

KIYI HİDROLİĞİ

**KIYI MÜHENDİSLİĞİ PROBLEMLERİNDE
FİZİKSEL VE SAYISAL MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Dr. Kazuo MURAKAMI

**DLH İnşaatı Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Liman Hidrolik Şube
Müdürlüğü, Liman Hidrolik Araştırma Projesi Japon Baş Danışmanı Serpmeler No:3
Macunköy/ANKARA**

Tel: 0312-397 33 50 Fax:0312-397 35 07

E-posta: jphrcpaada.net.tr

ÖZET

Bu makale; dalga, akıntı, su kalitesi ve kum hareketleri için yapılan fiziksel ve sayısal modellemelerin karşılaştırılmasını açıklamaktadır. Bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler bir çok kıyı mühendisliği problemlerinde sayısal modellerin kullanılmasına olanak sağlamıştır. Bu makalede yazar, sayısal ve fiziksel modellerin günümüzdeki durumlarını ve karakteristiklerini özetlemiştir. Sonuç olarak, sayısal modellerin uygulamalarda fiziksel model deneylerine oranla biraz daha pratik oldukları görülmüştür. Ancak iyi sonuçlar elde edebilmek için her iki modelinde birlikte kullanılması gereklidir.

1. GİRİŞ

Kıyı mühendisliği problemlerinde benzeşim teknikleri olarak, fiziksel model deneyleri ve sayısal benzeşimler olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır. Fiziksel model deneyleri çok uzun bir geçmişe ve hidrolik davranışı tarif etmede bir çok deneyime sahiptir. Bu nedenle fiziksel model deneylerinin güvenilirliği çok fazladır. Prototipte hidrolik davranışı doğru oluşturabilmek için, fiziksel modelin, modelin benzerlik kuralına uyması gerekir. Genel olarak hidrolik model deneylerinde Froude Benzeşim Kanunu uygulanır. Genellikle fiziksel modelleme, küçültülmüş ölçekler ve bazende küçültülmüş ve bozuk ölçeklerle (Yatay ve düşey ölçeği farklı) yapılır. Küçültülmüş veya bozuk ölçeklerde hidrolik davranışın denklemlerine ilişkin bazı terimler oluşturulamaz veya zorunlu olarak ihmal edilirler.

Son zamanlarda bilgisayarlı hidrolik teknikleri oldukça gelişmiştir. Son otuz yılda PHRI'daki (Kıyı ve Liman Araştırma Enstitüsü, Ulaştırma Bakanlığı, Japonya) bilgisayarların işlem hızı 10^6 kere, hafıza kapasiteleri de 10^4 kere gelişmiştir. Bilgisayar kapasitesindeki artışla birlikte bir çok benzeşim teknikleride geliştirilmiştir. Bu günlerde hidrolik mühendisliği problemleri pratik olması nedeniyle genellikle sayısal benzeşim teknikleri kullanılarak araştırılmaktadır.

2. Fiziksel ve Sayısal Modellerin Karşılaştırılması

2.1. Dalga Modellerinin Karşılaştırılması

2.1.1. Dalganın Fiziksel Modeli

Deniz kenarında durduğunuzda, açık denizden sahile gelen dalgaların sürekli olduğunu ve sanki düzenli olduklarını görürsünüz. Ancak aslında dalgalar çok değişik yönlerden gelirler, yükseklikleri ve periyotları çok değişiktir ve dolayısıyla sahile gelen dalgaların şiddeti ve periyodu düzensizdir. Bu yüzden gerçek denizdeki dalgalar çok yönlü düzensiz dalgalardır. İstatistiksel olarak deniz dalgaları Bretschneider-Mitsuyasu tipi frekans enerji spektrumu ve yönsel dağılım fonksiyonları ile açıklanmaktadır (1).

Dalgaların fiziksel model deneyleri çok uzun zamandır yapılmaktadır. Başlangıç aşamalarında, tek yönlü düzenli dalgalar kullanılırdı. Düzenli dalgalarda, sadece bir temsili dalga yüksekliği ve periyodu düzenli olarak üretilmekteydi. Düzensiz dalgaların düzenli dalga olarak temsilinde düzensiz dalganın istatistiki değeri olan belirgin dalga yüksekliği ve periyodu değerleri kullanılırdı.

Yaklaşık 30 yıl önce PHRI'da düzensiz dalga üreticileri kullanılmaya başlandı Çünkü belirgin dalga yüksekliği ve periyodu her zaman önemli dalga özelliklerini temsil etmezler, örneğin kıyı yapıları maksimum dalga yüksekliği gibi büyük dalgalarda hasara uğrarken belirgin dalga yüksekliğinde bu hasarlar oluşmayabilir.

Yaklaşık 15 yıl önce PHRI'da çok yönlü düzensiz dalga üreticileri kullanılmaya başlandı. Bir liman içindeki dalga çalkantısı için, liman içine ilerleyen dalganın yönü çok önemli bir faktördür. PHRI çok yönlü dalga üreticilerine sahip değilken, değişik dalga yönlerinin etkilerini inceleyebilmek için tek yönlü dalga üreticilerinin yerlerini değiştirmek gerekiyordu.

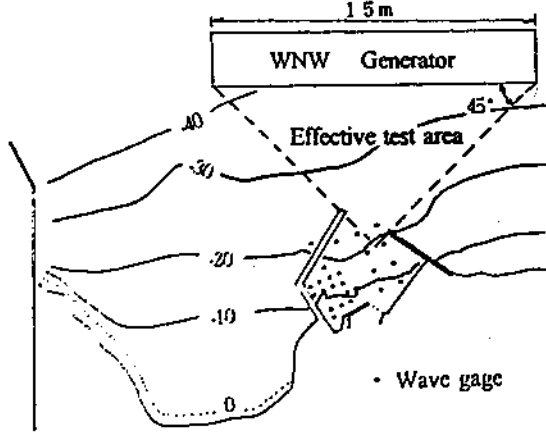
Tablo 1.de dalganın temsili fiziksel model deneyleri ve kullanılan ekipmalar ve dalga özellikleri gösterilmektedir. Şüphesiz kıyı erozyonu veya kumlanma (sedimentasyon) problemlerinin araştırılması amacıyla oluşturulan fiziksel model deneylerinde çok yönlü dalga üreticilerini kullanabiliriz. Ancak bu problemlerin araştırılmasında tek yönlü düzensiz dalgalarda yeterli olmaktadır.

Şekil 1.de PHRI tarafından bir liman içi çalkantı analizi için gerçekleştirilen 3 boyutlu dalga baseni gösterilmektedir. Şekil 2.de bir liman içindeki dalga yüksekliklerinin tek yönlü ve çok yönlü dalgalar için deneysel sonuçlarının karşılaştırılması gösterilmektedir (2). Limanın iç kesimlerinde, tek yönlü dalgaların oluşturduğu dalga yükseklikleri çok yönlü dalgalara göre daha düşüktür. Limanın iç kesimlerindeki dalga yüksekliklerinin deneysel sonuçları tek yönlü dalgalar daha düşük çıkmaktadır. Bu yüzden bir liman içindeki çalkantı analizi için dalga yönünü iyi belirlemeliyiz. Yukarıdaki nedenlerle çok yönlü düzensiz dalga üreticileri, çalkantı analizlerinin fiziksel model deneyleri için çok kullanılması gerekmektedir.

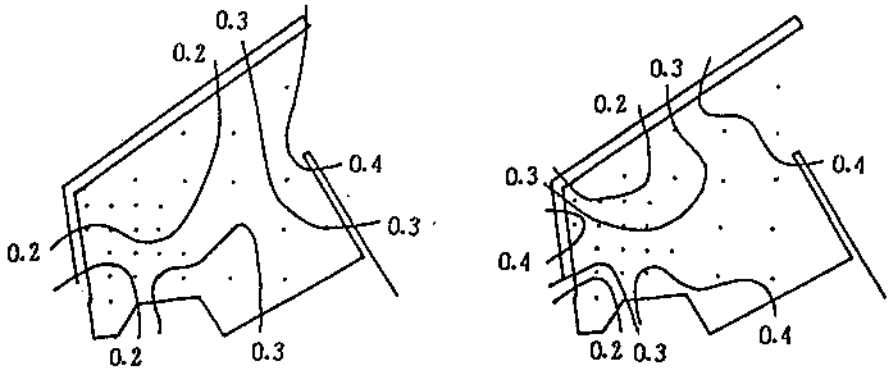
Çok yönlü dalga üreticilerinin çeşitli problemleri vardır. Şekil 1. deki kesik çizgilerle belirlenen alan, üretilen dalganın beklenen periyot ve yönsel enerji dağılımına uygun dalga

Tablo 1. Dalgaların fiziksel model deneyleri ve bunların dalga özellikleri

Deneyin Amacı	Basen veya Kanal	Dalgalar
Liman içi dalga çalkantısı analizi	Üç boyutlu basen modeli	Çok yönlü düzensiz dalga
Kıyı yapıları stabilite analizleri	İki boyutlu dalga kanalı	Tek yönlü düzensiz dalga
Kıyı erozyonu veya sedimentasyon	Üç boyutlu dalga baseni	Tek yönlü düzenli dalga



Şekil 1. Çok yönlü dalga üreticisine sahip üç boyutlu dalga baseni (PHRI)



Şekil 2. Tek yönlü dalgalarla (solda) çok yönlü dalgaların (sağda) liman içindeki dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması

özelliklerinin elde edildiği etkili test alanıdır. Bölgenin dışında, dalga üreticilerinin sıklığındaki kısıtlamalara bağlı olarak dalganın yönlü yayılımı daralmaktadır. Bölgenin dışındaki liman içi çalkantıyı tahmin edebilmek için bazı sayısal tekniklerin kullanılması gerekmektedir.

2.1.2. Dalganın Sayısal Benzeşimi

Dalgalar açık denizden sahile gelirken, kırılma, yansıma ve dönme gibi nedenlerle değişime uğrarlar. Limanların planlanmasında liman içi çalkantının tahmin edilmesi çok önemlidir. Tablo 2.de gösterildiği gibi çeşitli sayısal dalga modelleri hazırlanmıştır.

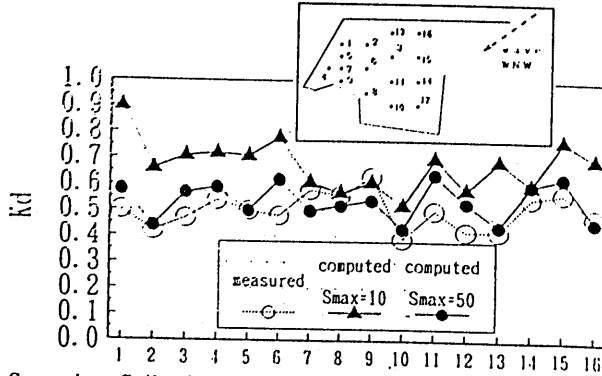
Liman içindeki çalkantı analizleri için Takayama'nın dönme modeli (3) Japon Liman Yapım Bürosu tarafından sıkça kullanılmaktadır. Bu model, Sommerfeld tarafından çözülen yarı sonsuz düzlemde ışık demetinin dönmesine dayanmaktadır. Sommerfeld'in analitik çözümünü liman içi dalga çalkantı analizine uygulamıştır. Bu yüzden Takayama'nın modelinde taban topoğrafyasının değişimi göz önüne alınmamaktadır.

Şekil 3. Takayama'nın sayısal benzeşim modeli ile fiziksel deney modeli arasındaki liman içindeki dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması gösterilmektedir. Şekilden, fiziksel model sonuçlarının uyumlu olduğu görülmektedir. Hafif eğim denklemi, Bousinesq denklemi ve liner olmayan dağılım dalga modelleri gibi diğer modellerle taban topoğrafyasındaki derinlik değişimi kontrol edilebilir. Beji ve Nadaoka'ya göre (4) hafif eğim denklemi dalga transformasyonunun liner olmayan etkisini irdeleyemez ve Bousinesq denkleminde hem liner olmayan hem de dağılımlı dalga özelliği kontrol edilebilir fakat model sadece uzun dalgalar uygulanabilir. Diğer taraftan, Beji ve Nadaoka'ya tarafından geliştirilen yeni model tam dağılımlı ve liner olmayan dalga özelliklerini de gözönüne alınmaktadır.

Fiziksel modelde dalga üreticilerinin genişliği Şekil 1.de görüldüğü gibi sınırlandırılmıştır. Liman girişi etkili test alanı dışında kalırsa fiziksel modelde oluşturulmak istenen dalganın dağılım parametresi $S_{max}=50$ yi bu alanın dışında kalır ise $S_{max}=10$ olarak oluşabilmektedir. Bu açıdan sayısal model pratik amaçlarda fiziksel modelden biraz daha iyidir, çünkü sayısal benzeşim fiziksel modelle karşılaştırıldığında, daha geniş bir alanı ve bir çok durmunda incelenmesine imkan vermektedir.

Tablo 2. Çeşitli sayısal dalga modelleri

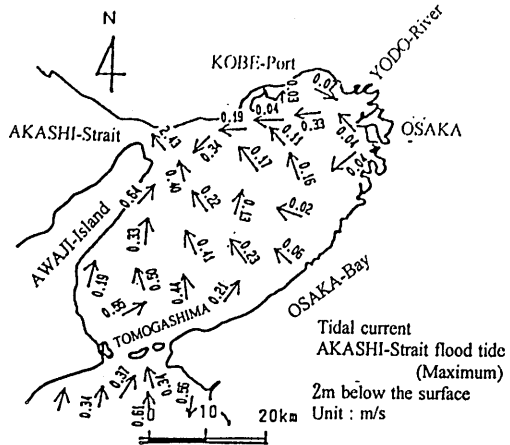
Dalga Modeli	Sahibi
Dalga ray metodu	(Keller, 1958) Sığlaşma, Sapma
Enerji denge denklemi	(Karlsson, 1969) Sığlaşma, Sapma
Helmharz denklemi	(Gaillard, 1984) Kırınım, Yansım
Takayama metodu	(Takayama, 1981) Kırınım, Yansım
Hafif eğim denklemi	Berkoff, 1972 Kırınım, Yansım, Sapma
Bousinesq Denklemi	(Peregrine, 1967) Kırınım, Yansım, Sapma
Çizgisel olmayan dağılım dalga modeli	(Nadaoka ve diğerleri, 1983) Kırınım, Yansım, Sapma



Şekil 3. Sayısal ve fiziksel modellerle dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması:

Tablo 3. Akıntının fiziksel modelinde kullanılacak ölçek oranları

	Scale ratio
horizontal scale	$L_r = 1 / 2000$
vertical scale	$H_r = 1 / 158$
time scale	$T_r = \frac{L_r}{V_r} = 1/158$
velocity scale	$V_r = H_r^{1/2} = 1/12.6$
Coriolis' force	$F_r = \frac{1}{T_r} = 158$
Manning's roughness	$n_r = \frac{H_r^{3/2}}{L_r} = 1/0.66$
horizontal diffusion coef..	$K_{x_r} = L_r^{4/3}$
amount of discharge	$Q_r = L_r H_r^{3/2}$



Şekil 4. Gelgit akıntısının fiziksel model deney sonuçları (Osaka Körfezi Modeli)

2.2 Akıntı Modellerinin Karşılaştırılması

2.2.1. Akıntının Fiziksel Modeli

Akıntı için yapılan fiziksel modellerinde uzun bir geçmişi vardır. Kapalı bir körfezde akıntı, gel-git etkisi ile oluşur. Uzun dalganın su zerreciğinin hareketi düşey yönde üniformdur, bu yüzden gel-git akıntısı için fiziksel modelde ortalama derinlikli iki yönlü akış özelliği gözönüne alınır. Fiziksel modelde gel-git akıntısını oluşturabilmek için fiziksel modelde kullanılacak denklemlerin prototipte elde edilenlerle aynı olması gerekir.

Froude benzeşim kanunu kullanarak, Tablo 3.de gösterilen ölçek oranları elde edilmiştir. Şekil 4. PHRI'da yapılan Osaka körfezindeki gel-git akıntısının fiziksel model deneyinin sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlar saha ölçüm sonuçlarıyla uyumludur. Deneyimlerimize göre ortalama derinlikli gel-git fiziksel modelde, prototipteki gelgit akıntısının etkileri oluşturulabilir (5).

Gel-git akıntısı yoğunluk farkıyla ve rüzgar etkisiyle gelişir. Fiziksel model deneyleri için, yoğunluk akıntısını ve rüzgar kaynaklı akıntıyı göz önüne almak çok zordur. Yazları, modeldeki yüzey suyu yüksek atmosferik sıcaklıkla ısınır ve su sıcaklığındaki bu fark modelde yoğunluk akıntısı oluşturur. Büyük ölçekli deney odasında klima sistemi olmadan basendeki modelin su sıcaklığını kontrol etmek zordur.

Ayrıca corioli etkiside göz önüne almakta zordur. Fiziksel modelde corioli etkisini hesaba katmak için, büyük ölçekli model, zamana bağlı olarak dönderilecek şekilde basen içine yerleştirilmelidir. Normal olarak fiziksel modelde corioli etkisi ihmal edilebilmekte ve prototipteki akışın özelliklerine göre modelde yapay pürüzlülükler oluşturularak akıntı uyumu sağlanabilmektedir.

2.2.2 Akıntının Sayısal Modeli

Gel-git akıntı hesapları sonlu eleman veya sonlu fark sayısal teknikleri ile yapılır. ADI(Yönsel etki düzenleyici) yöntemi gel-git akıntısını sonlu fark yöntemi ile hesaplanması en yaygın kullanılan tekniktir (6). Düşey akıntı hız profiline düzenliliğine ve düşük

kapasiteli bilgisayarlar ile, ortalama derinlikli iki boyutlu model başlangıç aşamalarında yaygın olarak kullanılırdı. Şekil 5. Osaka körfezinde ortalama derinlikli iki boyutlu sonlu fark yöntemi ile bilgisayar ile hesaplanmış gel-git akıntısı sonuçları gösterilmektedir. Zamanımızda bile gel-git akıntısı çivarındaki dalgakıranlar veya denizin doldurularak düzenlenmesi gibi yapıların etkilerini belirlemek için ortalama derinlikli iki boyutlu model etken bir şekilde kullanılmaktadır.

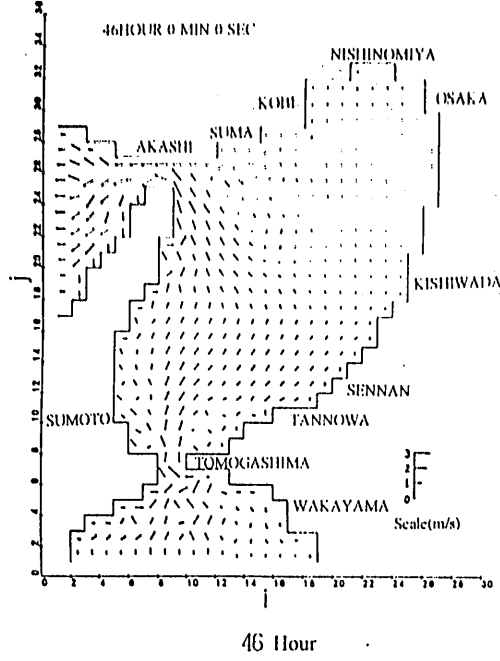
Su kalitesi problemleri ile ilgilenirken yoğunluk akıntısı, rüzgar kaynaklı akıntı veya taban suyu veya tabana malzeme girişi gibi akıntılarda düşey yapılar çok önemli rol oynarlar. Bu yüzden akıntıya ait üç boyutlu modeller geliştirilmiştir. Üç boyutlu akış modelleri olarak Şekil 6. da görüldüğü gibi 3 tip model vardır. Birincisi çok tabakalı model ikincisi düşey dar kordinat modeli ve üçüncüsü ise polinom tahmin veya spektral yöntemidir. Sayısal benzeşim sadece gel-git etkisiyle oluşan gel-git akıntısını gözönüne almaz bununla birlikte yoğunluk akıntısını ve rüzgar kaynaklı akıntıyı da gözönüne alır.

Başlangıç aşamalarında, konfigürasyonlar karelajlama ile yapıldı bu yüzden eğik çizgiler sabit mesafeli aralıklardaki doğrularla gösterilirdi. Konfigürasyonların yanlış oluşturulması akıntı sonuçlarında hatalı olmasına neden olur. Konfigürasyonun yanlış belirlenmesinden kaçınmak için, sonlu eleman yönteminde gelişmiş üçgenler veya kareler veya eğri liner koordinat sistemleri kullanılır (7).

2.3. Su Kalitesi Modellerinin Karşılaştırılması

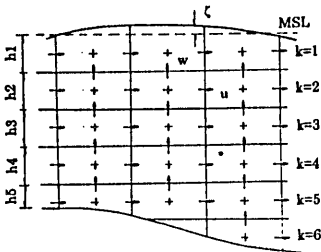
2.3.1. Su Kalitesinin Fiziksel Modellenmesi

Genelde COD(kimyasal oksijen ihtiyacı) veya DO (çözülmemiş oksijen) gibi su kalitesi belirteçleri konservatif olmayan malzemelerdir. Konservatif olmayan malzemeleri fiziksel modelde düşünmek çok zordur. Bu nedenle fiziksel modeller kirlenmiş malzemelerin yayılmasını konservatif malzemeler gibi ele alınırlar Fiziksel model deneylerinde konservatif olmayan malzemeler ile sadece bir makele ilgilenmiştir. Burada kirlenmiş malzemenin birinci dereceden bozulma oranı ile öldüğü varsayılmıştır.



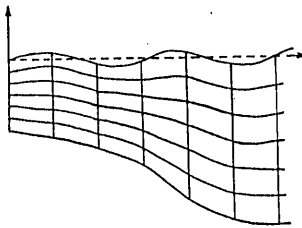
Şekil 5. Gelgit akıntının sayısal benzeşim sonuçları (Osaka Körfezi)

Leendertse , Horie



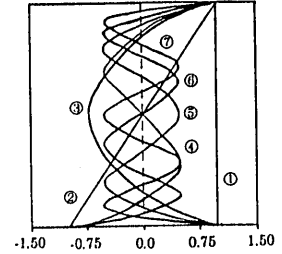
a) çok katman

Blumberg , Sheug



b) stretched coordinate

Davies , Gordon
(spectral method)
(Legendre polynomials)



c) polynominal expression

Şekil 6. Üç boyutlu akış modeli

Kirlenmiş malzemelerin yatay dağılımlarında dalgakıran, deniz dolgusu gibi deniz yapılarının etkilerini tahmin etmek için akıntıyla taşınım ve akış türbülansı ile yayılma en önemli faktörlerdir. Bu yüzden fiziksel model deneylerinde konservatif malzemelerin oluşturulacak deniz yapılarının varlığında veya yokluğunda malzeme yayılımlarındaki farkları belirlemede yeterlidir.

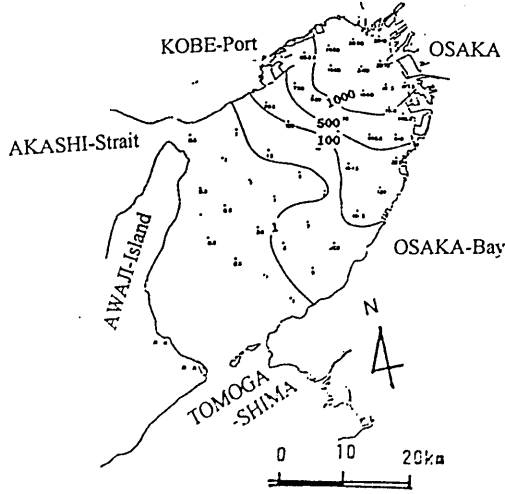
Şekil 7. Osaka körfezinin modelinde yapılan fiziksel model deneyi ile belirlenen dye tracer'in konsantrasyon dağılımını göstermektedir. Bu deneyde Japonya'da su kalitesi belirteci olan COD yerine flöresan dye tracer kullanılmıştır. Osaka körfezinde dye tracer'in yayılım yoluyla COD'nin değerine çok benzerdir, fakat prototipte dye tracer miktarı COD miktarından daha düşüktür. Bu açılarından su kalitesi tesbitinde kirlenmiş malzemenin yayılımını belirlemek için fiziksel model deneyleri kullanışlıdır.

2.3.2. Su Kalitesinin Sayısal Modellenmesi

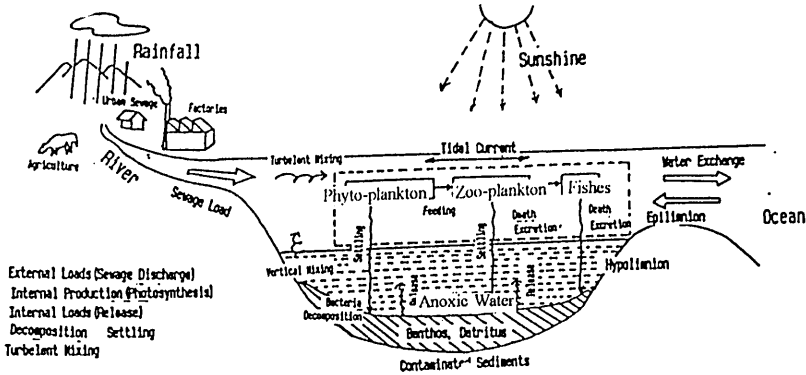
Deniz kıyılarındaki güncel su kalitesi problemi eutrofikasyon veya anoksik su yapısı problemleridir. Bu problemleri belirleyebilmek için, deniz kıyılarındaki su kalitesi üzerinde organik maddelerin büyük bir etkisi vardır. Şekil 8. deniz kıyılarındaki eutrofikasyon veya anoksik su yapısının şematik mekanizmasını göstermektedir. Çevre alandaki nutrient tuzlar kapalı deniz kıyılarına taşınırlar.

Nutrient tuzlar yüzeyde güneş enerjisi ile oluşan fotosentezle faydalı hale gelirler, sonra phyto-plankton gibi organik maddeler ve diğer ve diğer bitkiler oluşurlar. Bu işlemden oksijen yüzey tabakalardaki fotosentezle oluşur. Alt tabakalarda ise güneş ışığı geçemez, bu yüzden organik malzemeler oksijeni taban suyundan alırlar. Yazları, deniz kıyılarındaki düşey karışım düşey yoğunluk dağılımından dolayı çok az olur, bu yüzden taban seviyelerinde anoksik su yapısı oluşur.

Su kalitesi için sayısal modeller Tablo 4. de görüldüğü gibi dört aşamaya ayrılırlar. Birinci aşamada model sadece malzemenin konveksyonu ve difüzyonu ile ilgilendirilir. Bu durumda malzeme konservatif malzeme gibi tahlil edilir. İkinci aşamada DO ve BOD'nin (Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı) etkisi göz önüne alınır ve birinci derece bozulma konservatif olmayan tahlil olarak değerlendirilir.



Şekil 7. Madde dağılımı fiziksel model deney sonucu (Osaka Körfezi Modeli)



Şekil 8. Eutrofikasyon ve anoksik suyun mekanizması

Tablo 4. Su Niteliği Modelinin Sınıflandırılması

Level	Model	Property
First level	Convection-Diffusion Model	Conservative material is treated.
Second level	BOD - DO Coupling Model	BOD is decomposed by oxidation. Oxygen is supplied by reaeration.
Third level	Nutrient Cycle Model	Nitrogen and/or phosphorus cycle Primary production is considered.
Fourth level	Ecological Model	Ecological system of plants and animals are considered.

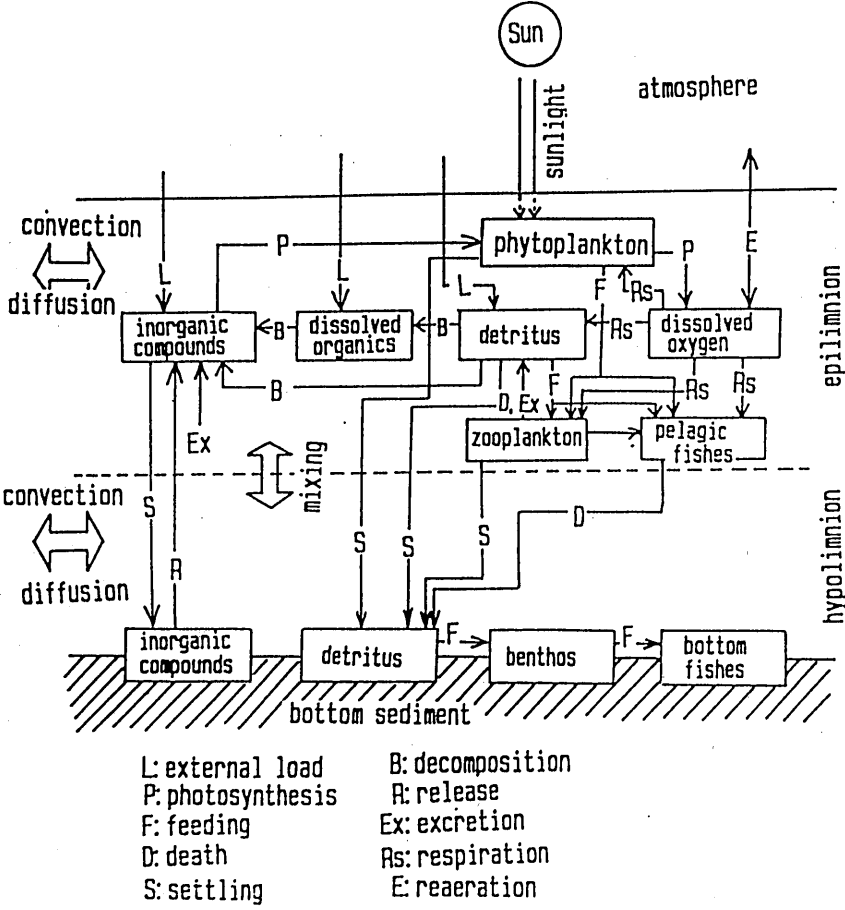
Günümüzde kapalı deniz kıyılarında eutrofikasyon veya red tide gibi su kalitesi problemleri çok karmaşık sayısal modellerle irdelenir. Şekil 9. nutrient dönüşümü sayısal model kavramını göstermektedir. Modelde, fotosentezle organik malzemelerin üremesi, respirasyon ile organik malzemelerin dekompozisyon, zoo-plankton veya pelagic balıklar ile beslenme, ölüm, çökme, yeniden oluşma, ayrılma ve yeniden havalanma, konveksiyon ve difüzyon gibi fiziksel davranışlar olarak algılanırlar. Üçüncü aşamada su kalitesini benzetmek için nutrient tuzlar çevrimi gözönüne alınmıştır. En-gelişmiş su kalitesi modeli ekolojik modeldir. Su kalitesi çevresel etkileşimi için ilgilenilen alanın ekolojisi en önemli faktördür. Ekolojik modelde, phyto-plankton, zoo-plankton, pelajik balık, kuşlar v.s. gibi birçok oluşumlar göz önüne alınır (8). Nutrient dönüşüm veya ekolojik modelin çözümü için bir çok denklem, ilgilifonksiyon ve birçok ampirik sabitler vardır. Bu nedenle model çok karmaşık ve kapsamlı hale gelmektedir.

2.4 Sediment Taşınım Modellerinin Karşılaştırılması

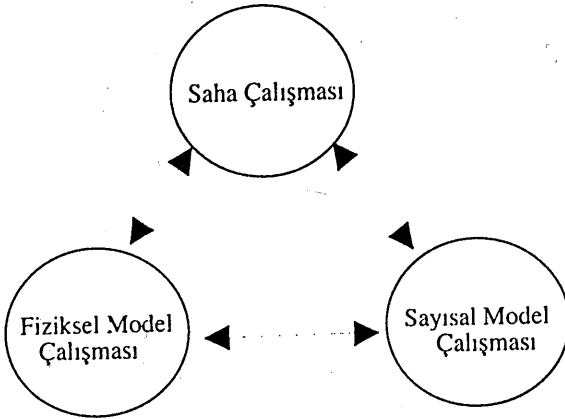
2.4.1. Sedimet Taşınımının Fiziksel Modeli

Kıyı boyunca oluşan en önemli problemlerden biri kıyı erozyonu veya kumlanmadır (sedimentasyon). Sedimet taşınımına ait fiziksel model uzun bir geçmişe sahiptir ve problemlerin pratik çözümlerinde bir çok deneyime sahiptir, ancak, hala deneylerde kullanılan benzerlik kanunu tam olarak gerçek durumu yansıtamamaktadır.

Kıyı erozyonu veya kumlanmaya ait fiziksel model deneylerinde homojen doğal kumlarla oluşturulan hareketli taban modeli kullanılmaktadır. Froude Benzeşim Kanununa göre oluşturulan model ölçeğinde kum tanesinin çapı oldukça küçük olmaktadır. Dolayısıyla çapın çok küçük olması halinde kum tanesi kil veya silt tanesine dönüşmektedir. Bu yüzden kıyı erozyonu veya kumlanma problemlerini inceleyen fiziksel model deneylerinde kumu kullanmamız gerekmektedir. Kum dalga etkisiyle askıya alınmakta ve yine dalganın etkisiyle kıyıya paralel olarak oluşan akıntıyla taşınmaktadır. Kıyı erozyonu veya kumlanma problemlerinde kumun hareketi ve taşınması hareketlerinin yönünü belirleyen en önemli faktör etken dalganın yönüdür.



Şekil 9. Nutrient dönüştürme matematisel modeli



Şekil 10. Arazi, fiziksel ve sayısal modelleme çalışmalarındaki ortak ilişki

Kum taşınımı model deneylerinde tek yönlü düzenli veya düzensiz dalgalar kullanılmaktadır. Model deneyinde zaman ölçeği olarak, prototipteki kıyı değişimi süresiyle fiziksel modele uygulanacak dalganın süresi arasındaki ilişki temel alınmaktadır. Model deneyinde geriye dönük kıyı hattı değişimi oluşturulduğu zaman, ileriye yönelik kıyı hattı değişimide doğal olarak doğru bir şekilde tahmin edilmiş olabilecektir.

2.4.2. Kum Taşınımının Sayısal Modeli

Şuan bile kum taşınımının mekanizması tam olarak aydınlatılamamıştır, dolayısıyla kum hareketiyle ilgili olarak çok fazla sayısal model bulunmamaktadır. Tek hat teorisi (One-line)(9) kıyı hattı değişiminin belirlenmesinde en bilinen ve en çok kullanılan bir sayısal modeldir. Tek hat teorisinin içeriği çok zor değildir, çünkü modelde kullanılan denklem sadece kumun kütle korunumu denklemdir. Tek hat teorisile kıyı hattı değişiminin tam olarak tahmin edilmesi için, kıyı hattı boyunca kum taşınımı oranı ve modelde uygulanacak dalga enerjisinin doğru olarak bilinmesi gerekmektedir.

Tek hat teorisi, sadece kıyı hattı değişiminde kullanılmakta olup, taban topoğrafyasındaki değişimi vermemektedir. Modelde, taban topoğrafyası profili önceki profilin aynısı olup sadece kotları farklı olmaktadır. Son zamanlarda bir çok araştırmacı taban topoğrafyasındaki değişimide içeren üç boyutlu modellerin geliştirilmesi üzerinde çalışmaktadırlar, ancak şüana kadar iyi bir model bilmemekteyiz çünkü dalganın kırılma bölgesindeki kum taşınımının mekanizması tam olarak aydınlatılamamıştır.

3. Karşılaştırmalar ve Değerlendirmeler

3.1. Karşılaştırmalar

Bölüm 2. de iki modelin karşılaştırılması yapılarak herbir modelin avantajları ve dezavantajları herbir probleme göre veya modele göre değiştiği açıklandı. Bu bölümde iki modelin bu açıdan net bir şekilde karşılaştırılması yapılacaktır.

Tablo 5.de fiziksel ve sayısal modellerin karşılaştırılması yapılmaktadır. Bu tablo genellikle gel-git akıntısı ve su kalitesi benzeşim modellerini içermekle birlikte diğer

Tablo 5. Fiziksel ve sayısal modellerin karşılaştırılması
(Genellikle gel-git modeline göre)

	Fiziksel Model	Sayısal Model
Ölçek	Model ölçeği Düzgün Bozuk	Gerçek ölçek düzgün
Boyut	Üç boyutlu bozuk etki	İki boyutlu (tek tabaka) Üç boyutlu (çok tabaka)
Konfigrasyonun tanımlanması	Tamamen güvenilir	Kaba tanım (Karelaajlama) İyileştirilmiş (FEM, Curve-linear)
Sınır koşulları	değişken şekillerin oluşturulması (gel-git akıntır) zordur	Değişken şekillerin oluşturulması (gel-git akıntı) kolay
Nehir çıkışı	Zor değil	Kolay
Coriolis' güç	Genellikle ihmal edilir	Kolay
Taban sürtünmesi	Deneme yanılmayla ayarlanıyor	Davranışı kolay ancak değer bilinmiyor
Sınırdaki değişim oranı	Dikkate almak çok zor	Dikkate almak kolay ancak değer bilinmiyor
Yeniden üretilebilirlik	Birçok faktörün etkisi (göreceli olarak zor)	Belirlemin aynı sonuçlardan aynı sonuç elde edilir
Element	Konservatif maddeler	Konservatif olmayan maddeler kullanımı mümkündür
Makina	Hidrolik model baseni Ölçüm aletleri	Bilgisayar
Maliyet	Pahalı	Ucuz

modellerin karşılaştırılmasında ışık tutmaktadır. Tabloda fiziksel model üç boyutlu olarak oluşturulması ve çalışma alanının güvenilir bir şekilde oluşturulması açısından bir çok avantajlar içermektedir. Ancak, fiziksel modelde sınır koşullarını, Corioli etkileri, doğal olmayan davranışları ve ampirik sabitlerin değiştirilmesi gibi konularda modelin yeniden oluşturulması oldukça zordur.

Diğer yandan sayısal model sınır koşulları, coriolis etkisi ve diğer birçok ampirik sabitleri değiştirilerek deneyin tekrarlanabilmesi açısından bir çok avantajlara sahiptir. Eğer ampirik sabitleri doğru olarak bilmiyorsak, sonuca olan etkilerini bilmek açısından değerler değiştirilir. Buna sayısal model deneyi denilmektedir.

Bu karşılaştırmada en önemli faktör maliyettir. Japonya'da fiziksel modelin maliyeti bir sayısal modelin maliyetinden daha fazladır ve sayısal modelin maliyetinin zamanla dahada düşeceği tahmin edilmektedir.

3.2. Değerlendirme

Yukarıdaki açıklamalar göz önüne alındığında, sayısal model fiziksel modele göre daha avantajlı bir araç olarak görülebilir. Daha önce tanımlandığı gibi, bununla birlikte fiziksel model uzun bir geçmişe sahiptir ve sonuçlarına daha çok güvenilmektedir. Çünkü fiziksel modelde gerçek su kullanılmakta ve deneyin oluşum aşamalarını görebilmekteyiz. Bununda anlamı fiziksel modelin mekanizmasını kolayca takip edilmektedir.

Sayısal model açısından, bilgisayarda oluşum aşamaları görülememektedir, dolayısıyla hesaplama sonuçlarının mekanizmasını anlamak oldukça zordur. Son zamanlarda hesap sonuçlarının sunulmasında görsel grafik tekniklerinde büyük gelişmelerin oluşmasıyla sayısal hesaplamaların aşamalarının takip edilmesine yardımcı olmaktadır. Şuna dikkat edilmelidirki sayısal modellerin programlarında hatalar olabilmektedir, dolayısıyla bilgisayar bazen beklenmeyen veya tahmin edilmeyen sonuçlar gösterebilmektedir. Sayısal benzeşime güvenebilmek için arazideki hidrolik davranışın sayısal modelle üretilerek sonuçları karşılaştırıp doğruluğundan emin olunması gerekmektedir. Ancak, arazideki hidrolik davranışın tamamını bilmek imkansızdır, çünkü arazideki hidrolik davranış çok geniş bir

alanı kapsamakta ve karmaşık bir davranış göstermekte ve bu davranış zaman ve yere bağlı olarak sürekli değişim göstermektedir.

Fiziksel ve sayısal modeller, gerçek arazi davranışını benzeştiren araçlardır. Bu yüzden en önemli şey gerçek davranışı tam olarak yeniden üretebilmektir.

Bugünlerde fiziksel model deneyleri bazı projelerin tüm alternatiflerini incelemeye oldukça pahalı olmaktadır. Dolayısıyla birçok araştırmacı fiziksel model yerine sayısal teknikleri kullanmaya öncelik vermektedirler. Sayısal benzeşimin sonuçlarının güvenilirliğine varabilmek için bazen fiziksel model deneylerinede ihtiyaç duyulmaktadır. Çok basit bir durumda, sayısal ve fiziksel model deneylerinin ikisini de yaparak sonuçların karşılaştırılması yapılmalıdır. Bu yolla benzeşim sonuçlarını, gerçek davranış ile doğruluğu karşılaştırılarak bilgisayar programında olabilecek hataları görebileceğiz. Sayısal modelin doğrulanmasından sonra sadece sayısal model yardımıyla diğer farklı veya karmaşık hidrolik davranışlarını inceleyebiliriz.

Şekil 10. da fiziksel model deneyleri, sayısal benzeşimler ve arazi çalışmaları arasındaki ortak ilişkileri gösterilmektedir. Her metod belli noktalarda avantaj ve dezavantajlara sahiptir. İyi bir sonuca ulaşabilmek için bu metodların birlikte kullanılması gerekmektedir.

4. SONUÇ

Fiziksel model deneyleri ve sayısal benzeşimin kıyı mühendisliği problemlerinde karşılaştırılması yapılarak makalede aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- (1) Fiziksel model deneyleri uzun bir geçmişe sahip ve bir çok hidrolik benzeşimleri gerçekleştirilebilmektedir.
- (2) Bilgisayarların kapasitelerindeki artış sayesinde hidrolik problemlerin çözümünde sayısal benzeşim tekniklerinin kullanılması hızla gelişmektedir.
- (3) Japonya'da sayısal benzeşim, fiziksel model deneylerine göre ucuzdur. Dolayısıyla bir çok araştırmacı ve mühendis kıyı mühendisliği problemlerinde pratik olması nedeniyle sayısal benzeşim tekniklerini kullanmayı tercih etmektedirler.
- (4) Sayısal benzeşim sonuçlarını basit durumlarla doğrulamak amacıyla, fiziksel model deneylerinin kullanılması gerekmektedir. Bu doğrulandıktan sonra bazı hidrolik davranışların tahmininde sayısal benzeşimin kullanılması uygun bir yöntem olacaktır.
- (5) İyi bir sonuca ulaşabilmek için, iki modelin ortaklaşa kullanılması gerekmektedir. Ayrıca arazi çalışmalarında araştırma açısından önemli bir yere sahiptir.

KAYNAKLAR

1. Goda, Y., "Standart spectra and statistics of sea waves derived by numerical simulations", Proc.3th Japanese Conf. Coastal Engineering, 1987 pp. 131-135.
2. Hiraishi, T., "Laboratory measurement of directional random wave heights in a harbor", Technical Note of the PHRI, No. 788, 1994, 32p.
3. Takayama, T., "Wave diffraction and wave height distribution inside a harbor", Technical Note of the PHRI, No.367, 1981, 140 p.
4. Beji, S. and Nadaoka, K., "Modeling of nonlinear-dispersive waves over arbitrary depths", Technical Report, No.56 Tokyo Institute of Tech., 1997, 115 p.
5. Murakami, K., "Study on hydraulics and water quality environments in enclosed coastal seas and its improvement techniques", Doctor Thesis, Tohoku University, 1998, 271 p.
6. Leendertse, J.J., "Aspects of a computational model for long-period water wave propagation, RM-5295-PR, The Rand Corporation, 1967, 165 p.
7. HydroQual, "A water quality model for Massachusetts and Cape Cod Bays, Calibration of the Bays eutrophication model", Technical Report, No. 95-8, Massachusetts Water Resources Authority, 1995, 488 p.
8. Kremer, J.N. and Nixon, S.W., "Acoastal marine ecosystem- Simulation and analysis", Springer, 1978, 217 p.
9. Ozasa, H. and Brampron, A.H., "mathematical modeling of beaches backed by seawalls", Coastal Engineering, No.4, 1980, pp.47-63

ABSTRACT

This paper describes the comparisons between physical models and numerical simulations for wave, current, water quality and sand movement. Because of recent rapid development of computer capability, numerical simulation techniques are utilized for many coastal engineering problems. In the paper, the author summaries the present situations of numerical simulations and physical model experiments and their characteristics. In conclusion, numerical simulation is a little bit superior than physical model experiment for practical purpose. But, both models need cooperation in order to get good results.

