ifade edilir [5]. İyi karışmış deniz-tatlı su karışımlarına sahip sığ lagünler için viskoz terimleri, ivme terimlerinden çok daha baskın olduğundan dolayı ivme terimi $\frac{d\vec{U}}{dt}$ ihmal edilebilir [22]. Yani Momentum denkleminde ana denge sürtünme ve basınç

gradyenti olduğundan, ivme ihmal edilerek kinematik denklemde basitleştirmeye gidilir. Bu kapsamda, Tuzla Kamil Abdüş Lagünü'nün sığ olması, tatlı su girişi olmaması ve yüzeydeki etkin rüzgârlar nedeniyle 'iyi karışmış' bir lagün olduğu söylenebilir.

$$g\bar{\nabla}\xi + \frac{C_d}{H}|\bar{U}|\bar{U} = \frac{\bar{R}}{H} \quad (3.31)$$

Böylelikle ana denklemlerin çıkartılması tamamlanmıştır. Bu ana denklemlere bazı yaklaşımlar getirilerek kullanılacak modele ulaşılır.

Denklem 3.31'deki momentum eşitliğinin tüm terimleri g ile bölünür. Aşağıda denklem 3.32 ile verilen taşınım ifadesi de kullanılarak momentum ifadesi denklem 3.33 ile verilen duruma gelir [4,5].

$$\bar{Q} = H\bar{U} \quad (3.32)$$

$$\bar{\nabla}\xi - \frac{\bar{R}}{gH} = -\frac{C_d}{gH} \left| \frac{\bar{Q}}{H} \right| \frac{\bar{Q}}{H} \quad (3.33)$$

gerekli düzenlemeler sonra denklem 3.33, \bar{Q} aşağıda belirtilen adımlarla çözümlenirse,

$$-\bar{Q} = \sqrt{\frac{gH^3}{C_d}} \sqrt{\left| \bar{\nabla}\xi - \frac{\bar{R}}{gH} \right|},$$

$$-\bar{Q} = \sqrt{\frac{gH^3}{C_d}} \frac{\left(\bar{\nabla}\xi - \frac{\bar{R}}{gH} \right)}{\left(\left| \bar{\nabla}\xi - \frac{\bar{R}}{gH} \right| \right)^{\frac{1}{2}}},$$

$$-\bar{Q} = \sqrt{\frac{gH^3}{C_d \left(\left| \bar{\nabla} \xi - \frac{\bar{R}}{gH} \right| \right)}} \left(\bar{\nabla} \xi - \frac{\bar{R}}{gH} \right),$$

$$\bar{Q} = -D \left(\bar{\nabla} \xi - \frac{\bar{R}}{gH} \right). \quad (3.34)$$

Denklem 3.34 elde edilir. D doğrusal olmayan difüzyon katsayısıdır. Denklem 3.34, süreklilik ifadesini veren denklem 3.9'da yerine konulursa,

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \bar{\nabla} \cdot h \bar{U} = 0$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \bar{\nabla} \cdot \bar{Q} = 0$$

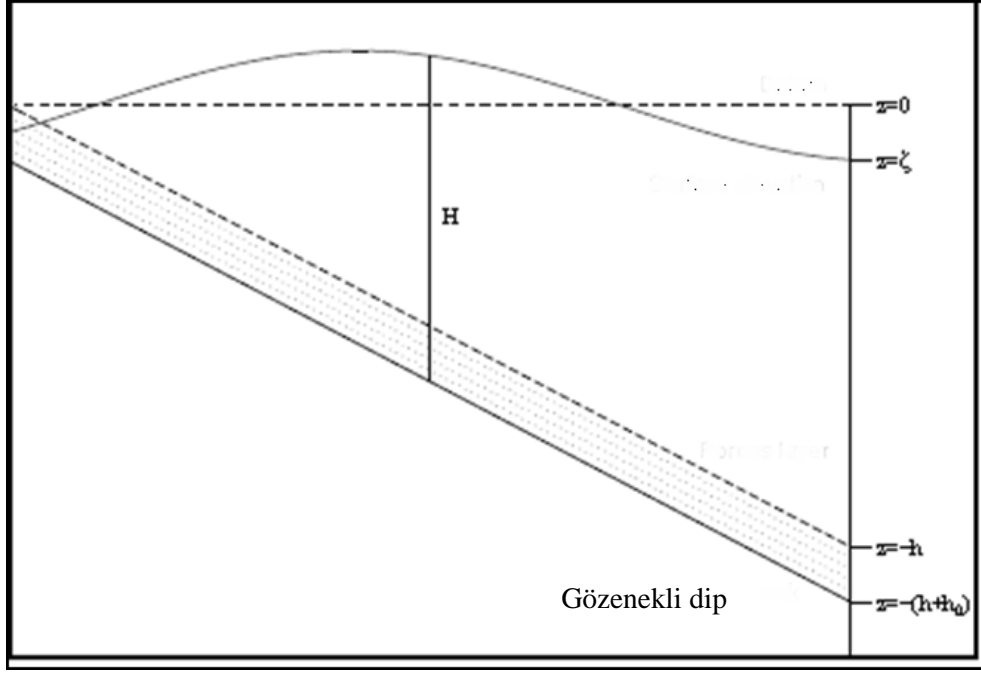
$$\frac{\partial \xi}{\partial t} - \bar{\nabla} \cdot D \left(\bar{\nabla} \xi - \frac{\bar{R}}{gH} \right) = 0$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} - \bar{\nabla} \cdot (D \bar{\nabla} \xi) + \bar{\nabla} \cdot \left(\frac{D \bar{R}}{gH} \right) = 0$$

3. terimin eşitliğin sağ tarafına atılmasıyla son duruma varılır.

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} - \bar{\nabla} \cdot (D \bar{\nabla} \xi) = -\bar{\nabla} \cdot \left(\frac{D \bar{R}}{gH} \right) \quad (3.35)$$

Denklem 3.35 doğrusal olmayan difüzyon denklemi ifade eder [4,5,6,25].



Şekil 3.4: Kanal geometrisi[5].

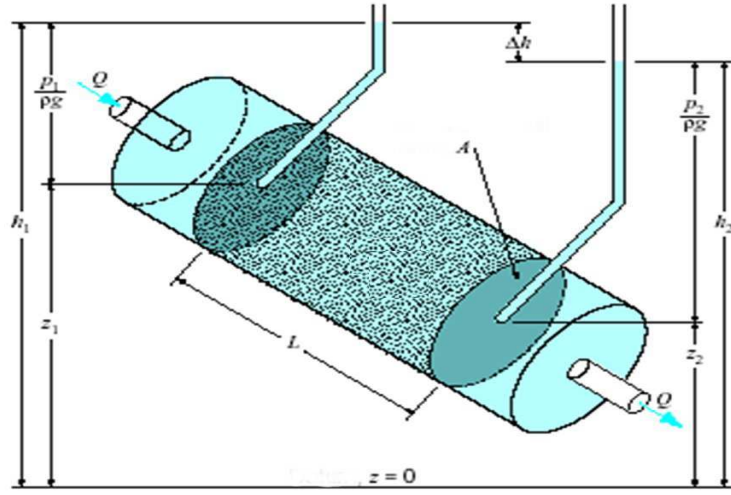
Şekil 3.4’de bir açık kanalın gözenekli dip yapısını tanımlayan kesit gösterilmektedir. h_0 dipteki gözenekli ortamın derinliği olarak alınmıştır. Toplam su derinliği $H = h + h_0 + \zeta(t)$ olarak verilir[5]. Denklem 3.35 için Şekil 3.4’de gösterildiği gibi serbest su yüzeyinin tabanındaki gözenekli dip yapısını da göz önüne alarak bir genelleştirme yapılabilir. Açık kanalların altındaki gözenekli yüzeydeki hız oldukça küçüktür ve bu çok küçük hızlara sahip olan akış laminardır. Bu nedenle gözenekli ortamdaki akış Darcy yasası ile ifade edilir.

Şekil 3.5’de genelleştirilmiş Darcy sütünü görülmektedir. 1. bölgedeki suyun, gözenekli yapıdaki L uzunluğunda dar bir kanaldan geçerek 2. bölgeye doğru aktığı ele alınırsa şekildeki sistem için enerji ifadesi aşağıdaki denklem 3.36 ile verilir.

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z + E_L \quad (3.36)$$

V_1 ve P_1 su haznesi 1’de ki ortalama hız ve basınç V_2 ve P_2 su haznesi 2’de ki ortalama hız ve basınç, γ özgül ağırlık, A kesit alanı, E_L ise iki nokta arasındaki

basınç yük kaybıdır. Şekil 3.5’de ifade edilen $h_1 = \frac{P_1}{\gamma} + z_1$ ve $h_2 = \frac{P_2}{\gamma} + z_2$ basınç yüksekliğini (veya basınç yükünü) ifade eder. Gözenekli ortamdaki akışın ortalama hızının küçük olması nedeni ile kareli hızları ihmal edilebilir ve denklem 3.36, denklem 3.37 şeklinde yazılabilir.



Şekil 3.5: Hidrolik iletkenliği κ olan gözenekli bir ortamdan geçen akış şeması[24].

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + E_L \quad (3.37)$$

Denklem 3.37’den yararlanılarak, basınç yük kaybı denklem 3.38’de verildiği şekilde yazılabilir.

$$h_1 - h_2 = E_L \quad (3.38)$$

Denklem 3.39’da verildiği gibi, küçük hızlar için akış genelde laminardır ve $h_1 - h_2$, V hızı ile doğrusallık gösterir.

$$-(h_2 - h_1) = \frac{L}{\kappa} V \quad (3.39)$$

L kanal uzunluğu ve $\kappa m/sn$ boyutunda hidrolik geçirgenliktir ve gözenekli ortamı oluşturan parçacıklar arasındaki boşluk ve viskozitenin bir fonksiyonudur.

$$V = \frac{-\kappa}{L}(h_2 - h_1) \text{ veya } V = -\kappa \frac{(h_2 - h_1)}{L} \quad (3.40)$$

Denklem (3.40) Darcy's Kanunu'nu ifade eder. Denklem 3.40'ın, kanal kesit alanı olan A ile çarpımı denklem 3.41'da tanımlanan taşınım ifadesini verir[24].

$$Q_p = -\kappa A \frac{(h_2 - h_1)}{L} \quad (3.41a)$$

$$\vec{Q}_p = -\kappa A \text{grad} h \quad (3.41b)$$

Denklem 4.41b taşınım ifadesinin vektörel formudur. Gözenekli bir dip yapısına sahip açık bir kanal için toplam taşınım ifadesi denklem 3.42'deki gibi yazılabilir.

$$\vec{Q} = \vec{Q}_o + \vec{Q}_p = -D \vec{\nabla} \xi + D \frac{\vec{R}}{gH} \quad (3.42)$$

alt indis olarak kullanılan harfler, bir su sütündeki “o” açık kanal, “p” gözenekli ortamı belirtmektedir. Q_o açık kanaldaki taşınım, Q_p gözenekli ortamdaki taşınımı, ifade eder.

Şekil 3.4'e göre $H > h_o$ olduğu durum yani doymuş bölgelerde taşınımlar, gözenekli ortamda Darcy Kanunu'da kullanarak aşağıdaki denklem 3.43 ve denklem 3.44'de ifade edildiği gibi yazılır [5,6].

$$\vec{Q}_p = -\kappa h_o \left(\vec{\nabla} \xi - \frac{\vec{R}}{g(H - h_o)} \right) \quad (3.43)$$

$$\bar{Q}_o = - \sqrt{\frac{g(H-h_o)^3}{C_D \left(\left| \bar{V}\xi - \frac{\bar{R}}{g(H-h_o)} \right| \right)}} \left(\bar{V}\xi - \frac{\bar{R}}{g(H-h_o)} \right) \quad (3.44)$$

Denklem 3.43 gözenekli ortamdaki taşınım ve denklem 3.44 açık kanal için taşınımı vermektedir. Doymuş bölge için difüzyon katsayısı denklem 3.43 ve 3.44' deki katsayıların toplamıdır. Bu toplam, denklem 3.45'de tanımlanmıştır[5,6].

$$D = D_p + D_o = \kappa h_o + \sqrt{\frac{g(H-h_o)^3}{C_D \left(\left| \bar{V}\xi - \frac{\bar{R}}{g(H-h_o)} \right| \right)}} \quad (3.45)$$

Denklem 3.45'da D_p gözenekli ortamdaki difüzyon katsayısı, D_o ise açık kanal için verilen difüzyon katsayısıdır.

Şekil 3.4'e göre $H < h_o$ olduğu durum yani doymamış bölgelerde taşınımlar ise aynı yaklaşımla denklem 3.46 ve denklem 3.47'de ifade edildiği gibi yazılır.

$$\bar{Q}_p = -\kappa h_o \left(\bar{V}\xi - \frac{\bar{R}}{g(h_o)} \right) \quad (3.46)$$

$$\bar{Q}_o = 0 \quad (3.47)$$

Doymamış bölgeler için toplam difüzyon katsayısı denklem 3.48'de verildiği şekilde tanımlanmıştır.

$$D = D_p + D_o = \kappa H \quad (3.48)$$

Açık kanaldaki akıntı hızı aşağıdaki denklem 3.49 ile verilmiştir.

$$\bar{V}_o = \frac{\bar{Q}_o}{H - h_o} \quad (3.49)$$

Darcy Kanunu ile ifade edilen akışın hidrodinamik hesaplamalara dahil edilmesinin nedeni, çok sığ bölgelerde zemindeki su çekildiğinde bile su parçacıklarının dipteki gözenekli ortamda laminar ve çok yavaş bir akış oluşturmasıdır (tıpkı kumluk plajlarda dalganın gitmesiyle, kumun içinden denize doğru akan su olayı). Böylelikle bölgenin kuru olduğu sürede burada bulunan ağ elemanlarının varlığını koruyarak hidrodinamik hesaplamayı Darcy kanunu ile ifade ettiğimiz akıntı hızları için gerçekleştirebiliriz. Bu da her zaman adımında suyun çekildiği (kuru) bölgelerde bulunan ağ elemanlarını silmeyi ve suyun yükselmesiyle de tekrar ilave edilmesini engeller. Gerçekte amaç, gözenekli ortamdaki akışın modellenmesi değil sadece kuru ağ eleman varlığının oluşturacağı nümerik problemleri ortadan kaldırmaktır.

Bellamy programı kinematik yaklaşımla ilgili hidrodinamik hesaplamalarda ağ elemanının “kuru- yaş” sorgulamasını yapar. Bu sorgulamaya göre de farklı difüzyon katsayıları kullanır.

3.2. Dinamik Yaklaşım

Yukarıda verilen kinematik yaklaşım çok sığ derinliği olan bölgeler için kullanılmıştır, su derinliği 0,5 m fazla olan bölgelerde yerel ivme, momentum denkleminde eklenir[4,5,6].

$$\frac{\partial \bar{Q}}{\partial t} + gH\bar{V}\xi + \frac{C_d}{H^2}|\bar{Q}|\bar{Q} = \bar{R} \quad (3.50)$$

Uygulama bölgesi için seçilen Tuzla Kamil Abdüş Lagünü için su derinliğine bağlı olarak kinematik ve dinamik yaklaşımlar ile hidrodinamik çözümler

BELLAMY kodu ile yapılmıştır. Denklem 3.35 ve 3.50 ile verilen ana denklemlerde belirtilen rüzgar etkisi, bu tez çalışması kapsamında ‘kullanıcı altprogramı (usrsubs_Bellamy.f)’ altında ‘Rüzgar Gerilmesi (WINDSTRESS Subroutine)’ kodu ile BELLAMY programına ilave edilmiştir. Program koşturulmadan önce oşinografik kurallara göre oluşturulan BatTri [26] programı bölgenin matematiksel ağının oluşturulması için kullanılmıştır.

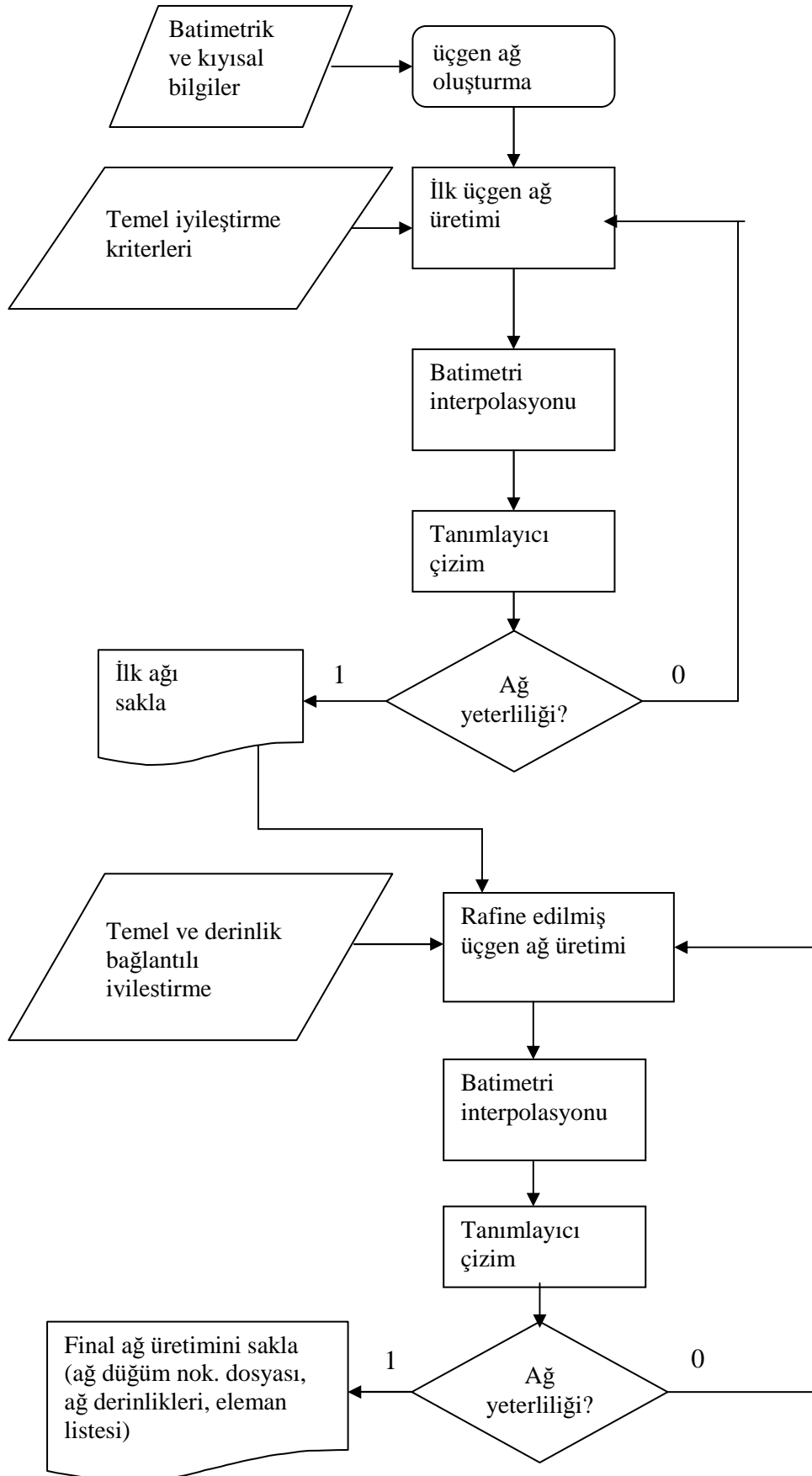
4. İKİ BOYUTLU ÜÇGENSEL HESAPLAMA AĞI

Tez çalışmasında uygulama alanı olarak seçilen Tuzla Kamil Abdüş Lagünü'nün, iki boyutlu üçgenel hesaplama ağını oluşturmak için BatTri Programı kullanılmıştır. Okyanus modelleme araştırmalarının ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik olarak geliştirilen kamuya açık bir yüksek kaliteli hesaplama ağı üretme programıdır. BatTri, girdi hazırlama ve çıktıların analizi için Mathworks Matlab yazılımının, üçgen oluşturmada da C++ programlama dili ile yazılmış Triangle programının kullanıldığı bir programdır. Üçgen ağı üretiminin temelinde Delaunay rafine (düzeltme) algoritması (DRAs) bulunmaktadır. DRA, nokta setlerinde düzeltilmiş Delaunay genleri üretmek için kullanılan bir yöntemdir. DRA var olan Delaunay genlemelerini, köşe noktaları (Steiner noktaları) ekleme yöntemiyle çalışır, bu esnada Delaunay özelliğini de korur. Delaunay özelliği, her bir gene ait bir çevrel çember bulunması ve üçgenler belirli kısıtlamalarla kendilerine ait bu çevrel emberlerde rafine durumuna getirilmeleridir[26,27].

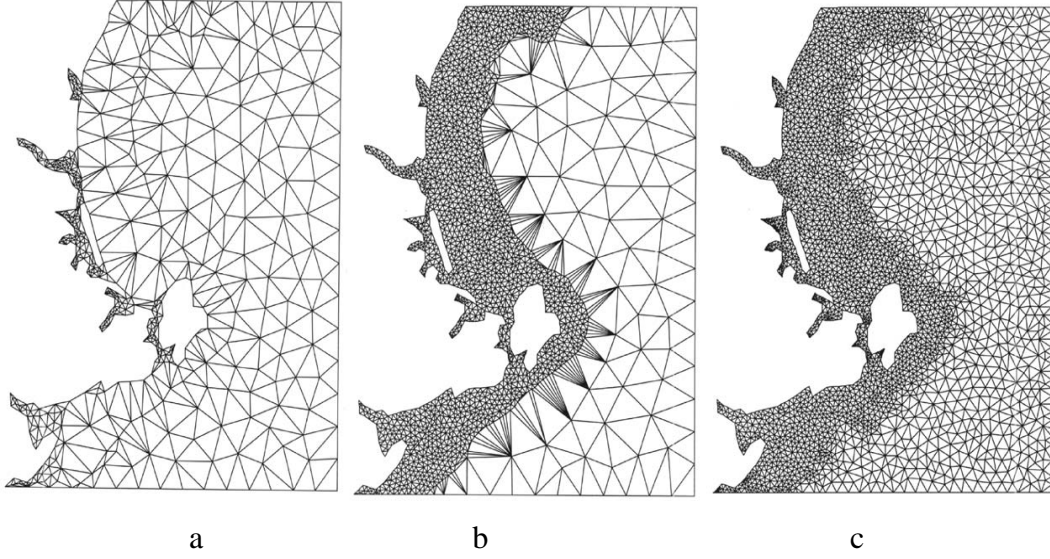
Gerçekte, BatTri eleman oluşturma ile ilgili iyileştirici şartları kendi içinde ağı oluşumunu yapan Triangle ile girdi ve çıktı fonksiyonlarını yönetir. Yani ağı üretimi ve üretilen ağın iyileştirmesi için BatTri şartlarına göre girdi ve çıktı arasındaki temel program Triangle'dır. şekil 4.1, BatTri Program oluşturma algoritmasını kısa olarak tanımlamaktadır. Programın ilk girdisi batimetrik ve kıyısız veri bilgilerini içermektedir (mesela deniz harita bilgileri) ve bu bilgiler ilk kaba genel ağı oluşturmada kullanılır. Oluşan ağı, en kaba ve kalitenin önemsenmediği taban çıktıdır. Bundan sonra BatTri'nin ağı kalitesini geliştirmek için programa ilgili şartların uygulanması ve her iyileştirmeden sonra elde edilen rafine olmuş genel ağı yapıların yeterlilik sorgulaması gelmektedir. Ağı oluşum kalitesinin uygun görülmediği durumlarda program ilk adımdaki ağı oluşturma basamağına geri dönmektedir. İyileştirme kriterlerine göre ağı oluşturma işleminden sonra batimetri interpolasyonu yapılarak son durum garafiklenir. Ayrıca program kıyı çizgi bilgilerini elle düzeltme imkânını da verir. Bu da kıyısız çözünürlüğün simülasyon yapısını etkileneceğinden kullanıcının uyumlu bir sınır geliştirmesine olanak veren

ek bir algoritmadır. Program batimetrik veri setinde var olan bir noktanın izobatını elde edebilir. BatTri'nin temel ağ iyileştirmesi, elemanın iç açısının minimum olması gereken değer ve/veya eleman alanının maksimum olması gereken koşul ile kısıtlar. Açık kısıtı, değişik boyutlardaki elemanların keskin geçişlerini kolaylıkla azaltılabilir ki bu da ağ elemanının en boy oranını iyileştirerek üçgen kalitesini artırır. Ayrıca, Courant–Friedrichs–Levy (CFL) iyileştirme koşulu ile sabit olarak girilebilen bir azami eleman alanı, üçgen elemanlarının iyileştirmede kullanılan diğer bir kısıttır. Bir eleman alanı, Courant–Friedrichs–Levy kısıtıyla hesaplanan maksimum alandan küçükse daha fazla iyileştirilemez. Bu iyileştirme diğer iyileştirme seçeneklerinden önce kullanılmalıdır çünkü Courant–Friedrichs–Levy kısıtıyla bildirilenden daha küçük bir alana zaten sahip olan üçgenler bu kısıtlamayla rahatlamayacaktır, bu da son ağ düzenlemesinde gereksiz ölçüde küçük elemanlara yol açacaktır. Ağ yapısının iyileştirmesindeki bir sonraki adımlardan ilki; bir önceki iyileştirme sırasında eklenen düğüm noktalarının maksimum sayısını denetlemektir. Rafine ağ oluşumu için eklenen düğüm noktalarının bazıları ile oluşan yeni üçgensel elemanlar bazen 'Delaunay üçgeni' olamayan bir üçgen yapısı da oluşsa da düğüm noktaları sayılarının kontrolünün sağlanması için gereklidir. Son iyileştirmedeki ikinci adım; batimetrik derinlik sınırlaması getirir ki buda gereksiz düğüm noktalarının ortadan kaldırarak ağda bölgesel iyileştirmeyi sağlar. Bunun dışında batimetri derinliğinin sınırlamasıyla derinlik sınırının öncesinde ve sonrasında bulunan düğüm noktalarına sahip olan üçgensel eleman içinde sadece derinlik şartlarına uyan düğüm noktaları için uygulama yapar, uymayan elemanlar için bir faaliyet göstermez.

BatTri rafine ağ üretimi için belli sınırlamalarla, tek bir elemanın kalitesini yükselterek tüm bölge için kaliteli üçgensel ağ bölünmesini sağlamaktır [26,27,28].



Şekil 4.1: BatTri akış algoritması[26]



Şekil 4.2: Cape Ann çevresindeki bir kıyısal alanın BatTri ağı [26].

Şekil 4.2’de BatTri programı uygulanmış Cape Ann (USA) çevresindeki bir kıyısal bölge gözükmetedir[26]. Şekil 4.2a, BatTri ile ilk üçgensel ağ üretiminden elde edilmiştir. Burada program Triangle ile temel ağ oluşturmasını yapmıştır. Şekil 4.2b izobatlar (eş derinlik eğrileri) nedeniyle üçgenlere bölünmüş değişik çözünürlük yoğunluklarına sahip çalışma bölgesini göstermektedir. Şekil 4.2c, birbiri ile orantısız üçgenlerden meydana gelmiş iyi görünümü olmayan Şekil 4.2b, elemana minimum 30° lik iç açısı şartının uygulanarak rafine halini göstermektedir.

Rafine ağ üretimi için BatTri optimizasyon koşulları bulunmaktadır. Bu koşullar aşağıdaki verilen denklem 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4’de ifade edildiği şekilde tanımlanmışlardır [26,27,28]

$$\frac{h}{\nabla h} \frac{1}{\alpha} \geq A \quad (4.1)$$

$$\frac{h}{\alpha} \geq A \quad (4.2)$$

$$\frac{1}{\nabla h} \frac{1}{\alpha} \geq A \quad (4.3)$$

$$\frac{\Delta h}{h} \leq \alpha \quad (4.4)$$

h ortalama eleman derinliği, ∇h eleman dikeylerinin derinlik gardiyenti değeri, A maksimum eleman alanı, α kullanıcı tarafından verilen sınırlama oranı, $\Delta h = \frac{(h_{\max} - h_{\min})}{h_{\min}}$, h_{\max} derin sudaki düğüm noktası derinliği ve h_{\min} sığ sudaki düğüm noktası derinliğidir.

Yukarıda tanımlanan koşullar için yeterlilik sağlayan üçgen eleman rafine duruma gelmiş olur.

Denklem 4.5 ile verilen ifade Courant–Friedrichs–Levy tipinde dalga boyu ve eleman büyüklüğü ile ilgili rafine koşuludur.

$$\frac{ght^2}{R^2} \leq A \text{ veya } \frac{\sqrt{3}}{4} \frac{ght^2}{R^2} \leq A \quad (4.5)$$

t dakika boyutunda modelin zaman adımı, R gel-git dalga boyunun ağ elemanının büyüklüğüne oranıdır. R 'nin değerleri, düz dip topografyası olan alanlarda 25 ile yüksek batimetrik değişim gösteren alanlarda 500 arasında değişebilmektedir. Genelde $R = 100$ birçok durum için optimal bir seğim olacaktır. M_2 gel-git tipine göre en ideal oran 25 olarak alınmiştır.

Eğer akıntı hızı ve dispersiyon biliniyorsa eleman alanı kısıtlaması için aşağıda verilen denklem 4.6 ile ifade edilen Peclet sayısına bağlı rafine şartı uygulanabilir.

$$\left(\frac{PeD}{V} \right)^2 \leq A \text{ veya } \frac{\sqrt{3}}{4} \left(\frac{PeD}{V} \right)^2 \leq A \quad (4.6)$$

Pe Peclet sayısı, D dispersiyon katsayısı, V hızdır.

Bu optimizasyon şartlarının hepsi ilk kaba üçgensel ağ oluşmasından sonra elemanı daha rafine duruma getirebilmek için seçilen fonksiyonlardır.

5. SAYISAL MODEL

Bu çalışmada, lagün hidrodinamiğinin sonlu eleman modeli ile zaman adımlı, doğrusal olmayan çözümlemesi için sayısal çözümleme programı BELLAMY gelgite bağlı su basması, su çekilmesi ve rüzgâr etkilerinin hepsi kullanılarak lagün sisteminin hidrodinamik durumunun hesaplanması için kullanıldı. Tuzla Kamil Abdüş Lagünü'nde tatlı su girişi olmadığı için nehir girdileri ihmal edilmiştir. Lineer olmayan sistemin, daha önceki bölümlerde çıkartılan ana denklemlerini kapsayan model, hidrodinamik hesaplamalar için her zaman adımında tekrarlanarak çözümlendi.

BELLAMY, parçacıkların taşınımını ve açık deniz -lagün su karışımının iyi olduğu lagün sistemi değişiminin izlenebildiği süreçlerin anlaşılması için bir Lagrangian parçacık yöntemini 2D sonlu eleman kodu ile beraber çalıştırır. Lagrange parçacık yöntemi, açık deniz ve iyi karışmış lagün sistemlerindeki parçacık değişimlerinde parçacığın askıya alınmış ve sekme hareketlerinin araştırmasında kullanılan iyi bir yöntemdir [4-6,29-32]. Çalışmada Lagrangian parçacık yöntemi su parçacıklarının seyahat ve açık deniz-lagün değişimlerinin ortalama zamanlarda karakterizasyonunun tayini ve ölçümlenebilmesi için Tuzla Kamil Abdüş Lagünü'ne uygulanmıştır. Bu yöntemin lagüne uygulanmasıyla ve parçacık sayısı optimizasyonunun elde edilmesiyle su kalitesine etki eden kirleticilerin bölgede doğurabileceği zararların giderilmesine yönelik etkin kaynak yönetimi yapılabilecektir.

Programda, 2D sonlu eleman yöntemi, lagünün gözenekli ortamdaki su parçacığı taşınım modülünün de dahil edildiği çamurlu kısmının gelgit etkisiyle su basımı ve suların çekildiği periyodun etkisi de katılarak ortalama hız vektörleri, yarım günlük, günlük gelgit birleşenleri ve rüzgar etkileri dahil edilerek incelenmiştir. Gelgit ötelemesini ve rüzgâr etkisini kapsayan parçacık yöntemi, yatay olarak rastgele bir yürüyüş modeli olarak üçgensel ağ elemanları skalasında parçacığın türbülanslı

seyahatini süreçler. Yani su partikülünün yaptığı bileşke hareket, hem öteleme hareketi hem de türbülans etkisiyle rastgele olarak ilerlemesinden oluşmaktadır. Parçacığın akıntı hızı etkisiyle ileriye doğru yol alması 4. derecen Runge-Kutta yöntemi, türbülans etkisiyle yaptığı hareketi ise Markov zinciri basit rastgele yürüyüşle açıklamıştır [29-31].

Modelin zaman aralıkları 3.bölümde belirtildiği gibi BatTri ağ üretim programı sayesinde tespit edilmiştir. Tespit edilen bu zaman adımları (Δt) ile her ağ elemanı için hidrodinamik hesaplamalar suyun derinliğine göre kinematik veya dinamik yaklaşım kullanılarak yapılır. BELLAMY, kinematik yaklaşımla ilgili hidrodinamik hesaplamalarda ağ elemanının “kuru- yaş” sorgulamasını yapar. Bunun nedeni gel git etkisiyle elemanın yaş veya kuru olmasına göre farklı difüzyon katsayıları kullanılarak hesaplamaların yapılmasıdır. Çok sığ bölgelerde zemindeki su çekildiğinde bile su parçacıkları, dipteki gözenekli ortamda Darcy Kanunu ile ifade edilen bir akış oluşturur. Böylelikle suyun çekildiği (kuru) bölgelerde bulunan ağ elemanlarının varlıkları korunarak hidrodinamik hesaplamalar, Darcy Kanunu ile ifade edilen akıntı hızları için gerçekleştirilir. Böylelikle kuru bölgede bulunan ağ elemanının silinmesine gerek kalmadan, varlıkları korunarak hidrodinamik hesaplamaya dahil edilmiş olur.

Açık kanaldaki 0.5 m veya daha az derinlikte bir düğümü içeren herhangi bir eleman, kinematik yaklaşımda tanımlanan ve ivme teriminin ihmal edildiği ana denklemlerle çözümlenirken, diğer tüm elemanlar yerel ivmenin dahil edildiği dinamik yaklaşımda tanımlanan ana denklemle çözümlenir. BELLAMY programı rastgele yürüyüş modelini uniform bir dağılım amacıyla kullanır. Bu dağılımdan sonra parçacıklar, paralel CPU'lar kullanılarak bir ‘mesaj geçirici ara yüzü’ (Message Passing Interface-MPI) kullanımı ile tanecik tahliyeleri gerçekleştirilir ve tanecik izleme kodu ile izlenir. Parçacık izlemesinde, öteleme hareketi zamana bağlı interpolasyonla takip edilebilir. CPU kullanımı ile simülasyon zamanı oldukça kısaltılmıştır. Yani, bir ana işlemci hidrodinamik modeli koşturduktan ve akıntı hızlarını hesapladıktan sonra bu akıntı alanı içinde izlenecek parçacıkların yörüngelerinin tümünün yine bu ana işlemci tarafından hesaplanması yerine parçacıkları eşit sayılara bölerek eşzamanlı olarak diğer işlemcilere (paralel hesaplama) akıntı alanı bilgisi ile

yollar. Her işlemci kendine düşen sayıdaki parçacığı, o zaman adımı için Runge Kutta metodu ile öteleyip rasgele yürüyüş metodu ile yaydıktan sonra yeni hesaplanan mekan bilgilerini ana işlemciye geri yollar. Bu bilgiler ana işlemci tarafından bir araya getirilip dosyalara yazdırıldıktan sonra işlem bir sonraki zaman adımı için tekrar eder.

Bu durumun, sayısal olarak gerçekleştirmek için 4. derecen Runge-Kutta yönteminin kullanılması sağlanır ve her aşamanın başında herhangi bir parçacığın hangi ağ elemanın içinde olduğu araştırır. Bu kontrol ile parçacıkların herhangi bir grid elemanını atlayarak geçmemesi sağlanmış olur[29]. Parçacık izleme her 4 adımda anonim bir eleman arama algoritması ile 4üncü dereceden Runge-Kutta yaklaşımı kullanılarak yapılır. Kullanılan bu 4üncü dereceden Runge-Kutta yöntemi parçacık çözümüne ek bir doğruluk getirir ve $\Delta t/2$ (yaklaşık 25 saniye) aşağısına kadarki çoklu tahminler, 49,68 saniyelik Δt model zaman adımındaki ağırlıklı ortalamadan daha gelişmiş bir çözüme varmak için kullanılır. Ayrıca, eleman arama algoritması hiçbir parçacığın parçacık adveksiyonu sırasında herhangi bir ağ elemanını atlamamasını da sağlar. Ancak, bir parçacığın daha yüksek hız periyotlarında pek çok ögeyi geçme olasılığı olabilir. Bunu incelemek için, Courant Friedrichs-Levy şartının gerektirdiği en küçük zaman adımı, ağ elemanının karakteristik uzunluğu ve eleman üzerindeki maksimum hız kullanılarak hesaplanır ve tüm simülasyonda kullanılır [26,29]. Tez çalışmasında, açık deniz- lagün suyu değişimi, lagün dolaşımını kontrol eden çeşitli süreçler ile araştırıldı. Her ne kadar iyi karışmış deniz- lagün değişiminde rüzgar etkisi hakimse de, parçacık yayılımı gelgit pompalaması, büyük olasılıkla türbülans karışımı ve açık deniz kıyı yapısı da etkili olmuştur. Bunların belirlenmesinde yüksek doğruluğun sağlanması için değişik sayıda parçacıkla birden fazla simülasyon yapılmıştır. Kullandığımız yaklaşımda, ani olarak sırasıyla yaklaşık olarak 65.000; 300.000 ve 1.200.000 adet taneciğin serbest bırakılmasıyla açık deniz- lagün değişimini ölçülmesine bir Markovian yapısı ile açıklanmaktadır. Markov özelliğine sahip olmak, stokastik (rastgele-rassal) bir sürecin tanımlanmasıdır. Mevcut durumun gelecek durumlardan bağımsız olmasıdır. Olayların tutarsızlığından kaynaklanan ve kontrol edilemeyen değişimler neden bu belirsizliğe neden olur. Bu değişiklikler tanımlanan matematiksel bir model içerisinde kantitatif (nicel) olarak incelenebilir. Değişkenin rastgele aldığı her bir değere durum denir. Bir başka

deyişle, mevcut durumun açıklaması, sürecin gelecekteki evrimini etkileyebilecek tüm bilgiyi kapsar. Böylece gelecek durumlar olasılık temelli bir anlayışla belirlenecektir. Bu tez çalışmasında, parçacık izleme modülünde parçacığın rastgele yürüyüşünü tanımlamak için Markov zinciri yaklaşımı kullanılmıştır. Birinci dereceden Markov zinciri yaklaşımının uygulanabilirliği ve yüksek potansiyelli iyileştirici düzeltmeleri kapsamı, lagün sisteminin karmaşık sürecini anlamamızı kolaylaştırmıştır. Markov süreci yaklaşımı ile lagün uygun bir şekilde alt-etki alanlarına bölünebilirse, belirlenen t zaman adımı ile karışım ve değişim probleminin tümü yalnızca bir geçiş olasılık matrisi tanımlaması yoluyla istatistiksel olarak karakterize edilmiş olur. Birinci dereceden Markov süreci için ihtiyaç duyulan gereklilik, her zaman adımında, bir parçacığın duracağı veya yeni bir alt-etki alanına hareket edeceği olasılığının sadece halen içinde mevcut bulunduğu alt-etki alanına bağlı olmasıdır, nereden gelmiş olduğuna değil. Bu yaklaşımın gücü eğer ilk parçacık dağılımı biliniyorsa, parçacık dağılımlarının gelecekteki herhangi bir zamanda istatistiksel olarak tahmin edilebilmesidir. Bu fikri uygulamak için, öncelikle parçacıkların i bölgesinden j bölgesine geçiş olasılıklarını, δt 'lık bir zaman adımı kullanarak, tek bir M2 gelgit çevrimi için hesaplanması gerekmektedir[33]. Parçacık izleme modülünde ayrıca farklı parçacık sayıları kullanılarak program oluşturulmuştur. Böylece simülasyon sonuçlarının analizlerinde, istatistiksel olarak bizi doğru çıkarımlara götürebilecek parçacık sayısının optimizasyonunu sağlanmıştır.

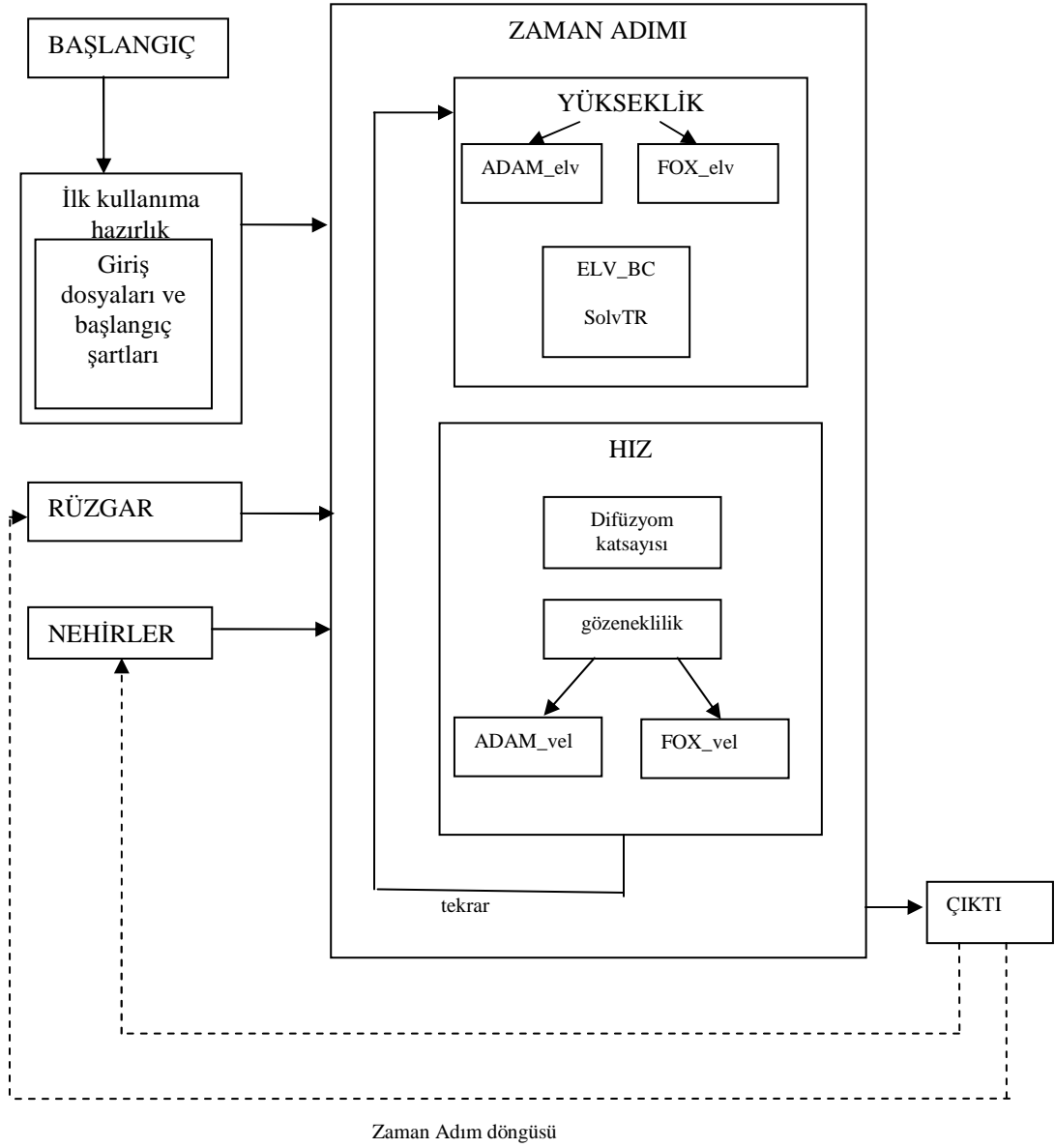
5.1. BELLAMY Bileşenleri

BELLAMY, ADAM2 ve FOX hidrodinamik modellerinin bir birleşimidir. ADAM2 sığ suların, ivme terimlerinin ihmal edildiği kinematik bir yaklaşımla doğrusal olmayan, Galerkin, 2D sonlu eleman modeli ile çözümleme yapar ve dip sürtünmesi ile basınç değişimi arasındaki kuvvetli dengeyi göz önünde bulundurur. ADAM2, akıntı rejiminin açık kanal akışından, Darcian akışının tanımladığı gibi gözeneklilik ve alt tabakanın hidrolik geçirgenliği ile değişmesi bir gözenekli ortam varlığı

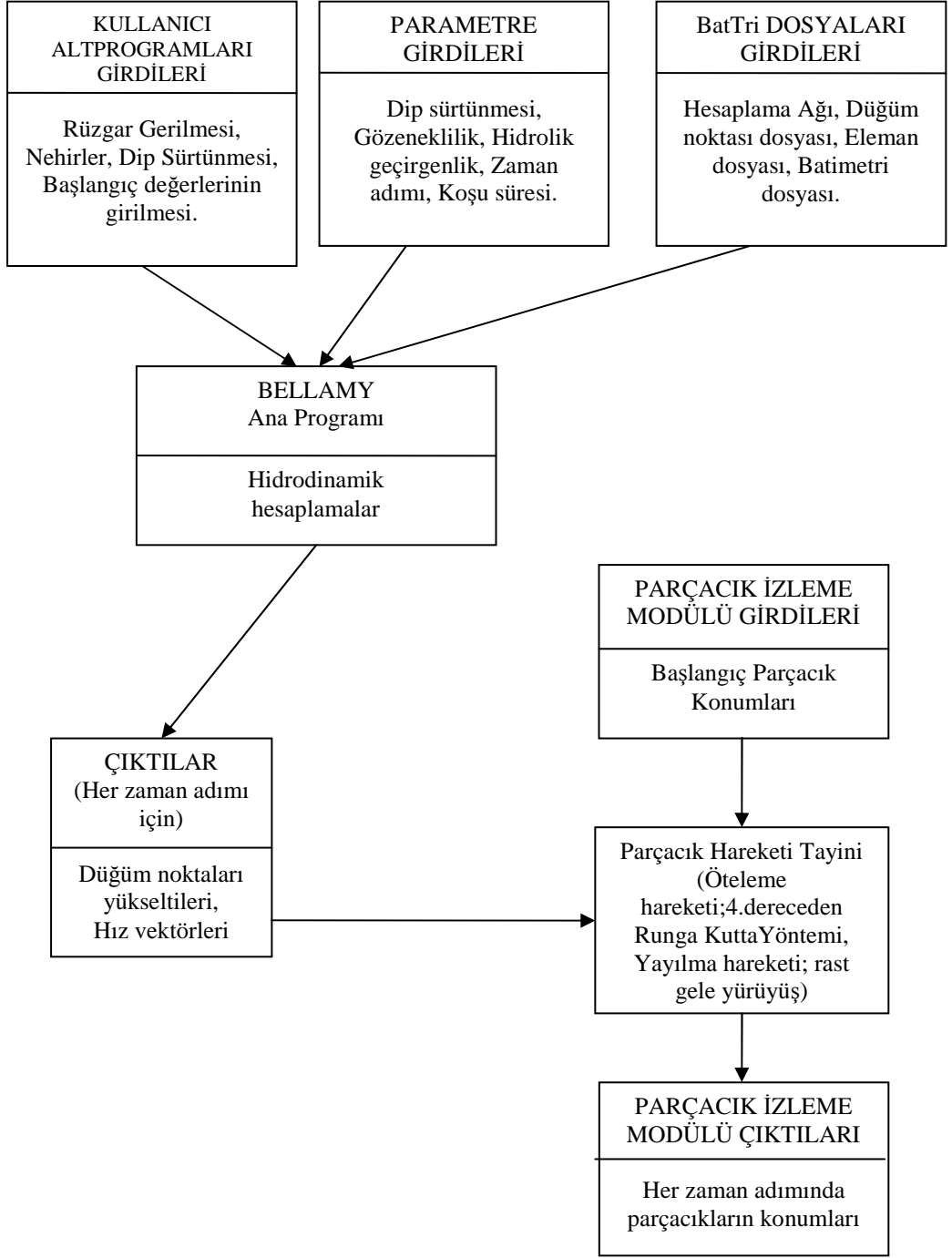
eklenerek açıklanmıştır. Bu durum, hidrolik çözümün hesaplanmasında kuru eleman varlığının olduğunu kabul eder [30].

FOX'da yine doğrusal olmayan, Galerkin, 2D sonlu eleman modelini kapsar fakat dinamik bir yaklaşımı kullanır. İvme terimlerini kullanır ve ayrıca gözenekli katmanı ihmal eder. Bu nedenle de grid elemanlarının ıslak ve kuru olma seçeneklerini kullanmaz. FOX, derin kanalların çözümlenmesinde daha yüksek bir doğruluk sağlayan temel bir rol oynar [30].

Programda, kullanıcı ara yüzeyi ve kullanıcı alt programlarının yürütme kısımları bulunmaktadır. Matlab, bir grafik kullanıcı ara yüzeyi için kullanılmış ve kullanıcı alt programları da FORTRAN 77 ile yazılmıştır. Genel olarak BELLAMY'nin yapısı tanımlanacak olursa; önce ADAM2 ve FOX modelleri için gerekli olan temel denklemler sınıflandırılır. Sonraki adımda bu iki alt modelde kullanılan metodoloji bütünleştirilir ve sonrasında gerekli düzenlemelerle fonksiyon kazandırılması için grafik kullanıcı ara yüzeyine iletilir. Bundan sonraki aşamada kullanıcı alt programlarının tanımlanması ve BELLAMY'nin örnek testinin yapılmasıdır. Kullanıcı manüelinin yapısının tanımlanması; ilk olarak ADAM' ve FOX modellerine ait olan gerekli denklemlerin sınıflandırılması sonrasında bu iki modeldeki metodolojilerin bütünleştirilmesi ve gerekli düzenlemelerle fonksiyonlaştırılması ve bir örnek testin yapılması olarak sıralanabilir [30]. Şekil 5.1'de BELLAMY'nin hidrodinamik hesaplamalar ile ilgili genel akışı verilmiştir. Şekil 5.2'de ise BELLAMY'nin hidrodinamik hesaplama ve Parçacık izleme modülü arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 5.1: BELLAMY'nin hidrodinamik hesaplamalarında ADAM2 ve FOX bileşenleri'nin kullanımı [30].



Şekil 5.2: BELLAMY'nin hidrodinamik hesaplama ve parçacık izleme modülü arasındaki ilişki.

5.2 . BELLAMY Süreçleri

ADAM2 ve FOX alt programlarına göre farklı metotlarla hesaplanmış yükselti (elevation) ve hızlar BELLAMY altında bütünleştirilir. Programın koşturulması sırasında ise ADAM2 ve FOX modellerinin geçerli olduğu ağ elemanları derinliğe göre ayrıştırılırlar. Şekil 5.1’de BELLAMY hidrodinamik hesaplama döngüsü altında ADAM2 ve FOX bileşenleri gösterilmiştir. İlk ayrıştırma ağ elemanlarının yaş veya kuru tanımlaması ile tiplerini belirlemek için yapılır. Bu ayrıştırmada kinematik yaklaşımla çözümlenecek ağ elemanları *ADAM_elv* altprogramı dinamik yaklaşımla çözümlenecek ağ elemanları ise *FOX_elv* altprogramı olarak isimlendirilirler. İkinci ayrıştırma ağ elemanlarında seyahat eden parçacık hızına göre yapılır. Ayrıştırma sonucunda altprogramlar kinematik yaklaşım için *ADAM_vel* ve dinamik yaklaşım için de *FOX_vel* olarak isimlendirilirler.

5.3 . Dip Sürtünmesi

BELLAMY’ de dip sürtünmesi, altprogram tarafından momentum denklemi içinde dip gerilmesi kullanılarak hesaplanır. Dip gerilim hesaplamasında, C_D , Manning ve Chezy olmak üç yöntem vardır. Bu tez çalışmasında C_D yöntemi kullanılmakla beraber bu üç yöntemde birbirine dönüştürülebilir [30].

5.3.1 . C_D dip gerilmesi

Sabit sürtünme katsayısı dip topografyası tarafından oluşturulan sürtünme direnci gerilmesini tanımlamak için basit bir yol olarak kullanılır. Bu sürtünme direnci sabit bir değerdir ve su seviyesine bağlı değildir. Bir noktadaki sabit dip sürtünmesini tanımlayan tek parametre o noktadaki dip yapısının pürüzlülüğüdür. C_D dip gerilmesinde doğrudan girdi katsayısı olarak alınır [30,34].

$$C_d = C_D \quad (5.1)$$

5.3.2 . Manning dip gerilmesi

Manning katsayısı n , su derinliği, Reynold sayısı, kesit geometrisi, alt tortu malzeme ve alt bitki örtüsü gibi deneysel parametrelere bağımlı olduğu tespit edilmiştir.

$$C_d = \frac{g n^2}{R^{1/3}} \quad (5.2)$$

n Manning pürüzlülük sabiti ve R metre boyutunda hidrolik yarıçap olarak tanımlanır. Hidrolik yarıçap olarak tanımlanan kanalın dikdörtgen kesiti aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$R = \frac{b H}{2H + b} \quad (5.3)$$

b kanalın dikdörtgen kesitinin genişliği ve H kanal derinliğidir. Bir çok lagünde genişlik derinlikten daha büyük olduğu için hidrolik yarıçap derinliğe eşit olarak alınabilir, $R=H$. Bu durumda denklem 5.2 aşağıdaki duruma gelir[30,35].

$$C_d = \frac{g n^2}{H^{1/3}} \quad (5.4)$$

5.3.3 . Chezy dip gerilmesi

Chezy, dip direncini doğrudan ıslak kanalın çevresi (\mathcal{C}) ve akıntı hızının (V) karesiyle doğru orantılı, eğim (m) ve kanal kesit alanı (S) ile ters orantılı olarak ifade etmiştir.

direnç, $r \propto \frac{V^2 \zeta}{Sm}$

Chezy denklemi aşağıdaki şekilde de ifade edilebilir.

$$V = C_h \sqrt{rm} \quad (5.5)$$

C_h , Chezy dip gerilmesi sabiti ve r , dirençtir.

Yukarıda verilen dip gerilmesi ile ilgili bu üç yöntem aşağıdaki ilişkilerle birbirine dönüştürülebilir[30] .

$$\text{CHEZY} = \sqrt{\frac{g}{C_D}} \quad (5.6)$$

$$\text{CHEZY} = \sqrt{\frac{H^{\frac{1}{3}}}{n^2}} \quad (5.7)$$

5.4 . Parçacık İzleme Modülü

Şekil 5.2’de tanımlandığı gibi hidrodinamik hesaplamalar sonucunda her ağ elemanı için bulunan yükselti ve hız dosya çıktısı parçacık izleme modülünün girdisini oluşturmaktadır. BELLAMY’de kullanılan 49,68 saniyelik Δt ‘lık model zaman adımları, 4üncü dereceden Runge-Kutta yönteminin kullanılması ile parçacık izleme modülünde ek bir doğruluk getirerek $\Delta t/2$ (yaklaşık 25 saniye) zaman adımları ile çözüme varılmaktadır [26,29],

$y' = f(t, y)$, $y(t) = y_0$ şeklinde tanımlanan bir başlangıç değer problemi için 4üncü dereceden Runge-Kutta yöntemi aşağıdaki denklem 5.8 ile ifade edilir.

$$y_{i+1} = y_i + (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \frac{h}{6} \quad (5.8)$$

Denklem 5.8 ile ifade edilen k_1 bir zaman adımı içinde bulunan başlangıç konumu, k_2 ve k_3 orta noktasındaki konumlar, k_4 zaman adımının bitimindeki konumu, h zaman adımını ifade etmektedir. k_1, k_2, k_3 ve k_4 eşitlikleri, denklem 5.9,5.10, 5.11 ve 5.12’de gösterilmiştir.

$$k_1 = f(x_i; y_i) \quad (5.9)$$

$$k_2 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h; y_i + \frac{1}{2}k_1h\right) \quad (5.10)$$

$$k_3 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h; y_i + \frac{1}{2}k_2h\right) \quad (5.11)$$

$$k_4 = f(x_i + h; y_i + k_3h) \quad (5.12)$$

Denklem 5.10 ve 5.11’de görüldüğü gibi katsayılardan dolayı 1/2 lik bir zaman adımı bölünmesi bulunmaktadır. Örneğin bir Δt zaman adımında parçacığın ilk konumu (XX;YY) ve konuma bağlı hızlarda U_{xx} , U_{yy} olsun (konum ve hız indisleri parçacık izleme kodundaki ifadelere uygun olarak alınmıştır). Denklem 5.10 kullanarak, parçacığın bir sonraki konumunu olan (XT; YT) önceki konumundaki hız vektörlerini kullanarak bulunabilir. Yani, parçacığın $\Delta t/2$ zaman adımı içindeki yeni konumları bulunmuş olur.

$$XT = XX + \frac{\Delta t}{2} U_{xx} \quad (5.13)$$

$$YT = YY + \frac{\Delta t}{2} U_{yy} \quad (5.14)$$

Denklem 5.13 ve 5.14 parçacığın $\Delta t/2$ zaman adımı içindeki yeni konumlarını veren ifadelerdir. Denklem 5.13 eşitliğinin sol tarafındaki toplam ifadesi $x_i + \frac{1}{2}h$ 'ye ve

Denklem 5.14 eşitliğinin sol tarafındaki toplam ifadesi $y_i + \frac{1}{2}k_1h$ 'e eşit olur.

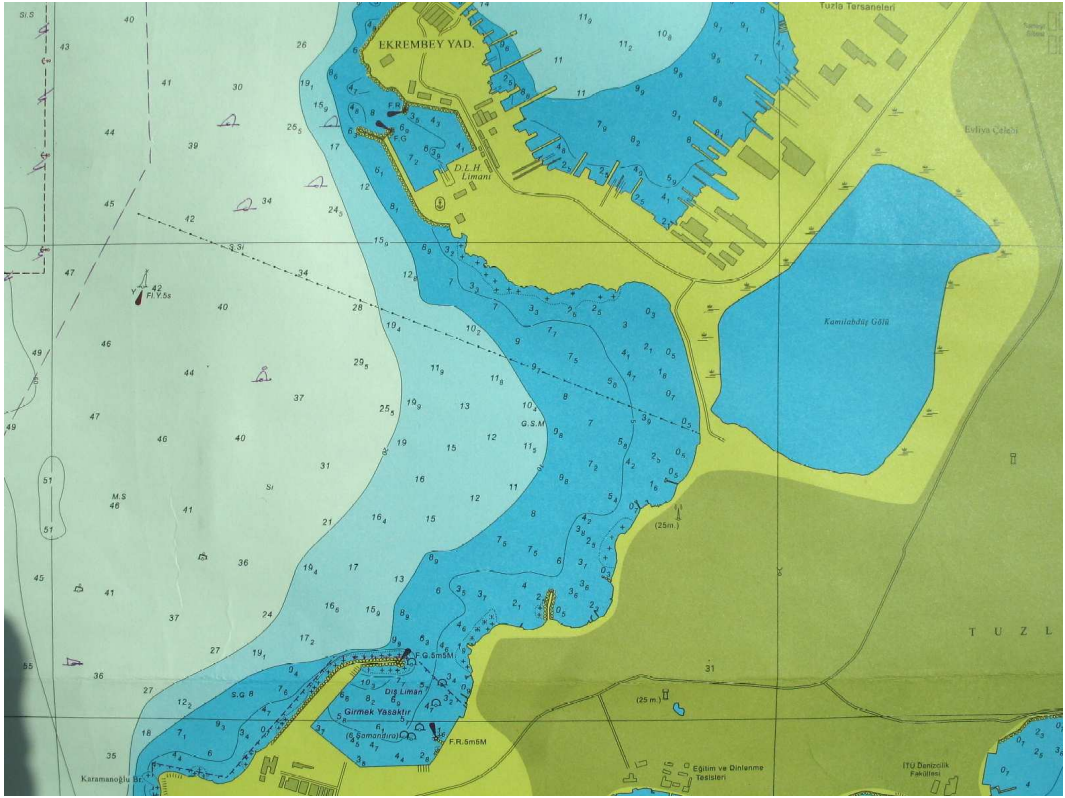
Böylelikle parçacık zaman adımının yarısı kadarlık bir zaman içinde ağ elemanındaki tepki sinyallerini hissedebilecektir.

6. TUZLA KAMIL ABDÜŞ LAGÜNÜ ÇALIŞMALARI

İstanbul'un Tuzla ilçesinde bulunan Kamil Abdüş Gölü, 1970'lerden önce bölge için balıkçılık ve barındırdığı kuşlar açısından çok önemli bir ekolojik unsur ve gelir kaynağı iken, 1978'de tersanelerin bu bölgeye taşınması ile bir dizi çevre açısından felaket sayılacak yanlış kararlar (tersane alanı için doldurma sonucu lagünün doğal ağzının kapatılması, yol yapımı sonucu denizden izole edilmesi, akan derelerin yönlerinin değiştirilmesi, vs.) sonucunda 2001 yılında tamamen kurumuştur. Çevresel ekoloji ve sosyo-ekonomik açılardan Tuzla için son derece önemli olan lagün, Tuzla Belediyesi tarafından uygun bir planlama ile rehabilite edilerek hayata döndürülmüş ve fayda verecek duruma getirilmiştir. Lagünün bundan sonraki aşamada sağlıklı bir şekilde yönetilebilmesi için risk öngörülerinin yapılması gerekmektedir.

6.1 . Tuzla Kamil Abdüş Lagünü'nün Hesaplama Ağının Oluşturulması

Bölüm 4'de açıklanan BatTri programı kullanılarak Tuzla Kamil Abdüş Lagünü'nün hesaplama ağı oluşturulmuştur. Bölgenin ilk kaba ağ yapısı batimetrik ve kıyasal bilgiler kullanılarak yapılmıştır. Bölgenin rafine ağ yapısına ulaşmak için bölüm 4'de tanımlanan BatTri optimizasyon koşulları kullanılmıştır. Şekil 6.1'de Tuzla Kamil Abdüş Gölü'nün koordinat ve derinliklerinin bulunduğu batimetri haritası bulunmaktadır. Haritada modellenecek bölgenin derinlik ve koordinat bilgileri bulunmaktadır. Şekil 6.2'de lagünün kuzeybatısında bulunan en önemli kirletici unsurlarından biri olan tersaneler bölgesinin bir görünüşü ve Şekil 6.3'de lagünün deniz bağlantısının olduğu kuzey ağzı bölgesi ve Şekil 6.4'de lagünün kuzeydoğusunda bulunan adanın bir görünümü bulunmaktadır. Bakış yönü kuzey yönündedir. Lagün adacıkları, bitki ekilerek yeşillendirilmeye başlayan bölgelerdendir.



Şekil 6.1: Tuzla Kamil Abdüş Gölü'nün batimetri haritası. Harita No 2919, TC. Deniz Kuvvetleri Komutanlığı Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı'nın dan temin edilmiştir.



Şekil 6.2:Lagünün kuzeybatısında bulunan tersaneler bölgesi.



Şekil 6.3: Lagün- deniz bağlantısının olduğu kuzey ağzı bölgesi.



Şekil 6.4: Lagünün kuzeydoğusunda bulunan adacığın görünümü.



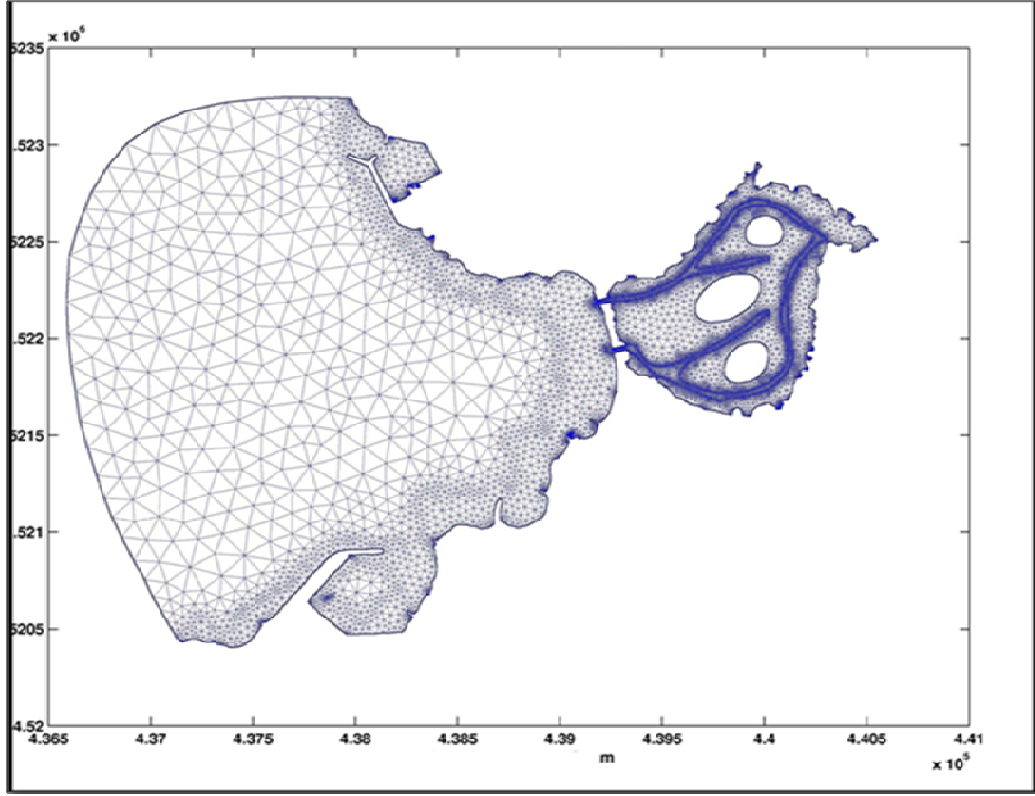
Şekil 6.5: Tuzla Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü'nden alınan lagün konfigürasyonunun son durumu.

Şekil 6.5’de ise Tuzla Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü’nden alınan lagün konfigürasyonunun son durumunun görüntüleri bulunmaktadır. Şekil 6.5’de gösterilen kanallar tarama (kanalın kazılma işlemi) sonrası ortalama su seviyesinden (MWL) 2.5 m derinlikte olacaklardır. Kanalları çevreleyen sığıklar ise 1.2 metreye taranacak ve lagün doğal işleyişine bırakılacaktır. Yaklaşık 3.5 metre derinlikte ve 20 m genişliğinde olacak iki adet giriş lagünün denizle su alışverişine izin vermektedir. Lagün içi kanallar ile sığıklar arasındaki geçiş bölgesi yaklaşık 10 m olarak tanımlanmış ve bu bölgede derinlikler, kanallar ve sığlık bölgelerin sınırlarını birleştiren ve eğimi 0.08 olan bir doğru etrafında ortalama değer olan 1.85 m’den 0.4925m’lik bir standart sapmayı sağlayacak şekilde rastgele olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni sığ düzlükler ile derin kanallar arasındaki geçiş bölgesi taramanın her yerde aynı olamaması, akıntı ve dip yapısının etkileri ile doğrusal olamayıp aksine engebeli bir bölge olmasıdır. Bu geçiş bölgesi, doğallığı sağlayarak engebeli bir dip yapısını tanımlayabilmek için rastgele bir bozulmaya tabi tutulmuştur. Bölgede yaklaşık 6 cm gelgit yükseklikleri [36], lagüne akan bir tatlı su kaynağının yokluğu ve lagünün sığılığı göz önüne alındığında denizel ortam ile su ve materyal değişiminde en önemli faktörün rüzgardan oluşacak kayma gerilmesi olması beklenmektedir. Bölgede dominant olan rüzgarlar poyraz ve lodostur. Bu rüzgarlara ait bilgiler Kartal Bölge Meteoroloji Müdürlüğü’nden elde edilmiştir ve hesaplama ağının oluşturulmasından sonraki adım olan modelleme sırasında sayısal modele zorlayıcı bir fonksiyon olarak girilmiştir.

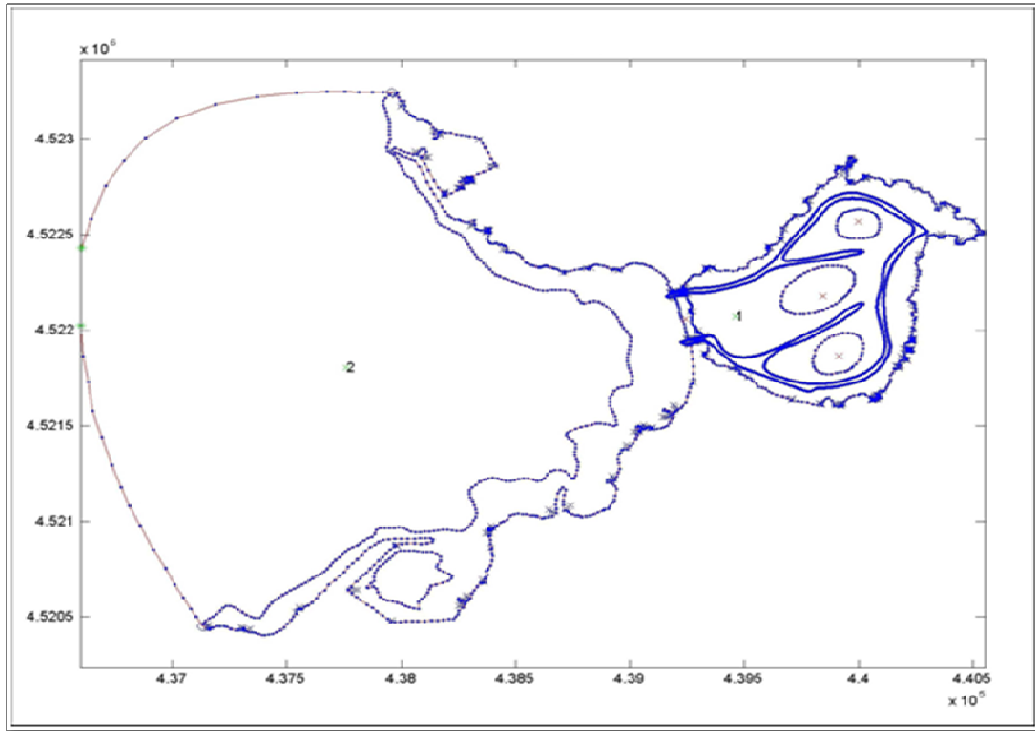
Tez çalışmasında, matematiksel model için kurulan hesaplama ağı temel alınarak, daha önce rüzgâr etkisi ihmal edilerek oluşturulan BELLAMY programı Tuzla Kamil Abdüş Lagünü için rüzgar etkisi de göz önüne alınarak tanecik izleme modellemesi yapılacaktır. Oluşturulan ve 15,347 düğüm noktası ve 29,287 üçgensel eleman kapsayan hesaplama ağı Şekil 6.6, 6.7, 6.8, 6.9 ve 6.10 ’de görülmektedir. Şekil 6.6’da, tüm model bölgesine ait genel ağ yapısı görülmektedir. Derinlikleri farklı olan bölgelerdeki üçgensel yapının da farklı olduğu görülmektedir. Şekil 6.7’de, tüm model alanının farklı derinlik sınırlarına göre elde edilmiş düzlemsel doğru çizgileri gösterilmiştir. Şekilde, 1 ile gösterilen bölge lagün içi 2 ile gösterilen bölge ise açık deniz bölgesidir. Şekil 6.8’de, lagün alanının farklı derinlik sınırlarına göre elde edilmiş düzlemsel doğru çizgi detayı görülmektedir. Çizgi ile sınırlandırılmış

bölgeler lagün içindeki derin kanalları belirtmektedir. Şekil 6.9'da Lagün içi ve çevresi ağ yapısının sığ ve derin bölgelerde farklı yapılarda olduğu görülmektedir. Şekil 6.10'da, lagün girişleri ve çevresinin sığ ve derin bölgelere göre ağ yapısının detayı bulunmaktadır.

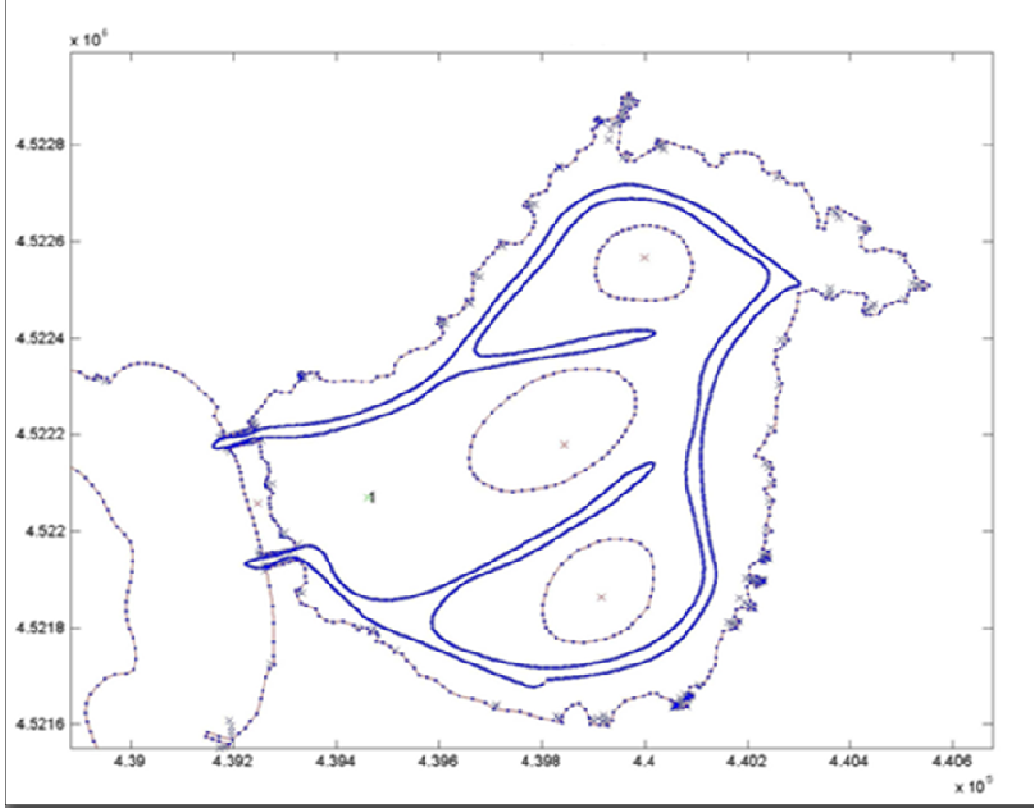
Model bölgesinin genel ve bölgesel batimetrik haritaları ise Şekil 6.11, 6.12 ve 6.13'de bulunmaktadır. Şekil 6.11'de, koyu mavi renkte olan bölgeler çalışma alanının deniz bölgesindeki en derin kısmını ifade etmektedir. Şekil 6.12'de, lagün içindeki sığlıklar ve kanallar farklı derinliklerdeki sığ bölgelerdir. Şekil 6.13'de, lagün girişleri detaylarının batimetrik haritası gösterilmiştir. Şekil 6.11, 6.12 ve 6.13'de, şekil altlarındaki renk skalası metre olarak derinlikleri göstermektedir. Görüldüğü gibi lagün deniz bağlantı bölgeleri yani lagün ağızları lagün bölgesinin en derin (3,5 m) kısımlarını oluşturmaktadır.



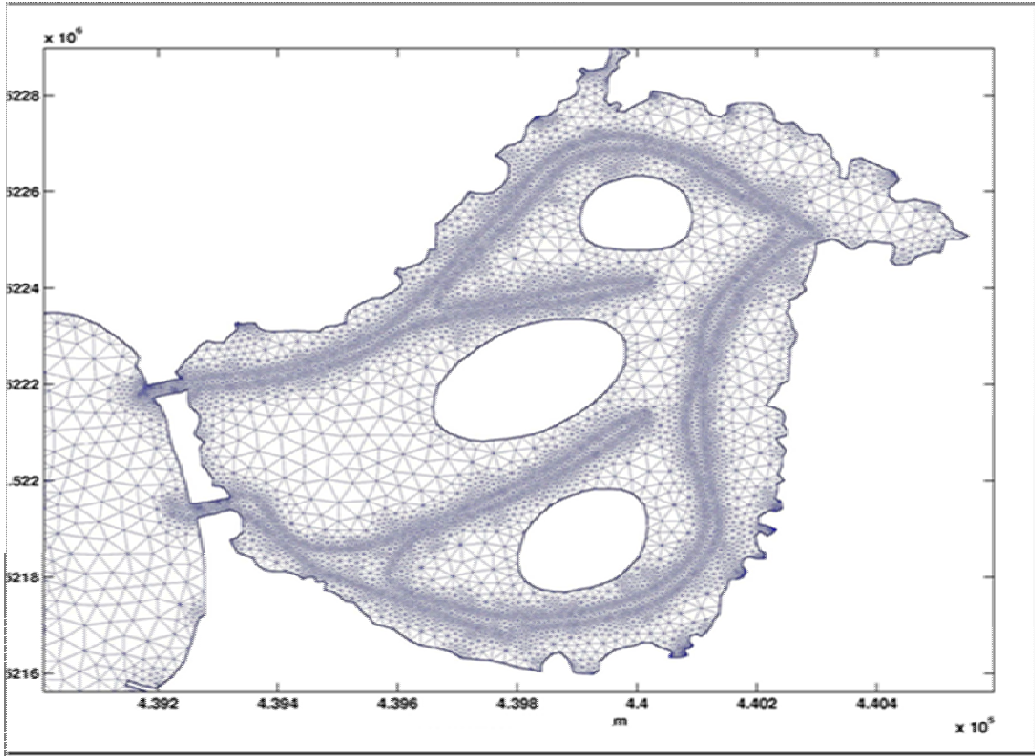
Şekil 6.6: Model bölgesinin genel ağ yapısı. Derinlikleri farklı olan bölgelerdeki üçgensel yapının farklı olduğu görülmektedir. x ve y eksenleri metre olarak mesafeyi göstermektedir



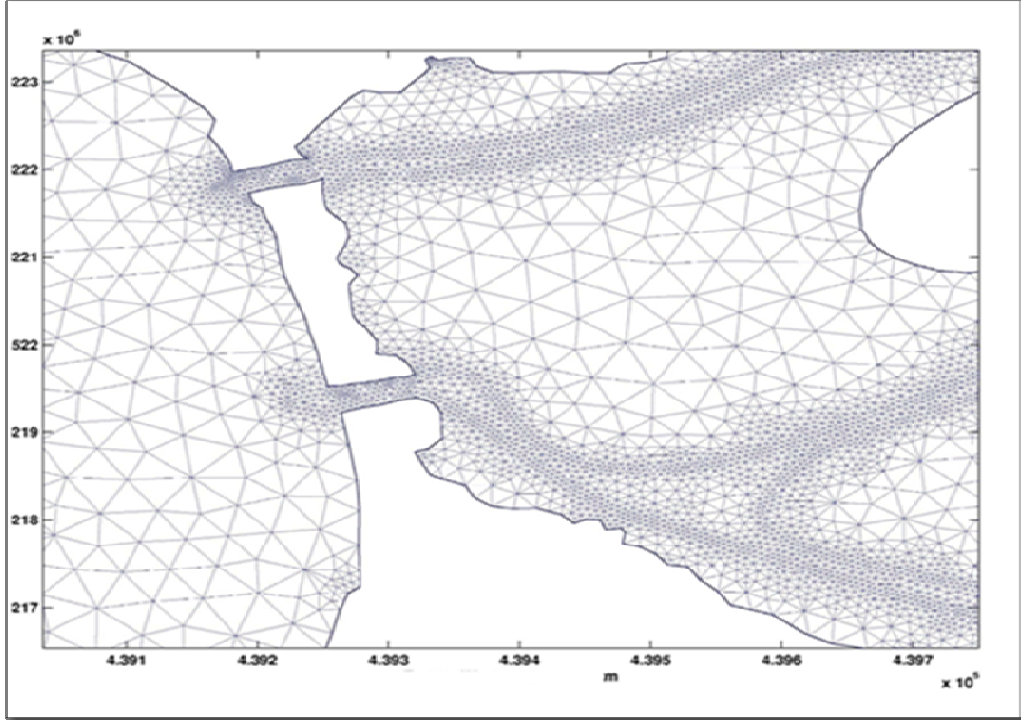
Şekil 6.7: Model alanının farklı derinlik sınırlarına göre elde edilmiş düzlemsel doğru çizgisi. x ve y eksenleri metre olarak mesafeyi göstermektedir.



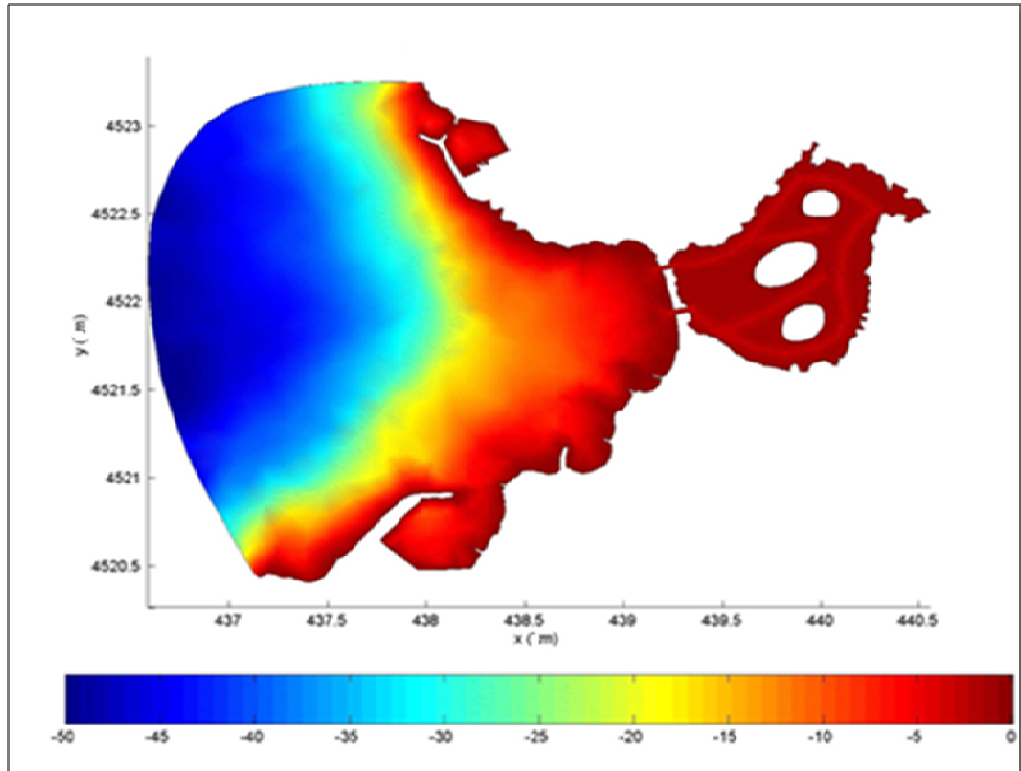
Şekil 6.8: Lagün alanının farklı derinlik sınırlarına göre elde edilmiş düzlemsel doğru çizgi detayı. x ve y eksenleri metre olarak mesafeyi göstermektedir.



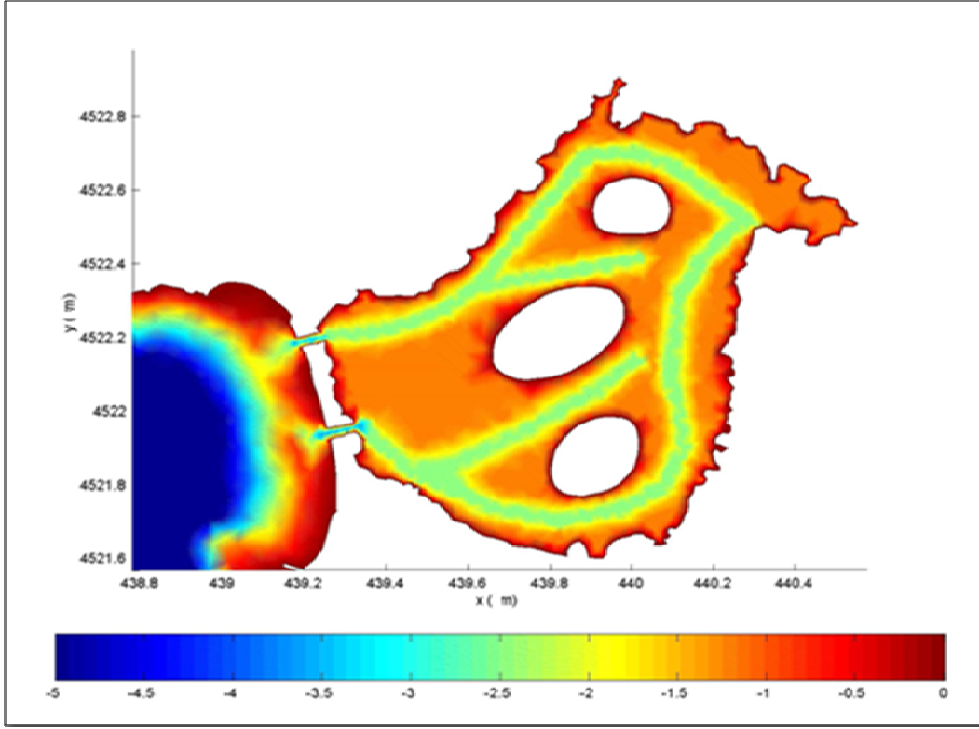
Şekil 6.9: Lagün içi ve çevresi ağ detayı. Üçgensel ağ yapısının sıg ve derin bölgelerde farklı yapılarda olduğu görülmektedir. x ve y eksenleri metre olarak mesafeyi göstermektedir.



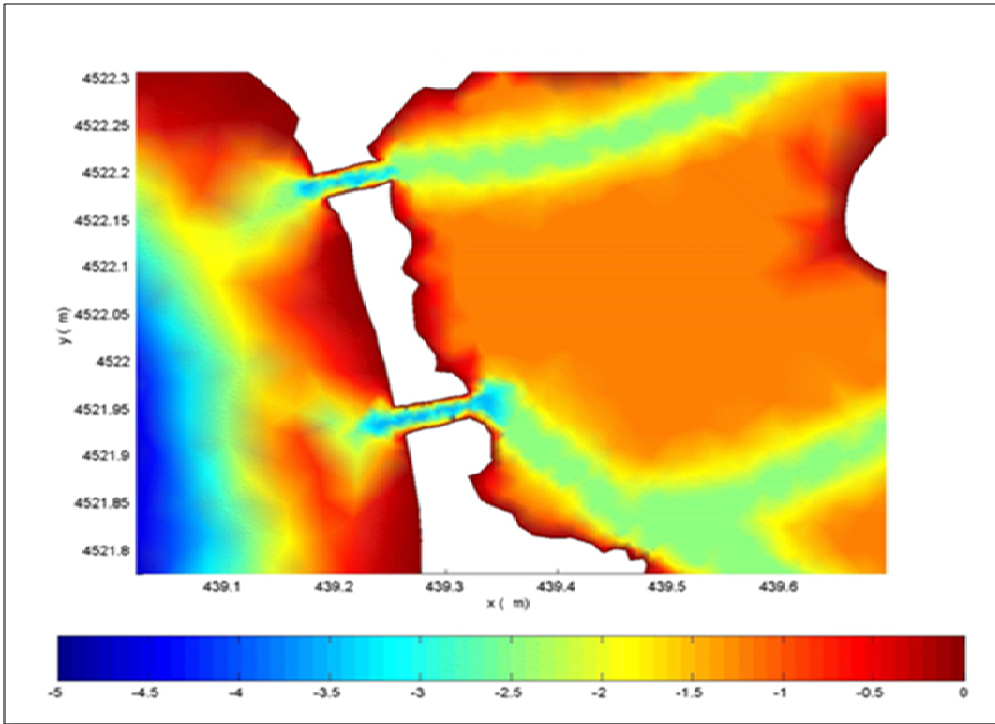
Şekil 6.10: Lagün girişleri ve çevresinin ağ yapısının derinliklere göre detayı. x ve y eksenleri metre olarak mesafeyi göstermektedir.



Şekil 6.11: Model bölgesinin genel batimetrik haritası. Renk skalası metre cinsinden derinlikleri ifade etmektedir. x ve y eksenleri metre olarak mesafeyi göstermektedir



Şekil 6.12: Lagün içi ve dışı batimetri haritası. Renk skalası metre olarak derinlikleri göstermektedir. x ve y eksenleri metre olarak mesafeyi göstermektedir.



Şekil 6.13: Lagün giriş detaylarının batimetrik harita gösterimi. Renk skalası metre olarak derinlikleri göstermektedir. x ve y eksenleri metre olarak mesafeyi göstermektedir.

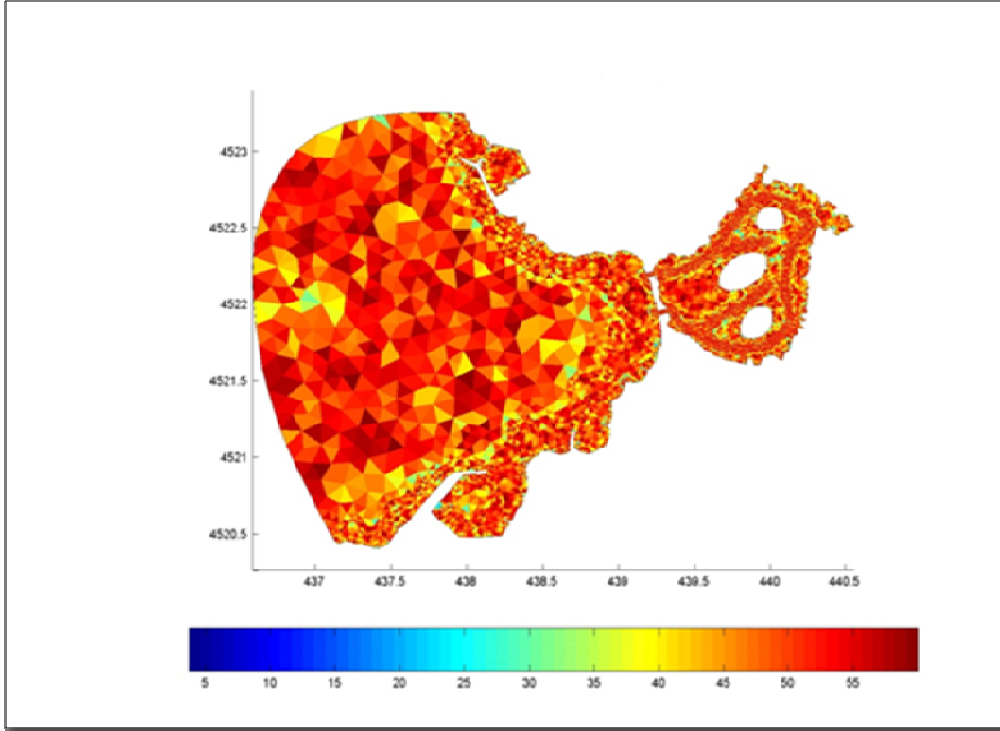
Şekil 6.14’de elemanların kalitesi minimum 30°’lik bir üçgen iç açı şartı konularak sağlanmıştır. Bu şart model alanının çoğunda sağlanmakta birlikte ağ sisteminde şart koşulan düğüm noktalarının etkisi ile enler olarak 25°’ye kadar düşmektedir. Şekil 6.14’de hesaplama ağı elemanlarının minimum iç açı haritasında, renk skalası derece cinsinden olarak minimum iç açıları göstermektedir.

Şekil 6.15’de model bölgesinde Courant-Friedrichs-Levy şartına göre hesaplanmış ve üçgensel bölgelerin zaman adımları bulunmaktadır. Şartın uygulanması eşdeğer üçgen kabulü ile aşağıdaki denklem 6.1 ile ifade edilir.

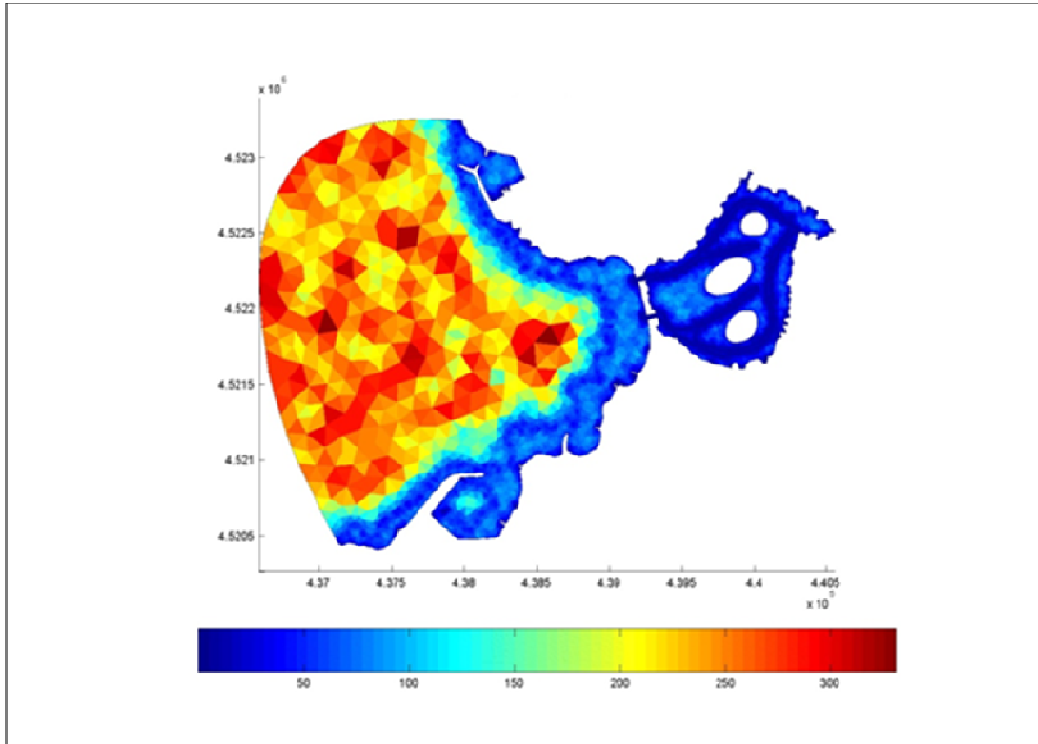
$$\frac{\sqrt{3}}{4} \frac{ght^2}{R^2} \leq A \quad (6.1)$$

A, maksimum bir eleman alanı olmak üzere denklem 6.1 yardımıyla maksimum 50 cm/sn akıntı hızı alınarak hesaplanmış model zaman aralıkları renk skalasında saniye cinsinden gösterilmektedir. Hesaplama ağında bulunan her üçgensel bölgenin zaman adımlarının minimum değeri BELLAMY’nin hangi zaman aralıkları ile hesaplamaların yineleneneğini belirler.

Courant-Friedrichs-Levy şartını sağlayacak hesaplanmış model zaman adımları (49,680 sn) parçacık izlemede 4. derecen Runge-Kutta yönteminin kullanılmasından dolayı 25 saniye civarındadır. Bu da yaklaşık olarak her M2 gelgiti için $t = 0$ sn’den başlayarak 49,680 sn zaman aralıklarıyla $t = 44.712$ sn ($12,42 \times 60 \times 60 = 44.712$ sn) için 900 adet çözümleme (hidrodinamik hesaplama) demektir.



Şekil 6.14: BatTri programına göre rafine edilmiş lagün içi ağ yapısının iç açılara göre gösterimi. Renk skalası derece cinsinden olarak minimum iç açılarını göstermektedir. x ve y eksenleri metre olarak mesafeyi göstermektedir.

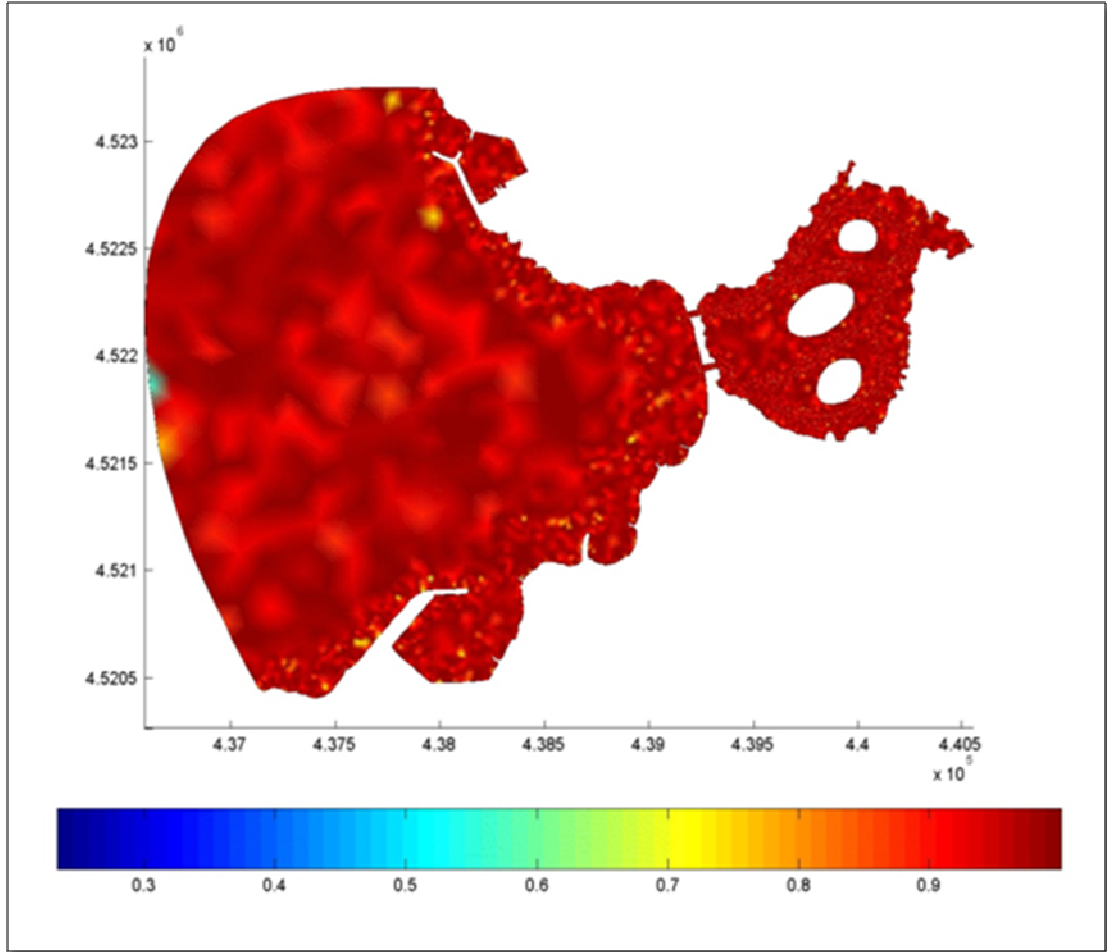


Şekil 6.15: BatTri Programına göre belirlenen bölgesel zaman adımları. Renk skalası, saniye cinsinden model zaman aralığını göstermektedir. x ve y eksenleri metre olarak mesafeyi göstermektedir.

Elemanların kalitesi Şekil 6.16’da gösterilmiştir ve renk skalası eleman kalite ölçütü q ’yu göstermektedir. Koyu kırmızı renk, $q=1$ ’e tekabül etmektedir. Eleman kalitesinin tayini için aşağıdaki denklem 6.2 kullanılmıştır.

$$q = \frac{4\sqrt{3}A}{L_1^2 + L_2^2 + L_3^2} \quad (6.2)$$

Burada q eleman kalite ölçütü, A eleman alanı, L_1 , L_2 ve L_3 ’te üçgenin kenar uzunluklarıdır. $q \geq 0.6$ için bir üçgenin kalitesinin yeterli olduğu söylenebilir. İdeal eşkenar üçgen durumunda, $L_1 = L_2 = L_3$ olacağından $q = 1$ olacaktır.

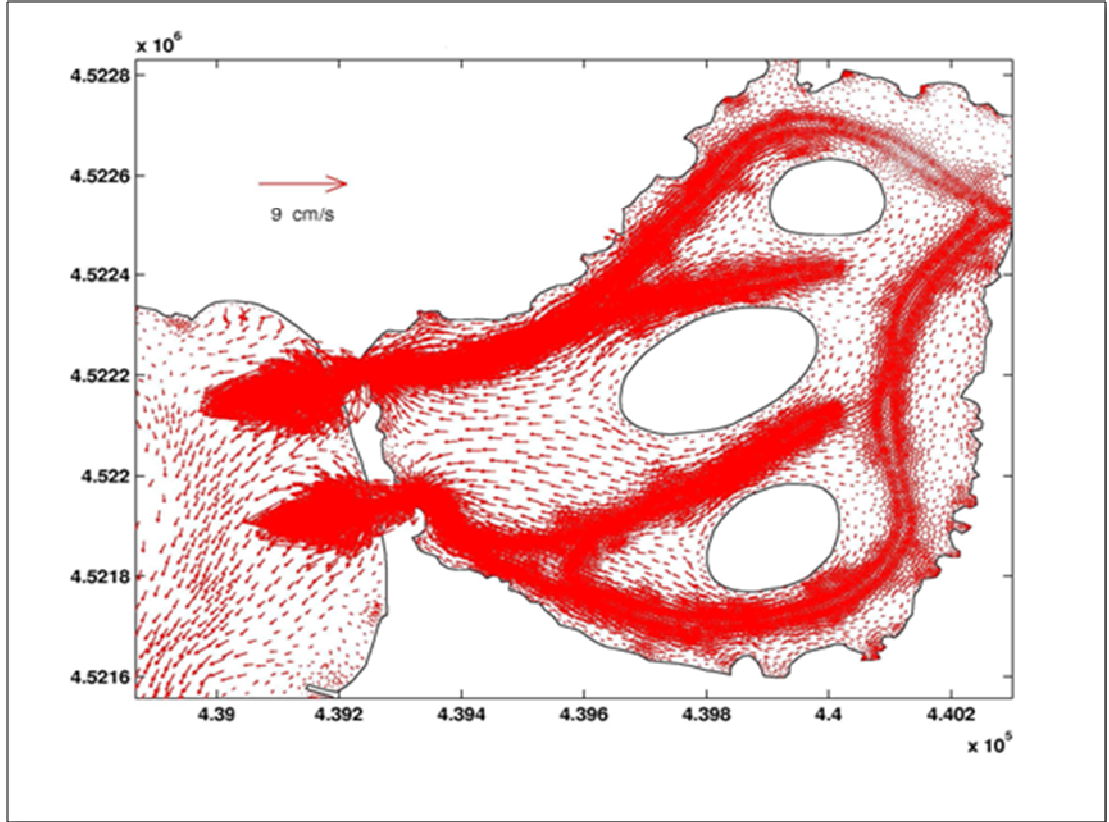


Şekil 6.16: Hesaplama ağı elemanlarının kalite haritası. Renk skalası q olarak eleman kalitesini göstermektedir. Koyu kırmızı renk, $q=1$ ’e karşılık gelmektedir. x ve y eksenleri metre olarak mesafeyi göstermektedir

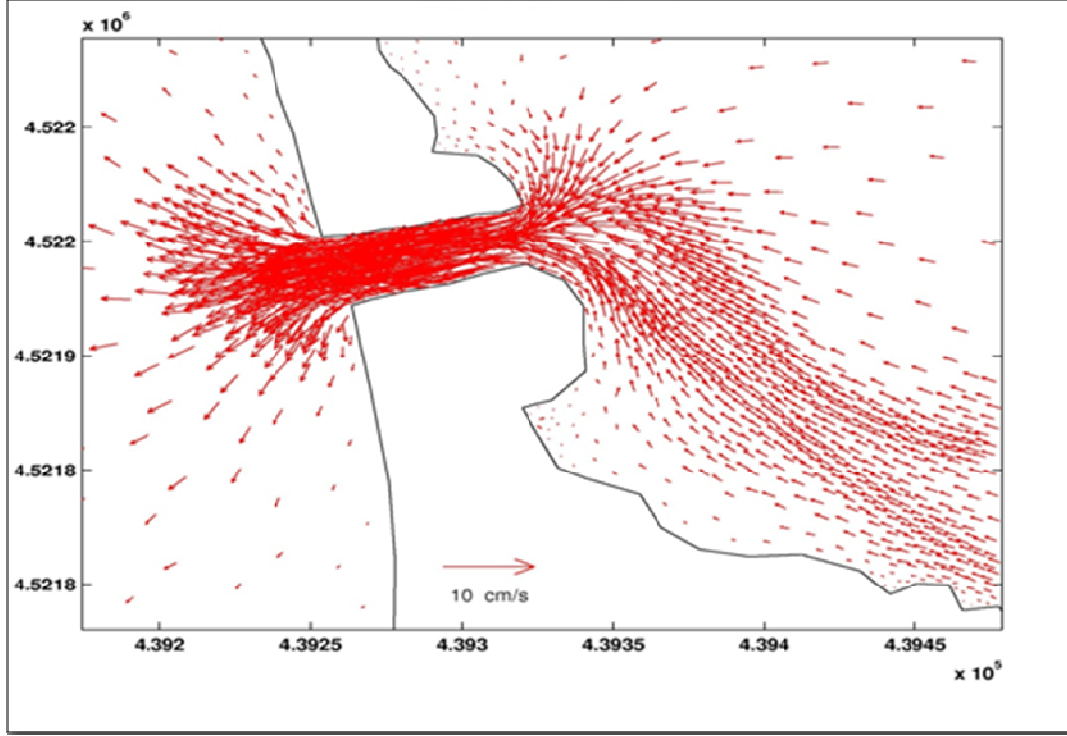
Hesaplama ağındaki üçgensel bölgelerin karakteristik eleman uzunlukları, denklem 6.3’de verildiği gibi eşkenar üçgende yüksekliğin aşağı yukarı kenar uzunluğuna eşit olduğu kabul edilebilir.

$$L = \sqrt{2A} \quad (6.3)$$

Bu değer lagün içi bölgede 0,10 m lagün dışı bölgede 153 m olup ortalama olarak 11,7 m. dir. Matematiksel model, standart test girdileri ile koşturularak ağ kaynaklı bir problemin var olup olmadığı irdelenmiştir. Modelin test koşulları sonucunda ortaya çıkan akıntı vektör alanlarının örnekleri, Şekil 6.17 ve 6.18’de sunulmuştur. 24 saatlik bir simülasyon 49,680 saniyelik bir zaman adımı ile 118 dakikada (kullanılan bilgisayar kapasitesine bağlı olarak) tamamlanmıştır.



Şekil 6.17: Lagün çevresi için test koşusu sonucu elde edilen karakteristik örnek akıntı vektörleri. x ve y eksenleri metre olarak mesafeyi göstermektedir.



Şekil 6.18: Güney lagün girişi için test koşusu sonucu elde edilen karakteristik örnek akıntı vektörleri. x ve y eksenleri metre olarak mesafeyi göstermektedir.

Hazırlanan yüksek çözünürlükteki sonlu elemanlar ağ sisteminin oluşturulması bölgeye ait bundan sonraki modelleme aşamalarının temelini oluşturmaktadır.

6.2 . Tuzla Kamil Abdüş Lagünü Simülasyon Çalışmaları

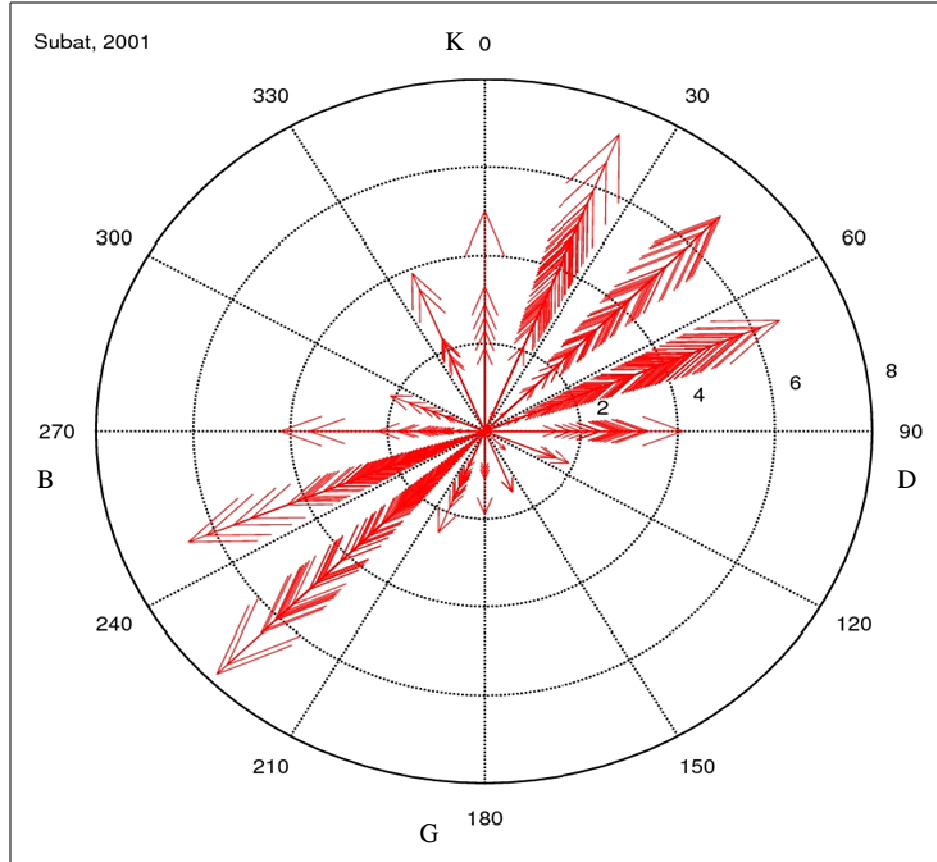
Lagün sistemleri gibi deniz etkileşimli riskler taşıyan önemli habitatlar için simülasyon sonuçları ile elde edilen analizler önemlidir. Çünkü risk durumunun meydana gelme olasılığı ve sonuçları doğrudan ölçülebilir parametrelerle değerlendirilemeyebilir ve bilimsel tabanlı analizlerle elde edilecek proaktif öngörülere ihtiyaç duyulur.

Bu tez çalışmasındaki simülasyon çalışmaları ile gerçek dinamik bir sistemin modellenmesi ve zaman içindeki davranışının gözlenmesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Tuzla Kamil Abdüş Lagün' nün deniz etkileşimi ile ilgili su kalitesinin analizi için değişik koşullar altında (farklı rüzgar yönleri ve şiddetleri, farklı

difüzyon sayıları vb.) gerçek sisteme ait davranışların bilgisayar modelinde izlenmesini sağlayan koşullar gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışmasındaki Lagrange parçacıklarının zamana bağlı olarak mekansal dağılımları, farklı parçacık sayılarını içeren değişik senaryolar ile simüle edilerek koşu sonuçları analiz edilmiştir.

6.2.1 . Hidrodinamik model parametreleri

Meteorolojiden 1 Haziran 1975 ve 30 Haziran 2006 tarihleri arasında elde edilen rüzgar verileri analiz edilmiş ve en kuvvetli rüzgarların kış aylarında oluştuğu gözlemlenmiştir. Eldeki bilgilerin sürekliliği ve eksiksizliği açısından model Şubat 2001’de ölçülen aylık rüzgarlar kullanılarak koşturulmuştur. Şekil 6.19’da görüldüğü üzere rüzgarlar dominant olarak Kuzeydoğu (25°-65°) ve Güneybatı (230°-245°) yönlerinde esmektedirler. Rüzgâr hızları m/sn cinsindedir.0-360° derece arasında 22,5°’lik bloklar kullanılarak ifade edilmiştir.



Şekil 6.19: Şubat 2001 aylık rüzgar dağılımı. K kuzey (0°), G güney (180°), B batı (270°), D doğu(90°) yönlerini göstermektedir.

Modelde rüzgâr gerilmesi, denklem 6.4’de verildiği gibi kinematik olarak kullanılmıştır.

$$\bar{\tau}_{rüzgar} = \frac{\rho_a \cdot C_{rüzgar} \cdot U_{rüzgar} \cdot U_{rüzgar10}}{\rho_w} \quad (6.4)$$

Burada $\bar{\tau}_{rüzgar}$ kinematik rüzgar gerilmesi, ρ_a hava yoğunluğu (1.25 kg/m^3), ρ_w su yoğunluğu (1030 kg/m^3), $U_{rüzgar}$ rüzgar hız vektörü ve $U_{rüzgar10}$ yüzeyden 10 m yukarıdaki rüzgar hızıdır (m/sn). Denklem 6.4’de kullanılan $C_{rüzgar}$ rüzgar direnç katsayısı denklem 6.5 verilmiştir. Denklem 6.5 BELLAMY’de kullanılan standart ADCIRC modeli formülasyondur [30].

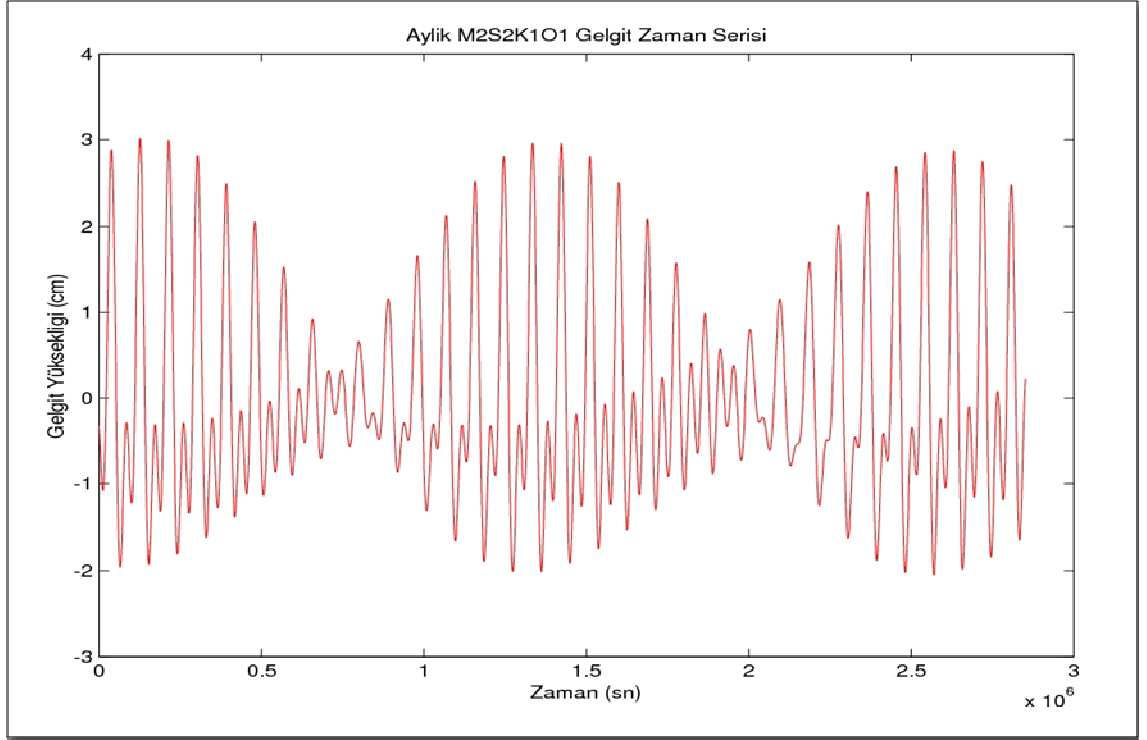
$$C_{rüzgar} = 0.001 \cdot (0.75 + 0.067 \cdot U_{rüzgar10}) \quad (6.5)$$

Bölgede yapılan bir su seviyesi ölçümü bulunmadığından Dirichlet sınır şartlarının uygulanması için gerekli gelgit su seviyesi yükseklikleri Alpar ve Yüce (1998)’nin çalışmasından elde edilmiştir [36]. Tablo 6.1’de verilen gelgit bileşenlerinin katsayıları ve fazları bu çalışmada model bölgesine en yakın ölçümler Fenerbahçe bölgesinden elde edilmiştir.

Fenerbahçe bölgesine ait gelgit bileşenlerinin katsayıları ve fazları denklem 6.6’da ifade edildiği gibi su seviyelerinin hesaplanmasında kullanılmıştır.

$$\xi = a \cos(\omega t - \phi) \quad (6.6)$$

Denklem 6.6’da, ϕ gelgit bileşeni faz açısıdır (rd). Denklem 6.6 kullanılarak hesaplanan su seviyesi zaman serilerinin süperpozisyonu Şekil 6.20’de gösterilmiştir. Hesaplanan su seviyeleri Tuzla Kamil Abdüş Lagünü’nün açık deniz tarafında seçilen 45 noktaya uygulanmıştır. Tuzla bölgesinin Fenerbahçe’den uzaklığından ötürü bu değerlerin sonuçlarda bir hataya yol açacağı açık olmakla birlikte bölgedeki gelgit yüksekliklerinin cm bazında olması ve dominant kuvvetin rüzgâr olması beklendiğinde bu hatanın küçük olacağı öngörülmektedir.



Şekil 6.20:..Aylık M_2 , S_2 , K_1 ve O_1 gelgit bileşenlerinden oluşan ve modeli zorlamakta kullanılan zaman serisi.

Tablo.6.1: Alpar ve Yüce (1998)'ye göre Fenerbahçe, İstanbul'da ölçülen gelgit değerleri[36].

Gelgit Bileşeni	Periyod (T , saat)	Genlik (a , cm)	Faz Açısı (Φ , °)
M_2	12.42	0.84	302
S_2	12.00	0.51	347
K_1	25.82	0.96	162
O_1	23.93	0.74	118

Şekil 6.20'nin oluşturulmasında, gelgit bileşenlerinin faz açılarının zaman parametresine çevrilmesinde ayın dünya etrafında bir tur dönüşü referans alınmıştır. BELLAMY' nin parçacık izleme modülünde, su parçacıkları öteleme ve rastgele yürüyüş ile yer değiştirmektedir. Türbülans, parçacıkların rastgele hareket ettiği düzensiz akımdır. Bu sebeple su parçacıklarının rastsal yürüyüşlerinin türbülans etkisi altında modellenebilmesi için dispersiyon katsayısı kullanılmıştır. Dispersiyon katsayısının kullanılması ile parçacıkların zaman içindeki alansal yayılmalarının

ifadesi modellemeye katılmıştır. Eğer türbülans etkisi dahil edilmeseydi, parçacık sadece öteleme etkisi altında yer değişikliği yapacaktı. Parçacık izleme modelinin rasgele yürüyüş (random walk) modülüne girilmesi gereken yayılma (dispersiyon) katsayısı $1 \text{ m}^2/\text{sn}$ olarak seçilmiştir. Yalnızca santimetre bazında olan gelgit akıntıları göz önüne alındığında bu değer uygun gözükmektedir[37]. Bu tez çalışmasında dispersiyon katsayısının $1 \text{ m}^2/\text{sn}$ olarak kullanılması, daha önce aynı model ile yapılan çalışmalar ile karşılaştırma açısından da avantaj sağlamaktadır [29]. $1 \text{ m}^2/\text{sn}$ olarak alınan dispersiyon katsayısının, rüzgâr vektörel bileşenlerine bağlı anisotropik değişimi bu tez çalışmasının kapsamı dışında, daha sonra yapılacak teorik ve deneysel çalışmalarda incelenmelidir.

Modelde kullanılan dip sürtünme katsayısı C_d , akıntı hızı verisi bulunmadığından dolayı önceki çalışmalarda kullanılan şekli ile değiştirilmeden kullanılmıştır. C_d değerleri 25 metreden derin bölgelerde 0.025, 10 metreden sığ bölgelerde 0.01 sabit değerlerini alıp arada lineer olarak değişmektedir. 0.01 değeri düz doğal kanalların modellenmesinde sıkça kullanılan standard bir değerdir Aynı şekilde 0.025 değerinin de göreceli olarak derin sular için standard bir değer olduğu söylenebilir [22,38].

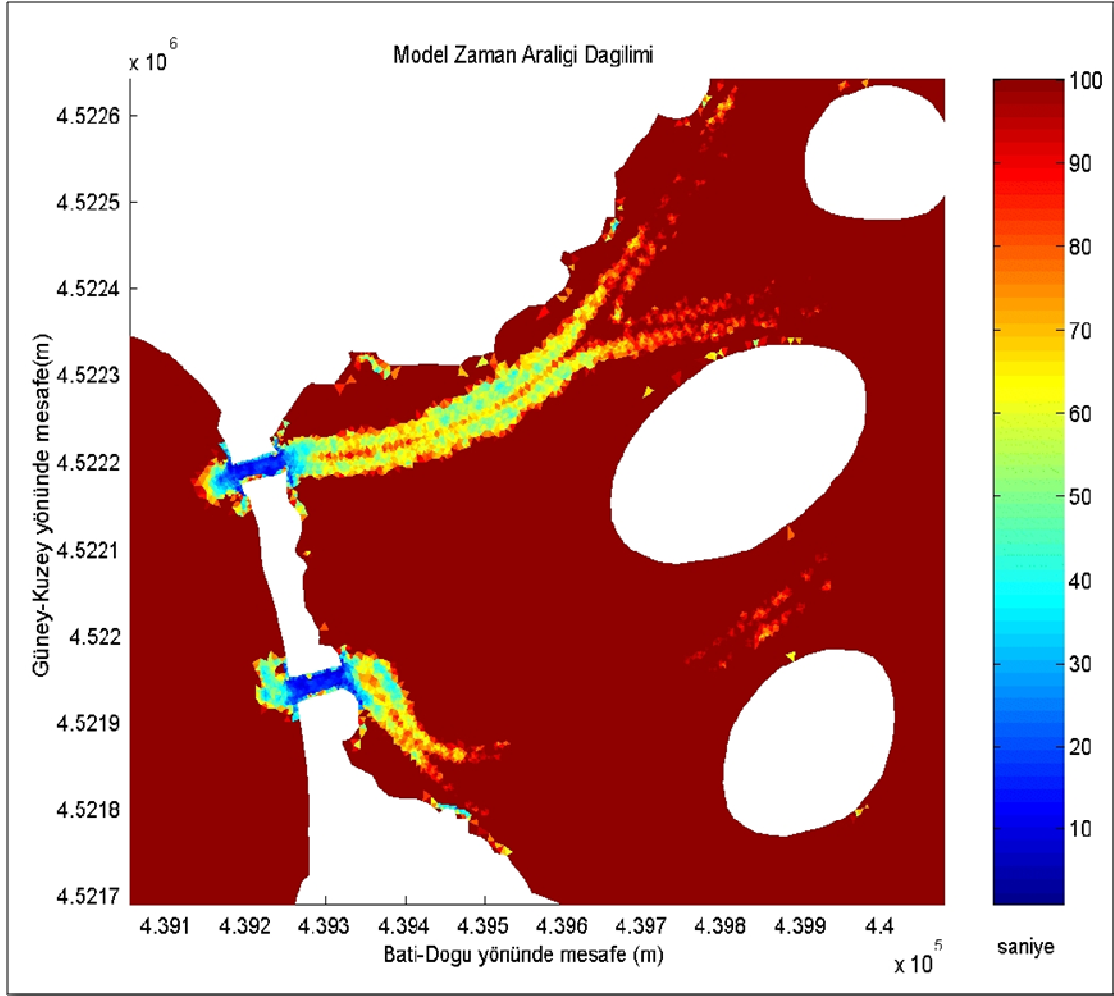
Hidrodinamik hesaplamaların hangi zaman adımlarında yapılacağı bu tezde olduğu gibi tüm simülasyonlarda da en önemli noktadır. Model zaman adımı olarak denklem 6.1'de verilen Courant Friedrichs-Levy şartını sağlayacak şekilde hesaplanmış ve 49.680 saniyelik bir zaman aralığı bulunmuştur. Bu zaman aralığının seçimi, parçacık izleme simülasyonlarına başlamadan önce test amaçlı olarak yapılan bir hidrodinamik simülasyon sonrasında elde edilen maksimum akıntı hız dağılımı kullanılarak yapılmıştır. Bu da yaklaşık olarak her M2 periyodu için $t = 0 \text{ sn}$ 'den başlayarak 49,680 sn zaman aralıklarıyla $t = 44.712 \text{ sn}$ ($12,42 \times 60 \times 60 \text{ sn}$) için 900 adet hesaplama demektir. Denklem 6.7 Courant Friedrichs-Levy şartının en genel ifadesi verilmiştir. Parçacık izlemede 4. derecen Runge-Kutta (RK) yönteminin kullanılmasından dolayı hidrodinamik modelin zaman aralığı bu değer yaklaşık yarısı olan 25 saniye olarak alınmıştır.

$$\frac{u \Delta t}{\Delta x} \leq C \quad (6.7)$$

Burada u akıntı hızı, t model zaman aralığı, x eleman karakteristik uzunluğu ve C probleme bağlı bir sabittir. Courant Friedrichs-Levy şartının ifadesi olan Denklem 6.7 kullanılarak yapılan hesaplama sonucunda elde edilen zaman aralığı dağılımı Şekil 6.21’de verilmiştir. BELLAMY, her üçgensel ağ elemanı için hidrodinamik hesaplamaları yaparak buradan elde ettiği hız verileri ile parçacık izleme modülünde parçacıkların zamana bağlı konumunu tespit etmektedir. Burada en önemli nokta parçacıkların hiçbir ağ elemanı atlamayarak buradaki fiziksel etkileri hissetmesidir. Denklem 6.7 ile verilen şart sağlandığında model zaman aralığı öyle belirlenmektedir ki hesaplanmış belirli bir hız ile hareket eden bir su zerreciği bu zaman aralığında herhangi bir elemanı atlamayarak eleman içinde kalmakta ve o eleman tarafından belirlenen zorlama ya da direnç sinyalini hissetmektedir.

Şekil 6.21’de görüldüğü gibi, çok küçük elemanların bulunduğu lagün girişleri dışında yaklaşık 50 saniyelik bir zaman adımı Courant Friedrichs-Levy şartını model bölgesinin tümünde hidrodinamik simülasyonlar açısından sağlamaktadır. Koyu kırmızı bölgeler 100 sn ve üzerindeki zaman adımlarını ifade etmektedirler. Zaman aralığının lagün girişlerindeki bölgelerde de Courant Friedrichs-Levy şartını sağlayacak şekilde küçültülmesi model koşullarından sonuç alma zamanını önemli ölçüde arttıracığından tercih edilmemiştir. Lagün ve denizel ortam arasındaki aylık su değişiminin incelenebilmesi amacı ile simülasyonlarda toplam 57.392 zaman adımı kullanılmıştır. Bu 33 günlük bir süreye tekabül etmektedir. İlk 1800 zaman adımının modelin stabilize (başlangıç şartlarından sonra hidrodinamik simülasyonun hacimsel dengeye gelmesi için gereken denge durumu) olması için gerekli süre olarak tanımlandığı düşünülürse analiz edilen zaman yaklaşık 32 gündür.

Model, herhangi bir nedenden ötürü bir zaman adımında durur ise bir önceki adımdaki değerler (serbest su yüzeyi seviyeleri, akıntı hızları ve parçacık konumları) kullanılarak ‘sıcak’ başlangıç yapılabilmekte ve böylece minimum zaman kaybı ile simülasyon kaldığı yerden devam edebilmektedir.



Şekil 6.21: Hidrodinamik simülasyondan elde edilen maksimum akıntı hızı dağılımı kullanılarak hesaplanan eleman bazındaki saniye cinsinden model zaman aralıkları. Renk skalası saniye cinsinden zamanı göstermektedir.

6.2.2 . Parçacık izleme modülü parametreleri

Akıntı alanına bırakılan parçacık yoğunluğunun sonuçlara olan etkisinin incelenebilmesi için x ve y yönlerinde artan çözünürlükte parçacık kapsayan üç değişik senaryo (sırasıyla Koşu 350, 750 ve 1500) koşturulmuştur. Bu sayılar (x1000) başlangıçta model alanına (lagün + deniz + kara) bırakılan toplam parçacık sayısını göstermektedir. Program, ilk zaman adımından önce bu parçacıklardan model alanı dışında kalanları (karada ve adalarda kalan parçacıklar) elimine etmektedir. Zaman içinde izlenen gerçek parçacık sayıları Tablo 6.2’te verilmiştir.

Parçacık konumları model zaman aralığı olan her 49.680 saniyede bir hesaplanmış ve sonuçlar her 18 zaman adımında bir yaklaşık 15 dakika aralıkla dosyalara çıktı

alınarak saklanmıştır. Parçacıkların zaman içindeki yörüngelerinin 4. mertebeden Runge-Kutta metodu ile hesaplandığı düşünülürse bu yöntemin formülasyonundan sonuçlara $\Delta t/2$ oranında ek bir doğruluk katıldığı görülmektedir. Bu şekilde, hidrodinamik model zaman aralığı 49.680 saniye olmasına rağmen, parçacık izleme modülü aslında 24.84 saniyelik bir zaman adımı ile çalışmakta ve Şekil 6.21’de verilen değerlere yaklaşılmaktadır. Parçacıklar, akıntı hızı ve yönünün etkisi altında sahil şeridini aşmaya çalıştıklarında buldukları elman içinde başlangıç konumlarında bırakılmakta ve kıyıya paralel bir akıntı oluşana kadar aynı noktada kalmaktadırlar.

Program, İstanbul Teknik Üniversitesi Bilişim Enstitüsü Yüksek Başarılı Hesaplama Laboratuvarı bünyesinde (İzin No: 1002200900) Ege HP ProLiant BL2x220c G5 Blade sunucularında Intel Xeon 2.66 GHz işlemciler ile 13 ila 24 arasında CPU’da Message Passing Interface (MPI) kütüphaneleri kullanılarak koşturulmuştur. Çeşitli sistem sınırlamaları (2-4 CPU’lu makineler) ve önceliklerinden (sıra önceliği) ötürü koşuların tamamlanma zamanları değişiklik göstermektedir. Farklı parçacık sayıları ile yapılan senaryolar ve bilgisayar koşullarına ait özellikler Tablo 6.2’de özetlenmiştir.

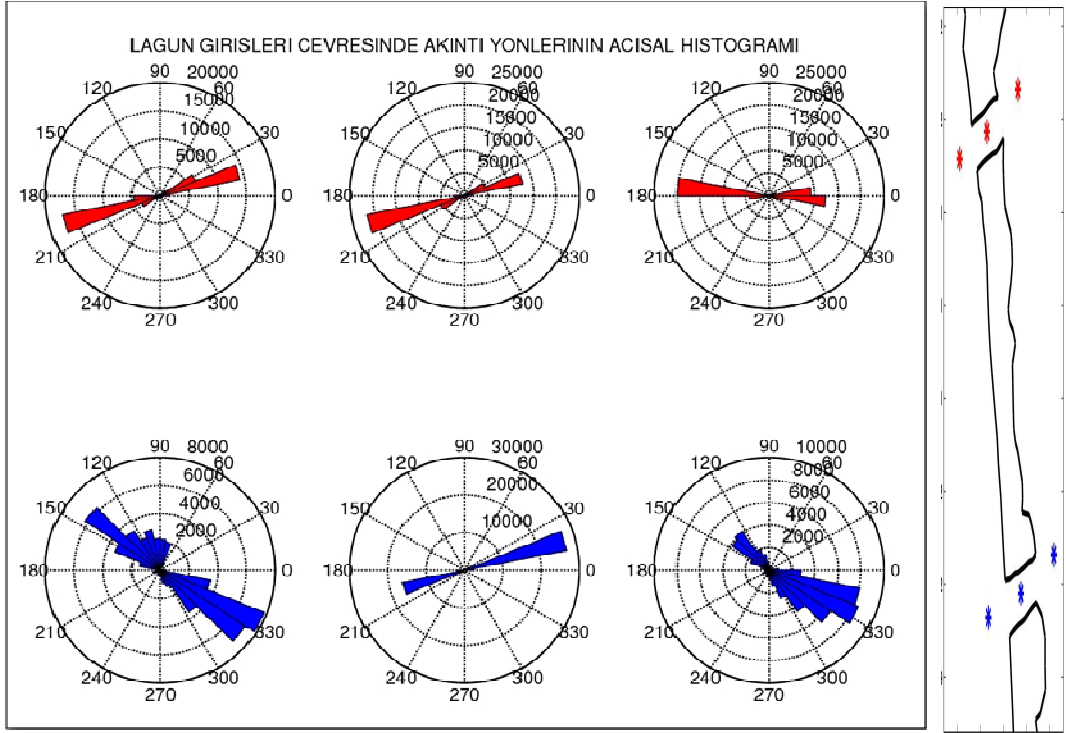
Tablo 6.2: Parçacık izleme senaryo özellikleri ve bilgisayar simülasyon verileri.

	Parçacık Sayısı	Enlem-x Çözünürlüğü	Boylam-y Çözünürlüğü	CPU Sayısı	Seri Koşu Zamanı	Paralel Koşu Zamanı	Maksimum RAM
Koşu 350	65073	10 m	7.5 m	20	184 gün	10.5 gün	1659 MB
Koşu 750	299771	5.3 m	3.8 m	13	174 gün	13.5 gün	958 MB
Koşu 750 (Sıcak)	8470-57392 zaman adımları arası			24	103 gün	5.5 gün	2204 MB
Koşu 1500	1200850	2.7 m	2.9 m	24	177 gün	10.5 gün	2623 MB

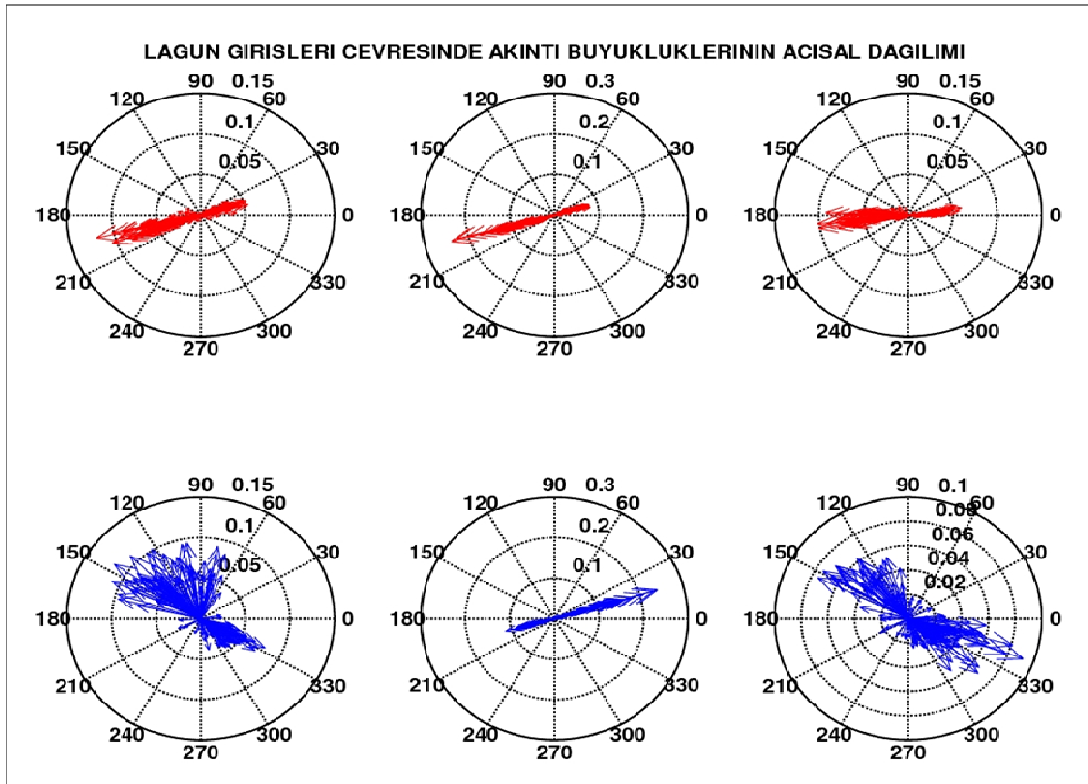
6.2.3 . Hidrodinamik model çıktı analizleri

Öngörülen sınır şartları altında lagünün kuzey ve güney girişlerinde oluşan dominant akıntı yönlerinin incelenmesi için her iki girişin ortasında, deniz tarafında ve lagün içinde olmak üzere toplam 6 ölçüm istasyonunda (belirli koordinatlarda alınan referans noktaları istasyon olarak tanımlanmıştır) akıntı bileşenleri her adımda saklanarak zaman serileri oluşturulmuş ve akıntı yönlerinin açısız histogramları 0-360° derece arasında 32 adet 11.25°'lik blok kullanılarak hesaplanmıştır.

Şekil 6.22'de ve 6.23'da lagün girişleri çevresinde modellenen bir aylık akıntı yönlerinin açısız histogramı görülmektedir. Şekilde, kırmızı renk kuzey girişini, mavi renk güney girişini temsil etmektedir. Soldaki, ortadaki ve sağdaki grafikler sırasıyla denizdeki, giriş kanalındaki ve lagün içindeki istasyonları göstermektedir. Radyal ölçek m/sn cinsindedir. Ayrıca Şekil 6.22 'de istasyonların konumları sağdaki şekilde verilmiştir. Grafiklerden açıkça görüldüğü üzere kuzey girişinde şubat ayı klimatolojisinin etkisi altında baskın olarak lagünden dışarıya doğru bir akıntı gözlemlenmektedir. Bunun tersine, güney girişi denizden lagünün içine doğru bir taşınımın olduğu bir kanal görevi görmektedir. Aynı noktalarda akıntı vektörlerinin büyüklüklerine bakıldığında ise maksimum hızların güney girişindeki deniz istasyonu dışında baskın akıntı yönünde olduğu görülmektedir. Bu verilere dayanılarak süreklilik anlamında kuzey girişinden kaybedilen kütlenin güney girişinden kazanıldığı ve kuzey girişinin kuyu, güney girişinin ise kaynak olarak görev gördüğü söylenebilir.



Şekil 6.22: Lagün girişleri çevresinde modellenen bir aylık akıntı yönlerinin açisal histogramı. Akıntı yönlerinin açisal histogramları 0-360° derece arasında 32 adet 11.25°'lik blok kullanılarak hesaplanmıştır.



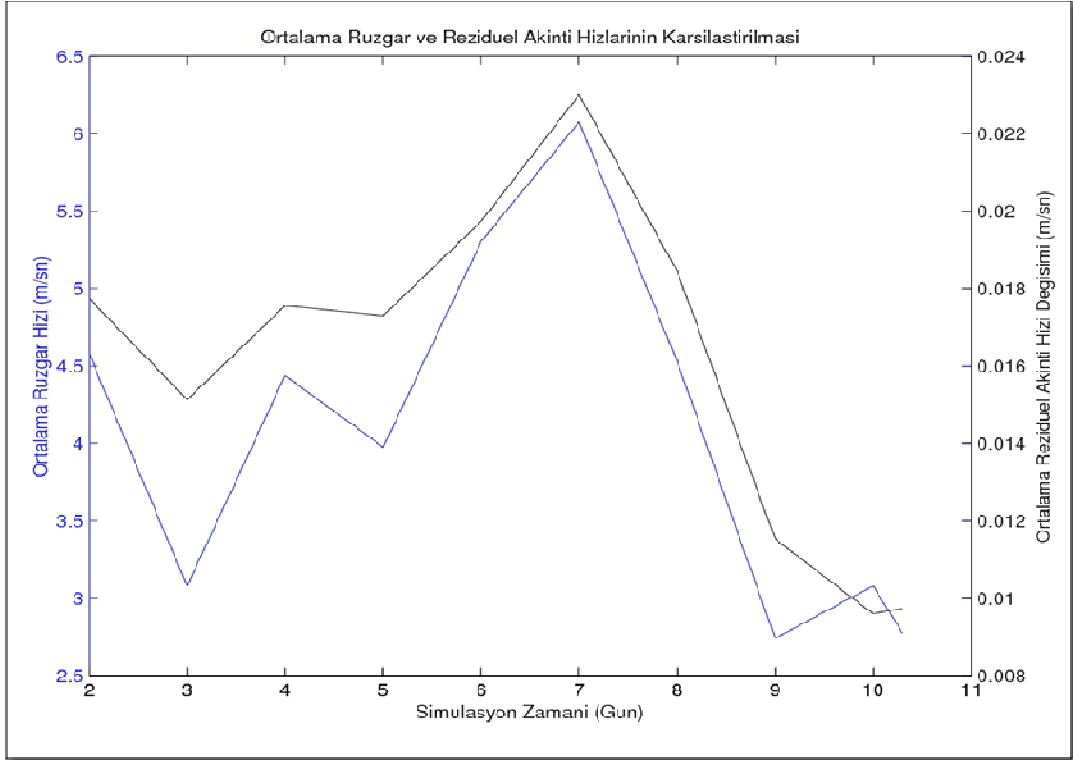
Şekil 6.23: Lagün girişleri çevresinde modellenen bir aylık akıntı büyüklüklerinin açisal dağılımı.

Model alanındaki taşınım miktarları ve yönleri hakkında genel bir bilgi edinebilmek için aşağıda verilen denklem 6.8 kullanılır[6].

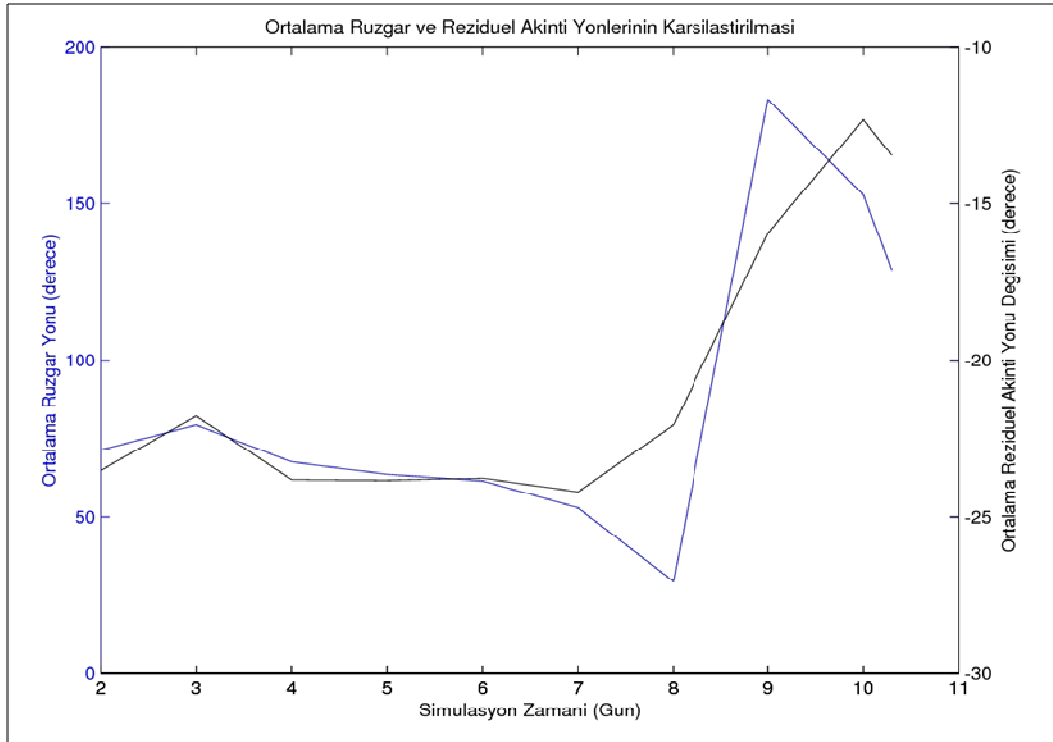
$$\vec{V}_r = \frac{1}{T} \int_0^T \vec{V} dt \quad (6.8)$$

Denklem 6.8'de tanımlanan eşitlik ile artık (rezidüel) akıntı hız vektörleri hesaplanmıştır. Burada ortalamanın alındığı T zamanı tamamen amaca bağlı olarak değişebilmekle birlikte bu çalışmada daha önceki çalışmalarla paralellik sağlanması açısından aksi belirtilmedikçe M_2 gelgit periyodu olan 12.42 saat kullanılmıştır.

Model bölgesinde Şubat klimatolojisi altında esen rüzgarın artık akıntı ve dolayısıyla taşınım üzerindeki etkisinin nicelendirilebilmesi için yaklaşık 10.5 günlük rüzgarlı ve rüzgarsız hidrodinamik simülasyonların sonucunda denklem 5.5 kullanılarak artık akıntı vektörleri hesaplanmıştır. Seçilen 10,5 günlük zaman dilimi, bir aylık rüzgâr döneminin şiddet, yön ve süreleri incelenerek belirlenmiştir. Göreceli olarak rüzgârın lodos yönünde en kuvvetli ve sürekli olduğu kısımlar göz önüne alınarak 10,5 günlük dilim seçilmiştir. İki durumda modellenen artık akıntı vektörleri arasındaki fark (ya da gerçek hata), rüzgarsız durumun 'gerçek' olduğu kabulü ile, model bölgesindeki her sonlu eleman için bulunmuştur. Daha sonra bunların model alanı kapsamında aritmetik ortalamasının alınması ile her 12.42 saatte sistemi ortalama anlamında tanımlayan bir vektörel değer elde edilmiştir. Bu artık akıntı hızı değişimi vektörel değerlerinin yine aynı şekilde 12.42 saatlik bir zaman dilimi kullanılarak hesaplanan ortalama rüzgar vektörleri ile karşılaştırılmaları Şekil 6.24 ve 6.25'de hızlar ve yönler için verilmiştir. Her iki şekilden de görüldüğü üzere sistemin rüzgâr gerilmelerine olan tepkisi neredeyse eşzamanlı olarak gerçekleşmektedir. Model bölgesi kapsamında oluşabilecek mekâna bağlı faz farkları sistemin ortalaması alındığından gölgelenmiş olabilir. Artık akıntı hızları ve rüzgar hızlarına arasındaki doğrusal ilişkinin yönünü ve gücünü belirlemek için korelasyon hesabı yapılmıştır.



Şekil 6.24:..Model bölgesinde ortalama rüzgar hızları (mavi) ile ortalama artık akıntı hızı değişiminin (siyah) yaklaşık 10.5 günlük zaman serileri. Değerler m/sn olarak verilmiştir.

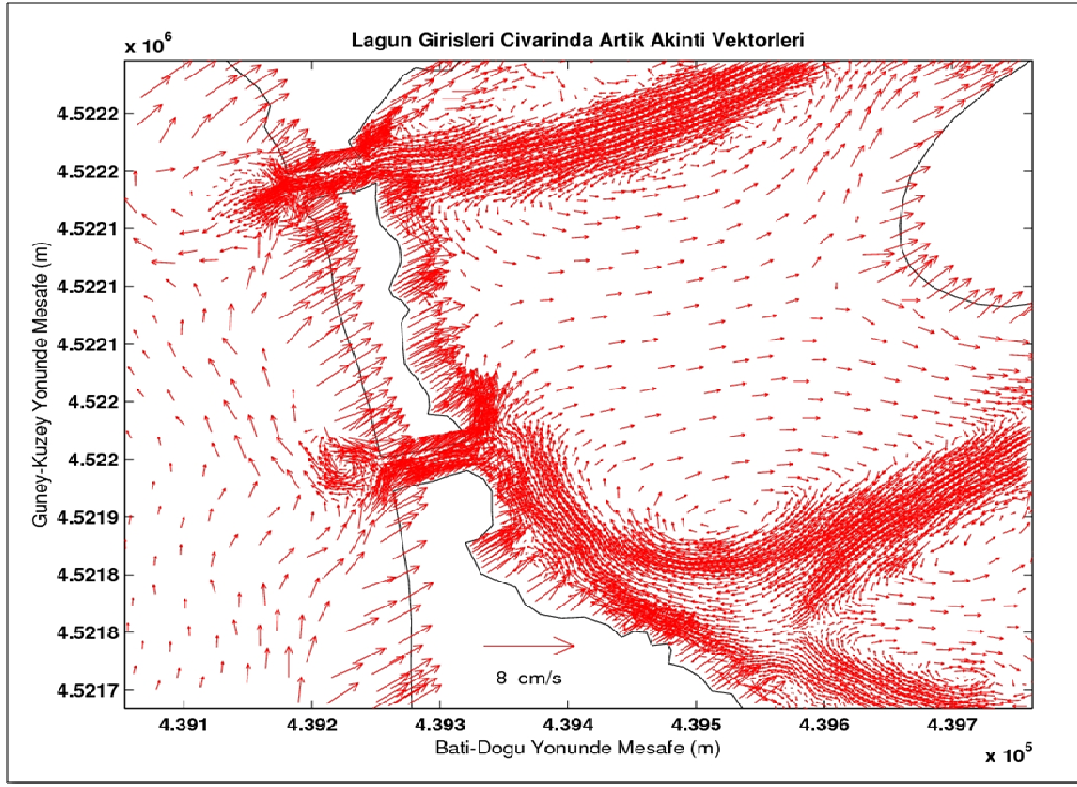


Şekil 6.25:..Model bölgesinde ortalama rüzgar yönü (mavi) ile ortalama artık akıntı yönü değişiminin (siyah) yaklaşık 10.5 günlük zaman serileri. Değerler derece olarak verilmiştir.

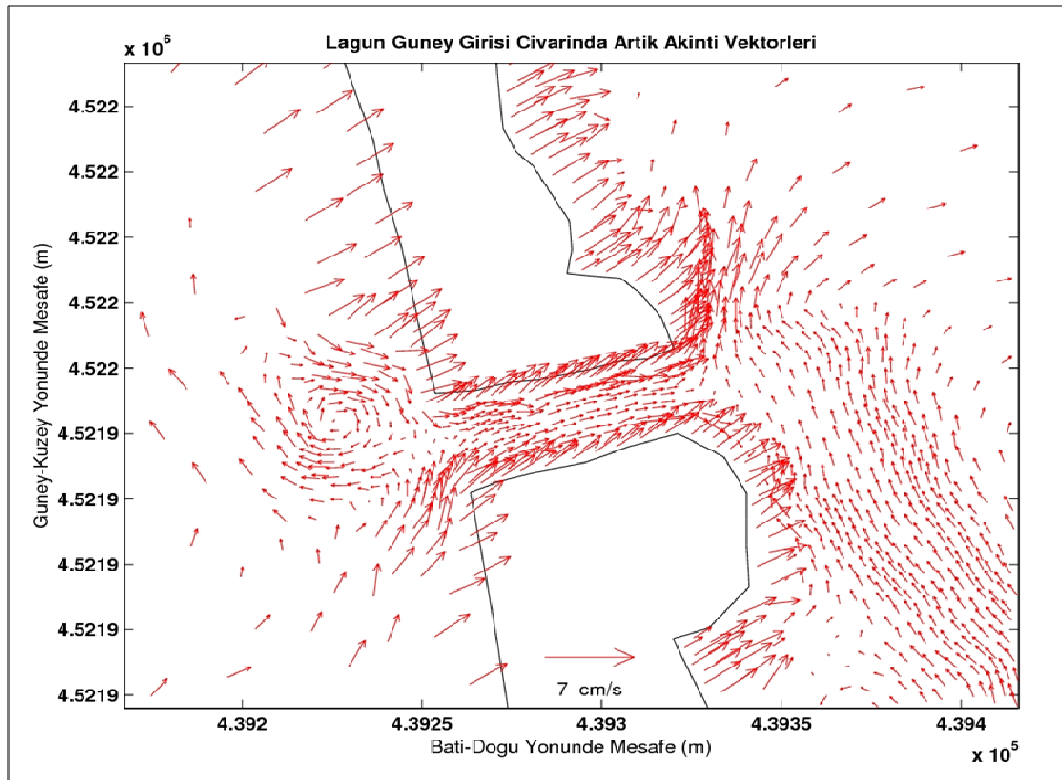
Artık akıntı hızlarındaki değişimin rüzgar hızlarına bağlı olarak zaman içinde hesaplanan korelasyon katsayısı 0.9490 iken akıntı yönlerindeki değişimin rüzgar yönleri ile olan korelasyonu 0.9113 olarak verilmektedir. Korelasyon katsayıların +1 değerine yakın olması iki değişken arasında çok iyi bir doğrusal bağlantı bulunduğunu göstermektedir.

Rüzgâr etkisinin artık akıntı vektörleri üzerinde olan yerel etkisini incelemek için iki ayrı durum incelenmiştir. Rüzgârın baskın olarak güney batı yönünden (lodos) estiği ilk 10,5 günün sonunda (A) ve aylık simülasyonun bitiminde (B) artık akıntı vektörleri hesaplanmıştır. Her iki koşulda da (A ve B) ortak olan durum lagünün güney ağzının bir giriş, kuzey ağzının ise bir çıkış olarak çalıştığıdır (Şekil 6.26, 6.27 ve 6.28). Şekil 6.26'da Sınır şartlarının etkisi altında lagüne yakın kıyısal deniz bölgelerinde güney-kuzey yönünde kıyı şeridinde teğet olarak oluşan bir artık sahil akıntısı gözlemlenmektedir. Bu durum, lagünün kuzey ağzının, kuzey batısında bulunan sakız adasındaki plaj bölgesinin varlığı ile uyuşmaktadır. Şekil 6.27'de bu akıntı lagünün güney ağzında içeri doğru bir taşınımına neden olurken, daha sonra lagünün içinde oluşan yüksek basınç ve aynı sahil akıntısının lagünün kuzey ağzının deniz tarafında yarattığı alçak basınç nedeni ile kuzey ağzında denize doğru bir taşınımına yol açmaktadır, Şekil 6.28. Lagün içinde ise rüzgârın etkisini daha çok hisseden sığ düzlüklerde genelde karaya doğru bir taşınım izlenirken, kanallarda bunu dengeleyen ters yönde bir taşınım görülmektedir. Bu genel durum kuvvetli ve sürekli olarak esen lodos rüzgârları ile daha belirgin bir hale gelmektedir. Şekil 6.29'da, kanallar ve sığ düzlükler arasında su değişimi bunların aralarındaki geçiş bölgelerinde çeşitli büyüklükte girdaplar yolu ile gerçekleşmektedir. Simülasyon sonrasında aylık artık akıntılara (B) bakıldığında (ilk 10,5 günlük sonrasındaki daha az rüzgârlı ve baskın kuzeydoğu rüzgârının etkisi altındaki dilim) ise genel durum fazla değişmemekle birlikte, lagünün güney girişinin iç tarafında artık akıntıların kuzey doğu yönünde esen rüzgârların etkisi altında bu yönde bir taşınım yapmak yerine güney doğu yönünde bir taşınımına neden oldukları görülmektedir, Şekil 6.30. Bunun yanında kuvvetli lodos rüzgârı etkisi de kalktığında sahil akıntılarının kıyıya daha paralel bir yön izlediği görülmektedir. Bu inceleme sırasında belirtilmesi gereken bir nokta yukarıda bahsi geçen taşınımların doğrusal taşınımlar olduğu, yani parçacıkların su zerrecikleri ile aynı hareketi yaptığıdır. Örneğin akıntı hızının kübü

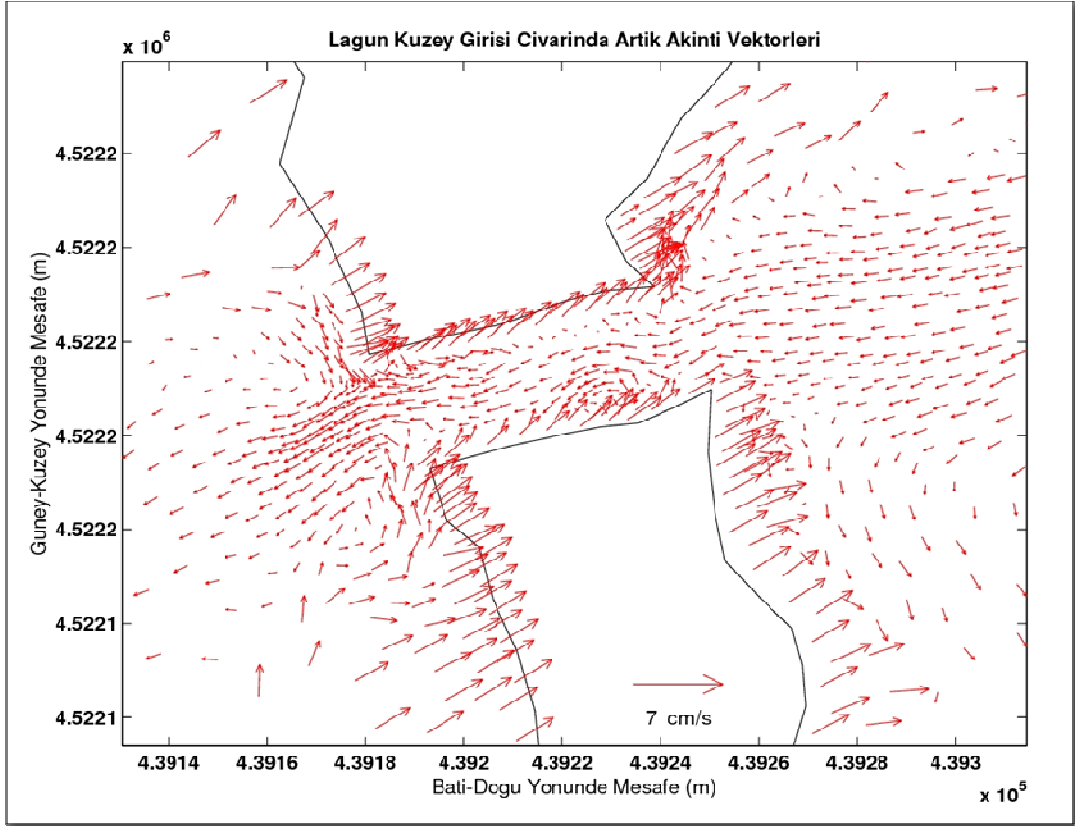
ile orantılı olarak değişen dip sedimanı taşınması durumunda bu genel durum, akıntı hızlarının büyüklükleri ve sürelerine bağlı olarak değişebilir.



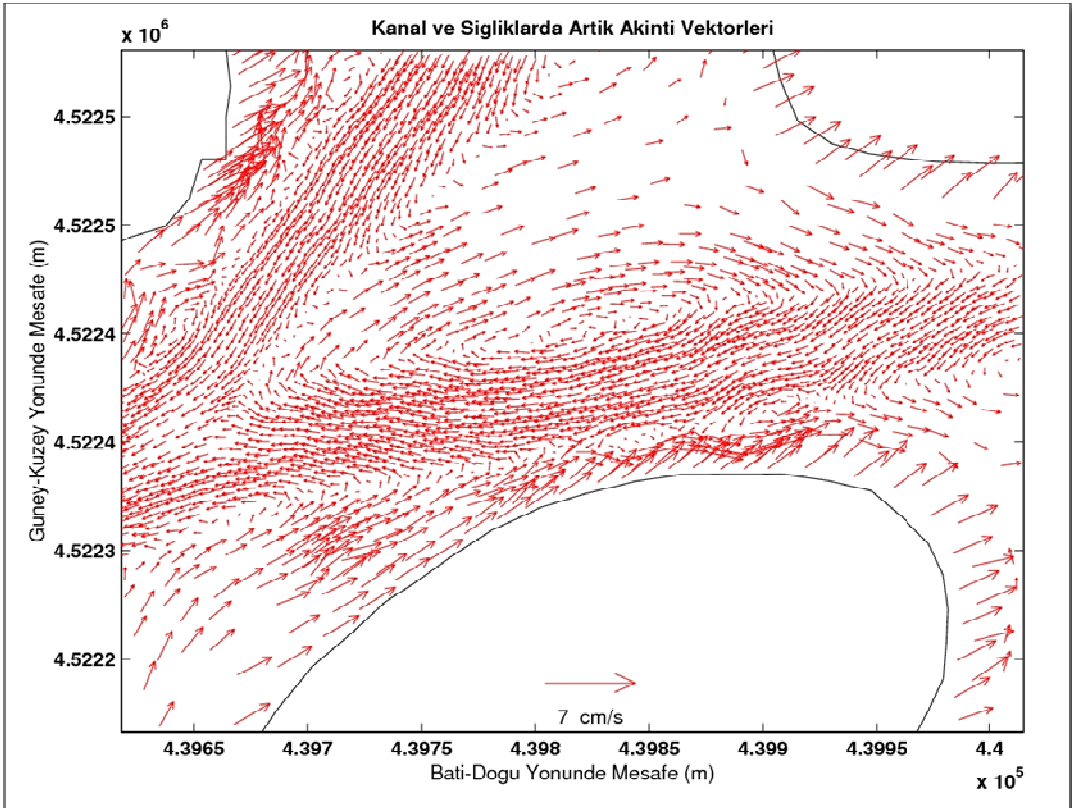
Şekil 6.26: Lagün girişleri civarında Lodos sonrası artık akıntı vektörleri (A).



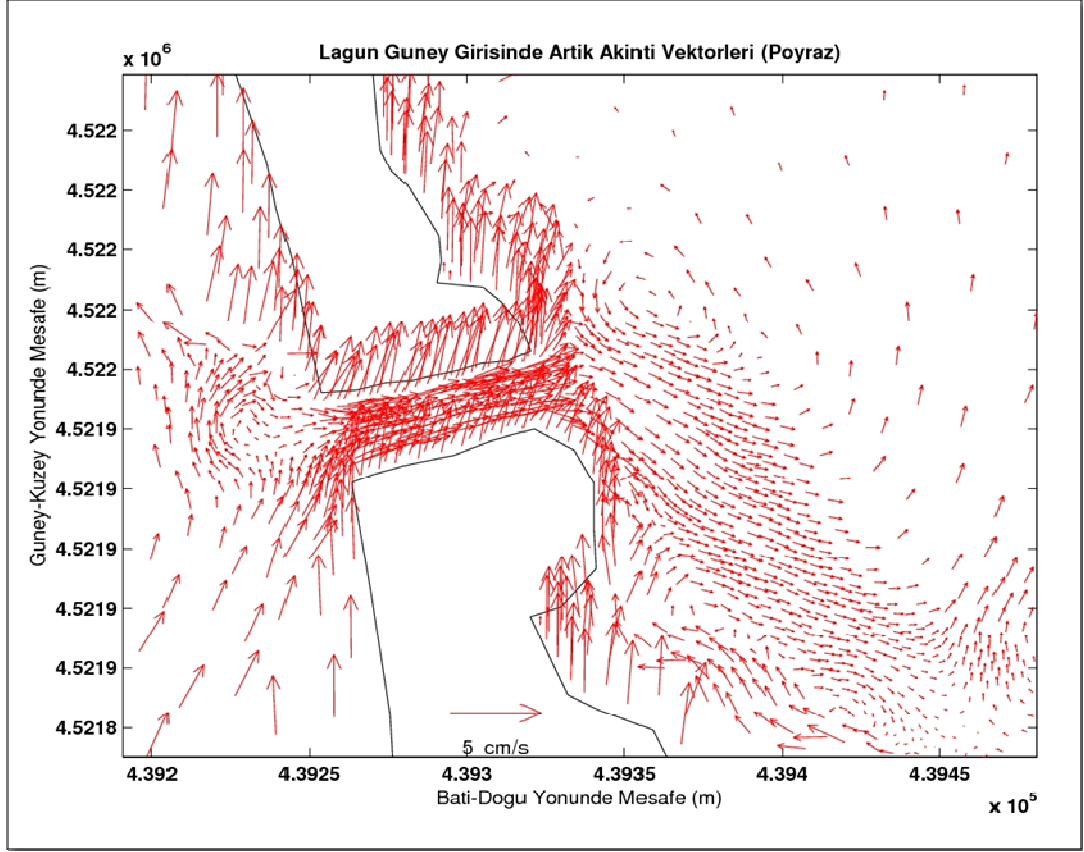
Şekil 6.27: Lagün güney girişi lodos sonrası artık akıntı vektörleri detayı (A).



Şekil 6.28: Lagün kuzey girişi çevresinde lodos sonrası artık akıntı vektörleri detayı (A).



Şekil 6.29: Kanal ve sığlık sınırında Lodos sonrası örnek artık akıntı vektörleri (A).



Şekil 6.30: Lagün güney girişinde simülasyon sonu aylık artık akıntı vektörleri (B).

6.2.4 . Parçacık izleme çıktı analizi

Lagün ve deniz arasındaki parçacık değişiminin gelgit akıntıları, dalga hareketi, lagün içi tatlı su deşarjı, türbülansa bağlı karışım ve rüzgar gibi çeşitli ‘fiziksel’ parametrelerin kontrolünde değişim göstermesi beklenebilir. Bunların yanında akıntı alanına bırakılan ve zaman içinde izlenen parçacıkların toplam sayıları (mekansal dağılımları), akıntı alanına bırakılış zamanları ve model zaman aralığı da değişimi etkileyecek ‘sayısal’ parametrelerdir. Bölgedeki gelgit akıntılarının santimetre bazında olduğu ve lagüne akan tatlı su kaynağı olmadığı göz önüne alındığında değişimi etkileyecek dominant fiziksel faktörler olarak rüzgar, dalga hareketi ve türbülans öne çıkmaktadır. Bu nedenle bundan sonraki analizler başlıca bu iki fiziksel faktörün etkisi altında gerçekleşecektir. Elimizdeki model bir dalga modeli olmadığından bundan ötürü oluşacak karışım ve değişimin, dispersiyon katsayısının içinde modellendiği düşünülebilir. Sayısal faktörlerden model zaman aralığının seçimi CFL şartına bağlı olarak yapıldığından bu faktörün etkisi bu çalışmada incelenmemiştir. Buna rağmen, Bilgili ve diğerleri’nin (2005) [29] simülasyonlarında

model zaman adımının 4 kez küçültülmesi sonucunda parçacıkların mekansal dağılımlarında sadece %1'lik bir değişim gözlemlendiği düşünülürse bu etkinin küçük olması beklenmektedir [29]. Aynı şekilde, parçacıkların akıntı alanına bırakılma zamanlarının etkisi de bu çalışmada incelenmemiştir [39,40]. Kamil Abdüş Lagünü çevresindeki santimetre bazındaki gelgit olayına bağlı akıntı hızlarının düşük olmaları bu etkinin ihmal edilmesi için yeterli bir nedendir. Bu çalışmada model bölgesine muntazam aralıklarla bırakılan parçacıkların deniz ile lagün aralarındaki değişimleri ve lagün içinde kalma zamanlarına etkisi toplam parçacık sayısına bağlı olarak incelenmiştir.

6.2.5 . Parçacık sayısının etkisi

Sisteme bırakılan parçacık sayısının su değişimi sonuçlarına etkisinin incelenmesi için Tablo 6.3'de özetlenen üç simülasyon yapılmıştır. Rüzgar ve gelgit etkisi altında yapılan simülasyon sonuçlarına bağlı kalınarak temizlenme zamanının (flushing time) yani her koşuda bulunan parçacık sayısının e sayısı kadar azalmalarının hesaplanmasında kullanılmıştır[41]. Her üç simülasyonun sonuçlarının sunulduğu Şekil 6.31'de görüldüğü üzere değişik parçacık çözünürlükleri ile elde edilen sonuçlar birbirlerinden önemli sapmalar göstermektedirler. Öncelikle parçacık sayısının göreceli olarak az olduğu Koşu 350'nin ani zorlamalara daha hassas olduğu görülmektedir. Simülasyonun başında rastlanan kuzey-batı yönündeki rüzgârların etkisi altında lagün içindeki parçacık sayısı göreceli bir şekilde önemli oranda artmakta ve bu artıştan ötürü lagünün temizlenmesi diğer simülasyonlara göre daha uzun zamanda gerçekleşmektedir. Simülasyon sonunda ise lagün ağzı etrafında yeterli parçacık bulunmadığından parçacık sayısının sabit, yani değişimin olmadığı yapay bir durum görülmektedir. Gözlemlenen diğer bir nokta da sistemin değişen koşullara tepkisinin sert ve ani bir şekilde gerçekleştiğidir. Koşu 750 ve 1500 ile parçacık sayısı arttırıldıkça (lacivert ve yeşil eğriler) sistemin tepkileri sürekli ve geçişler yumuşak bir şekilde gerçekleşmektedir. E-katlanma zamanları R350, R750 ve R1500'lük simülasyonlarda sırasıyla 25 (yaklaşık), 16.7 ve 12.6 gün olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, parçacık sayısının artması istatistiksel olarak küme anlamında bir ortalamaya tekabül ettiğinden beklenen sonuçlardır.

Şekil 6.32'de gösterildiği gibi simülasyon boyunca denizden lagünün içine giren parçacıkların hesaba katılmadığı durum için yukarıda anlatıldığı gibi hesaplanan

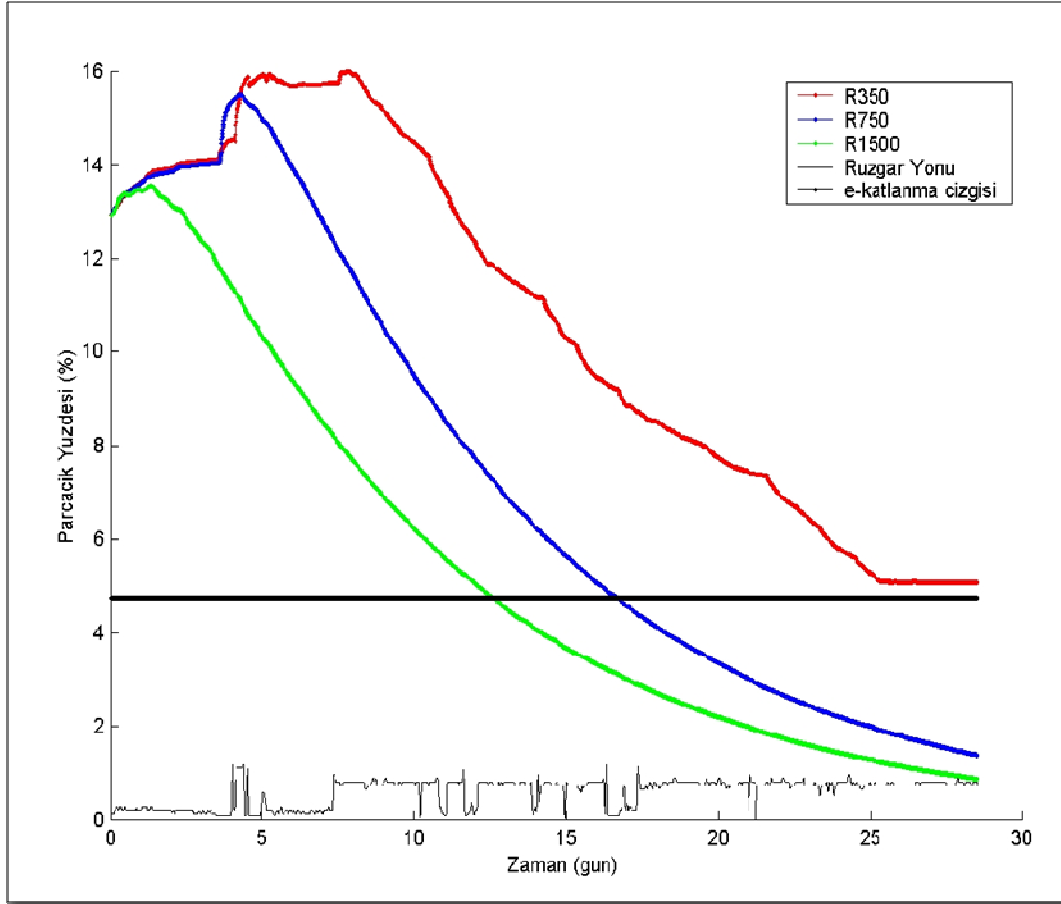
temizlenme zamanlarını ve e-katlanma zamanlarını göstermektedir. Bu durum kirliliğin sadece lagünde olduğu ve denizin temiz olduğu duruma tekabül etmektedir. E-Katlanma zamanları denizden lagüne giren parçacıklar ihmal edildiğinden R350, R750 ve R1500'lük simülasyonlarda sırasıyla 21.9, 12.7 ve 9.1 gün olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.3'de özetlenen yukarıdaki sonuçlar, bu tür incelemelerde parçacık sayısının önemini açıkça ortaya koymaktadır. R350 ve R1500 simülasyonları arasındaki e-katlanma zamanlarında ortaya çıkan yaklaşık 12 günlük fark acil durum karar verme mekanizmasını önemli oranda etkileyecek bir belirsizliğe işaret etmektedir. İdeal aralığı bulmak için yapılan bu tip çalışmalarda, standart uygulama olarak kabul edilen 'istatistiksel olarak önemli' kavramındaki, parçacık sayısının ne olması gerektiğinin önemliliği burada bir kez daha vurgulanmıştır [42].

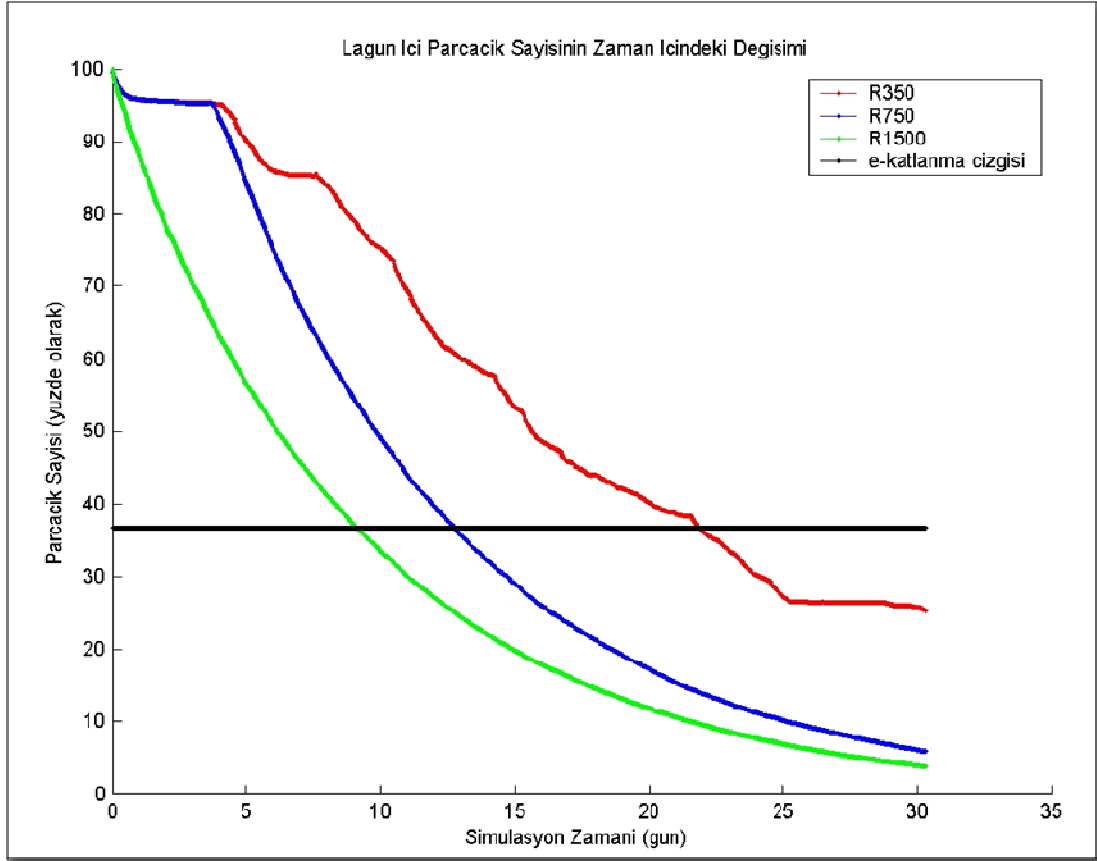
Parçacık sayısındaki belirsizlikten ve sonuçların parçacık sayılarına bağlı yüksek hassasiyet göstermesinden dolayı bu tür çalışmaların herhangi bir acil durum ortaya çıkmadan önce yapılması ve optimal bir parçacık sayısının tepsinin sağlanması gerekmektedir. Gerekli imkanlarında (CPU sayısı, zaman vb.) her an mevcut olmayacağı düşünülerek bu tür çalışmaların önceden yapılarak arşivlenmesi ve acil durumlarda bu sonuçların kullanılması gerekmektedir.

Tablo 6.3: Değişik simülasyonlarda hesaplanan lagün e-katlanma süreleri.

Simülasyon	Parçacık Sayısı	E-Katlanma Süresi (Kirli Lagün + Deniz)	E-katlanma Süresi (Kirli Lagün)
R350	65073	25 gün	21.9 gün
R750	299771	16.7 gün	12.7 gün
R1500	1200850	12.6 gün	9.1 gün



Şekil 6.31: Lagün içi parçacıklarının sayısındaki zamana bağlı değişim. Değerler her koşu için simülasyon başlangıcında bütün model alanı içinde bulunan parçacık sayısı ile normalize edilmiştir. Yatay siyah çizgi *e*-katlanma zamanıdır. Rüzgar grafiği ölçeksiz şekilde sadece referans olarak verilmiştir (Kirli lagün + kirli deniz).



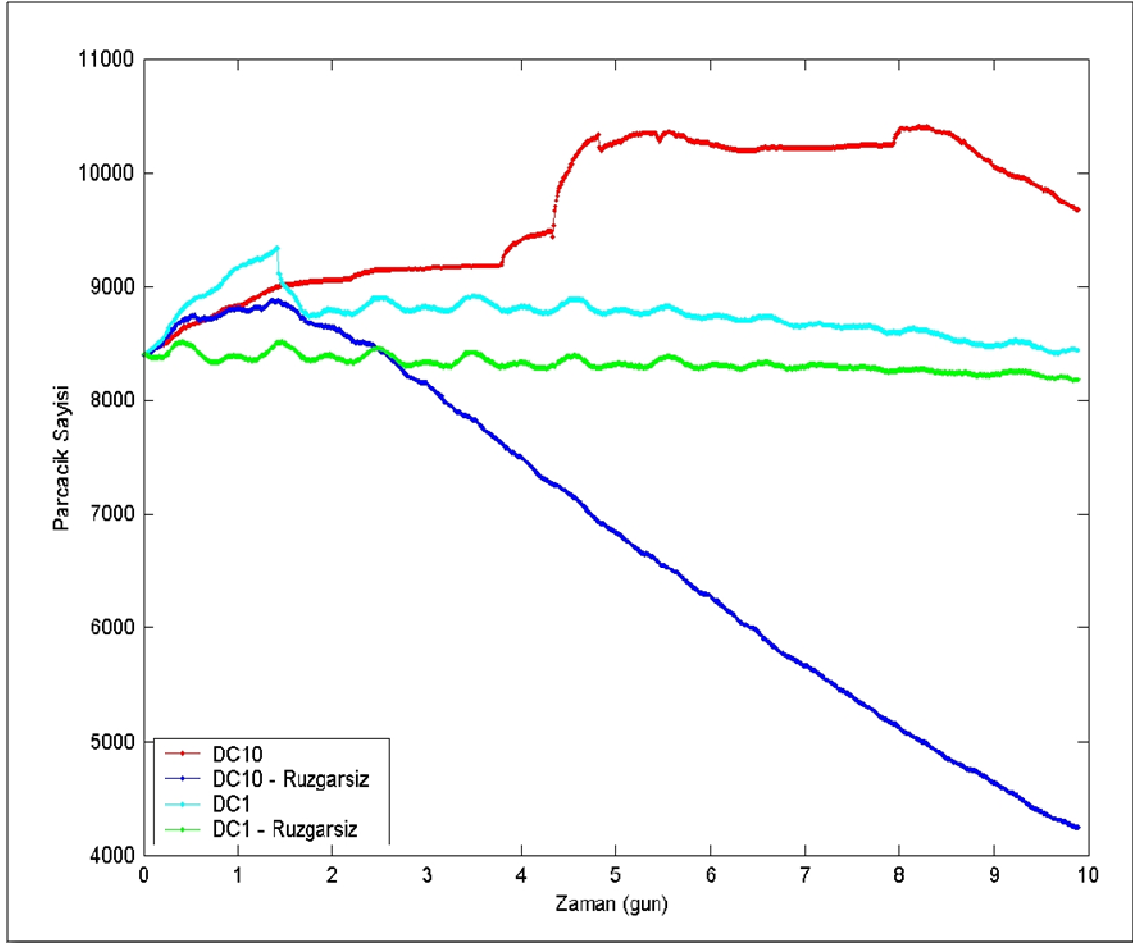
Şekil 6.32: Lagün içi parçacıklarının sayısındaki zamana bağlı değişim. Değerler her koşu için simülasyon başlangıcında lagün içinde bulunan parçacık sayısı ile normalize edilmiştir. Yatay siyah çizgi *e*-katlanma zamanıdır (Kirliliğin).

6.2.6 . Rüzgarsız - rüzgarlı durum karşılaştırması

Sistemin rüzgarsız durumda nasıl bir davranış göstereceği Koşu 350'nin 10 günlük tekrarları ile incelendi, Şekil 6.33. Şekilde kırmızı ve lacivert ile gösterilen koşullarda rüzgarın etkisi $10 \text{ m}^2/\text{sn}$ 'lik dispersiyon katsayısının da arttırımı ile büyük oranda bir değişikliğe neden olmaktadır. Rüzgarlı (kırmızı) durumda güney-batı yönündeki rüzgarın etkisi ile lagünün içine doğru hareket eden parçacıklar, rüzgarsız (lacivert) durumda $10 \text{ m}^2/\text{sn}$ 'lik dispersiyonun etkisi altında lagünden dışarı çıkmakta ve lagün çok çabuk bir şekilde yaklaşık 13 günde (ekstrapolasyon) *e*-faktörü kadar temizlenmektedir.

Aynı rüzgar gerilmesinin etkisi altında parçacıklar $1 \text{ m}^2/\text{sn}$ 'lik dispersiyon katsayısı ile yayıldıklarında (açık mavi) ise başka bir durum ortaya çıkmakta ve başlangıçta lagün ağızlarındaki parçacıkların yer değiştirmesi sonucu oluşan ani artıştan sonra parçacık sayısında yumuşak bir şekilde azalma görülmektedir. Rüzgârsız ortamda ve sadece öteleme ile $1 \text{ m}^2/\text{sn}$ 'lik yayılma etkisi (yeşil) altında ise parçacıklar üstte anlatılan duruma çok benzer bir hareket yapmaktadırlar. Bu durumda tek fark 1.5 gün civarında oluşan rüzgar etkisine bağlı artmanın olmamasıdır.

Düşük yayılma ($1 \text{ m}^2/\text{sn}$) durumunda, modeli zorlamakta kullanılan ve Şekil 5.2'de verilen ve M2-N2-K1-O1 gelgit bileşenlerinin etkisi olan yaklaşık 12 saatlik dalgalanma etkisi de açıkça izlenmektedir. Bu öteleme etkisi, yüksek yayımlı simülasyonlarda (kırmızı ve lacivert) doğal olarak belirsizdir. Şekil 6.33'de özetlenen bu simülasyonlar yayılmanın düşük ötelemeli ortamlardaki baskın etkisini nitelik olarak ortaya koymakta ve lagün ağızlarından lagün içine ya da denizel ortama geçişinde türbülansın etkisinin önemini göstermektedir. Bu durum, özellikle istatistiksel anlamda az sayıda parçacığın kullanıldığı simülasyonlarda sonuçları negatif olarak etkileyebilecek kapasiteye sahiptir. Akıntı alanına bırakılan parçacık sayısı sonsuza gittikçe bu yapay dispersiyon etkisinin ortalama anlamında azalması beklenebilir. Bu durum Şekil 5.16'da R350, R750 ve R1500 simülasyonları baz alınarak açıkça görülmektedir.



Şekil 6.33: Koşu 350 için düşük ($1 \text{ m}^2/\text{sn}$) ve yüksek ($10 \text{ m}^2/\text{sn}$) dispersiyon durumlarında 10 günlük rüzgâr etkisinin karşılaştırılması (deniz+kirli lagün).

6.2.7 . Peclet sayısı analizi

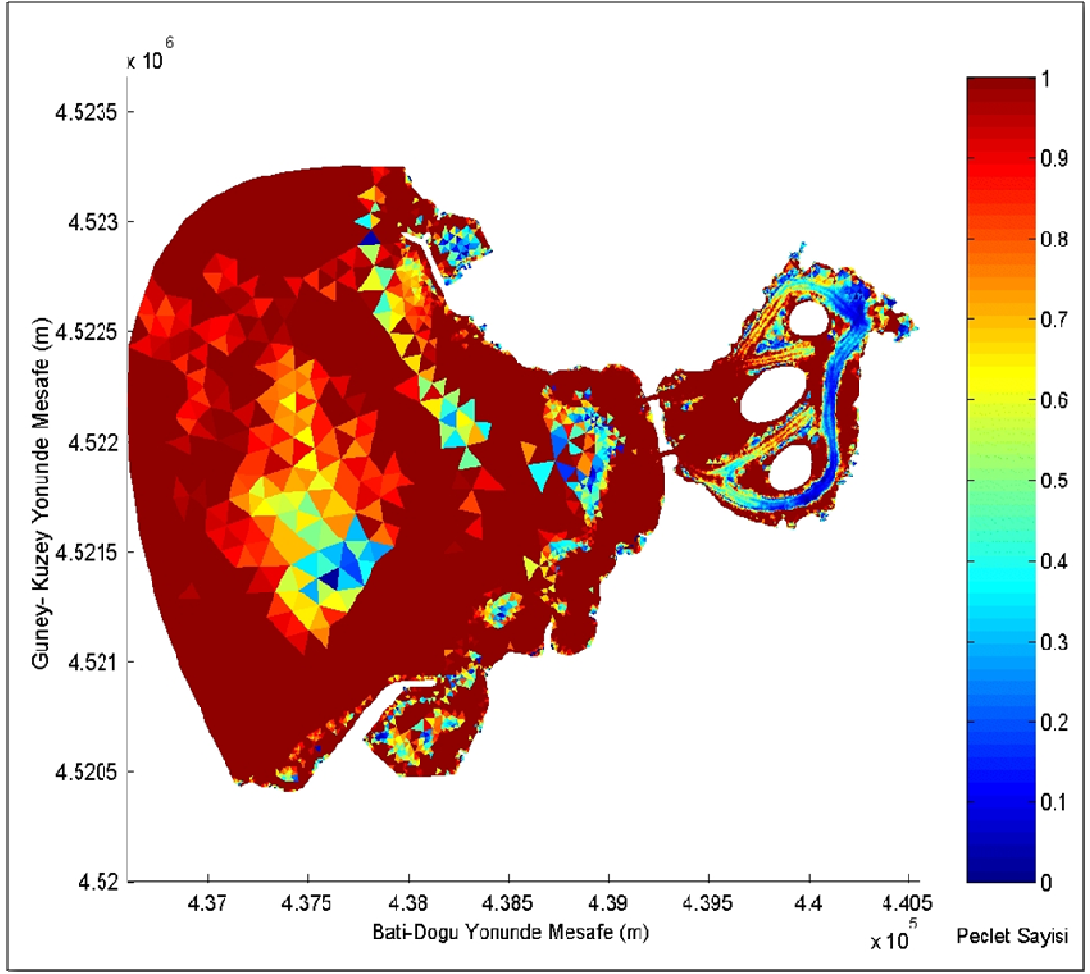
Model bölgesindeki öteleme ve yayılma olaylarının birbirlerine göre baskınlığını tanımlamak için Peclet sayısı kullanılarak Takeoka (1984)'ya benzer bir analiz yapılarak elde edilen dağılımlar Şekil 6.34 ve 6.35'de sırasıyla $1 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve $10 \text{ m}^2/\text{sn}$ 'lik dispersiyon katsayıları için verilmiştir [18]. Peclet sayısı (Pe) kütle yayılımı için Reynolds ve Schimdt sayılarının çarpımı olarak denklem 6.9'da ifade edilmiştir.

$$Pe = \frac{L \cdot V}{D} \quad (6.9)$$

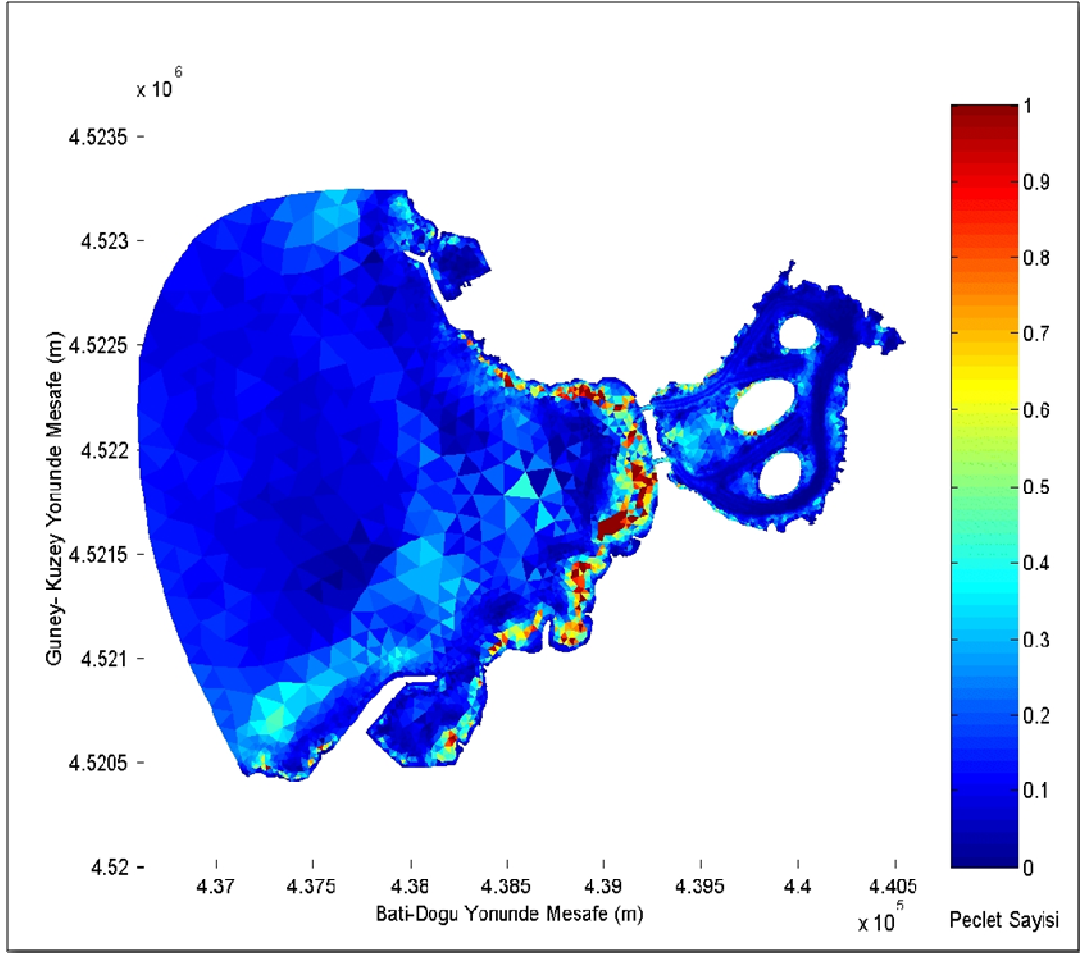
Denklem 6.9'da L hesaplama ağı elemanının metre olarak karakteristik uzunluğu

$L = \sqrt{2A}$, V hidrodinamik model tarafından her elemanda bir aylık simülasyon sonucunda elde edilen maksimum akıntı hızı (m/sn), D dispersiyon katsayısıdır (m^2/sn).

Şekil 6.34'de düşük ($1 m^2/sn$) dispersiyon katsayısı için Peclet sayısının dağılımı izlendiğinde özellikle lagün içinde hızların düşük ve elemanların da küçük olduğu bölgelerde yayılım olaylarının baskın olduğu yerler olsa da lagün girişleri ve diğer bölgelerde öteleme olaylarının dominant olduğu ($Pe >1$) bir durum gözlemlenmektedir. Şekil 6.35'de ise yüksek ($10 m^2/sn$) dispersiyon katsayısı ile aynı dağılım hesaplandığında lagün girişlerine yakın denizel bölgedeki ince bir hat dışında bütün model alanında dispersif süreçlerin baskın olduğu bir rejim görülmektedir ($Pe < 1$). Bu durumda, yüksek dispersiyon katsayılarının kullanıldığı durumlarda, bölgedeki değişim ve kalma zamanı hesaplamalarının yapay bir şekilde yayılma tarafından kontrol edilme durumu söz konusudur. Yukarıdaki paragraflarda da belirtildiği üzere kullanılan parçacık sayısının artırılması ile bu etki azalacaktır.



Şekil 6:34: Peclet sayısının düşük dispersiyon ($1 \text{ m}^2/\text{sn}$) durumunda model bölgesindeki dağılım haritası. $Pe > 1$ (koyu kırmızı) öteleme hareketinin baskın olduğu bir rejimi göstermektedir.



Şekil 6.35: Peclet sayısının yüksek dispersiyon ($10 \text{ m}^2/\text{sn}$) durumunda model bölgesindeki dağılım haritası. $Pe < 1$ değerleri dispersiyonun baskın olduğu bir rejimi göstermektedir.

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Günümüzde bilgisayar teknolojisinin geldiği noktada daha önce pratik olarak yapılması zaman ve teknik olarak imkânsız sayılabilecek hesaplamalar yapılabilmekte ve yüksek çözünürlük gerektiren çevre ve doğa problemleri bu sayede göreceli olarak daha yüksek doğruluklarda paralel olarak çalışan işlemcilerde sayısal olarak çözülebilmektedirler. Bu çerçevede, doğruluğu gereken oranda kanıtlanmış hidrodinamik akıntı alanlarına bırakılan parçacıkların zaman ve mekanda takibi ile sistemlerin taşınım özelliklerinin belirlenmesi özellikle de çevresel olarak hassas bölgelerin risk planlama ve acil durum çalışmalarında kullanılabilir yararlı ve hem nitelik hem de nicelik açısından sağlam bir metot olarak ortaya çıkmaktadır. Değişik senaryolar denenerek doğal ya da antropojenik etkenlerin bu sistemler üzerindeki baskıları nicelik olarak daha önce mümkün olmayan doğruluklarda tahmin edilebilmektedir. Birey Bazlı Modelleme denilen bu yöntemde parçacıklar pasif (akışkan hızında hareket eden parçacıklar) ya da aktif (kendi davranışları olan parçacıklar, örneğin plankton, ağır metaller, yarılanma zamanlı kirleticiler, vs...) olabilmekte ve sıvı ortamda zaman içindeki davranışları bu şekilde incelenebilmektedir.

Bu çalışmada Tuzla, İstanbul'da bulunan Kamil Abdüş Lagünü'nün hidrodinamik modellemesi yapılmış ve hesaplanan akıntı alanına bırakılan değişik sayıdaki parçacık ile deniz ve lagün arasındaki değişim hesaplamaları yapılmıştır. Elde lagün ile ilgili hidrodinamik data olmaması yapılan hesapların geçerliliği hakkında şüphe uyandırır da bu çalışmada sonuçların doğruluğundan çok yöntemin, Türkiye'deki bir lagüne ilk olarak uygulanabilirliği incelenmiştir. Oluşturulan sistem, modelin doğrulanması için ileriki bir tarihte ölçülebilecek temel verinin kullanılması ile çok kısa sürede tekrar sonuç verebilecek şekilde kurulmuştur.

Hidrodinamik model sonuçlarına göre Şubat 2001 klimatolojisi altında deniz ile değişimin olduğu iki adet yapay girişten güneyde olanı lagün için bir giriş gibi

davranmakta ve lagün deniz suyu ile aylık ortalama anlamında rüzgar yönünden bağımsız olarak beslemektedir. Lagüne giren parçacıklar lodos rüzgarlarının baskın olduğu bir dönemden sonra lagün içinde kuzey doğu doğrultusunda yönler izlerken poyraz rüzgarlarının baskın olduğu bir dönemden sonra kuzeye doğru dönmektedirler. Yine incelenen zaman dilimlerinden bağımsız olarak kuzey ağzının bir çıkış görevi görmekte ve lagün suyunu denize transfer etmektedir. Lagün içinde sığ bölgelerde karaya yönelik bir taşınım izlenirken göreceli olarak daha derin olan kanallarda akıntılar lagün girişlerine doğrudur.

Bu etkiler altında, lagünün *e*-katlanma zamanı (başlangıçta lagün sınırları içinde bulunan parçacıkların *e* faktörü kadar azaldığı süre) değişik sayıda (65.073, 299.771 ve 1.200.850) parçacık kullanılarak 13 ile 23 işlemciden oluşan paralel bilgisayarlarda MPI (Message Passing Interface /mesaj geçirici ara yüz) kütüphaneleri kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında lagünün kendini temizlemesinin bir ölçüğü olan *e*-katlanma süresi kullanılan parçacık sayılarına göre önemli anlamda değişiklikler göstermektedir. Lagüne denizden gelen parçacıkların da kirli olduğu kabul edilirse *e*-katlanma sırasıyla 25, 16.7 ve 12.6 günlük sürelerde olmaktadır. Sadece lagün içi parçacıkların kirli olduğu kabul edilirse bu değerler 21.9, 12.7 ve 9.1 güne düşmektedir. Bu farklar herhangi bir risk ya da acil durum planlamasında dikkat gerektirecek ölçüde fark göstermektedir. Artan parçacık sayısı ile istatistiksel güvenilirliğin küme ortalaması anlamında artacağı düşünülürse Kamil Abdüş Lagünü'nün *e*-katlanmasının 9.1 ile 12.6 gün arasında gerçekleşeceği söylenebilir.

Parçacık izleme yöntemlerinde kullanılan toplam parçacık sayılarının sonuçlar üzerindeki etkisi yadsınamayacak kadar büyüktür. Bu sayıların çevresel modelleme çalışmalarında optimal bir şekilde seçilebilmesi için kontrollü ortamlarda yapılan simülasyon çalışmaları ile kriterler geliştirilmeli ve bu kriterler doğal ortamların simülasyonları ile test edilmelidir. Böyle bir çalışmanın yokluğunda araştırmacılar teknik ve maddi olanaklar dahilinde kullanabilecekleri maksimum parçacık sayısını kullanmalı ve sonuç raporlarında daha az sayıda parçacık kullanmanın nasıl hatalara yol açtığına analizini yapmalıdırlar.

Dikkat edilmesi gereken başka bir konu da bölgedeki düşük gelgit akıntılarında ötürü dispersiyon katsayısının öneminin artması ve doğru seçilmemiş bir katsayının yapay yayılmaya yol açabileceği gerçeğidir. Su değişimi oranlarını direkt olarak etkileyecek bu durum özellikle de düşük sayıda parçacığın kullanıldığı durumlarda ve lagün girişlerinde etkilidir. Parçacık sayısı arttıkça bu etki ortalama anlamında azalacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.uydu.info/istanbul-uydu-goruntuleri-canli-uydu-goruntusu/> (**Ziyaret Tarihi: 14.12.2010**).
- [2] Kırdaglı, M., 'Lagün-Deniz etkileşiminin İncelenmesi, *Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi, 99-Bildiri Kitabı ss: 367-377*, (1999).
- [3] Kapdaşlı, S., Maktav, D., Yüksel Y., Mutlu T., Ünal, E., Kırdaglı, M., Fer, İ., Aydın G.A., 'Lagün Deniz Etkileşiminin Hidrodinamik Özelliklerinin ve Doğal Denge Karakteristiklerinin Belirlenmesi', *TÜBİTAK, Proje No: YDABÇAG 93*, İstanbul, (1996).
- [4] McLaughlin, J.W., ve diğerleri, ' Numerical Modeling of Tides in the Great Bay Estuarine System: Dynamical Balance and Spring-Neap Residual Modulation' *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volume 57, Issues 1-2, Pages 283-296, (2003).
- [5] Ip, J., Lynch, D., 'Simulation of Estuarine Flooding and Dewatering with a Fixed-Boundary Finite-Element Grid', *NML 98-14*, (1998).
- [6] Erturk, S.N., Bilgili, A., Swift, M.R., Brown, W.S., Çelikkol, B., Ip, J.T., Lynch, D., 'Simulation of the Great Bay Estuarine System: Tides with Tidal Flats Wetting and Drying.' , *J. Geophys. Resch. Lynch February*, vol. 107, 3038, 10, pp:2002, (2001).
- [7] Paul, P., Cvetkovic, V., 'Modeling Hydrodynamics of Real World Estuarine Systems' *Excerpt from the Proceedings of the COMSOL Conference*, Boston, (2007).
- [8] Novikov, A., Bagtzoglou, A.C., 'Hydrodynamic Model of the Lower Hudson River Estuarine System and its Application for Water Quality Management', *Water Resources Management*, v:20, p:257-276, (2006).
- [9] Gong, W., Shen, J., Jia, J., 'The impact of human activities on the flushing properties of a semi-enclosed lagoon: Xiaohai, Hainan, China' *Marine Environmental Research*, Volume 65, Issue 1, Pages 62-76, (2008).
- [10] Dias, J.M., Lopes, J.F., Dekeyser, I., 'Lagrangian transport of particles in Ria de Aveiro lagoon, Portugal', *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, Volume 26, Issue 9, Pages 721-72, (2001).
- [11] Chen, X., 'A laterally averaged two-dimensional trajectory model for estimating transport time scales in the Alafia River estuary, Florida', *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volume 75, Issue 3, Pages 358-370 , (2007).

- [12] Gomez, G.M., Montero, P., 'A two-dimensional particle tracking model for pollution dispersion in A Coruna and Vigo Rias (NW Spain)' *Oceanologica Acta*, Volume 22, Number 2, pp. 167-177(11), (1999).
- [13] Zacharias, I., Gianni, A., 'Hydrodynamic and dispersion modeling as a tool for restoration of coastal ecosystems. Application to a re-flooded lagoon', *Environmental Modelling & Software*, volume 23, Issue 6 ,p: 751-767, ISSN:1364-8152, (2008).
- [14] Jay A. A., 'Estimating effective longitudinal dispersion in the Chesapeake Bay' *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volume 60, Issue 3, Pages 359-368, (2004).
- [15] Suh, S.W., 'A hybrid approach to particle tracking and Eulerian–Lagrangian models in the simulation of coastal dispersion', *Environmental Modelling & Software*, Volume 21, Issue 2, Pages 234-242 , (2006).
- [16] Wijeratne, E.M.S., Rydberg, L., 'Modelling and observations of tidal wave propagation, circulation and residence times in Puttalam Lagoon, Sri Lanka' *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volume 74, Issue 4, 15, Pages 697-708, (2007).
- [17] Bellucci, A., Buffoni, G., 'Estimation of residence times in semi-enclosed basins with steady flows', *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, Volume 33, Issue 3, Pages 201-218. (2001).
- [18] Takeoka, H., 'Fundamental concepts of exchange and transport time scales in a coastal sea. ' *Cont. Shelf Res.*, 3:311-326, (1984).
- [19] White, F.M., Akışkanlar Mekaniği, Dördüncü, *Rhode Island Üniversitesi*, 264-265, 271-277, (2004).
- [20] Jin, W., 'Wind Stress Coefficient Over Sea Surface From Breeze to Hurricane' *Journal of Geographical Research*, vol 8, NOC12, pp 9704-9706, (1982).
- [21] Amoroch, J., Devries, J.J., 'A new Evaluation of the Wind Stress Coefficient Over Water Surface' *Journal of Geographical Research*, vol 85, NOC1, pp 433-442, (1980).
- [22] Friedrichs, C.T., Lynch, D.R., D.G., Aubrey, 'Velocity asymmetries in frictionally dominated tidal embayments: longitudinal and variability' *Dynamics and Exchanges in Estuaries and the Coastal Zone*, volume 40, 277-312, (1992).
- [23] Friedrichs C.T., Madsen O.S., 'Nonlinear Diffusion of Tidal Signal in Frictionally Dominated Embayments' *Journal of Geophysical Research* vol.97, No. C4, Pages 5637-5650, (1992).
- [24] King, H., M., 'Darcy's Law and the Field Equation of the Flow of Underground Fluids ', *Hydrological Sciences Journal*, Volume 2, Issue 1, pages 23 – 59, (1957).

- [25] Ip J., Lynch, D., 'Simulation of Estuarine Flooding and Dewatering with a Fixed-Boundary Finite-Element Grid', *NML 98-14*,(1998).
- [26] Bilgili,A., Smith, K.W., Lynch, D.R., 'BatTri: A two-dimensional bathymetry-based unstructured triangular grid generator for finite element circulation modeling.' *Computers and Geosciences*,v.32, p:632-642,(2006).
- [27] Smith, K., Bilgili,A., 'BATTRI:2-D Finite Element Grid Generator', *NML-03-15*, (2003).
- [28] Aretxabaleta,A.,L, 'PELOSAB: Finite element mesh generation Tutorial: Using BATTRI' *NML-03-14*, (2003).
- [29] Bilgili, A., Proehl, J., Lynch, D., Smith, K., Swift, M.R., 'Estuary/Ocean Exchange and Tidal Mixing in a Gulf of Maine Estuary: A Lagrangian Modeling Study', *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volume 65, Issue 4, , Pages 607-624, (2005).
- [30] Henriksen, J.C., 'A Guide to the BELLAMY Package', *NML-04-1* (2003).
- [31] Ballard, T.H., Bilgili, A., 'Computation of Bed Form Characteristics for use with the BELLAMY Model', *NML-03-3*, (2003).
- [32] Lynch, D.R., 'Development of the FOX and BELLAMY Series of Estuarine Models' *NML-01-1*, (2001).
- [33] Meerschaert, M., Zhang, M., Baeumer, B.Y., 'Particle tracking for fractional diffusion with two time scales', *Computers and Mathematics with Applications* ,591078_1086, (2010).
- [34] Bilgili, A., Swift, M.R., Lynch, D.R., Ip, J.T.C., 'Modeling Hydrodynamics and Bed-Load Transport of Coarse Sediments in the Great Bay', *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volume 58, Issue 4, Pages 937-950, (2003).
- [35] Limerinos, J.T., 'Determination of the the Manning Coefficient from measured bed roughness in Natural Channels.' *U.S. Geological Survey water-supply paper*, 1898-B, (1970).
- [36] Alpar, B., Yüce, H., 'Sea-level Variations and their Interactions Between the Black Sea and the Aegean Sea', *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 46, 609-619, (1998).
- [37] Stocker R.A., Imberger J., 'Horizontal Transport and Dispersion in the Surface Layer of a Medium Sized Lake', *The American Society of Limnology and Oceanography*, 48 (3), p 971-982,(2003).

[38] Nicolle A., Karpytchev M., 'Evidence for spatially variable friction from tidal amplification and asymmetry in the Pertuis Breton (France)', *Continental Shelf Research*, Volume 27, Issue 18, Pages 2346-2356,1 (2007).

[39] Awaji, T., N. Imasato, Kunishi, H., 'Tidal exchange through a strait: A numerical experiment using a simple model basin.' *Journal of Phys. Oceanog.*, 10: 1499-1508, (1980).

[40] Awaji, T., 'Water mixing in a tidal current and the effect of turbulence on tidal exchange through a strait.' *Journal of Phys. Oceanog.*, 12: 501-514. (1982).

[41] Inoue, M. and W.J. Wiseman Jr., 'Transport, Mixing and Stirring Processes in a Louisiana Estuary: A Model Study.' *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol.449-466. (2000).

[42] Graham, D.I, Moyeed, R.A., 'How many particles for my Lagrangian simulations?', *Powder Technology, The fourth international conference on multiphase Flow* Volume 125, Issues 2-3, Pages179-186, (2002).

KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER

Yayınlar

- [1] Tansel, B., Kasap, E., Güvenç, Z., ‘Molecular Dynamics Study of the Binding Energy, Structure and Melting of the Isomers of Ni₈Clusters’,*İTÜ- Uluslararası Atom ve Molekül Fizik Kongresi*, ARI, 51,15, (1997).
- [2] Tansel, B., Kasap, E., Güvenç, Z., ‘Melting of Ni₉ Cluster Using Molecular Dynamics Computer Simulations’,*Balkan Physics Letter*, 5, 1657,(1997).
- [3] Vertiy, A.A., Gavrilov, S.P., Tansel, B., ‘Experimental Investigation of Buried Objects with Stepped Frequency Radar’ *XXVI General assembly of The International Union of Radio Science*,(1999)
- [4] Vertiy, A.A., Gavrilov, S.P., Tansel, B., ‘Experimental Investigation of Buried Objects with Microwave Tomography Method’ *SPIE's 44 Annual Meeting*,(1999).
- [5] Gavrilov, S.P., Vertiy, A.A., Samedov, S.R., Tansel, B., ‘Wave guide Filter on Base of Dielectric the Bragg Structure for Millimeter Waves Application’,*International Journal of Infrared and Millimeter Waves*, Vol. 19, Number *10*,(1998).
- [6] Vertiy, A.A., Gavrilov S.P., Tansel, B., ‘Quasi-Optic Diffraction Tomography System for Investigation Structure of a Manufactured Article’ ,*Optical Analogies in Microwave/Millimeter Wave Design SPIE's International Symposium on Optical Science, Engineering and Instrumentation*, 3464b-36, 19-24, San Diego, CA.,(1989).
- [7] Özen, B., Çapan,L., Başaran,B., Saksoy, S., ‘Kavitelerin Çoklu Kaynak Kullanarak Uyarılması ve simetrik Olmayan TEz Modları’ *Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği 10. ulusal Kongresi*, (2003).
- [8] Özen, B.T., Kangı, R., ‘Vakum Tanıtımı ve Ambalaj Sektörüne Katkısı’,*Ambalaj Bülteni*,(2005).
- [9] Tansel, B., Ertogan, M., ‘The Training of Educator on Measurement andAssessment within the Scope of STCW’, *MET Trends in the XXI Century Shipping Industry and Training Institutions in the global environment – area of mutual interests and cooperation, Proceedings of the 2009 IAMU General Assembly in St. Petersburg*, St.Petersburg, Russia: Admiral Makarov State Maritime Academy, pp. 70-78. (2009).

[10] Tansel, B., 'High Quality Triangular Grid Generation for the Risk Analysis of a Special Lagoon.' *Advances in Fluid Mechanics VIII*, Buchrates,Romain WITpress p:231-240,(2009).

Projeler

[1]Mayın Tespit Sistemleri Projesi, araştırmacı (TÜBİTAK 1998-2000),

[2]Mikrodalga Isıtma Yöntemi ile Asfalt Onarımı Ön hazırlık Projesi, proje yürütücüsü (TÜBİTAK 1998-2002),

[3]Tuzla Kamil Abdüş Lagününün Bilgisayarda Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Çevresel Akıntı Modellemesi için Veri Toplanması ve bir Ağ Sistemi Geliştirilmesi, araştırmacı (İstanbul Büyük Şehir Projesi 2008-2009).

ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında Ankara'da doğdu. Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi-Fizik Bölümü'nü 1994 'de bitirerek lisans eğitimini tamamladı. 1998 yılında Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi-Fizik Bölümü'nü bitirerek yüksek lisans derecesini aldı. 2010 yılında Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü-bağlı olarak Makine Mühendisliği Bölümü doktora programını tamamladı. 1994- 2005 yılları arasında Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'nda (TÜBİTAK) araştırmacı olarak çalıştı. 2005 yılından beri İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Denizcilik Fakültesi'nde öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır. Tansel ÖZEN'in annesidir.