

DALGA ETKİSİYLE OLUŞAN KIYIYA DİK AKINTILAR : SINIR TABAKALI ÇÖZÜM

Osman S. Börekçi

Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 80815, Bebek, İstanbul

Erdem Albek

Anadolu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 26470, Eskişehir

Öz

Kıyıları şekillendiren taşınım süreçlerinin anlaşılabilmesi için ilk adım bu süreçlerde etken olan kıyı akıntılarının anlaşılmasıdır. Bu amaçla, kırılma bölgesinde dalga etkisiyle oluşan kıyıya dik yöndeki akıntıların derinlik üzerindeki dağılımları geliştirilen iki model yardımıyla incelenmiş, elde edilen sonuçlar Hansen ve Svendsen'in (1984) ve Okayasu v.d.'nin (1988) laboratuvar ölçümleriyle karşılaştırılmıştır. Geliştirilen modellerin ilkinde tabandaki sınır tabakası ihmal edilerek dalga dikliğinin ve taban eğiminin akıntı dağılımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu modelin detayları ve bulgular önceki bir yayında raporlandığından (Börekçi ve Albek, 1994) burada sınır tabakasının etkilerini de içeren ikinci modelin sonuçları ve bunların birinci model ve yukarıda bahsedilen deney sonuçlarıyla karşılaştırılması üzerinde durulacaktır.

1. Fiziksel süreçler ve model denklemleri

Dalgaların kırılmaya başladığı kırılma hattı ile kıyı arasında kalan kırılma bölgesinde dalga momentumu akısı sıfırlanırken ortalama su seviyesi artar. Momentum akısının kıyı yönünde değişmesi su kütlesine bir kuvvet tatbiki ile eşdeğerdir. Momentum akısının dalga çukuru ile dalga tepesi arasında yoğunlaştığı göz önüne alınırsa dalgaların sürdüğü akıntının yönü su kütlesinin üst tabakalarında kıyıya doğru, alt tabakalarında ise açığa doğrudur. Tabandaki sürtünme ise akıntıya karşı koyarak akıntı dağılımının özellikle taban yakınında değişmesine neden olur. Tanımlanan fiziksel süreçleri içeren model denklemi kıyı yönündeki momentum denklemdir. Bu denklem

$$\frac{\partial \bar{\tau}}{\partial z} = \rho \left[\frac{\partial}{\partial x} (\overline{u'^2} - \overline{w'^2}) \right] + \rho \frac{\partial}{\partial z} (\overline{u'w'}) + \gamma \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} \quad (1)$$

olarak ifade edilebilir. Burada x ve z sırasıyla kıyı yönünü ve düşey yönü, u' ve w' bu yönlerde dalga etkisiyle oluşan su hızlarını, ρ ve γ suyun yoğunluğunu ve özgül ağırlığını, τ kayma gerilmesini, h serbest su yüzeyi yüksekliğini, ve $(\bar{\quad})$ zaman üzerinden alan ortalamayı göstermektedir. Momentum denkleminin derinlik üzerindeki entegrasyonu ile

$$\bar{\tau}(z) = \bar{\tau}(h) - \sum_{i=1}^N \rho \left[\frac{\partial}{\partial x} (\overline{u'^2} - \overline{w'^2}) \right] \Delta z + \rho (\overline{u'w'}) \Big|_z^h + \gamma \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} (h - z) \quad (2)$$

ifadesi elde edilir. Burada h ortalama su derinliğini, $\bar{\tau}(h)$ ise bu seviyedeki kayma gerilmesini göstermektedir. $\bar{\tau}(h)$ dalga çukuru üstündeki toplam momentum akısının kıyı yönündeki değişimine eşittir. Denklem (2)'nin sağ tarafındaki ikinci terim düşey yönde N adet nokta kullanılarak yapılacak olan nümerik entegrasyonu sembolik olarak ifade etmektedir. Dalgaların

ve bunların sürdüğü akıntıların bulunduğu bir ortamda ortalama kayma gerilmesi

$$\bar{\tau}(z) = \rho \epsilon(z) \left[\frac{\partial}{\partial z} (\overline{u + u'}) \right] \quad (3)$$

ifadesi ile verilebilir. Burada u akıntı hızını, $\epsilon(z)$ ise dalga kırılmasından doğan türbülansın etkisini yansıtan edi vizkozitesini göstermektedir. Hesaplamalarda üç değişik edi vizkozitesi modeli kullanılmıştır; (a) Edi vizkozitesi sabit (EVS) : $\epsilon = 0.067 h \sqrt{\tau^* / \rho}$ (Reid, 1957), (b) Edi vizkozitesi lineer (EVL) : $\epsilon(z) = \kappa (h - z) \sqrt{\tau^* / \rho}$ (Grant ve Madsen 1979), (c) Edi vizkozitesi deneysel (EVD) : Okayasu v.d. (1988) laboratuvar deney sonuçlarından elde edilen lineer dağılım. Yukarıdaki ifadelerde τ^* dalga çukuru seviyesindeki kayma gerilmesini, κ ise von Karman sabitini göstermektedir. Dalga kırılması yüzeyde gerçekleştiğinden, tabandan yüzeye doğru artan edi vizkozitesi dağılımlarının (EVL ve EVD) daha iyi sonuç vermesi beklenir. Modelde kullanılan taban sınır tabakası ile ilgili denklemler Christofferson ve Jonsson'dan (1985) alınmıştır. Burada sınır tabakası kalınlığı, δ , ve sınır tabakası hız profili, u_b ,

$$\delta = r \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{2 \beta k_N u_*}{\omega}} \quad \frac{u_b}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{z}{z_o}; \quad z_o = \frac{k_N}{30} \quad (4)$$

olarak verilmiştir. Yukarıdaki denklemde r bir sınır tabakası sabiti (0.45 deneysel, 0.925 deneysel), β türbülans katsayısı (0.0747 (Bagnold, 1946), (Christofferson ve Jonsson, 1985), 0.0788 (Jonsson ve Carlsen, 1976)), k_N Nikuradse pürüzlülük parametresi (ondülesiz kum taban için 0.012 (Dyer, 1986)), ω ise dalga frekansınıdır. u_* , tabandaki ortalama kayma gerilmesi cinsinden $u_* = \sqrt{\tau_b / \rho}$ olarak ifade edilebilir. Sınır tabakası içinde edi vizkozitesi $\epsilon = \beta k_N u_*$ olarak alınabilir.

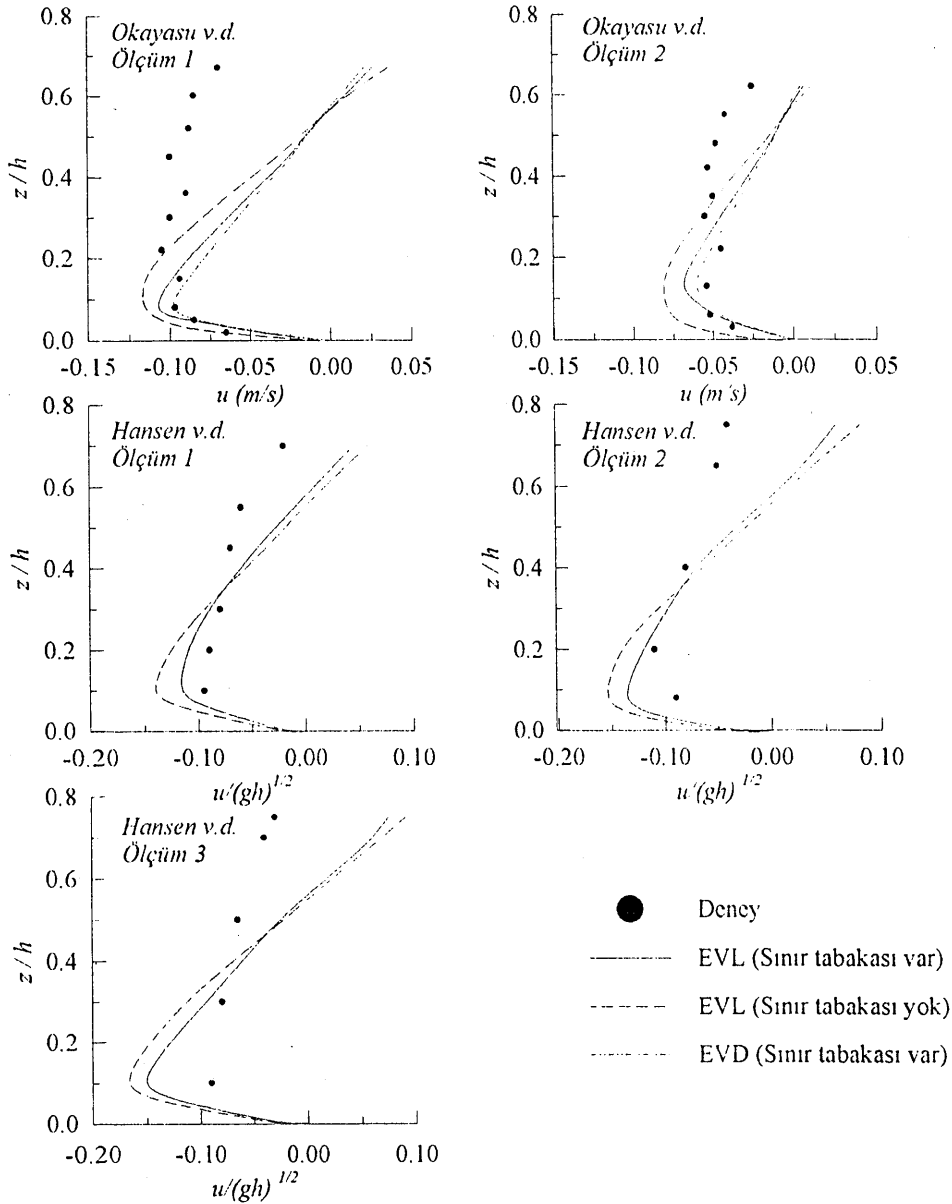
Modelde, fiziksel süreçlerin içinde yer aldığı sıg su şartlarına uygun olarak Fourier dalga teorisi kullanılmıştır. Bu teorenin detayları Fenton (1982) ile Rienecker ve Fenton (1988) 'da verilmiştir. Bu teori dalgaya ilaveten bir akıntının veya kütle akısının dahil edilmesine olanak verdiği için ve kırılma sırasında görülen dalga dikliklerine yaklaşabildiği için tercih edilmiştir.

2. Çözüm algoritması

1. Seçilen dalga özelliklerine göre Fourier dalga teorisinden akım hızları ve momentum akıları birbirine çok yakın iki derinlikte hesaplanır (sıfır kütle akısına göre). 2. Denklemlerde geçen kıyı yönündeki türevler sonlu farklarla, zaman üzerinden alınan integraller ve derinlik üzerinden alınan integraller ise nümerik entegrasyonla hesaplanır. 3. Momentum denkleminde geçen ortalama su seviyesinin kıyı yönündeki değişimi tahmin edilerek derinlik üzerinde kayma gerilmeleri bulunur. 4. Kayma gerilmelerinden yararlanarak akıntı hızları düşeyde Δz aralıklarla alınan j noktalarında tabandan yukarıya doğru $\overline{u_{j+1}} = \overline{u_j} + \tau_j \Delta z / (\rho \epsilon_j)$ ifadesi kullanılarak hesaplanır. 5. Seçilen ortalama su seviyesinin kıyı yönündeki değişiminin kontrolü için elde edilen akıntı hızları ile Fourier dalga teorisinden elde edilen hızlarla kıyı yönünde debi hesabı yapılarak sonuçlar karşılaştırılır. Debiler farklı ise 3'e dönlür.

3. Model sonuçları ve karşılaştırmalar

Geliştirilen modelden elde edilen ortalama akıntı hızları Hansen ve Svendsen (1984) ve Okayasu, Shibayama ve Horikawa (1988) laboratuvar deney sonuçları ile Şekil 1'de karşılaştırılmıştır. Bu şekilde kıyı sağdadır. Model hakkında daha ıy bir fikir verebilmek için sınır



Şekil 1. Model ortalama akıntılarının, u , deneysel verilerle karşılaştırılması. Okayasu, Shibayama ve Horikawa (1988) : $T=2s$, taban eğimi=1:20, Ölçüm 1 ($h=0.071m$, $H=0.05m$), Ölçüm 2 ($h=0.04m$, $H=0.028m$). Hansen ve Svendsen (1984) : $T=2s$, taban eğimi=1:34.25, Ölçüm 1 ($h=0.087m$, $H=0.05m$), Ölçüm 2 ($h=0.102m$, $H=0.067m$), Ölçüm 3 ($h=0.123m$, $H=0.081m$)

tabakasız modelin sonuçları da gösterilmiştir. Beklendiği gibi, model yüzeye yakın bölgede kıyıya doğru, daha aşağılarda ise açığa doğru akıntılar yaratmıştır. Bu akıntılar derinliğin azalmasıyla beraber azalmaktadır. Edi vizkozitesi modellerinden EVL ve EVD en iyi sonuçları vermiştir. Akıntı hızları taban eğimi ve dalga dikliğinin artması ile artmaktadır (Börekçi ve Albek, 1994). Sınır tabakasının etkisi beklediği gibi akıntı hızlarını düşürmüştür ve model sonuçlarını tabana yakın kısımlarda verilere yakınlaştırmıştır. EVD'nin kullanıldığı

hesaplamalarda bu uyum daha da iyi olmaktadır. Bütün karşılaştırmalarda $z/h > 0.4$ için model sonuçları ile veriler arasındaki farkların arttığı görülmektedir. Bunun nedeni modelin bu bölgedeki yetersizliği olabileceği gibi, kırılma sonucunda bu bölgede oluşan hava kabarcıklarının ölçümlere getirdiği hatadan da olabilir.

4. Daha iyi bir model

Model genelde iyi sonuçlar vermekle beraber geliştirmeye açıktır. Kullanılan dalga teorisi, birçok dalga teorisi gibi, yatay tabanlar için geçerli bir teoridir. Modelde taban eğimi tabanda süreklilik denklemi kullanılarak momentum denklemine dahil edilmiştir (Börekçi ve Albek, 1994). Eğimli tabanlar için geliştirilmiş ve taban sınır tabakasını da içeren bir dalga teorisinin modelde kullanılması daha iyi sonuçlar verebilir. Dalga kırılmasının çeşitli şekillerde gerçekleştiği göz önüne alınırsa daha iyi bir modelin değişik kırılma tiplerini veya değişik edivizkozitesi modellerini içermesi gerekir. Model sonuçlarının karşılaştırılması için daha geniş bir veri tabanında ihtiyaç vardır.

Kaynaklar

Bagnold, R.A., "Motion of Waves in Shallow Water: Interaction of Waves and Sand Bottoms", *Proc. Roy. Soc. Lond.*, A187, p.1-15, 1946.

Börekçi, O.S., Albek, E., "Modelling Cross-shore Currents in the Surf Zone", *The Second Course on Coastal Engineering*, Yıldız Technical University, p.87-115, 1994.

Christoffersen, J.B., Jonsson, I.G. "Bed Friction and Dissipation in a Combined Current and Wave Motion", *Ocean Engineering*, v.12, no.5, pp.387-423, 1985.

Dyer, K.R., "Coastal and Estuarine Sediment Dynamics", John Wiley & Sons, 1986.

Fenton, J.D. "The Numerical Solution of Steady Water Wave Problems", *Computers & Geosciences*, v.14, No.3, pp. 357-368, 1988.

Grant, W.D., Madsen, O.S., "Combined Wave and Current Interaction with a Rough Bottom", *Journal of Geophysical Research*, v.84, p.1707-1808, 1979.

Hansen, J. B., Svendsen, I.A., "A Theoretical and Experimental Study of Undertow", *Proc. 19th Int. Conf. Coastal Eng.*, chap.151, p. 2246-2262, 1984.

Jonsson, I.G., Carlsen, N.A., "Experimental and Theoretical Investigations on an Oscillatory Turbulent Boundary Layer", *J. Hydr. Res.*, v.14, p.45-60, 1976.

Reid, R.O., "Modification of the Quadratic Bottom Stress Law for Turbulent Channel Flow in the Presence of Surface Wind Stress", *Beach Erosion Board Tech. Memo.* no.93, 1957.

Rienecker, M.M. and Fenton, J.D. "A Fourier Approximation Method for Steady Water Waves", *Journal of Fluid Mechanics*, v 104, pp. 119-137, 1982.

Okayasu, A., Shibayama, T., Horikawa, K., "Vertical Variation of Undertow in the Surf Zone", *Proceedings of the of the 21st Coastal Engineering Conference*, Costa del Sol, Malaga, Spain, pp. 478-491, 1988.