

İZMİT KÖRFEZİ AKINTI MODELLEMESİ

Zeynep ÇEHRELİ

Osman S. BÖREKÇİ

Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 80815 Bebek, İstanbul

ÖZET

İzmit Körfezi'nin rüzgar tarafından sürülen akıntılarının modellenmesi için derinlik üzerinde ortalanmış iki boyutlu bir sonlu hacimler modeli geliştirilmiştir. Öncelikle modelin çeşitli sınır geometrilerine ve rüzgar durumlarına tepkisi denenmiş ve doğrulanmıştır. Elde edilen ortalama akıntı hızları, rüzgar tarafından sürülen yüzey akıntı hızlarıyla karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Modelin İzmit Körfezi için kalibrasyonu, Dengili (1999) tarafından bildirilen ve Nisan 1999'da İzmit Körfezi'nde yapılmış akıntı ölçümleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modelin uygulanmasında 1929-1990 yılları arasında yapılmış rüzgar ölçümleri kullanılmıştır.

1. GİRİŞ

Hızlı, plansız endüstrileşme ve nüfus artışı sonucunda ülkemizin su kaynakları ve karasuları kirlenme tehdidiyle karşı karşıyadır. Ülkemizi çevreleyen denizlerin büyük okyanuslarla su değişimi ancak Cebelişarık Boğazı kanalıyla olmaktadır. Bu su değişimi, Karadenizle başlayan iç deniz ve boğazlar sistemi için yeterli değildir. Bu çalışmaya konu olan İzmit Körfezi'nin kıyıları da hem nüfus hem de endüstrileşme bakımından ülkemizin en yoğun bölgelerinden biridir. İzmit Körfezi'nin yapısı bakımından yarı kapalı bir sistem olması ve akıntılarının nispeten zayıf olması, körfezin daha da kirlenmesi halinde oldukça ciddi çevresel sorunlar doğuracaktır. Problemin olası boyutları İzmit Körfezi için bir iyileştirme sürecinin başlatılmasına neden olmuştur. Yerel ve uluslararası fonlarla desteklenen ve TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) tarafından yürütülen "İzmit Körfezi'nin İyileştirilmesi" projesi bu sürecin bir parçasını oluşturmaktadır. Bu proje kapsamında başlatılan ölçüm ve modelleme çalışmalarına katkıda bulunmak amacıyla Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde modelleme çalışmaları başlatılmıştır. Bu çalışmaların üç aşamada gerçekleştirilmesi düşünülmektedir. Tamamlanan birinci aşamada, kullanılması düşünülen modelleme tekniği ve çeşitli model parametreleri denenmiş, rüzgar tarafından sürülen tek katmanlı bir akıntı modeli elde edilmiştir. İkinci aşamada, İzmit Körfezi su katmanlarını daha gerçekçi olarak temsil edecek üç katmanlı bir akıntı ve kirlilik taşınım modeli geliştirilecektir. Üçüncü aşamada ise paralel bilgisayar sistemleri için üç boyutlu bir akıntı ve kirlilik taşınım modeli planlanmıştır. Yapılan ön görüşmelerde, ikinci aşama ve sonrasında MAM'ın ve ABD'den West Virginia

Üniversitesi'nin de modelleme çalışmalarına katılmaları ve projenin desteklenmesi için ulusal ve uluslararası fonlara başvurulması planlanmıştır.

Birinci aşamada Sonlu Hacim Metodu (SHM) kullanılarak kararlı akım için tek katmanlı, iki boyutlu (derinlik üzerinde ortalanmış) bir akıntı modeli geliştirilmiştir. Model değişik sınır şartları, batimetrlere, rüzgar dağılımları, taban sürtünmeleri ve difüzyon katsayıları kullanılarak denemiş ve akıntıların beklenen yönlerde ve büyüklüklerde oldukları gözlemlenmiştir. Modelin İzmit Körfezi için kalibrasyonu, Dengili (1999) tarafından bildirilen ve Nisan 1999'da İzmit Körfezi'nde yapılmış akıntı ölçümleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modelin uygulanmasında Göztepe Meteoroloji İstasyonu'ndan sağlanan 1929-1990 yılları arasında yapılmış rüzgar ölçümleri kullanılmıştır.

2. HİDRODİNAMİK DENKLEMLER

Modele esas olan hidrodinamik denklemler yatay düzlemde iki momentum denklemi ile süreklilik denkleminde oluşmaktadır. Sonlu Hacimler Metodu'nun dayandığı korunum ilkeleri göz önüne alınarak bu denklemler

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho uu) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho uv) = -\gamma \frac{\partial \eta}{\partial x} + \rho f v + \frac{1}{h+\eta}(\tau_x^s - \tau_x^b) + \rho N_h \nabla^2 u \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho uv) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho vv) = -\gamma \frac{\partial \eta}{\partial y} - \rho f u + \frac{1}{h+\eta}(\tau_y^s - \tau_y^b) + \rho N_h \nabla^2 v \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}[u(h+\eta)] + \frac{\partial}{\partial y}[v(h+\eta)] = 0 \quad (3)$$

olarak yazılabilir. Bu denklemlerde, u ile v , sırasıyla, x ve y yönlerindeki ortalanmış akıntı hızlarını, η su yüzeyinin durgun su yüzeyine göre yüksekliğini, h derinliği, ρ ve γ , sırasıyla, suyun yoğunluğunu ve özgül ağırlığını, N_h ise yatay düzlemdeki kinematik eddi vizkozitesini göstermektedir. Rüzgardan suya momentum transferi bu iki akışkanın ara yüzeyinde oluşan kayma gerilmeleri ile olmaktadır. τ_x^s ve τ_y^s yüzeydeki kayma gerilmelerinin x ve y yönlerindeki bileşenlerini göstermektedir. Hareket halinde bulunan bir su kütlesi, Coriolis kuvveti tarafından kuzey yarı kürede hareket yönünün sağına doğru çekilir. Dünyanın kendi eksenini etrafında dönüşünün etkisini yansıtan bu kuvvetin x ve y yönlerindeki bileşenleri, momentum denklemlerinde $-\rho f v$ ve $\rho f u$ olarak görülmektedir. Burada, dünyanın kendi eksenini etrafındaki açısız dönme hızı Ω ile su kütlesinin bulunduğu enlem φ 'ye bağlı olarak Coriolis parametresi $f=2\Omega \sin \varphi$ ifadesinden bulunabilir. Su kütlesinin hareketine deniz tabanının direnci ise su-taban ara yüzeyinde oluşan kayma gerilmeleri ile ifade edilebilir. Bu gerilmelerinin x ve y yönlerindeki bileşenleri, momentum denklemlerinde τ_x^b ve τ_y^b olarak görülmektedir.

Model denklemlerinde geçen kayma gerilmesi terimleri için akışkan hızının karesine bağlı ifadeler seçilmiştir. Yüzeydeki kayma gerilmeleri için

$$\tau_x^s = C_{10} \rho_a W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad \tau_y^s = C_{10} \rho_a W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (4)$$

ifadelri kullanılmıştır. Burada, W_x ve W_y rüzgar hızının bileşenleri, ρ_a havanın yoğunluğu, C_{10} ise yüzeyden 10 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızı temel alınarak elde edilmiş bir sürtünme katsayısıdır. Kaynaklarda C_{10} için verilen çeşitli sabitlere veya rüzgar hızına bağlı çeşitli ifadelere rastlamak mümkündür. Örnek olarak, C_{10} için Palmen ve Laurila (1938) 0.0024, Hela (1948) 0.0019, Neumann (1948) 0.9, Ekman (1952) 2.6 ve Pond (1971) 1.5 önermektedir. Rüzgar hızına bağlı ifadelere de Heaps (1965)

$$C_{10} = \begin{cases} 0.000565 & W < 5 \text{ m/s} \\ (-0.12 + 0.137W) \cdot 10^{-3} & 5 < W < 19.22 \text{ m/s} \\ 0.002513 & W > 19.22 \text{ m/s} \end{cases} \quad (5)$$

ve Garrat(1977)

$$C_{10} = (0.75 + 0.067W) \times 10^{-3} \quad (6)$$

örnek olarak gösterilebilir. Körfez tabanındaki kayma gerilmeleri de

$$\tau_x^b = r \rho u \sqrt{u^2 + v^2} \quad \tau_y^b = r \rho v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (7)$$

veya

$$\tau_x^b = \frac{\rho g}{C^2} u \sqrt{u^2 + v^2} \quad \tau_y^b = \frac{\rho g}{C^2} v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (8)$$

şeklinde ifade etmek mümkündür. Bu ifadelerde, r tabanın pürüzlülüğüne ve taban sınır tabakası özelliklerine bağlı bir sürtünme katsayısını, C Chezy katsayısını, g ise yer çekimi ivmesini göstermektedir. Komar (1976) r katsayısının 0.002-0.004 aralığında alınmasını önermektedir. Chezy katsayısı için taban özelliklerine bağlı bir sabit seçilebileceği gibi Gerritsen ve Biljsma'nın (1988) önerdiği gibi derinliğe bağlı

$$C = \begin{cases} 65 & h < 40 \text{ m} \\ h+25 & 40 \text{ m} < h < 65 \text{ m} \\ 90 & h > 65 \text{ m} \end{cases} \quad (9)$$

ifadesi de kullanılabilir.

Momentum denklemlerinde, (1) ve (2), geçen yatay düzlemdeki kinematik eddi vizkozitesi N_h 'nin değeri hakkında literatürde bir fikir birliği mevcut değildir (Pedlosky, 1979). Ancak yapılan çalışmalardan bu parametrenin rüzgar hızı W 'nin artışı ile arttığı görülmektedir. Bu konuda 1966 yılına kadar yapılan çalışmaların bir kısmı Neumann ve Pierson'da (1966) özetlenmiştir. Örnek olarak, burada Schmidt'e (1917) göre N_h $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ($W=1 \text{ m/s}$ için) ile

0.172 m²/s ($W=20$ m/s için) arasında değerler alırken Neumann'a (1952) göre N_h 0.0058 m²/s ($W=4$ m/s için) ile 0.252 m²/s ($W=18$ m/s için) arasında değişmektedir. Pedlosky (1979) N_h 'nin değeri hakkında bir belirsizlik olduğunu ve literatürde 10 m²/s ile 10⁴ m²/s arasında değerlere rastlandığını söylemektedir.

Burada sunulan modelde N_h 'nin değerini herhangi bir çalışmadan almak yerine hesaplanmış veya ölçülmüş bir yüzey akıntısına göre belirlemek yoluna gidilmiştir. Rüzgar tarafından sağlanan momentumun düşeyde taşınımının derinlik ne olursa olsun tabana kadar devam ederek aradaki bütün su kolonunu harekete geçirmesi beklenemez. Ekman'a (1905) göre W hızında esen bir rüzgar, yüzeyden

$$D_f = \pi \sqrt{\frac{N_v}{\Omega \sin \phi}} \quad (10)$$

derinliğine kadar etkili olacak ve yüzeyde

$$V_o = \frac{\pi \tau^s}{\sqrt{2D_f \rho \Omega \sin \phi}} \quad (11)$$

büyükliğünde bir akıntıyı sürecektir. Burada N_v düşey düzlemdeki kinematik eddi vizkozitesini göstermektedir. Yapılan ölçümler, ortalama $N_v = 0.01$ m²/s için, Ekman'ın denklemlerinin genelde iyi sonuç verdiğini göstermektedir (Pierson ve Neumann, 1966). Akıntı ölçümlerinin bulunmadığı durumlarda, N_h (11)'den hesaplanan V_o 'ın model sonuçlarıyla karşılaştırılmasıyla belirlenebilir. Dengili'nin (1999) İzmit Körfezi için verdiği Nisan ayında yapılmış akıntı ölçümleri ve Göztepe Meteoroloji İstasyonu'ndan temin edilen Nisan ayı ortalama rüzgar verileri kullanılarak yapılan hesaplama sonucunda model batimetrisinin 50 m ile sınırlanabileceği ve $N_h = 110$ m²/s kullanılabileceği görülmüştür.

4. SONLU HACİM FORMULASYONU

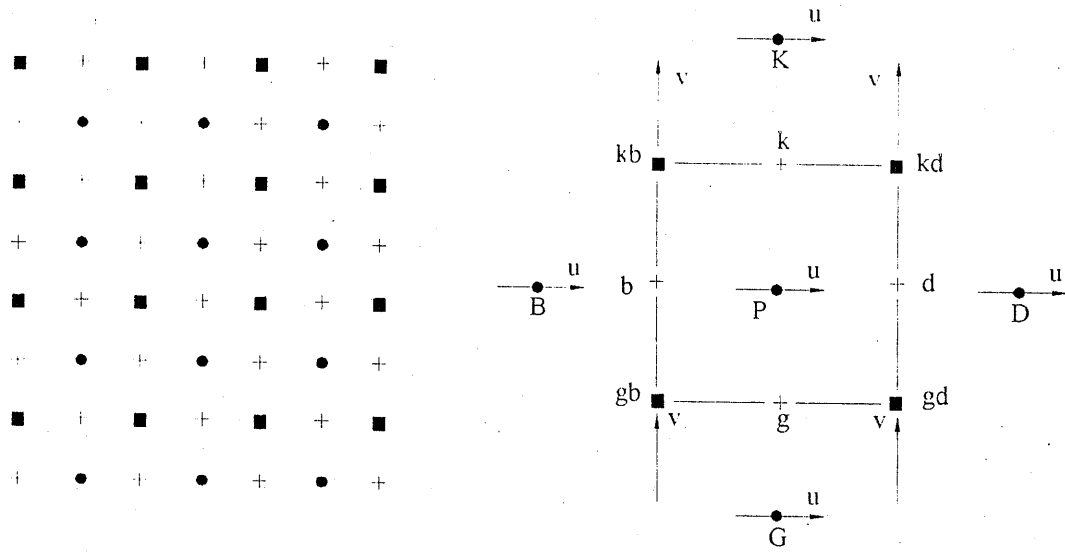
Momentum ve süreklilik denklemlerinin sonlu hacim formülasyonu, bu denklemlerin boyutları $\delta x \times \delta y \times \delta z$ olan bir kontrol hacmi (CV) üzerinde integralinin alınması esasına dayanmaktadır. Buradaki iki boyutlu problem için δz boyutunu birim uzunlukta alarak ve kare şeklinde kontrol hacimleri için x -yönündeki momentum denkleminin integrali

$$\int_{CV} \left[\frac{\partial}{\partial x} (\rho u u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho u v) \right] dV = \int_{CV} \left[-\gamma \frac{\partial \eta}{\partial x} + \rho f v + \frac{1}{h + \eta} (\tau_x^s - \tau_x^b) + \rho N_h \nabla^2 u \right] dV$$

$$\int \rho u u dy + \int \rho u v dx = -\int \gamma \eta dx dy + \int \rho f v dx dy + \frac{1}{h + \eta} \int (\tau_x^s - \tau_x^b) dx dy + \int \rho N_h \frac{\partial u}{\partial x} dy \quad (12)$$

$$+ \int \rho N_h \frac{\partial u}{\partial y} dx$$

olarak yazılabilir. Bu integralin alınabilmesi için modelde Şekil 1'de gösterilen kaydırılmış ağ ve u - kontrol hacmi kullanılmıştır. Şekilde kontrol hacminin merkezi P ile belirtilirken, köşeleri ve



Şekil 1 Kaydırılmış ağ hesaplama noktaları : u (●), v (■), η(+) ve u-kontrol hacmi. Hesaplama noktaları aralığı $l = dx = dy$.

kenar orta noktalarının belirtilmesi için pusula yönlerinden yararlanılmıştır. Denklem (12)'de verilen integralin alınması sonucunda

$$a_p^u u_p = \sum (a^u u)^* - \gamma (\eta_d - \eta_b) l + b^u \quad (13)$$

bulunabilir. Bu denklemdeki a^u katsayıları

$$a_d^u = l \left(\delta + \frac{F_d}{2} \right) \quad a_b^u = l \left(\delta - \frac{F_b}{2} \right) \quad a_k^u = l \left(\delta + \frac{F_k}{2} \right) \quad a_g^u = l \left(\delta - \frac{F_g}{2} \right) \quad (14)$$

$$a_p^u = a_d^u + a_b^u + a_k^u + a_g^u$$

olarak verilebilir. Burada, $\delta = \rho N_h / l$ ve kontrol yüzeylerindeki F momentumu

$$F_d = \rho \frac{u_p + u_D}{2} \quad F_b = \rho \frac{u_p + u_B}{2} \quad F_k = \rho \frac{v_{kd} + v_{kb}}{2} \quad F_g = \rho \frac{v_{gd} + v_{gb}}{2} \quad (15)$$

kullanılmıştır. Denklem (13)'ün sağ tarafındaki ilk terim

$$\sum (au)^* = a_d^u u_d + a_b^u u_b + a_k^u u_k + a_g^u u_g = a_d^u \frac{u_D + u_p}{2} + a_b^u \frac{u_B + u_p}{2} + a_k^u \frac{u_K + u_p}{2} + a_g^u \frac{u_G + u_p}{2} \quad (16)$$

olarak açılabilir. Aynı denklemin son terimi ise Coriolis kuvveti ve sürtünmelerden gelen terimleri içermektedir. Bu terim de

$$b^u = l^2 \left[\frac{\tau_x^s - \tau_x^b}{h + \eta} + \rho f \bar{v} \right] \quad (17)$$

olarak ifade edilebilir. \bar{v} , kontrol hacminin köşelerindeki v hızlarının ortalamasını göstermektedir. Bu ortalama, kontrol hacminin sınırlarında akışkan veya duvar bulunması göz önüne alarak değişik ifadelerden hesaplanmıştır. Deniz yüzeyindeki kayma gerilmelerinin hesabında, kontrol hacminin P noktasındaki rüzgar bileşenleri ve denklem (4) kullanılabilir. Tabandaki kayma gerilmesi ise denklem (7)'den yararlanılarak elde edilen

$$\tau_x^b = r \rho u_p \sqrt{u_p^2 + \bar{v}^2} \quad (18)$$

ifadesinden hesaplanabilir.

y- momentum denkleminin ve süreklilik denkleminin de yukarıda özetlenen şekilde sonlu hacim formülasyonu yapılabilir. Burada bu formülasyonun detaylarına yer verilmeyecektir. Gereken detaylar Çehrelî'de (2000) verilmiştir. Hidrodinamik denklemlerin sonlu hacim formülasyonları aşağıda özetlenmiştir.

$$x\text{-momentum} \quad a_p^u u_p = \sum (a^u u)^* - \gamma (\eta_d - \eta_b) l + b^u$$

$$y\text{-momentum} \quad a_p^v v_p = \sum (a^v v)^* - \gamma (\eta_k - \eta_g) l + b^v \quad (19)$$

$$süreklilik \quad a_p^\eta \eta_p = \sum (a^\eta \eta)^* + b^\eta$$

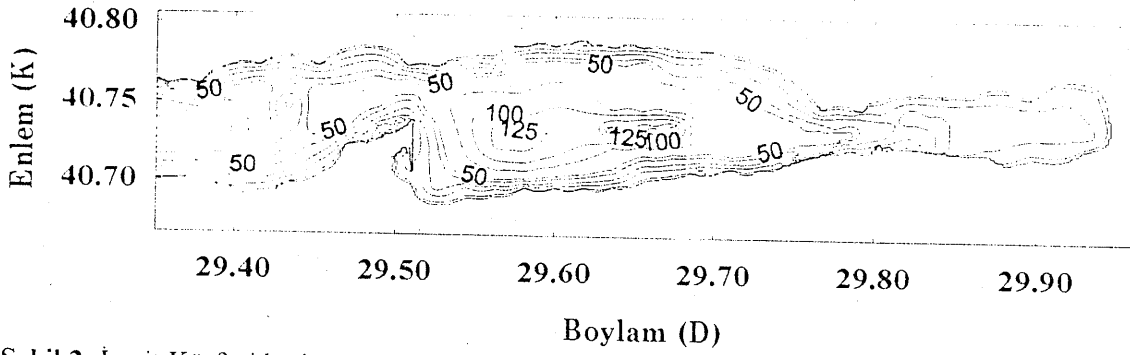
Süreklilik denkleminde deniz yüzeyinin konumu elde edildiğinden bu denklem serbest yüzey düzeltme denklemi olarak da yorumlanabilir.

4. SINIR ŞARTLARI VE ÇÖZÜM ALGORİTMASI

Hidrodinamik denklemlerin özelliklerine uygun olarak deniz-kara ara yüzeyinde akışkan hız bileşenleri sıfır olarak alınmıştır. Belirlenmesi nispeten zor olan sınır şartı körfez-deniz ara yüzeyinde olanıdır. Bu sınır şartı serbest yüzey kotları veya akıntı hızları olabilir. Ancak, genelde ölçümler bulunmadığından uygun bir sınır şartı için yaklaşımlar kullanılmaktadır. Modelde, körfez-deniz ara yüzeyinden akıntıların engellenmeksizin geçebilmeleri esasına uygun olan ve uzun dalga teorisine dayanan (Reid ve Bodine, 1968) aşağıdaki ifade kullanılmıştır.

$$u = \eta \sqrt{\frac{g}{h + \eta}} \quad (20)$$

Bu sınır şartı ve benzerleri Kowalik ve Murty'de (1993) verilmiş ve tartışılmıştır. Uygulamada körfez-deniz ara yüzeyinde η -kontrol hacimleri yerleştirilmiştir. Bu kontrol hacimlerinin batı (İzmit Körfezi için) kenar ortalarında bulunan ve sınır değeri olan u hız bileşenini kontrol hacminin merkezindeki η değerini (bir önceki iterasyondan gelen) kullanarak denklem (20)'den bulmak mümkündür. Dolayısıyla; iteratif çözümün her döngüsünde denklem (19)'da verilen ifadeler sırasıyla çözülürken deniz-kara ara yüzeyindeki sınır şartları değişmeyecek ancak



Şekil 2 İzmit Körfezi batimetrisi. Derinlikler metre olarak verilmiştir.

körfez-deniz ara yüzeyindeki sınır şartı bir önceki döngü sonucunda elde edilen serbest yüzey konumuna göre değişecektir. Kullanılan bu sınır şartının sonucu olarak hesaplama sonunda elde edilen serbest yüzey yükseklikleri göreceli olarak doğru olacaktır.

Denklemlerin çözümü için Versteeg ve Malalasekera'da (1995) verilen SIMPLE, SIMPLER, SIMPLEC ve PISO gibi çözüm algoritmaları vardır. Bunlar içinden modelde güçlü yakınsama özellikleri olan SIMPLEC algoritması seçilmiştir. Algoritmanın yukarıda verilen denklemlere uygulaması Çehreli'de (2000) verilmiştir.

4. MODELİN İZMİT KÖRFEZİNE UYGULANMASI

İzmit Körfezi rüzgar verileri Göztepe Meteoroloji İstasyonundan temin edilmiştir. Veriler, Kocaeli'nde 40° 46' K enlemi ve 29° 50' D boylamında ölçülmüş, 1929-1990 yıllarını kapsayan, 16 yöndeki ortalama değerlerdir. Model her yönden esen maksimum ve en sık rastlanan (modal) rüzgarlar için çalıştırılmıştır. Modelde kullanılan batimetri verileri ODTÜ'den Doç. Dr. Ahmet Cevdet Yalçın tarafından, Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi'nin hazırladığı İzmit Körfezi batimetri haritasından sayısallaştırılmıştır. Bu batimetri Şekil 2'de verilmiştir. Ancak, yukarıda izah edilen nedenlerle model tabanı 50 m derinlikle sınırlanmıştır.

Model denklemlerinin geliştirilmesinde kontrol hacminin yüzeylerindeki momentumlar denklem (15)'den de görülebileceği gibi ortalama değerler olarak alınmıştır. Bu yaklaşımla kararlı bir nümerik algoritma elde edebilmek için hücre Peclet sayısını (Pe) sınırlanmak gerekmektedir. Denklem (13)'ün temsil ettiği denklem takımının bilinmeyen u değerleri için kararlı bir nümerik çözümünün olabilmesi için a katsayılarının hepsinin işaretlerinin aynı olması gerekmektedir. Bu kriterin denklem (14)'te verilen katsayılara uygulanması ile

$$-2 < Pe = \frac{\rho u}{\rho N_h} < 2 \quad (21)$$

kriteri bulunabilir. Dengili'nin (1999) verdiği Nisan ayı akıntı ölçümlerinden akıntı hızlarının 10^{-2} m/s büyüklüğünde olduğu görülmektedir. Bu büyüklükteki hızlar ve modelde kullanılan $l = 800$ m, $N_h = 110$ m²/s yukarıdaki kritere uygundur. Nisan ayı rüzgar verileri maksimum rüzgarın aynı zamanda modal rüzgar olduğunu ve DGD yönünden 4.1 m/s süratinde estiğini göstermektedir. Tablo 1'de verilen model sonuçları ve ölçümlerin karşılaştırması model sonuçlarının doğru yönde ve mertebede olduğunu göstermektedir. Ancak bunun sadece üç

Tablo 1 Nisan ayı için hesaplanan akıntılarının ölçümlerle (Dengili ,1999) karşılaştırması..

No.	Boylam (derece D)	Enlem (derece K)	Hesaplanan Akıntı		Ölçülen Akıntı	
			u (m/s)	v (m/s)	u (m/s)	v (m/s)
1	29.4035	40.8098	-0.0899	- 0.00059	- 0.1100	0.0000
2	29.8140	40.7944	-0.0653	0.14200	- 0.0200	0.1400
3	29.6555	40.8164	-0.0831	- 0.00134	- 0.1500	0.0000

noktada yapılan bir karşılaştırma olduğu unutulmamalıdır. Nisan ayı için elde edilen akıntılar Şekil 2'de gösterilmiştir. Ayrıca, Şekil 3'te de Mayıs ayında modal rüzgarın sürdüğü akıntılar verilmiştir. Diğer aylar için hesaplanan akıntılar ve göreceli serbest yüzey konumları Çehrelî'de (2000) verilmiştir.

6. SONUÇ

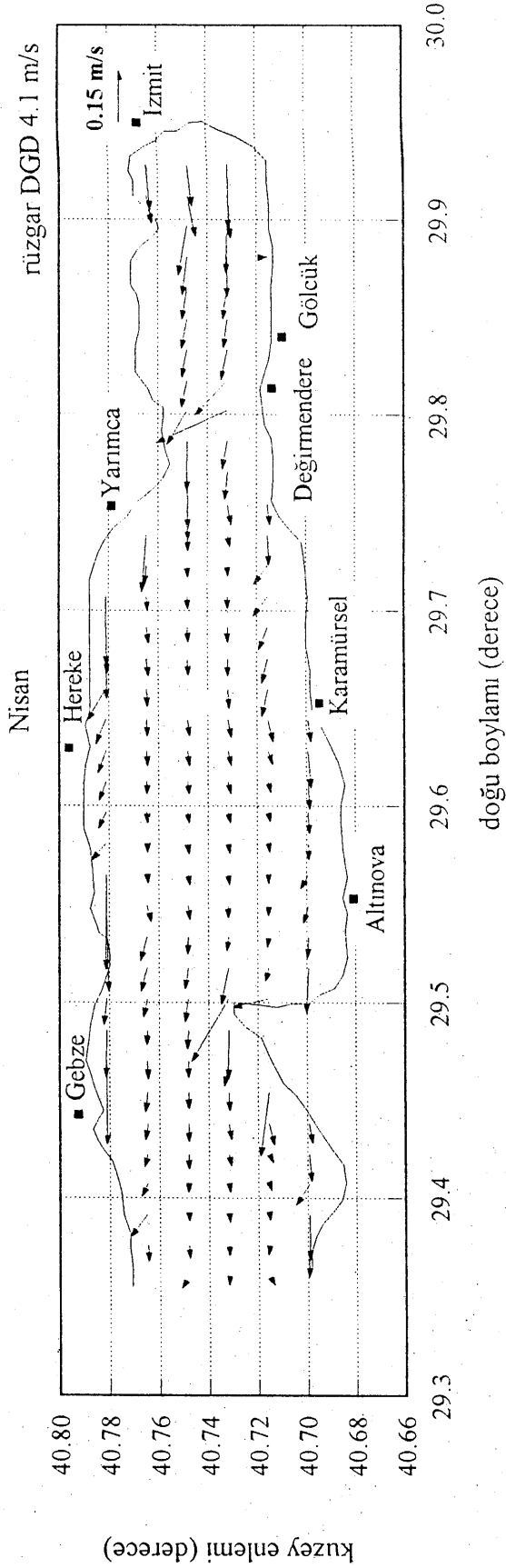
İzmit Körfezi'nin incelenmesi için başlatılan modelleme çalışmalarının ilk etabını teşkil eden bu çalışmada rüzgar tarafından sürülen akıntuların hesaplanabilmesi için derinlik üzerinde ortalanmış iki boyutlu bir sonlu hacimler modeli geliştirilmiştir. Modelin eldeki kısıtlı ölçümlerle kalibrasyonu yapılarak İzmit Körfezine uygulanmıştır. Bu haliyle modelin sadece yüzey akıntıları için beklenen yön ve büyüklükte sonuçlar verdiği söylenebilir. Daha gerçekçi sonuçlar için en azından, körfez sularının yapısına uygun olan üç katmanlı bir modele ihtiyaç vardır.

Şekil 2 ve 3'te verilen akıntı hızlarından bazılarının çevrelerindekiyle çok daha büyük olduğu görülmektedir. Ölçümler bulunmadığı için bunlardan hangilerinin gerçekte var oldukları bilinmemektedir. Ancak, nümerik modellerde kısa mesafeler üzerinde ani derinlik farklarının olduğu noktalarda veya akımın büyük miktarda yön değiştirmeye zorlandığı yerlerde bu gibi sonuçlara rastlamak mümkündür. Modelde kullanılan $800\text{ m} \times 800\text{ m}$ boyutlarındaki kaydırılmış hesaplama ağı hızların hesaplandığı noktaların arasını 1600 m yapmaktadır. Dolayısıyla, akıntuların gösterildiği şekillerde bu buyuttan küçük çevrıntilere rastlanmamıştır.

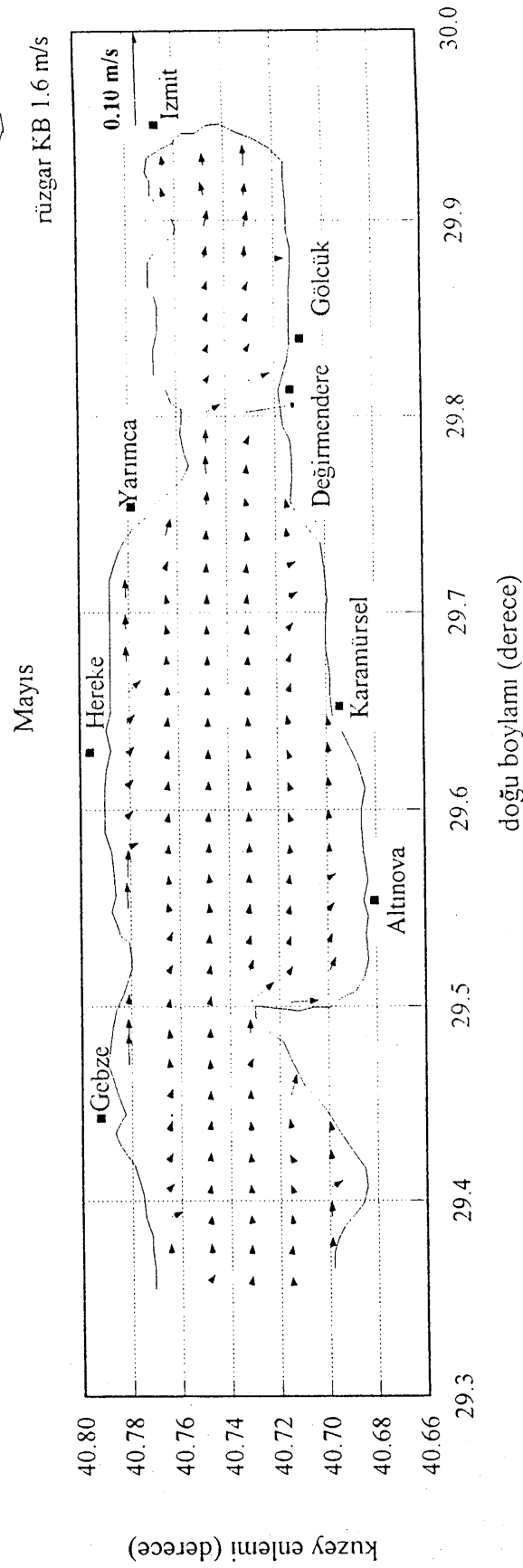
Modelin geliştirilmesinde kullanılan SIMPLEC algoritmasının güçlü yakınsama özellikleri bakımından projenin gelecekteki çalışmalarında da kullanılmasına karar verilmiştir. Burada yapılan uygulamalarda yakınsama kriteri olarak hesaplanan hızların ve serbest yüzey yüksekliğinin en fazla 0.001 değişimleri esas alınmış ve en fazla 50 iterasyonda yakınsama sağlanmıştır. Uygulamada momentum denklemlerinin sırasıyla ve birbirlerinin sonuçları kullanılmaksızın çözümleri ileride yazılması düşünülen üç boyutlu paralel algoritmalar için önem taşımaktadır. Paralel algoritmalarda her bir momentum denkleminin çözümü farklı bir işlemciye atayarak çözüm süresini düşürmek mümkün olacaktır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmada kullanılan İzmit Körfezi batimetrisini sağlayan ve değerli görüşlerini esirgemeyen Doç. Dr. Ahmet Cevdet Yalçın'er'e teşekkürlerini sunarlar.



Şekil 2. Nisan ayında maksimum (aynı zamanda en sık rastlanan) rüzgar tarafından sürülen İzmit Körfezi akıntıları.



Şekil 3. Mayıs ayında en sık rastlanan rüzgar tarafından sürülen İzmit Körfezi akıntıları.

KAYNAKLAR

- ÇEHRELİ, Z.N., (2000), A Depth Averaged Hydrodynamic Model for İzmit Bay, *Yüksek Lisans Tezi*, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- DENGİLİ, K., (1999), Water Quality Assesment of İzmit Bay by Two Dimensional Modeling, *Yüksek Lisans Tezi*, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- EKMAN, V.W., (1905), On the Influence of Earth's Rotation on Ocean Currents, *Astronomy and Physics*, c.2, no.11,s.1-53.
- GARRAT, J.R., (1977), Review of Drag Coefficients Over Oceans and Continents, *Monthly Weather Review*, c.7, no.105, s.915-929.
- GERRITSEN, H., BILJSMAN, A.C., (1988), Modeling of Tidal and Win-Driven Flow,; The Dutch Continental Shelf Model, *Computer Modeling in Ocean Engineering*, Schrefler ve Zienkiewicz (ed.), no.398, s.331-338.
- HELA, I., (1948), On the Stress of the Wind on the Water Surface, *Geophysica*, no.3, Geophys. Soc. Finland.
- KOMAR, P.D., (1976), Boundary Layer Flow under Steady Unidirectional Currents, *Marine Sediment Transport*, Wiley, s.91-106.
- KOWALIK, Z., MURTY, T.S., (1993), *Numerical Modeling of Ocean Dynamics*, World Scientific.
- NUEMANN, G., (1952), On the Complex Nature of Ocean Waves and the Growth of the Sea Under the Action of Wind, *Gravity Waves*, NBS Circular 521.
- NEUMANN, G., PIERSON, W.J., (1969), *Principles of Physical Oceanography*, Prentice-Hall.
- PALMEN, E., LAURILA, E., (1938) Über die Einwirkung eines Sturmes auf den hydrographischen Zustand im nördlichen Ostseegebiet, *Soc. Sci. Fenn. Comm. Phys.-Math.*, c.10, no. 1.
- PEDLOSKY, J., (1979), *Geophysical Fluid Dynamics*, Springer Verlag.
- REID, R.O., BODINE, R.O., (1968), Numerical Model for Storm Surges in Galveston Bay, *J. Waterway and Harbor Div.*, no.94(WW1), s.33-57.
- SCHMIDT, W., (1917), Wirkungen der ungeordneten Bewegungen in Wasser der Meere und Seen, *Ann. d. Hyd. U. Marit. Meteorology*, c.45, s.367-382,431-445.
- VERSTEEG, H.K., MALALASEKERA, M., (1995), *An Introduction to Computational Fluid Dynamics : The Finite Volume Method*, Longman.

ABSTRACT

A wind driven, depth averaged two-dimensional circulation model was developed using the finite volume method. The model was tested for different boundary geometries and wind patterns. The resulting currents were compared to those obtained from wind drift current computations and found to be in accordance with expectations. The model was calibrated using the İzmit Bay current measurements reported by Dengili (1999) for the month of April. Wind data comprising the years 1929-1999 was used to run the model.

