

**DENİZALTI BORU HATLARININ
YAPISAL TASARIMI**

**DALGA ETKİSİNDE DENİZALTI BORU HATLARI İLE TABAN
ETKİLEŞİMİ VE MANAVGAT DENİZ DEŞARJLARI**

Esin ÇEVİK	Yalçın YÜKSEL	Sedat KAPDAŞLI
Yrd. Doç. Dr.	Prof. Dr.	Prof. Dr.
Yıldız Teknik Üniversitesi	Yıldız Teknik Üniversitesi	İstanbul Teknik Üniversitesi
İnş. Fak. İnş. Müh. Böl.	İnş. Fak. İnş. Müh. Böl.	İnşaat Fak.
İstanbul, Türkiye	İstanbul, Türkiye	İstanbul, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada hareketli tabana yerleştirilmiş dalga etkisine maruz boru hatları çevresindeki yerel oyulma mekanizması ve boyutsuz oyulma derinliği hakkında bilgi verilmekte ve ayrıca Manavgat Deniz Deşarjı örneği değerlendirilmektedir. Daha önce yapılmış olan çalışmalarda oyulma derinliğini Keulegan-Carpenter sayısının kontrol ettiği belirtildiği halde sığlaşma bölgesinde su derinliğinin ve kıyı profillerinin oyulma derinliğini etkilediği görülmüştür. Bu etkiler dikkate alınarak yapılan çalışmalarda boyutsuz oyulma derinliği değiştirilmiş Ursell parametresi (Boru Ursell sayısı) ile de belirlenmiştir.

1. GİRİŞ

Kıyı mühendisliğinin uygulama ve araştırma konularından biri olan denizaltı boru hatları günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılan deniz yapılarından biridir. Açık denizlerden çıkartılan petrol ve doğal gazın kıyıya taşınmasında, atık suların denize deşarjında boru hatları gittikçe artan oranda kullanılmaktadır. Ancak dalga ve/veya akıntı ile boru hattı hareketli taban arasındaki etkileşim boru hattı altında oyulmaya neden olmaktadır. Boru hatları altındaki oyulma denizaltı boru hatlarının inşaatı ve işletmesi açısından oldukça önemli bir rol oynamaktadır.

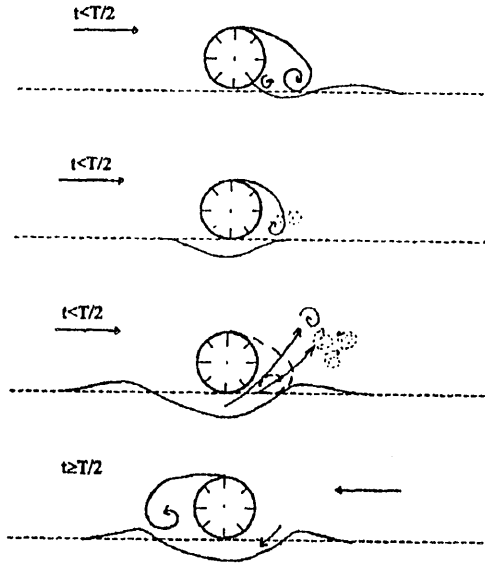
Boru hatları altındaki oyulmayla oluşan serbest açıklıklarda artan hidrodinamik kuvvetler boru hatlarında gerilmeleri artırmakta ve boru hattının sarkmasına hatta kırılmasına neden olmaktadır. Denizaltı boru hatlarının projelendirilmesi, oldukça karmaşık olan akım alanı ve deniz taban özelliklerinden dolayı son derece zor bir problem haline gelmektedir. Salınlı akım alanına yerleştirilmiş silindir etrafındaki akım alanı ile ilgili çalışmalar 1970'lerden Sarpkaya and Rajobi[1], Lundgren ve ark.[2], Jacobsen et al.[3], Ali and Narayanan [4], Bearman et al. [5], Williamson [6], Sümer et al.[7] itibaren başlamaktadır. Oyulma olayı ise 1980'lerden Çevik [8], Sümer and Fredsoe [9], Çevik and Yüksel [10] sonra çalışmaya başlanmıştır.

2. OYULMA MEKANİZMASI

Daha önceki çalışmalardan bilindiği gibi oyulma mekanizması iki farklı modda gerçekleşmektedir. Bunlar tünel ve art-iz erozyonları olarak adlandırılmaktadır. Oyulma modları özellikle boru hatlarının kendi kendini gömme işleminde oldukça önemlidir. Salınlı akım ortamında boru hatları etrafındaki akım yapısının tek yönlü akım ortamındakinden en önemli farkı, tek yönlü akımda meydana gelen art-iz akım yapısının bu durumda borunun her iki tarafında da meydana gelmesidir. Bu akım yapısı borunun her iki tarafında daha az eğimli oyulma çukuru oluşturmaktadır. Simetrik oyulma çukurunda

maksimum oyulma derinliği borunun hemen altında meydana gelirken, oyulma çukurunun asimetric olması durumunda borunun tam altında oluşmamaktadır. Asimetric oyulma çukurunun meydana gelmesinin nedeni bu şartlarda dalga yapısının sinüzoidal değil non-lineer karakter taşıması yani daha dik dalga tepesi daha yayvan dalga çukuruna sahip olmasıdır. Dalga tepesi altında kıyıya doğru yörüngesel hızların daha büyük olması borunun kıyı tarafındaki art-iz yapısının daha şiddetli olmasına neden olmaktadır. Bilindiği gibi non-lineer karakter taşıyan dalga şartlarında tabanda asimetric bir akım yapısı mevcuttur. Her bir yarım periyotluk süre içerisinde borunun her iki tarafında oluşan vorteks yapısı tek yönlü akım şartlarında oluşan akım alanına benzer davranışlar göstermektedir. Ancak menba ve mansap tarafındaki akım yapısında meydana gelen vorteks şiddetinin farklılığından dolayı oyulma çukuru şeklinin tek yönlü akım halindeki asimetric oyulma çukuruna benzer şekil almasına neden olur. Art-iz vorteks yapısıyla askı haline geçen kum bulutu uzun mesafe taşınmaya fırsat bulamadan geriye dönmekte, böylece vorteks etki mesafesi tek yönlü akıma göre daha küçük kalmakta ve yerel oyulma çukuru tek yönlü akım şartlarına göre daha kısa mesafede şekillenmektedir.

Oyulma çukurunun başlangıç aşamasında tek yönlü akım haline benzer olarak boru hattının her iki tarafında iki küçük çevirinin oluştuğu böylece silindire yapışık olarak yığılmanın meydana geldiği belirlenmiştir. Ancak kısa bir süre sonra dalga tepesinin silindire yaklaşması esnasında silindirin ön tarafında artan basınç gradyanının etkisiyle bu yapının bozularak tünel erozyonunun yapılandığı gözlenmiştir (Şekil 1). Tünel erozyonunun şekillenmesinden sonra $T/2$ kadarlık süre içerisinde silindirden kopan ve art-iz vorteks sisteminden belli bir faz farkıyla silindirin altından geçen jet akımı, art-iz vorteksle askıya geçen kumu daha ileriye püskürttüğü ve sonraki $T/2$ periyotluk süre içerisinde bu akım yapısının silindirin üzerinden geriye doğru hareketlendirildiği gözlenmiştir. Borunun altından geçen jet akımının vortekslerin şekillenmesinden bir faz farkıyla meydana gelmesi boğulma etkisinden kaynaklanmaktadır. Bir süre sonra tünel erozyonunun artmasıyla şekillenen vortekslerin şiddetleri zayıflamakta ve dinamik dengeye ulaşılmaktadır. Dalga etkisinde oluşan bu vortekslerin şekillenmesi ve şiddeti dalga periyoduna önemli ölçüde bağlıdır.

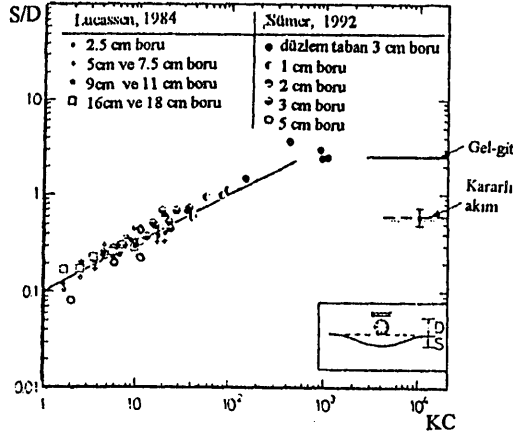


Şekil 1- Düzlem taban halinde oyulma çukurunun evreleri.

Sümer ve Fredsøe [9] boyutsuz oyulma derinliğinin (S/D) KC sayısı ile ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir. Bu ilişki Şekil 2'de boyutsuz denge oyulma derinliğinin artan KC sayısı ile arttığını göstermektedir. Şekil 2'den (1) nolu denklem elde edilmiştir;

$$S/D = 0.1\sqrt{KC} \quad (1)$$

Araştırmacılar, Re sayısı ve Shields parametresinin oyulma derinliği üzerine etkilerini hidrolikçe pürüzsüz borular için detaylı olarak tartışarak bu iki parametrenin oyulma üzerine etkilerinin oldukça zayıf olduğunu göstermişlerdir.

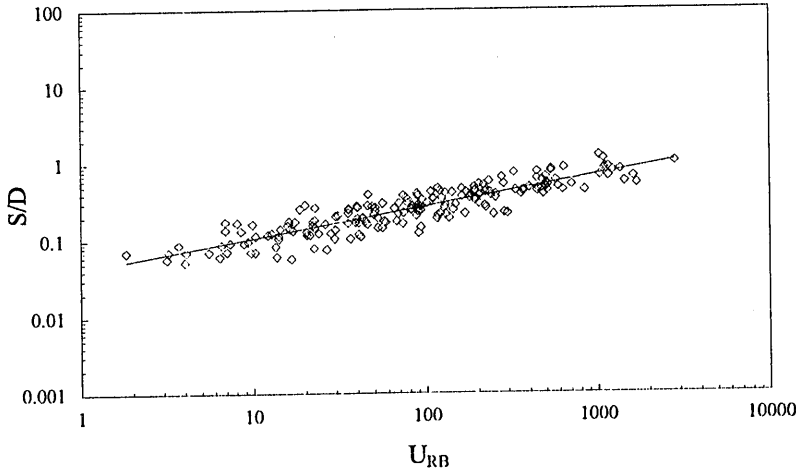


Şekil 2- Hareketli tabanda denge oyulma derinliğine karşı KC sayısı ($\theta > \theta_{kr}$) [9].

Sığ su şartlarında rölatif oyulma derinliğinin Ursell parametresi (HL^2/d^3) ile değişimi incelenmiş ve her bir boru çapı için ayrı ayrı çizilen eğrilerden rölatif oyulma derinliğinin Ursell parametresi (U_R) ile oldukça yüksek bir korelasyonla arttığı görülmüştür [8,10]. Ancak oyulma derinliği üzerinde oldukça etkili olan boru çapının etkisini ihtiva etmeyen bu parametre yerel dalga yüksekliğinin boru çapına oranı ile elde edilen dalga yüksekliği parametresi dikkate alınarak değiştirilmiştir $U_{RB}=U_R(H/D)^2=(H^3L^2/d^3D^2)$. Buna göre rölatif oyulma derinliği;

$$S / D = 0.042 U_{RB}^{0.41} \quad (2)$$

bağıntısı ile ifade edilmiştir. Bu ifade gerek düzlem taban şartlarında gerekse farklı kıyı şev eğimlerinde ölçülmüş oyulma derinliği verileri kullanılarak elde edilmiş olan oldukça genel bir ifadedir.

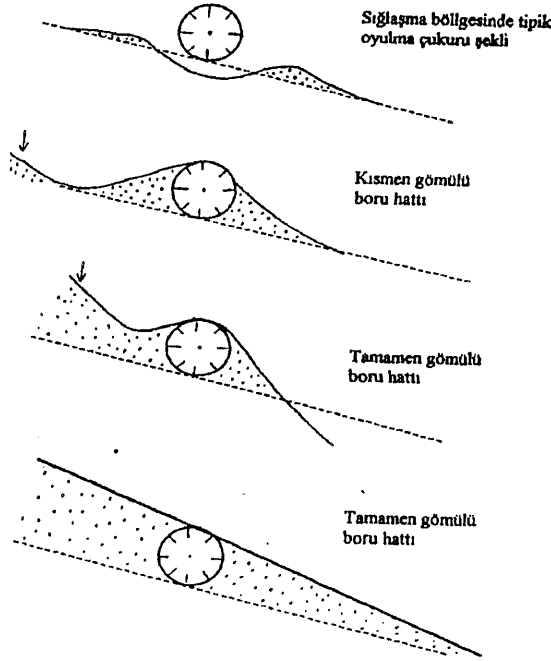


Şekil 3- S/D 'nin U_{RB} ile değişimi [8, 10].

Boru hatları etrafında meydana gelen yerel taban hareketinin diğer bir sonucu da boru hattının oyulma çukuruna doğru sarkması ve sonra gömülmesi olayıdır. Bu bir seri olaylar zincirinin sonucunda meydana gelmektedir. Boru hattı altındaki oyulma çukuru oyulmanın ilk safhalarında dar bir alanda başlamakta ancak zamanla oyulma çukuru boru hattı boyunca yayılmaktadır. Boru hattı boyunca yayılmakta olan bu oyulma çukuru yeterli uzunluğa eriştiğinde boru oyulma çukurunun tabanına doğru sarmaya başlar. Oyulmanın ilk safhalarında borunun sarkmasının boru hattı altındaki akım hızını artırması nedeniyle oyulma miktarı artmaktadır. Ancak daha ilerki safhalarda borunun oyulma çukuruna daha da sarkması ile boru akıma karşı kısmen korunaklı hale gelmektedir. Bu nedenle boru hattı altındaki oyulma miktarı azalmaya başlamakta ve bir süre sonra boru oyulma çukurunun tabanına eriştiğinde oyulma tamamıyla durmaktadır. Daha sonra ise rahatsız edilmemiş kum tabandaki mevcut katı madde hareketinden dolayı boru hattı kısmen kumla kaplanarak gömülmektedir.

Sığlaşma bölgesine doğru boru hattının yerleştirilmesi durumunda artan kayma gerilmesinin etkisiyle birlikte, meydana gelen oyulma çukuru daha yaygın görünüm almaktadır. Ancak kıyı profilinin olduğu bölgeye girildiğinde boru hattı etrafında meydana gelen oyulmanın yerini yığılma almaktadır, hatta profilin tepesine yakın bölgede boru hattı

tamamen gömülebilmektedir. Kıyı profilinin etkisiyle boru hattının gömülmesi boru çapına ve profilin yerine bağlı olarak kısmen veya tamamen gömülme şeklinde görülmektedir. Küçük çaplı borular kıyı profilinin şeklini etkilemeksizin tamamen örtülmektedir.



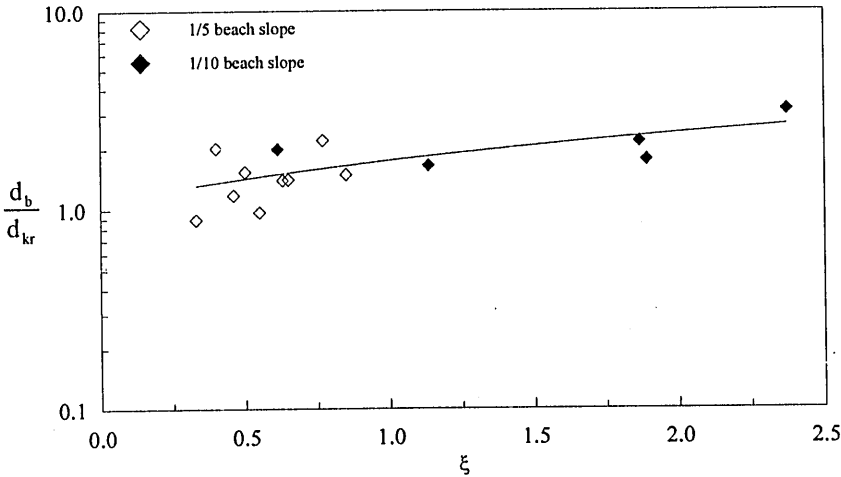
Şekil 4-Sığlaşma bölgesinde oyulma ve gömülmenin evreleri.

Maksimum oyulma derinliğinin yeri Şekil 5'de görüldüğü gibi aşağıdaki ifade ile belirlenmektedir[8]. Bu şekilden görüldüğü gibi, sığlaşma bölgesi boyunca, maksimum oyulma derinliğinin yeri ile surf parametresi arasında bir korelasyon mevcuttur.;

$$\frac{d_{kr}}{d_b} = 0.645\xi + 1.1 \quad (3)$$

Burada, kritik derinlik, d_{kr} , maksimum oyulma derinliğinin meydana geldiği su derinliği, d_b , kırılma derinliği ve ξ , surf parametresidir. Şekil 5 kritik derinliğin orijinal taban halindeki dalga kırılma derinliğine olan oranının surf parametresiyle değişimini göstermektedir. Bu şekilden de görüldüğü gibi maksimum oyulma derinliğinin meydana geldiği derinlik kırılma derinliğine göre daha büyüktür.

Bu ifade denizaltı boru hatlarının projelendirilmesinde son derece önem taşımaktadır. Çünkü boru hatlarının projelendirilmesinde kırılan dalgaların oluşturduğu büyük dalga kuvvetlerinden kaçınılmak için boru hatları genellikle kırılma derinliğine kadar gömülmektedir. Oysa kırılma derinliğinden daha açıkta ki boru hatları etrafında meydana gelen yerel oyulma bu yapılar etrafındaki akım alanında çok daha büyük değişimlere neden olarak önemli problemler doğurmaktadır.

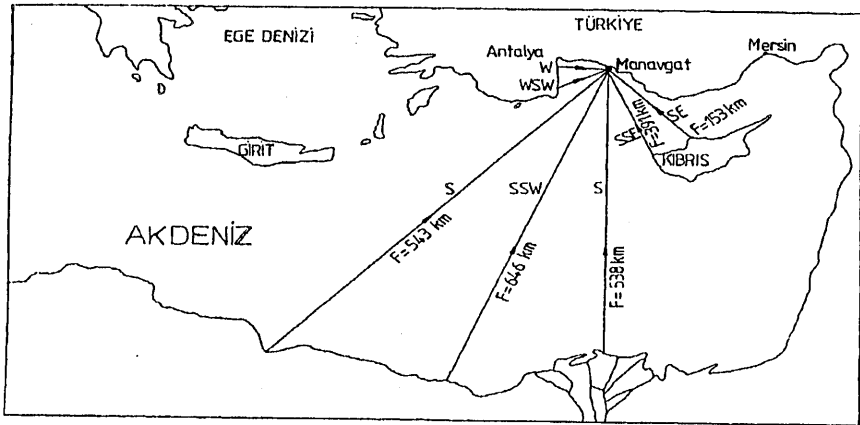


Şekil 5- Maksimum oyulma derinliğinin yerinin belirlenmesi [8,10].

3. MANAVGAT ÖRNEĞİ

Şekil 6'da görülen Manavgat Kumköy ve Titreyen Göl deniz dışarılarının inşaatı için yapılan arazi çalışmaları ve teorik değerlendirmeler sonucunda, bu deniz dışarı hatlarının yapılabilirliği ile maruz kalabileceği hidrodinamik etkilerin en aza indirilebilirliği üzerine incelemeler yapılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir [11].

50 yıl tekerrürlü dalga karakteristikleri esas alınarak maksimum belirgin dalga yüksekliği S yönünde 8.90 m olarak bulunmuştur. Bu dalga 11.75 m derinlikte, 9.18 m yükseklikte kırılmaktadır.



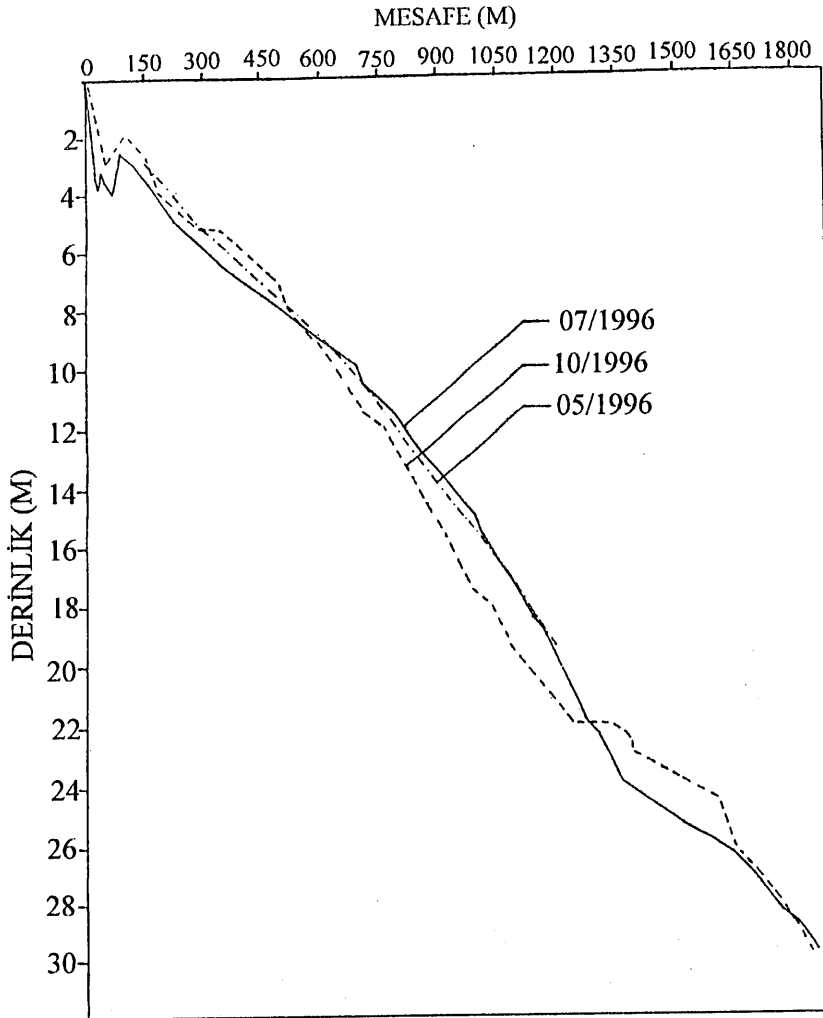
Şekil 6-Kabarma alanı uzunlukları [11].

Bu bölgede taşınan kıyı boyu katı madde debisi $13040 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak belirlenmiştir. Belirgin dalga yüksekliği esas alındığında, katı madde taşınımı açısından 18 m derinlikten itibaren kıyıya doğru aktif bir bölge tesbit edilmiştir.

Arazi ölçümlerinden, kıyıda etkin akıntı yönünün SE, hızının 0.1-0.05 m/s ve 15 m derinlikte ise akıntı yönünün NW, hızının da 0.30-0.40 m/s olduğu bulunmuştur. Manavovat

bölgesinde dikkate alınan iki ayrı hat boyunca yapılan mevsimlik batimetrik ölçümlerden Titreyen Göl mevkiinin %16, Kumköy mevkiinin %6.7 taban eğimine sahip olduğu belirlenmiştir.

Şekil 7'deki karşılaştırmalı boy kesitlerden görüldüğü gibi, proje alanında, taban topografyaları mevsimlere göre büyük değişimler göstermektedir. Aynı noktada 1.5≈2m'ye



Şekil 7- Karşılaştırmalı taban boy kesitleri [11]

varan farklı derinlikler gözlenmektedir. Bu durum yöredeki dalga iklimi ile akıntı yapısından kaynaklanmaktadır. Taban malzemesinin granülometri eğrisi incelendiğinde ise malzemenin kaba kum ile ince çakıldan oluştuğu belirlenmiştir ($d_{50}=3.7$ mm, $d_{90}=10$ mm). Görüldüğü gibi sığlaşma bölgesinde oldukça aktif bir taban hareketi mevcuttur. Dolayısıyla bu bölgede inşa edilecek bir boru hattının bu taban hareketinden etkilenmesi kaçınılmazdır.

Bu amaçla yapılan arazi ve teorik çalışmalar sonucunda boru hattının kırılma bölgesinin dışına kadar, taban hareketinden etkilenmeyecek şekilde korunmasına karar verilmiştir. Deşarj hatlarının difüzörleri de teleskop biçiminde tasarlanmıştır.

4. SONUÇLAR

1. KC sayısı tabandaki yörüngesel deplasmanı veya hızı içermesi dolayısıyla özellikle dalgaların kırılma şartlarında bu parameterinin belirlenmesi oldukça güçtür. Çünkü kırılma bölgesi yakınlarında dalga kinematiklerini belirleyecek herhangi bir geçerli teori mevcut değildir ve deneyler esnasında bu parametrelerin ölçümlerindeki zorluklar nedeniyle KC sayısının belirlenmesinde hesap ve ölçüm hatalarına neden olunabileceği dikkate alınmalıdır.
2. Boru Ursell sayısı yörüngesel taban hızını içermeyip, sadece yerel dalga karakteristiklerine akım derinliğine ve boru çapına bağlı olduğundan sığlaşma bölgesinde hesaplama kolaylığına sahiptir.
3. Sığlaşma bölgesinde değişen dalga koşullarına göre maksimum oyulma çukurunun meydana geldiği kritik su derinliği (d_{kr}) ile surf parametresi arasındaki ilişki, kırılma derinliğine göre;

$$\frac{d_{kr}}{d_b} = 0.645\zeta + 1.1$$

şeklinde belirlenmiştir.

4. Manavgat örneğinde, sığlaşma bölgesinde oldukça aktif bir deniz taban hareketi mevcuttur. Bu durumda deniz tabanı ile boru hattının etkileşimi kaçınılmazdır. Boru hatlarının dizaynı sırasında, bu etkileşim problemi göz önüne alınmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Sarpkaya, T. and Rajabi, F., "Hydrodynamic Drag on Bottom Mounted Smooth and Rough Cylinders in Periodic Flow", OTC Paper 3761, 1979, pp.219-226.
2. Lundgren, H., Mathiesen, B. and Gravesen, H., "Wave Loads on Pipelines on the Seafloor", Proc. 1st Intl. Conf. On the Behaviour of Offshore Structures (BOSS 76), Vol.1, 1976, pp.236-247.
3. Jacobsen, V., Bryndum, M.B. and Fredsøe, J., "Determination of Flow Kinematics Close to Marine Pipelines and Their Use in Stability Calculations", Proc. 16th Annual Offshore Technology Conf. Paper OTC 4833, 1984.
4. Ali, N. and Narayanan, R., "Forces on Cylinders Oscillating Near a Plane Boundary", Proc. 5th Intl. Offshore Mech. and Arctic Eng. (OMAE) Symp., Tokyo, Japan, Vol.3, 1986, pp.613-619.
5. Bearman, P.W., Graham, J.M.R., Naylor, P. and Obasaju, E.D., "The Role of Vortices in Oscillatory Flow About Bluff Cylinders", Proc. Intl. Symp. On Hydrodyn. In Ocean Engr., Trondheim, Norway, 1981.
6. Williamson, C.H.K., "The Existence of Two Stages in the Transition to Three-Dimensionality of a Cylinder Wake", Phys. Fluid, Vol.31(11), 1988, pp.3165-3168.

7. Sümer, B.M., Jensen, B.L. and Fredsøe, J., "Effect of a Plane Boundary on Oscillatory Flow Around a Circular Cylinder", J. Fluid Mech., Vol.225, 1991, pp.271-300.
8. Çevik, E., "Dalga Etkisinde Denizaltı Boru Hatları ve Deniz Taban Etkileşiminin Modellenmesi", Doktora Tezi, 1997, 262 Sayfa.
9. Sümer, B.M. and Fredsøe, J., "Scour Below Pipelines in Waves", J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng. Div., ASCE, Vol.116, No.3, 1990, pp.307-323.
10. Çevik, E. and Yüksel, Y., "Scour Under Submarine Pipelines in Waves in Shoaling Conditions", ASCE, will be published in 1998.
11. Kapdaşlı, S., Yüksel, Y., Ünal, E. Mutlu, T., Fer, İ., Kırdaglı, M., ve Aydın Gakko, A., "Titreyen Göl ve Kumköy Deniz Deşarjları Araştırma ve Proje Çalışmaları", İTÜ, 1997.

ABSTRACT

In this paper, the local scour mechanism of submarine pipelines on movable bed in oscillatory flow was discussed and a model was proposed for dimensionless scour depth in solving the problems. Also a case study of Manavgat Sea Outfall was discussed. In past studies, although Keulegan-Carpenter number was given as controlling parameter of equilibrium scour depth, in shoaling region it has been understood that the water depth and beach profiles are influential parameters on equilibrium scour depth. In the studies by considering these parameters the dimensionless scour depth has also been obtained by using the modified Ursell parameter.

AKDENİZ ÜLKELERİNDE DEŞARJ MÜHENDİSLİĞİ VE KIYI PROJELERİ: DENİZ
MÜHENDİSLERİ AÇISINDAN BİR DEĞERLENDİRME

Carlo AVANZINI
Dr. Müh.
MECC Marine&Land
Çilek Sok. No:12 Deniz
Apt. A Blok D:17
81 060 Caddebostan
İSTANBUL

Ahmet Cevdet YALÇINER
Doç. Dr.
ODTÜ İnşaat Mühendisliği
Bölümü, Deniz Mühendisliği
Araş. Merk. 06531 ANKARA

Adnan AKYARLI
Prof. Dr.
Öztüre Holding A.Ş.
Şehit Nevrez Blv.
Kızılay İş. Merk. 3/7
35 210 İZMİR

ÖZET

Günümüzde kıyı ve deniz mühendisliği projeleri ve uygulamalarındaki kalite, teknolojiadaki gelişmeler ve "gerçek" uzmanların gayretlerine rağmen, yeterli düzeyde artış gösterememektedir. Denizin tam olarak açıklanamayan düzensiz ve belirsiz ortamı, tasarım parametrelerinin her dakika değişmesine neden olmakta ve doğa parametrelerine bağlı kuvvetlerin saptanmasında daima riskler alınmasına yol açmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, "ucuz" ve "zayıf" mühendislik işleri, bu alanda hiç bir zaman hayat bulamaz.

".... Çok fazla öderseniz, az para kaybedersiniz. Hepsi bu kadar. Diğer taraftan, az para öderseniz, bazen her şeyi kaybedebilirsiniz. Çünkü, satın aldığınız ürün istenen şartları sağlayamaz. Ekonominin kuralları az para ile çok değer elde etmenize olanak vermez. En ucuz fiyatı tercih ederseniz, sonradan çeşitli ek giderleri ödeme riskini aldığınızı bilmelisiniz. Böyle durumlar için, önceden yeterli miktarda paranız olmalıdır..." 19 yüzyıl ekonomist ve sosyal reformcularından John Ruskin'in sözleri, 150 yıldan fazla süre geçmiş olmasına karşın geçerliliğini korumaktaysa da, deniz ile ilgili yatırımlarda çok daha fazla gerçeklik taşımaktadır.

Genel olarak kıyı ve deniz projelerinde, uzman olmayanların yaptıkları tasarımlar, projenin gerektirdiği özellikleri tam olarak sağlayamadığı gibi riskleri de en aza indirecek çözümleri üretemediğinden, düşük kaliteli tasarımlar ortaya çıkar. Düşük kaliteli tasarımlar, yetersiz çalışan, zor ve pahalı işletme ve bakım gerektiren projelere neden olurlar. Projelerin karada yer alan ünitelerinin bakım ve onarımı bir derece kolay ve ucuz olabilirse de, denizdeki bölümlerde yapılan yanlış uygulamadan dolayı oluşacak hasar,

deşarj hattındaki atık su kaçakları gibi beklenmedik sorunlar, onarımın çoğu zaman çok zor ve çok pahalı olması nedeniyle projeyi bir felakete dönüştürebilir. Bu nedenlerden dolayı, yeterli deneyim ve bilgi birikimine sahip olmayan, sadece ucuz maliyetle proje ve uygulama yapacağı garantisini veren kuruluşların tercih edilmesinin uygun olmayacağı açıktır.

Yukarıda anlatılan genel durum, denizdeşarjı proje ve uygulamalarında daha fazla rastlanmakta ve Akdeniz kıyılarında yapılan çoğunlukta küçük ölçeklideşarjlar için ise çok daha fazla önem taşımaktadır.

Bu konudaki uzun dönem deneyimlerimizle saptadığımız gibi, defalarca gözlediğimiz tam olmayan, zayıf ve bazan yanlış tasarım veya uygulamaların, işin sahibi olan kuruluşlara sonuçta çok ağır teknik ve ekonomik sorunlar getirmiştir.

Kaliteli müteahhit, yanlış tasarımı düzelterek doğru uygulama yapabilir. Ancak, kaliteli müteahhitin bilgi ve deneyimlerini kullanarak sorunları en aza indirmesi ve yepyeni bir tasarım yaratma sorumluluğunun da sınırı vardır.

Akdenizdeki kıyı şehirlerinin hemen hepsi, evsel ve endüstriyel atık sularını denize bırakma ihtiyacı içindedir. Ancak 60'ların sonlarında, kontrolsüz denizdeşarjlarının yaratacağı olası tehlikeler nedeniyle vicdani sorumluluk gündeme gelmiştir. Bu problemin, kamu kuruluşları ve kamuoyunun dikkatine sunulması ise 70'lerin başında yapılan ilk uluslararası konferans ile gerçekleşmiştir.

Günümüzde, denizdeşarjları, gerekli ölçekte arıtma işlemi yapıldıktan sonra, ya da arıtma tesisinin acil durumlarda kullanması için yapılan projeler olarak tanımlanmaktadır. Ancak Akdeniz ülkelerindeki geçmiş uygulamaların bir çoğunda,deşarj projelerinin gerekli çevresel boyutlar yeterince gözetilmeden, kıyı bölgesinin dalga, akıntı ve fiziksel parametreleri yeterince incelenmeden projelendirme ve uygulama yapıldığı görülebilir. Türkiye özelinde ise, son yıllarda, yukarıda anlatılan eksikliklerin en aza indirildiği bir çokdeşarj projesi yapıldığı ve planlandığı ortadadır.

Bu tebliğ kapsamında, Akdeniz ülkeleri genelinde denizdeşarjı proje ve uygulamaları kıyı ve deniz mühendisleri açısından değerlendirilerek,deşaj sisteminin temel üniteleri, projelendirme ve uygulama işlerinin temel aşamaları, bakım ve izleme süreçleri ayrı ayrı şematik olarak anlatılmıştır.

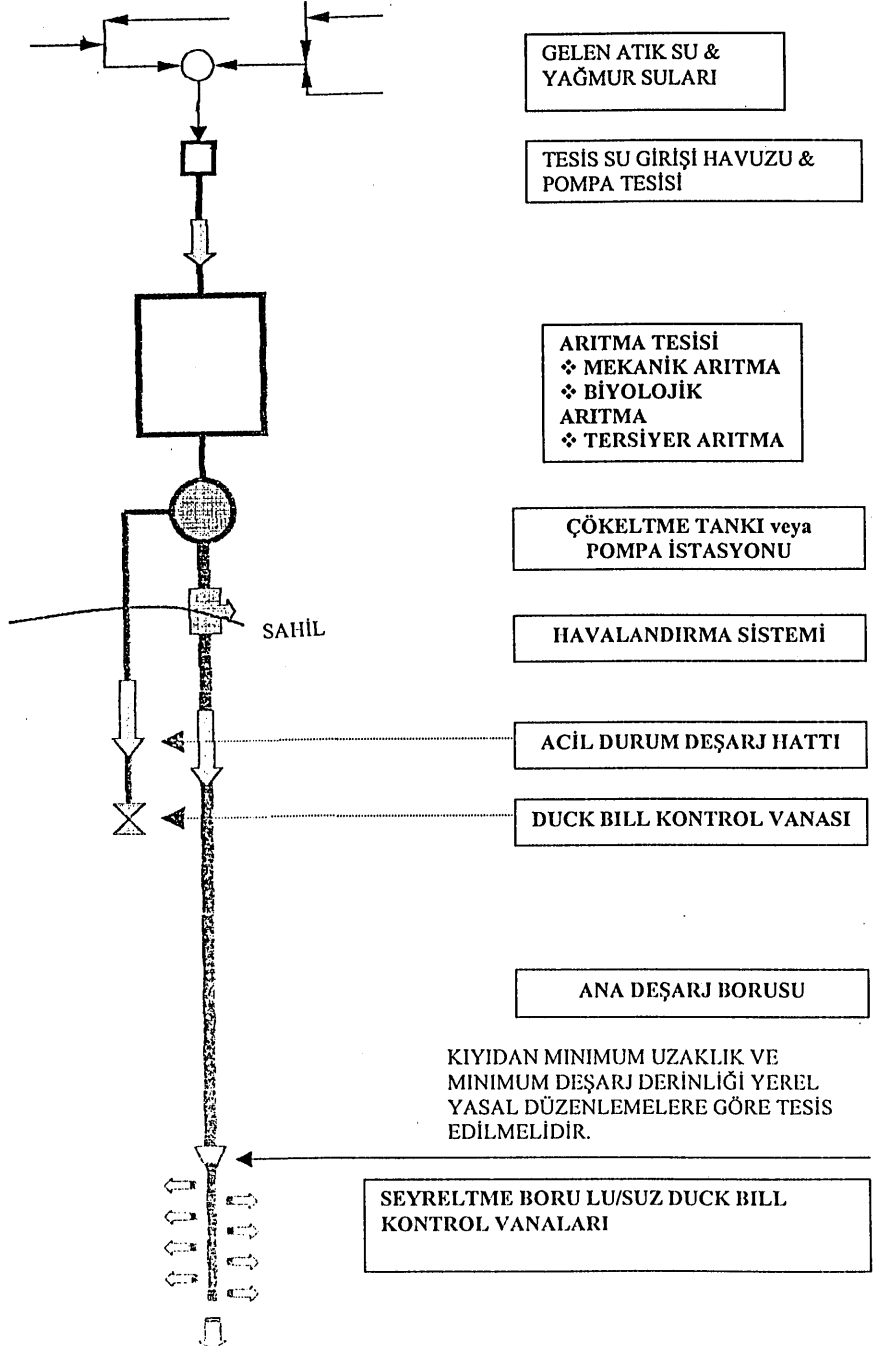
Son yıllara kadar denizdeşarjları, tesisler ve şehirler için sadece atık suyun bertaraf edilmesini sorununu en kolay yoldan çözen tek şans olarak nitelenmiş ve tercih edilmiş, çevresel değerlendirmeler açısından yeterince önemsenmemiştir. Endüstriyel tesislerin ürünlerinin maliyet hesaplarında, atık suyun arıtılarak bertaraf edilmesi işlemi gider olarak gerektiği ölçekte yer almamaktadır. Bu durumda ürünün maliyeti az, tesisin kar düzeyi yüksek olmaktadır. Bertaraf edilen arıtılmamış atık suyun çevreye verdiği zararın sonradan önlenmesi için ise ağır ve yüksek maliyetli yatırımlar gerekmektedir.

Deşarj yapılarının başarılı olarak tasarımı ve uygulamaları çok çeşitli disiplinlerdeki bilim dallarından uzmanların etkileşimli çalışması ile gerçekleştirilebilir.

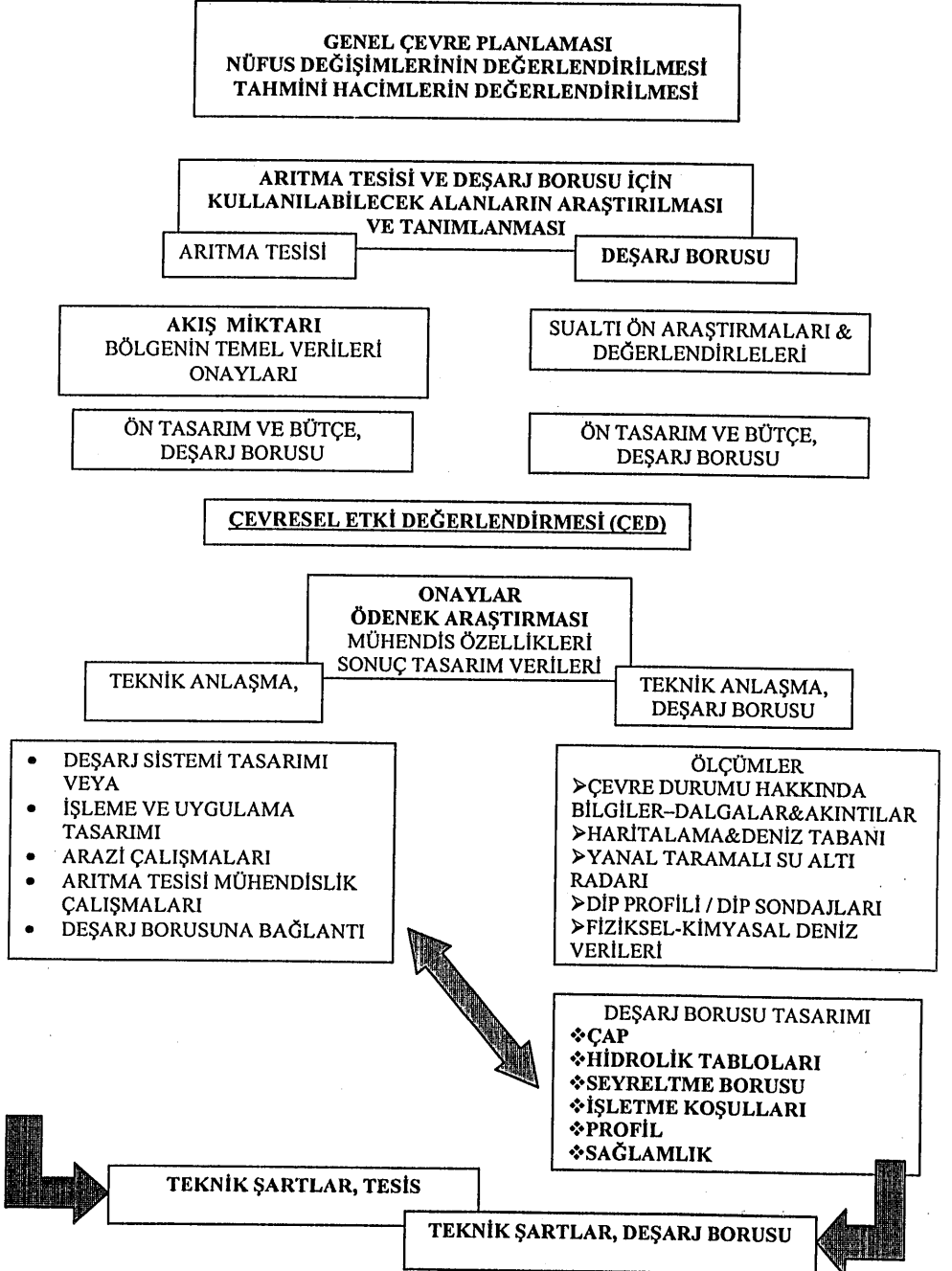
Böylece, deşarj sistemi için gerekli olan uygun ve eksiksiz tasarım, uygulama, işletme, bakım ve izleme aşamaları tam olarak gerçekleştirilebilir. Bunun için, deşarj sistemi ile ilgili işin sahibi olan kuruluşun, işi aşırı düzeyde ucuza yapmaya aday olan kuruluşlara karşı çok duyarlı yaklaşım göstermesi, deneyim durumlarını her zaman dikkate alması gereklidir. İşin yapılması sürecindeki kontrol işlerinde ise deneyimli uzmanlardan yararlanması zorunludur. İşletme aşamasında ise, işletmeden sorumlu kuruluşun düzenli ve kusursuz işletme yapması da kontrol edilmelidir.

NOT: Bu tebliğ, İngilizce yazılı tam metninin özeti olarak çevrilmiştir.

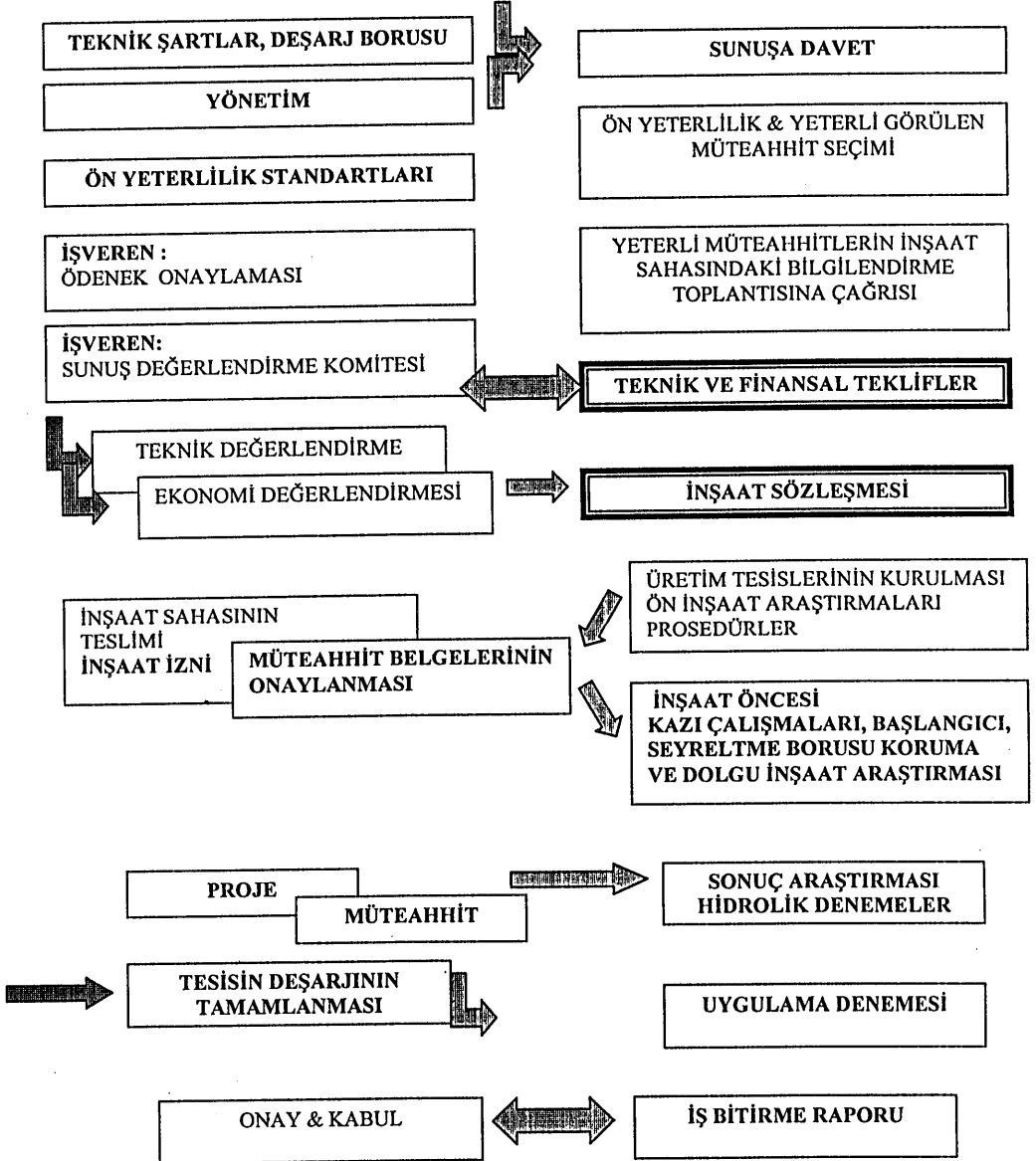
ŞEMA A - DEŞARJ SİSTEMİNİN ÜNİTELERİ



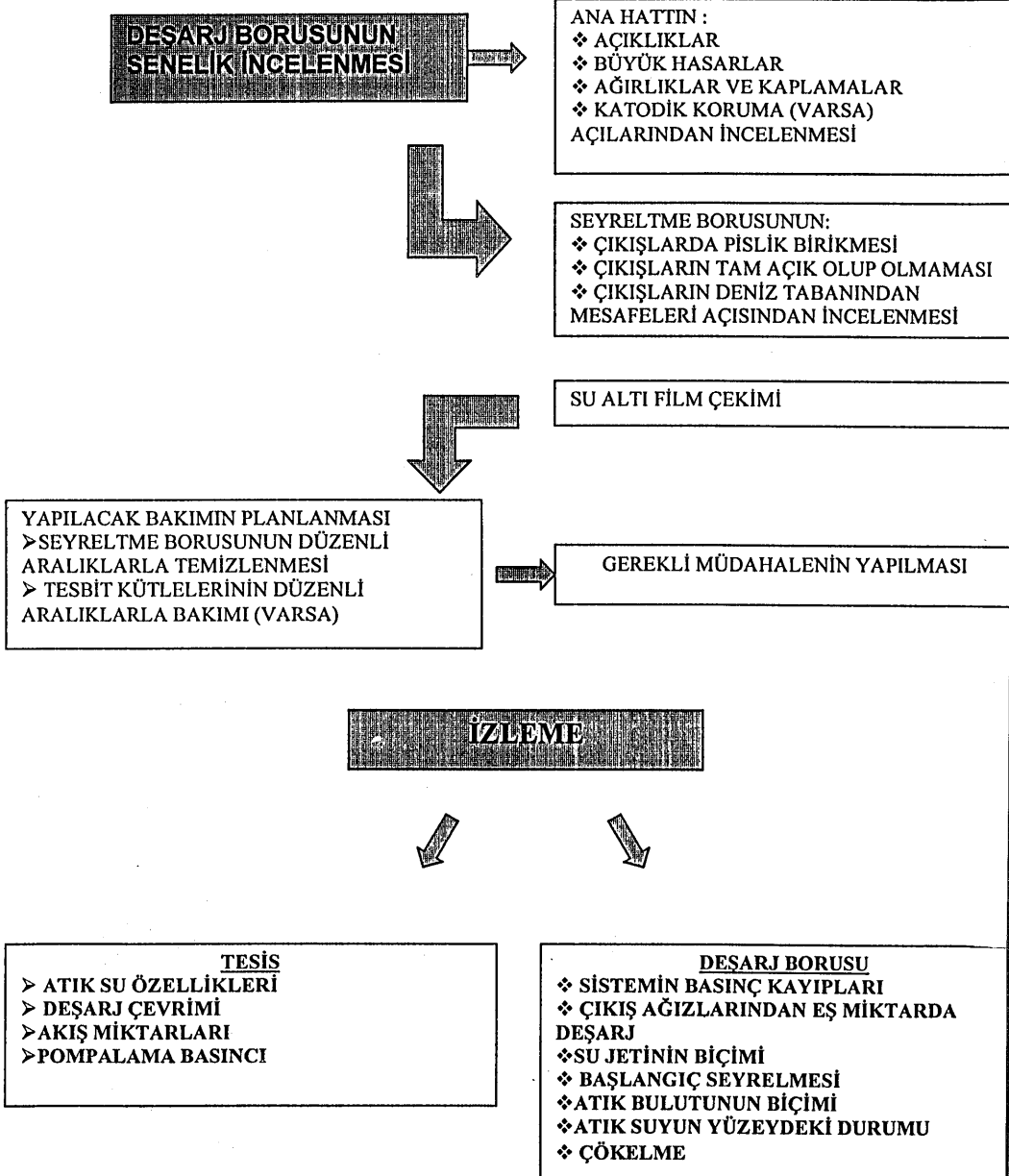
ŞEMA B – TASARIM & MÜHENDİSLİK



SEMA C – SUNUŞ & İNŞAAT



SEMA D- BAKIM & İZLEME



**DEŞARJ MÜHENDİSLİĞİ: MALZEMELERİN FARKLI KULLANIMININ
MONTAJ VE DİZAYN PROBLEMLERİNE GETİRDİĞİ ÇÖZÜMLER**

Dr. Ing. Carlo AVANZINI
Deniz ve makina müh.
M.E.C.C.
İstanbul, TÜRKİYE

Dr. Ing. Giancarlo MARCHETTI
Elektrik/Elektronik müh.
M.E.C.C.
İstanbul, TÜRKİYE

İ. Mürşat ÖZKAYA
Yük. Kimya Müh.
M.E.C.C.
İstanbul, TÜRKİYE

Doç. Dr. Ahmet Cevdet YALÇINER
O.D.T.Ü
Ankara, TÜRKİYE

Prof. Dr. Adnan AKYARLI
O.D.T.Ü
Ankara, TÜRKİYE

Özet

Bu bildiri, son zamanlardaki deniz deşarjı projelerinde karşılaşılan özel mühendislik problemlerine ve onların çözümlerine ışık tutma amacını taşımaktadır.

Bildiride göreceğiniz örnekler, deşarj dizayn ve inşaat teknolojisinin gelecekteki gelişmesi için son derece enteresandır.

Son zamanlarda gelişen deniz hatları projelerinde ortaya çıkan problemler -ki Türkiye'deki benzer projelerle pekçok ortaklıkları var-, şu üç İtalyan projesindeki gibidir.

- * Genova-ileride taşınabilmesi için esnek bağlantıların kullanımı
- * Genova-Tideflex kullanımı ile sistem pompa istasyonlarının ve acil tahliye hatlarının korunumu
- * Porto Empedocle-'kilitli' kampana(locked bell) ve tıkaç bağlantı(spigot joint) kullanımı ile 3200 m uzunluğunda CTP deşarjın dip-çekmesi(bottom-pull)

Önsöz

Bütün Akdeniz kıyılarının artan çevresel duyarlılığı yüzünden, iyileştirilmiş suların deniz içinde yeterli bir uzaklığa ulaştırılması için deşarjların kullanılması, ulusal veya bölgesel kurallara bağlı olarak da, artık bir zorunluluk halini almıştır. Kıyıların aşırı şehirleşmesi, ticari veya serbest limanların varlığı, turistik tatil bölgelerinin veya marinaların varlığı; mühendisleri, bu problemi ortadan kaldırmak için daha yeni çözümler bulmaya zorluyor.

Bazı durumlarda, sadece özel malzemelerin ve ekipmanların kullanımı, verimli bir deşarjın inşaatını mümkün duruma getiriyor.

Son zamanlarda yaptığımız projelerde, yerel idare teknisyenleri, mühendisler, malzeme üreticileri ve mütahitler arasındaki uyumlu çalışmalar sonucu çözüme ulaşan üç problemi analiz etmeye çalıştık.

Problem 1:

Genova Voltri deşarjının rotası, Konteyner terminalinin girişindeki ana deniz kanalını geçmekteydi. Gelecek liman planı, kanal derinliğinin şu anki 15m'lik derinliğinden 21 m'ye artırılmasını öngörüyordu.

Çözüm:

Deşarj boyunca yerleştirilen menteşeli esnek bağlantılar(hinged flexible joints), istendiğinde hattın derinliğini değiştirmeye imkan vermektedir. Bu durum aynı zamanda mevcut fiyatları düşürmekte ve ileride ortaya çıkabilecek muhtemel karışıklıkları da ortadan kaldırmaktadır.

Yeni Voltri biyolojik atıksu arıtma tesisi için; yerel yönetim, 30 metreden daha derinde bulunacak bir difüzer içeren ana deşarj ünitesinden ve 10 metredeki acil deşarj tahliye ünitesinden oluşan ikiz tahliye sistemi yapılmasına karar vermişlerdir.

Genova Voltri konteyner limanının yapısı, gemi girişini ve manevra alanını engellemeden, bu arada da yüzme bölgelerinde zarar vermeden, hattı uygun bir hizada geçirmeye elverişlidir.

İlk dizayn çalışmasının liman yetkililerine sunulması sırasında, limanın gelişme planlarının, dalgakıranın uzamasının ve artırılmış dip derinliğiyle yeni kanal girişinde bu dizayn çalışmalarında yeralması gerektiği belirtildi.

Son değişim fazla bir problem yaratmasada, kanalın planlanan kazımı yinede bir yerleşim profili problemi ortaya çıkardı. Hattı istenen derinliğe yerleştirmek kazı işin büyük bir yatırım demekti. Diğer yanda, hattı yeni bir derinliğe taşımakta büyük bir maliyet getiriyordu ve bu da operasyon ve bakım bütçesine dahil edilecekti.

Bu yüzden, uygun bir çözüm bulmak ve yatırım maliyetlerini ve düşürmek için çalıştık. Sonunda, çözüm menteşeli esnek bağlantılar kullanmakta bulundu. Bu durum mevcut kazı ve taşıma fiyatlarını düşürüyor, bununla birlikte deşarjin dip-çekme(bottom-pull) özelliğinin de devamına imkan ediyordu. Bu durum ektteki Figür 1'de görülmektedir.

Aynı zamanda Türkiye'deki bazı projelerde de kullanılan FJ(flexible joints), temelde; lastik güçlendirmeli, 3000mm'ye kadar çaplarda mevcut ve istenen derinlikteki dizayn basıncı ve harici yük için uygundur. Esnek bağlantılar, pekçok kara montajında da yaygın bir şekilde kullanılır, denizlerde kullanılması ise 1980'lere dayanır.

Akdeniz ülkelerindeki bazı projelerden sonra, gerçek anlamda 'problem çözücü' bir metod olarak kullanılması ilk olarak, dip profili ve kısıtlı bir çalışma alanına sahip olması da dahil olmak üzere pekçok problemleri olan Üsküdar ve Baltalimanı İski deşarjlarında olmuştur. Buralarda, geleneksel dip çekme montajı kullanarak deşarj profilini karşılamak imkansızdı.

Dip profili, derin çukurlar kazmadan-ki pahalı ve güvensiz-, yeterli esnekliğe sahip olmayan çelik bir borunun karşılayamayacağı derecede dikey sapmalar gösteriyordu. Ayrıca mevcut çalışma alanı, çelik kordonları hazırlamak ve uygun kıyı yaklaşım profilini kazmak için son derece kısıydı.

Çözüm; kısa, özel dizayn edilmiş bir rampa yapmak-ki böylece karada ihtiyaç duyulan alanı azaltmak ve dip profilindeki keskin sapmaları karşılamak için esnek bağlantılar kullanmaktı. Çalışma daha sonra dip çekme metodu ile devam edecekti. Bu sistem, Boğaz'ın bu özel yerlerinde bulunan büyük çaplı çelik borularla uyum sağlayacak tek sistemdi.

Genova körfezinde derinlik yaklaşık olarak 10 metreye kadar hızla artar, bundan sonra da eğimde hissedilebilir bir değişiklik vardır. Burada problem uygun yerlere esnek bağlantılar yerleştirilerek çözülmüştür (profildeki 2. nokta).

Üstelik kesme ve bağlama elemanlarında gelecekteki yer değişimini sağlamak için yerleştirildi.

Liman inşaatı başlar başlamaz, 3A, 3B ve 3C'deki flanşlar açılacak ve 2 bölüm hava ile dolacak, kaldırılacak ve karaya çıkarılacak. Bu arada yerel çevre yetkilileri, tahliyenin kıyıda biraz daha uzağa yapılması gerektiğini söylediler. Kazı çalışmalarının sonunda yeni dip profili oluşturulacak ve hat yeniden konuşlandırılacak.

Bu şekil deniz uygulamalarında kullanılan esnek bağlantılar, yüksek oranda polyesterle ve çelik tellerle güçlendirilir. Bundan dolayı, bunlar ilgili gerilmelere dayanıklıdır ve zaten >5 güvenlik faktörü ile dizayn edilirler.

Bununla birlikte; bağlantılar, deniz hattının dip çekmesi tarafından yaratılan ilgili güçlere dirençli olacaktır ve bağlama da (bending) gerilme ve sapma güçlerinin altında zarar görülmeyecek şekilde olmalıdır.

Problem 2:

Yerel çevre yetkilileri, yeni kıyı açık iletim sisteminin ve arıtma tesisinin bütün pompa istasyonlarının kısa deşarjlar boyunca acil tahliye hatları ile döşenmesini emretmişlerdir. Hiç çalışmayacak veya nadiren çalışacak deşarjlar, eğer açık unutulursa; deniz yükselmesine, tuz birikmesine, sedimentasyona ve tıkanmaya maruz kalacaklardır.

Çözüm:

Duck-bill lastik çek valflerinin (Tideflex) kullanımı, hatların her zaman hazır durumda bulunmasını sağlayarak problemi çözecektir.

Yoğun bir şekilde sediment hareketinin olduğu yerlerdeki deneyimler gösteriyor ki, eğer özel bir koruma olmazsa, açık borular ve hatta difüzörler bunlarla dolacak ve akışı tıkayacak duruma gelecektir. Bu durum, genellikle bütün ay çalışan kısa deşarjlarda veya büyük delikli kısa deşarjlarda görülür. Bu durum büyük bakım maliyeti ortaya çıkarır.

Bu problem, 5 transfer pompa istasyonu içeren, kıyı kanalizasyon toplama sisteminde ve acil durumlarda aşırı suyun tahliye edilmesi gereken bir sistemi içerecek olan bir atıksu arıtma ünitesinde çok daha bariz bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

Kolay bir şekilde anlaşılmalı, uzun süre kullanılmayan açık borular çok daha kolay tıkanmaya maruz kalacaklardır, üstelik tuzlu su içeren dalgalar buralardan içeri girip önce pompa istasyonlarına oradanda tesise kadar gidebilir.

Sonunda, pekçok üzücü denemeden sonra difüzerlerin korunması konusunda bir işe yaramayan 'clapet' tip çek valflerin yerine 'duck beak rubber' çek valfler(Tideflex) kullanılmaya karar verilmiştir.

Tideflex; 70'li yılların sonuna doğru Amerikan çevre koruma bürosunun isteği üzerine, NewYork'un yağmur suyu sistemini deniz suyu girişinden, atıksu arıtma sistemini de yağmur suyularının taşmasından korumak için imal ettirilmiştir.

Son zamanlarda, bu tip valflerin kullanımı Avrupa'da ve Amerika'da-hem geri dönüş ve taşma kontrolü için hem de difüzer valf olarak- giderek yaygınlaşmıştır.

Taşma tahliye sistemi (figür 3), çok düşük bir hidrolik kafa ile çalışacak, bu yüzden de güvenilir bir difüzer vanaya ihtiyacı olacak. Bu vana, -minimum geri basınç ile çalışacak(taşma çemberindeki tuzlu su basıncı ile atık su/yağmur suyu arasındaki fark)
-sediment gibi birikintilerle tıkanmaya mahal vermiyecek
-herhangibir tıkanmaya maruz kalmadan, vanadaki min basınç düşüşüyle max akış oranında çalışacak.

Sonuç olarak, Belediye yedi acil kısadeşarj ünitesinde Tideflex kullanılmasına karar vermiş, ayrıca halen çalışmakta olan eskideşarj ünitelerinde de bunları kullanmayı planlamaktadır.

Bununla birlikte USA, UK, Almanya ve HongKong'da ki difüzerlerde de bu sistemler yoğun bir şekilde (TF, TF2, slip on type ve S35, flanged type) kullanılmasına rağmen, Akdeniz ülkelerinde nedense pek kullanım sahası bulamamaktadır. Bu konuda söylenen en genel sebep ise; difüzerlerde herhangi bir madde birikimi olmayacağıni zannetmek veya tuz girişinin ileride sistemi etkilemeyeceğini düşünmektir.

Eski ve şu anki çalışmalar gösteriyorki,difüzerlerdeki bu çeşit birikimler, tuz girişi ve dalga hareketi, özellikle İspanya'dakideşarj ünitesindeki gibi bir hava kiliti

ve su çekici oluşturuyor ve buda bir koruma cihazına gerek duyulmasını sebep oluyor.sağlıyor.

Hazır tuz girişinden konuşuyorken, Üsküdar ve Baltalimanı deşarjları Boğaz suyu ve tahliye suyu arasındaki yoğunluk farkına dayanarak bu durumu engelleyen özel bir çıkışa sahiptir. Birkaç yıl sonra dizayn edilen Tuzla deşarj difüzeri ise tıpkı Antalya'daki deşarj gibi Tideflex ile donatılmıştır.

Dizayn akış oranı; şu anki 250lt/sn'den, gelecekte max 4040lt/sn'ye değişecek olan Antalya deşarjında, 120 tane açık difüzer ilk yıllarda tam kapasite ile çalışmayacaktır. En iyi olmasa bile şu an için en mantıklı çözüm difüzerlerin 80 tanesini kapatmakta bulunmuştur.

Yeni çıkışlar açmak veya mekanik kapakları taşımak veya sonradan Tideflex yerleştirmek için kullanılan yüksek maliyetli sualtı araştırmaları, yetkilileri daha kolay yollar bulmaya itmiştir. Bu yüzden, ilk olarak uzun ağızlı, daha sert TF kullanılmıştır. Daha sonra gerektiğinde kısa bir dalış işlemiyle bu difüzerlerin ağızları kesilecek ve işletmeye alınacaklardır. Küçük HDPE difüzerler için son düzenleme figür 4'de görülebilir.

Problem 3:

3200 m uzunluğundaki deşarj için CTP(GRP) kullanımı konusunda mühendisler, dip-çekme (bottom-pull) metoduyla yerleştirmeye imkan verecek uygun bağlantılar sağlamaları konusunda boru üreticilerine istekte bulunmuşlardır. Dip-çekme metodu bu konudaki en hızlı ve en ucuz yöntemdir.

Çözüm:

Katkı maddesiz, sürekli tel sarma(continuous filament winding GRP) CTP'lerin kullanımı-Ertalon kilitleme halkalı(Ertalon locking rings) integral 'bell ve spigot' bağlantılı- bir problem olmadan montaja imkan vermişlerdir.

Deniz uygulamalarında mevcut çaplarda ve daha büyük çaplardaki tatbikatlarda (1000-1200 ve 3600) GRP boruların kullanımı günümüze gelene kadar giderek artmıştır.

Büyük çaplarda fiyat/verimlilik oranı max olan -bu konuda tek ciddi rakip çelik borulardır-tek boru standart veya güçlendirmeli duvar ve integral bağlantılar ve kilitleme halkaları olan GRP'dir, özellikle de mineral katkı maddesi içermeyen sürekli tel sarma metoduyla üretilen GRP'lerdir.

Buna rağmen, hala GRP'lerin denizde kullanımı diğer borular kadar yaygın değildir.

Bunun sebebi GRP boruların bir kara borusu olarak yanlış algılanmasından ve üreticilerin de bu konuda herhangi bir adım atmamasından ileri gelir.

Pek çok uygulamada, kalitesiz mal üretimi, tıkaç ve kampanaların verimsizliği, yanlış mühendislik hizmeti ve yanlış montaj metodlarının kullanımı pekçok zor durum ortaya çıkarmış, hatta işlemi başarısızlıkla sonuçlandırmış, buda GRP'lerin kullanımını ileriki projelere atmıştır.

Deşarjlar ve girişler için büyük çaplı boruların kullanımı konusunda son zamanlarda GRP borulara doğru bir eğilim olmasına rağmen, bu konuda son kullanıcılar, mühendislerin ve müteahhitlerin, hatta üreticilerin deneyimsizliklerinden dolayı, bu tip boruların deniz uygulamalarında kullanılmasında bir takım problemlerle karşılaşacakları konusunda uyarılmalıdırlar.

Bu yüzden bu bildiride, proje sahiplerinin, dizayn mühendislerinin, boru üreticilerinin ve müteahhitlerin arasında başarılı bir deşarj konusunda bir sinerji yaratmak amacıyla bu konuya yer vermeyi düşündük.

Bütün GRP boruların sualtında farklı başarı derecelerinde kullanılmasına rağmen, genede deniz ve sualtı çevresel farklılıklarını karşılamak için hem dizayn hem de üretim aşamasında özel bir itina gösterilmelidir.

Deneyimlerimize ve gelişmelere göre,

- (a) mineral dolgu maddesinin cam ve reçineye oranı su difüzyonu ve halka sertliği yüzünden oluşan riski önlemek için mümkün olduğu kadar küçüktür.
- (b) boru; uygun halka sertliğinin yanında, eksenel duvar direnci ve kabul edilebilir bir eğilme momentine sahiptir.
- (c) bağlantılar kitleleme halkaları ve bağlama ekipmanları sayesinde kaymaya karşı ve montaj sırasındaki eğilme ve çekme güçlerine karşı dirençlidir.

Montajdaki son başarı, bütün çaplardaki borulara uygulanabilecek montaj teknolojilerini test etmeye ve tekrar tanımlamaya imkan vermiştir.

İyi bilindiği gibi, herhangi bir deniz hattını monte etmek için kullanılan klasik yöntemler; dip-çekme(bottom-pull) ve yüzdür ve batır(float and sink)'dir.

Deniz montaj teknolojisi; teorik olarak GRP'de dahil olmak üzere her türlü materyale uygulanabilecek birkaç metod daha gelişmesine sebep oldu (off-bottom tow ve lay-barge).

GRP'nin ilk yıllarında kilitleme sistemleri pek bilinmiyordu ve de güvenilmiyordu. Bu yüzden montajlar şu 3 şekilde yapılıyordu.

-boruları su altında tek tek birleştirmek veya 2-3 tanesini daha önceden birleştirerek monte etmek

-boruları yüzer bir şekilde su seviyesinde birleştirmek ve sonra da palangalarla herhangibir eksenel veya eğik kuvvete sebep vermeden dibe çekmek.

-çekme işlemini gerçekleştirmek için, bağlantıları çelik mengenerler yardımı ile bloke etmek veya eksenel bir koruma sistemi oluşturmak. Bu şekilde sisteme herhangibir zarar vermeden dibe çekme işlemi gerçekleştirilir.

Su altında birleştirme yöntemi, daha çok dalma süresi operasyona izin verecek derecede yeterli olan sığ sularda yapılabilir. Bununla birlikte büyük çaplı boruların kontrolü küçük çaplılara oranla daha zordur ve borunun ucunu cebe sokmak hidrolik ekipmanlar ister bu da contalara ve ek yerlerine zarar vermemek için son derece dikkatli davranmayı gerektirir. Flanşların kullanımı boruların bağlantı işlemini kolaylaştırır ama fiyatlarının uygun olmasına rağmen operasyon uzun ve zordur.

Bu konuya örnek olarak Marmara denizinde son dönemde uygulanan birörneği verebiliriz. Burada mineral katkılı sleeve bağlantılı GRP kullanan müteahhitler sonradan flanş kullanımına dönmek zorunda kalmışlardır.

Köprü(trestle) sistemi daha çok göllerde ve sakin sularda kullanılmaktadır. Bu sistem ise; işlem sırasında aşırı eğilmeyi önlemek ve bağlantıdaki kırılma gerilmesini önlemek için uzun ve pahalı bir hazırlanma evresi ister ve montaj için de son derece büyük dikkat ister.

Bir diğer sistem ise; dibe çekilecek olan boruhattını yüzeyde tutmak için dubalar kullanmaktır. Su üzerinde durabilen tanklar kullanarak bu operasyon daha kolay ve daha çabuk yapılabilir ama sakin bir hava ve sualtı akıntısı olmayan bir deniz ister.

Kablo(cable) sistemi ilk olarak 1970'lerde kullanılmıştır ve iyi sonuçlar vermiştir. Hava ve deniz koşullarından bağımsızdır, bununla birlikte kablo ve mengine sistemini iyi hesaplama gerekir ve dip profili de iyi bir şekilde hazırlanmalıdır.

Bağlantılarda kilitleme sisteminin kullanımı sadece dip çekme yöntemiyle montaj işlemine imkan vermez, aynı zamanda bağlantıların montaj ve operasyon sırasında kaymamasını garanti eder.

Kilitleme halkası, boruların birleştirilmesinden sonra eklenen, dairesel ve dörtgen bölümleri olan esnek bir çubuktur.

Malzeme naylon ve polyamid gibi yüksek kırılma ve baskı direncine sahip olan plastik malzemedir. Genelde, uygun mekanik özellikleri ve kolay yerleştirilmesi yüzünden Ertalon'daki silindirik bölüm seçilir.

Kilitleme halkasının en önemli görevi, uzunlamasına harcanan güçlere dayanarak bağlantının eksenel hareketini önlemektir. Ayrıca, sisteme uzunlamasına bir süreklilik vererek eksenel sapmayı da önler.

Kilitleme halkası ile ilgili taslak figür 5'dedir.

Yukarıda bahsedilen projede mühendiskatki maddesiz ve uzunlamasına gerilme altındaki sıklığı test edebilmek için bir bağlantı için GRP kullanmayı emretmiştir.

Üretici, aşağıdaki avantajları belirterek integral kampana ve tıkaç içeren CFW boru kullanmayı teklif etmiştir:

- integral soket, diğerlerindeki gibi 2 tane kilitleme halkası kullanmak yerine 1 tane kullanır.
- katkı maddesinin olmadığı fabrikasyon işlemi, dirence herhangi bir zarar vermeden gerekli boyutlarda duvar üretilmesine imkan verir.
- soket uygun bir şekilde boru gövdesinin ek yerlerine konulmuş-bir araya tutturulmuş boruların integral elementi gibi hareket eden- katı bir blok gibidir.

Üstelik, kilitleme halkalarına etki eden uzunlamasına gücü test etmekte teklif edilmiştir, (uçları kapatarak ve iç hidrolik basınca maruz bırakarak). Ayrıca, sisteme etki eden eksenel güçler, bağlantı elemanlarının ve kilitleme halkasının direncini doğrulamaya imkan verir.

Aşağıdaki hesaplama ve datalar Ø350 NP 20 bar(2N/mm²)deşarj ve 3200 m uzunluğunda ve tek bir hat hatta dip çekme metoduyla yerleştirilen CFW sınıfı A UNI 9032/9033 boru içindir.

*Boru karakteristikleri

- katkı maddesiz sürekli tel sarma
- boru matrixi ve iç-dış astar için isoftalik polyester reçine
- çift contalı ve kilitleme halkalı integral soket
- EPDM contalar, shore A sertliği 54⁰±2, yerleştirmeden sonra 40% deformasyonlu

*Duvar kalınlığı(basınç için): 600kg/cm² basınca karşı, teorik duvar kalınlığı $t_1=5.912$ mm; pratik olarak ise, 2.16 N/mm²'lik iç basınca karşı etkili bir direnç gösterecek duvarı kalınlığı $t_R=6.4$ mm'dir.

*Borunun teorik ağırlığı-havada ve 1900 kg/m^3 yoğunluğunda- 17 kg/m ; deniz suyu içinde ise- 1025 kg/m^3 yoğunluğunda- 6.9 kg/m 'dir.

*Boru yoğunluğu içinde ve safsızlıkların olabileceğini de düşünürsek, dizayn ağırlığı 9 kg/m olarak alınır.

*Bu yüzden toplam ağırlık $9 \times 3200 = 28.800 \text{ kg}$. Dipteki dinamik sürtünme katsayısı her zaman ≤ 1 ama en kötü durumu düşünerek çekme kuvveti olarak başlama katsayısı $1.1 \times 28.8 = 32$ ton veya 313.8 kN olarak düşünülür.

*Kilitleme halkası için yivler: halkalar için derinlik 7 mm olarak, boyda 25 mm olarak dizayn edilir.

*Mekanik karakteristikleri: 54.75° olan klasik döndürme açısı ve $32/68$ olan reçine/çam oranı kullanılır. Elastisite modülünün değerleri $E_g = 70.000 \text{ N/mm}^2$ ve $E_{RE} = 4.000 \text{ N/mm}^2$

matrisin elastik modülü ise $E_c = 36.000 \text{ N/mm}^2$ dir bununla birlikte, E ve σ dairesel ve eksenel değerleri; döndürme açısını ve 2% uzamaya işaret eder.

$-\sigma_c = 482 \text{ N/mm}^2$; $E_c = 24128 \text{ N/mm}^2$

$-\sigma_L = 241 \text{ N/mm}^2$; $E_L = 12050 \text{ N/mm}^2$

ve 20 bardaki direnç duvarındaki dairesel gerilim $= 2 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_c = 54.68 \text{ N/mm}^2 < \sigma_c$ (güvenlik katsayısı) $FS = 482/54.68 > 8.8$

*Uzunlamasına güçlere karşı duvarın direnci:

$F_{all} = S_L \times A_R = \pi \times (ID + 2 \times t_L + t_R) \times t_R = 7214 \text{ mm}^2$

ve bundan dolayı $F_{all} = 241 \times 7214 = 1738.6 \text{ kN} = 177.3$ ton, çekme gücüne karşı güvenlik faktörü $FS = 177.3/32 = 5.54$

*Kesme gücüne karşı direnç, kilitleme halkası ile ilk O-ring yiv arasındaki konvansiyonel uzaklıktan hesap edilir. Konvansiyonel direnç alanı burada $A_R = 41233 \text{ mm}^2$

Kesme gerilmesi: $\tau_{all} = 0.66 \times \tau_t = 9.8 \text{ N/mm}^2$

Çekme gücünde hesaba katarak, $\tau = 313800/41233 = 7.6 \text{ N/mm}^2$ $FS = 1.29(17)$

*Kilitleme halkasının doğrulaması: Kilitleme halkası Ertalonla ve 12 mm çaplı silindirik bölümlerle anılır. Özellikleri;

-Elastisite modülü: $E = 1275 \text{ N/mm}^2$

-Müsaade edilen gerilim $\sigma_t = 70.6 \text{ N/mm}^2$

-Müsaade edilen güç: $\tau = 70.6 \text{ N/mm}^2$

-Müsaade edilen baskı gerilmesi: $\sigma = 78.5 \text{ N/mm}^2$

*Baskı alanını halka çapının $1/3$ 'ü olarak, mesela 4 mm düşünürsek baskı yüzeyi:

$$A_{clr} = \pi x \{ \{ (384+2) \times 2 \} + \{ (382-2) \times 2 \} \} = 4813 \text{ mm}^2 \quad \text{ve} \quad \text{spesifik basınç}$$
$$\sigma_c = 313800 / 4813 = 65.19 \text{ N/mm}^2 \quad FS = 1.2$$

*Çekme gücünün 8 mm genişliğinde kesme gücü olarak davrandığını farzederseniz, kesme gerilimi alanı 9500 mm^2 ve sonuç $\tau = 313800 / 9500 = 33 \text{ N/mm}^2$

Daha önce bahsi geçtiği gibi bağlantı, normal test basıncının 1.6 katı daha büyük bir basınçta test edildi $1.6 \times 2.16 \text{ N/mm}^2 = 3.456 \text{ N/mm}^2$

Flanşın iç yüzeyinin $A = \pi x (ID/2)^2 = 96211 \text{ m}^2$ olması ve dairesel deformasyonu ihmal ederek uzunlamasına gücü veren basıncı 332.5 kN buluruz.

Hesaplama prosedürüne ait bütün çaplarda borulara uygulanacak bir örnek vermiştik. Büyük çaplardaki borular için (2000 mm'den büyük), önemli değerler aksel direnç ve halka sertliğidir. Deneyimlerimize göre, dönen bir mil üzerinde üretilen tel sarma borular bu konudaki en uygun borulardır. Burada katkı maddesi, dizayn sırasındaki esnekliği; cam reçine oranı, direnci ve döndürme açısında, istenen uzunlamasına özellikleri verir.

Dirençli bir duvar basınç ve gerilmeler için hesaplandıktan sonra, halka sertliğinin yeterince yüksek olmadığı görülebilir. Gerçi ulusal standartlar duvar üzerindeki min sertliği 625 N/m^2 olarak kabul etse de, bu pek çok kara uygulaması için düşüktür.

HDPE için, deniz uygulamalarında min kalınlık SDR 26 veya SDR 17, GRP için ise hesaplanmalı veya standartlardaki gibi 5 N/m^2 olmalıdır.

Mil üzerinde üretilen CFW borular integral damarlarla dizayn edilebilir. Bu şekilde damarlarla duvarın ilgili bölümü dış yüklere karşı birlikte hareket eder, bu sayede herhangi bir bozulma olmaz.

Sonuç:

Bu bildirideki projeler, deniz uygulamalarında kullanılan malzemelerin ve ekipmanların giderek yaygınlaşmasını inceleyen ve onların doğru kullanımına dair bazı ipuçları veren bir anahtar konumundadır.

Gönül isterdi ki bu konuda daha çok konuşalım ama gene de daha yeni bilgiler teknik birtakım yayınlardan ve üreticilerden elde edilebilir.

Yeni malzemelerle ilgili olarak söylenecek tek şey, bu malzemelere ait en iyi bilginin üreticiden alınacağıdır. Çünkü üretilen bir mal hakkında en fazla bilgiye o malın üreticisi sahiptir. Kaliteli bir üretici, dürüst bir esnaf malının avantajlarını anlatırken o malın kullanılabileceği limitleri de belirtir. Bu koşullar altında iyi bir değerlendirme yapıp, teknik dataları analiz ederek en ucuz değil ama en iyi ve güvenli çözümü bulmak gerekir.

Sonuç olarak, düşünülmesi gereken temel konu; sadece kısa dönemde değil uzun vadede de iki tarafın yararına olacak, üreticiler ve mühendisler arasında verimli, dürüst ve akılcı bir ilişki geliştirmektir.

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 temsiliinde düzensiz dalgaının istatistiki değeri olan belirgin dalga yüksekliği ve periyodu değeri 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 dalgaının yönü çok önemli bir faktördür. PHRI çok yönlü dalga üreticilerine sahip değiken, değişik dalga yönlerinin etkilerini inceleyebilmek için tek yönlü dalga üreticilerinin yerlerini değiştirmek gerekiyordu.

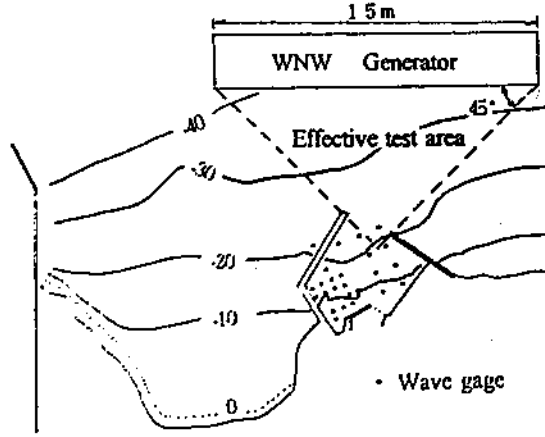
Tablo 1.de dalgaının temsili fiziksel model deneyleri ve kullanılan ekipmalar ve dalga özellikleri gösterilmektedir. Şüphesiz kıyı erozyonu veya kumlanma (sedimentasyon) problemlerinin araştırılması amacıyla oluşturulan fiziksel model deneylerinde çok yönlü dalga üreticilerini kullanabiliriz. Ancak bu 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.

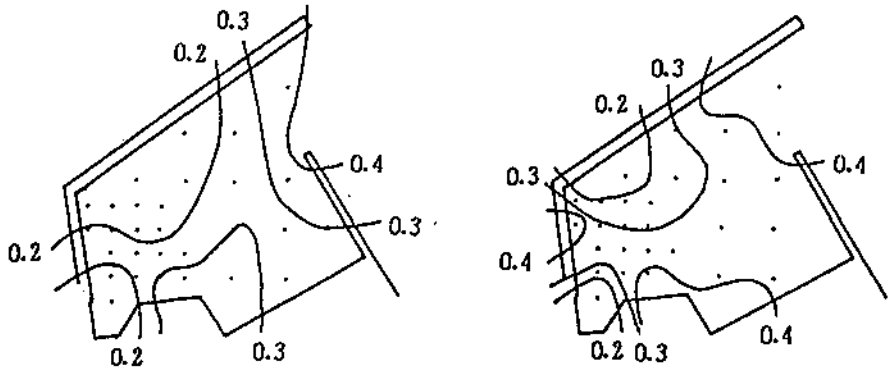
Çok yönlü dalga üreticilerinin çeşitli problemleri vardır. Şekil 1. deki kesik çizgilerle belirlenen alan, üretilen dalgaının beklenen periyot ve yönsele enerji dağılımına uygun dalga

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.

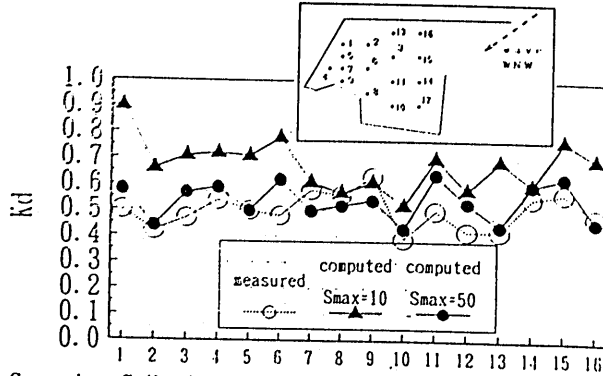
Liman içindeki çalkantı analizleri için Takayama'nın dönme modeli (3) Japon Liman Yapım Bürosu tarafından sıkça kullanılmaktadır. Bu model, Sommerfeld tarafından çözülen yarı sonsuz düzlemde ışık demetinin dönmesine dayanmaktadır. Sommerfeld'in analitik çözümünü liman içi dalga çalkantı analizine uygulamıştır.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

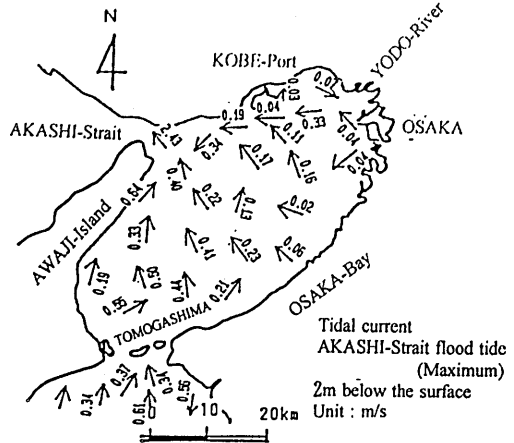
Dalga Modeli	Sahibi
Dalga ray metodu	(Keller, 1958) Sığlaşma, Sapma
Enerji denge denklemi	(Karlsson, 1969) Sığlaşma, Sapma
Helmharz denklemi	(Gaillard, 1984) Kırınım, Yansıma
Takayama metodu	(Takayama, 1981) Kırınım, Yansıma
Hafif eğim denklemi	Berkoff, 1972 Kırınım, Yansıma, Sapma
Bousinesq Denklemi	(Peregrine, 1967) Kırınım, Yansıma, Sapma
Çizgisel olmayan dağılım dalga modeli	(Nadaoka ve diğerleri, 1983) Kırınım, Yansıma, 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	$Fr = \frac{1}{T_r} = 158$
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 Körfez 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 üniiformdur, 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 basandeki modelin su sıcaklığını kontrol etmek zordur.

Ayrıca corioli etkisinide 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.

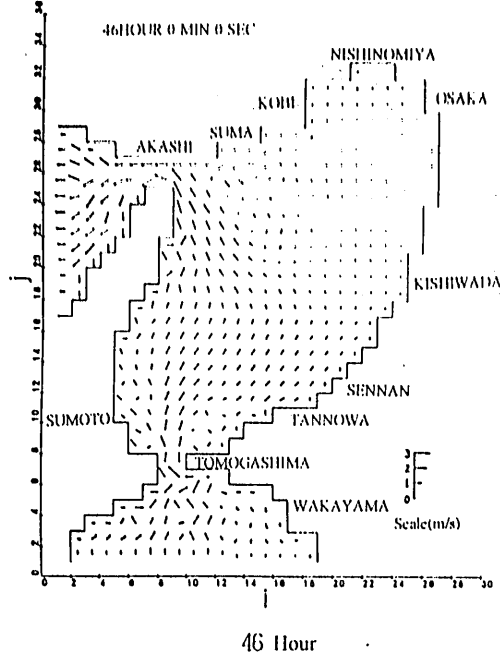
Su kalitesi problemleri ile ilgilenirken yoğunluk akıntısı, rüzgar kaynaklı akıntı veya taban suyu veya tabana malzeme girişi gibi akıntılarda düşey yapılar çok önemli rol oynarlar. Bu yüzden akıntıya ait üç boyutlu modeller geliştirilmiştir. Üç boyutlu akış modelleri olarak Şekil 6. da görüldüğü gibi 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 geliş güzel üçgenler veya kareler veya eğri liner koordinat sistemleri kullanılır (7).

2.3. Su Kalitesi Modellerinin Karşılaştırılması

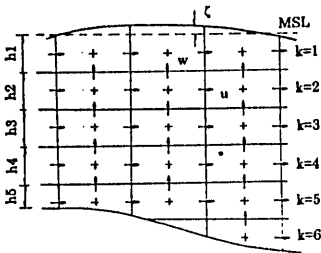
2.3.1. Su Kalitesinin Fiziksel Modellenmesi

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.



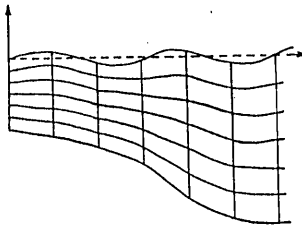
Şekil 5. Gelgit akıntının sayısal benzeşim sonuçları (Osaka Körfezi)

Leendertse , Horie



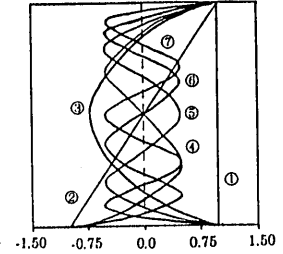
a) çok katman

Blumberg , Sheug



b) streached coordinate

Davies , Gordon
(spectral method)
(Legendre polynomials)



c) polynomial 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 türbülansıya yayılma en önemli faktörlerdir. Bu yüzden fiziksel model deneylerinde konservatif malzemelerin oluşturulacak deniz yapılarının varlığında veya yokluğunda malzeme yayılımlarındaki farkları belirlemede yeterlidir.

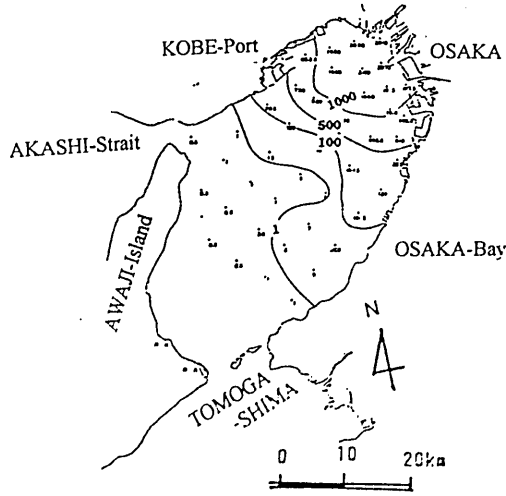
Şekil 7. Osaka körfezinin modelinde yapılan fiziksel model deneyi ile belirlenen dye tracer'in konsantrasyon dağılımını göstermektedir. Bu deneyde Japonya'da su kalitesi belirteci olan COD yerine flöresan dye tracer kullanılmıştır. Osaka körfezinde dye tracer'in yayılım yoluyla COD'nin değerine çok benzerdir, 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

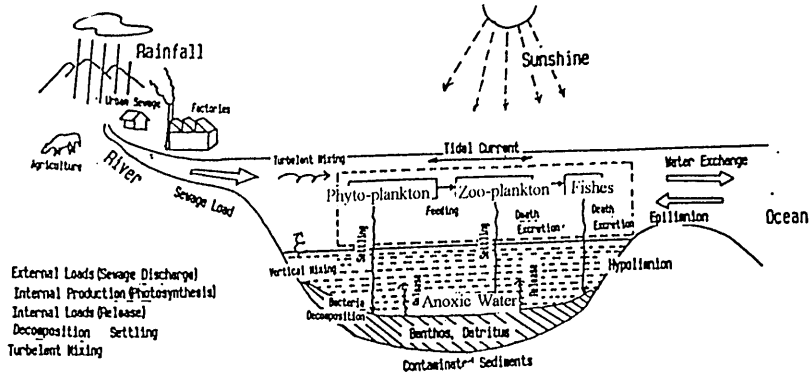
Deniz kıyılarındaki güncel su kalitesi problemi eutrofikasyon veya anoksik su yapısı problemleridir. Bu problemleri belirleyebilmek için, deniz kıyılarında su kalitesi üzerinde organik maddelerin büyük bir etkisi vardır. Şekil 8. deniz kıyılarındaki eutrofikasyon veya anoksik su yapısının şematik mekanizmasını 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 işlemde oksijen yüzey tabakalardaki fotofentezle oluşur. Alt tabakalarda ise güneş ışığı geçemez, bu yüzden organik malzemeler oksijeni taban suyundan alırlar. Yazları, deniz kıyılarında 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 ilgilenirler. 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 anoksis 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.

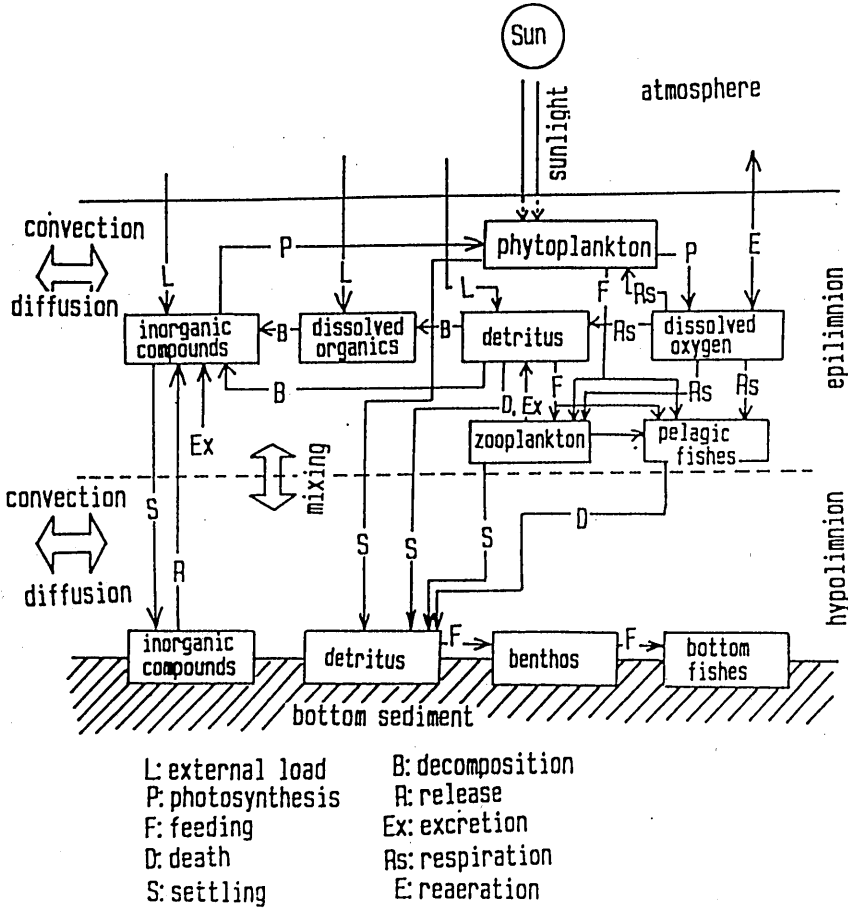
Günümüzde kapalı deniz kıyılarında eutrofikasyon veya red tide gibi su kalitesi problemleri çok karmaşık sayısal modellerle irdelenir. Şekil 9. nutrient dönüşümü sayısal model kavramını göstermektedir. Modelde, fotosentezle organik malzemelerin üremesi, respirasyon ile organik malzemelerin dekompozisyon, 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

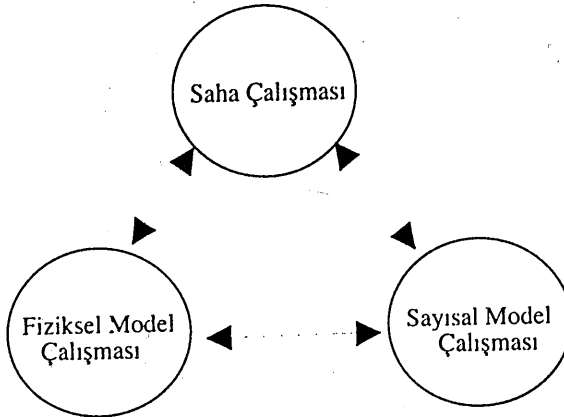
2.4.1. Sedimet Taşınımının Fiziksel Modeli

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 dönüşümün matematiksel 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 dalgaın 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 denklemidir. 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 dalgaın 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 (Karelajlama) İyileştirilmiş (FEM, Curve-linear)
Sınır koşulları	değişken şekillerin oluşturulması (gel-git akıntı) 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)	Belirlenin aynı sonuçlardan aynı sonuç elde edilir
Element	Konservative maddeler	Konservatif olmayan maddeler kullanımı mümkündür
Makina	Hidrolik model baseni Ölçüm aletleri	Bilgisayar
Maliyet	Pahalı	Ucuz

modellerin karşılaştırılmasında ışıkt 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. Bununla 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 edilmelidir ki 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 davranış tam olarak yeniden üretebilmektir.

Bugünlerde fiziksel model deneyleri bazı projelerin tüm alternatiflerini incelemede 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 ikisinide 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 quqlity 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 summarizes 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.

KAZIKLI İSKELELERDE SİLİNDİRİK DÜŞEY KAZIK GRUBUNA ETKİ EDEN DALGA KUVVETİNİN İNCELENMESİ

Emel İRTEM

Y. Doç. Dr.

Balıkesir Üniversitesi Müh. Mim. Fak.

İnş. Müh. Böl.

Balıkesir, Türkiye

Nuray GEDİK

İnş. Yük. Müh.

Hasan Vardar İnşaat San. ve Tic. A.Ş.

Balıkesir, Türkiye

ÖZET

Bir kazıklı iskeleye, iskele üst yapı ve kazık zati ağırlıklarından oluşan ölü ağırlık, tabliye üzerinde düzgün yayılı yük, kara vasıtası, katar yükü, vinç yükü, gemi yanaşma basıncı, baba çekme kuvveti, fren kuvveti, rüzgar kuvveti, deprem kuvvetinin yanı sıra dalga kuvveti de etkimektedir.

Bu çalışmada, kazıklara etki eden dalga kuvvetinin hesabından bahsedilmiş, iskele kazık grubuna etkiyen dalga kuvvetine dalga yüksekliğinin, dalga periyodunun, kazık çapının, kazıklar arasındaki uzaklığın etkisi araştırılmıştır. Dalga yüksekliği, dalga periyodu ve kazık çapı arttıkça düşey kazık grubuna etkiyen dalga kuvvetinin de arttığı, kazıklar arası açıklık arttığında ise dalga kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Sonuçlar tablo ve grafiklerle gösterilerek tartışılmıştır.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Masif iskeleler dalgaları yansıtmasının yanı sıra büyük derinliklerde inşa edildiklerinde büyük ağırlıkları nedeniyle oturmaları neden olduklarından kazıklı tip tercih edilmektedir [1]. Bir kazıklı iskeleeye etkileyen kuvvetler ele alınırken dalgaların kıyı yapıları üzerinde önemli etkileri olduğu bilindiği halde dalga kuvvetinin gözönüne alınmadığı görülmektedir. Dalga etkisi altındaki kazıklarda dalga kuvvetinin tayinindeki değişkenler: Dalga yüksekliği (H), su derinliği (d), dalga periyodu (T), dalga uzunluğu (L) ve kazık çapı (D)'dir. Akışkan, akışkanın özgül kütlesi (ρ) ve kinematik viskozite katsayısı (ν) ile karakterize edilir. Bu konudaki boyutsuz büyüklüklerin bazıları: Boyutsuz dalga dikliği (H/gT^2), boyutsuz su derinliği (d/gT^2), kazık çapının dalga uzunluğuna oranı (D/L) ve Reynolds sayısı ($HD/T\nu$)'dir [2].

Bu çalışma dalga kuvvetinin hesabını, iskele kazık grubuna etkileyen dalga kuvvetine dalga yüksekliğinin, dalga periyodunun, kazık çapının ve kazıklar arasındaki uzaklığın etkisini kapsamaktadır.

2. DALGA KUVVETİNİN HESABI

2.1 Kazığa Etki Eden Dalga Kuvvetinin Hesaplanması

Dalga etkisi altındaki silindirik kazıklardaki kuvvetlerin tayinindeki değişkenler Şekil 2.1'de gösterilmektedir.

Kazıktan kısa bir mesafe uzaklıktaki akım alanında kazığın etkisi ihmal edilmiştir. MacCamy ve Fuchs (1954) lineer dalga teorisine dayanarak teorik olarak silindirden geçen dalga problemlerini incelemişlerdir. Bu çalışmalarda kazık çapının dalga uzunluğuna (D/L_A) oranının küçük değerleri için kuvvetin yaklaşık olarak ivme (du/dt) ile orantılı olduğu sonucuna varılmıştır. Küçük kazıklarda (1) bağıntısının kullanılabilmesi için $D/L_A < 0.05$ şartının sağlanması gerekir. Bu bağıntıda belirtilen şart kazık kuvvet hesabı için nadiren de olsa sağlanmayabilir. Ancak bu şart, dolphinlerde, kesonlarda ve benzeri büyük yapılarda kuvvetler hesaplandığı zaman önemlidir.

(1) bağıntısını kullanmak için proje dalgası ile hız ve ivme alanlarının Airy dalga teorisi tarafından tanımlandığı kabul edilir. $x = 0$ iken

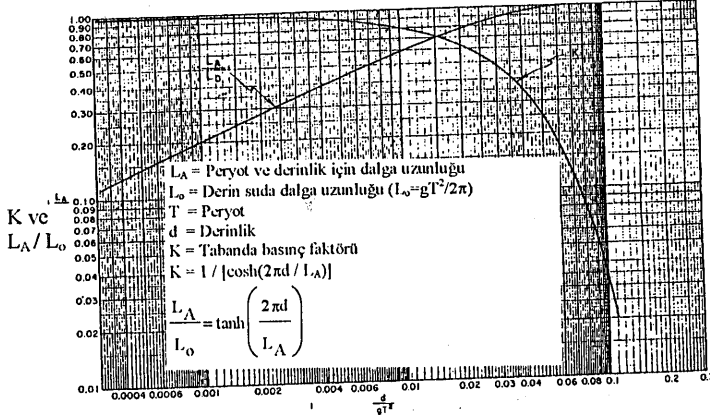
$$f_i = C_M \rho g \frac{\pi D^2}{4} H \left\{ \frac{\pi}{L_A} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L_A]}{\cosh[2\pi d/L_A]} \right\} \sin\left(-\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2)$$

$$f_D = C_D \frac{1}{2} \rho g D H^2 \left\{ \frac{g T^2}{4 L_A^2} \left\{ \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L_A]}{\cosh[2\pi d/L_A]} \right\}^2 \right\} \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (3)$$

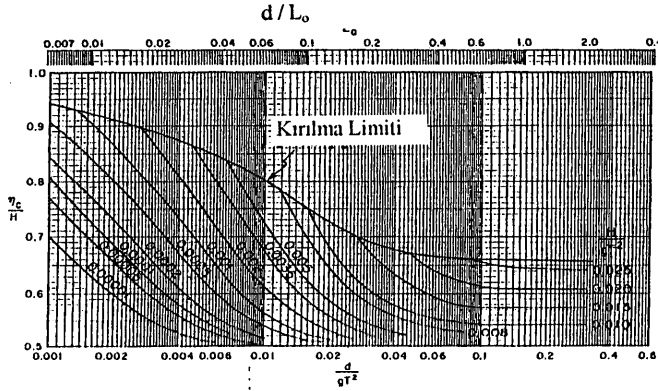
(2) ve (3) bağıntılarında iki kuvvetin zamanla ve kazığın z eksenindeki yükseklik ile değiştiği görülmektedir

Atalet ve sürüklenme kuvvetinin hesabını daha çabuk hesap yapmak için Şekil 2.2'deki K eğrisi kullanılabilir. Tabandaki kuvvetin yüzeydeki kuvvete oranı atalet kuvveti için K^2 'ya, sürüklenme kuvveti için K 'ye eşittir.

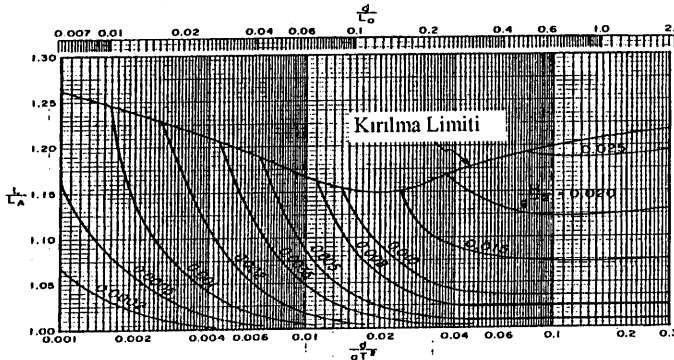
Lineer olmayan teorilerde dalga uzunluğu ve durgun su seviyesi üstündeki dalga kreti yüksekliği, dalganın dikliğine ve dalga yüksekliği-su derinliği oranına bağlıdır. Dalga uzunluğu ve kret yüksekliğinin η_c sakin su seviyesi üstündeki (veya altındaki) su kotuna etkisi Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 2.2 d/gT^2 değerlerine karşı gelen rölatif dalga uzunluğu ve basınç faktörü



Şekil 2.3 Dalga yüksekliği için durgun su seviyesi üzerindeki kret oranının değişimi



Şekil 2.4 Sonlu genlikli etkiler için dalga uzunluğunu düzeltme faktörü

Kazıkta toplam yatay kuvvetler (1) bağıntısının integrasyonu ile elde edilir:

$$F = \int_d^{\eta} f_i dz + \int_d^{\eta} f_d dz = F_i + F_d \quad (4)$$

Genellikle aşağıdaki şekilde ifade edilirler:

$$F_i = C_M \rho g \frac{\pi D^2}{4} H K_i \quad (5)$$

$$F_d = C_D \frac{1}{2} \rho g D H^2 K_D \quad (6)$$

Burada C_D ve C_M 'nin sabit ve K_i , K_D 'nin boyutsuz olduğu varsayılmıştır.

$$F_{im} = C_M \rho g \frac{\pi D^2}{4} H K_{im} \quad (7)$$

$$F_{Dm} = C_D \frac{1}{2} \rho g D H^2 K_{Dm} \quad (8)$$

K_{im} , K_{Dm} değerleri Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'dan bulunmuştur. (7) ve (8) bağıntılarından, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6 kullanılarak kuvvetlerin maksimum değerleri bulunabilir.

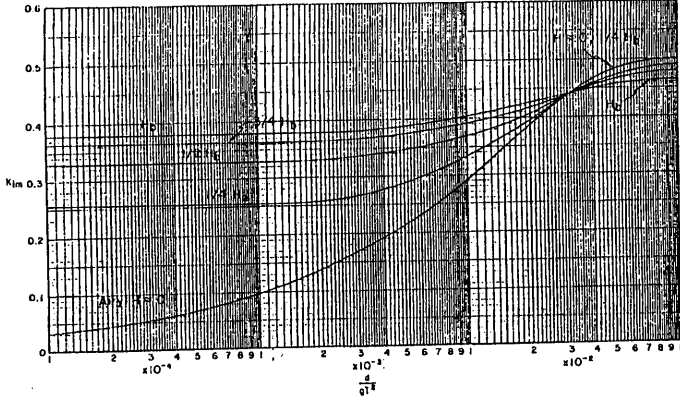
$$W = \frac{C_M D}{C_D H} \quad (9)$$

Maksimum toplam kuvveti hesaplayabilmek için (9) bağıntısından faydalanılarak Dean (1965a) tarafından hazırlanan Şekil 2.7'den Şekil 2.10'a kadar olan grafikler kullanılır.

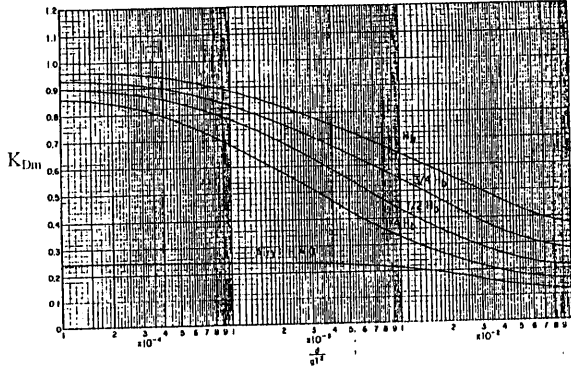
Maksimum kuvvet aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$F_m = \phi_m w C_D H^2 D \quad (10)$$

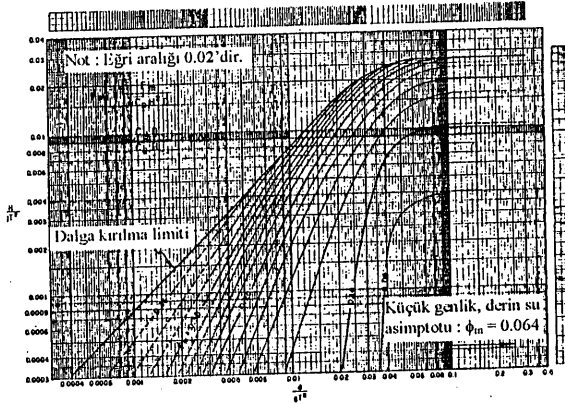
Burada ϕ_m şekillerden okunan bir katsayıdır.



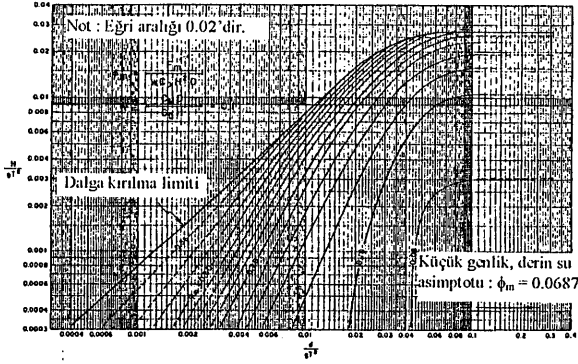
Şekil 2.5 d / gT^2 ve rölatif derinliğe karşı gelen K_{im} değerleri



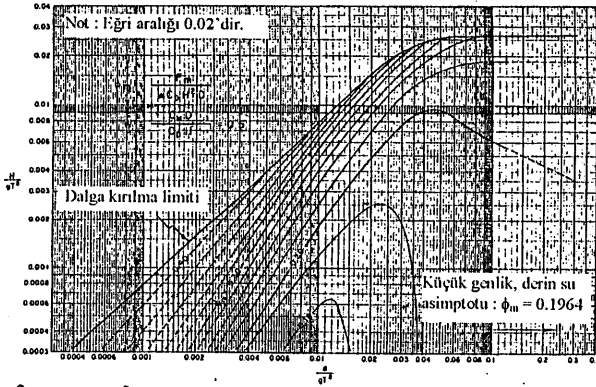
Şekil 2.6 d / gT^2 ve rölatif derinliğe karşı gelen K_{Dm} değerleri



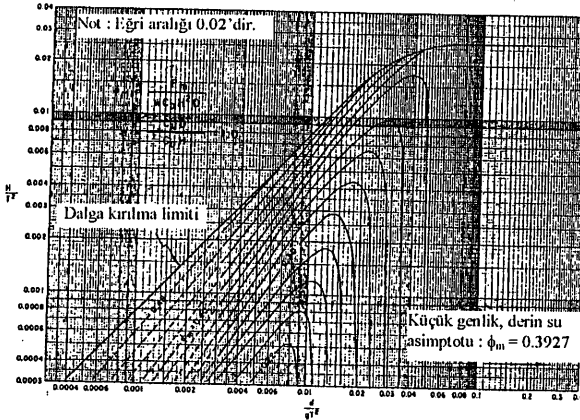
Şekil 2.7 H / gT^2 ve d / gT^2 değerlerine karşı gelen ϕ_m eğrileri ($W = 0.05$)



Şekil 2.8 H/gT^2 ve d/gT^2 değerlerine karşı gelen ϕ_m eğrileri ($W = 0.1$)



Şekil 2.9 H/gT^2 ve d/gT^2 değerlerine karşı gelen ϕ_m eğrileri ($W = 0.5$)



Şekil 2.10 H/gT^2 ve d/gT^2 değerlerine karşı gelen ϕ_m eğrileri ($W = 1.0$)

2.2 C_D ve C_M Hidrodinamik Katsayılarının Hesabı

$$\left. \begin{array}{l} \text{Kritik altı : } Re < 1.10^5 \text{ burada } C_D \text{ sabittir } (\approx 1.2) \\ \text{Geçiş : } 1.105 < Re < 4.10^5 \text{ burada } C_D \text{ değişkendir.} \\ \text{Kritik üstü : } Re > 4.10^5 \text{ burada } C_D \text{ sabittir } (\approx 0.6 - 0.7) \end{array} \right\} \quad (11)$$

$$\left. \begin{array}{ll} R_e < 2.5 \times 10^5 & \Rightarrow C_M = 2.0 \\ 2.5 \times 10^5 < R_e < 5 \times 10^5 & \Rightarrow C_M = 2.5 - \frac{R_e}{5 \times 10^5} \\ R_e > 5 \times 10^5 & \Rightarrow C_M = 1.5 \end{array} \right\} \quad (12)$$

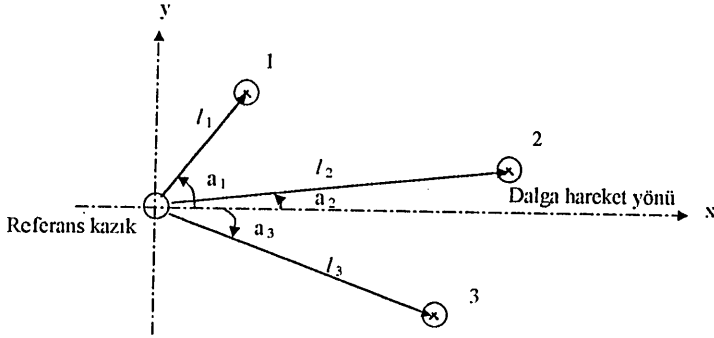
(11) ve (12) bağıntılarından görüldüğü gibi C_D ve C_M katsayıları R_e sayısına bağlı olarak değişen katsayıdır.

2.3 Düşey Silindirik Kazık Gruplarında Kuvvetlerin Hesabı

Yapıyı oluşturan kazık gruplarında maksimum yatay kuvveti bulmak için Bölüm 2.1’de sunulan yaklaşım genelleştirilebilir. Şekil 2.1’de dalga etkisindeki kazık grupları görülmektedir. Eğer $x=0$ ’daki referans kazığı seçilmiş ise gruptaki her bir kazığın x koordinatı

$$x_n = l_n \cos \alpha_n \quad (13)$$

ile bulunur. n indisi, belirli bir kazığı ifade eder, l_n ve α_n Şekil 2.11’de açıklanmıştır. Eğer komşu iki kazık arasındaki mesafe yeterince büyük ise tek bir kazıktaki kuvvetler, diğer kazıklardan etkilenmeyecektir.



Şekil 2.11 Yapısal olarak birleştirilmiş bir kazık grubunda dalga kuvvetlerinin hesabıyla ilgili kavramlar

Bölüm 2.1’de tek düşey kazıktaki kuvvet değişimi zamanın bir fonksiyonudur. Faz açısı,

$$\theta = \frac{2\pi x}{L_A} - \frac{2\pi t}{T} \quad (14)$$

dır. Burada, L_A , dalga uzunluğunu ifade eder.

$x = x_r$ durumunda referans kazığın yerinin seçimi ile proje dalga kretine bağlı toplam kuvvet aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$F_{\text{toplam}} = \sum_{n=0}^{N-1} F(x_r + x_n) \quad (15)$$

Burada, N , gruptaki toplam kazık sayısı, x_r dalga kreti ile ilgili referans kazığın yerleşimini gösterir.

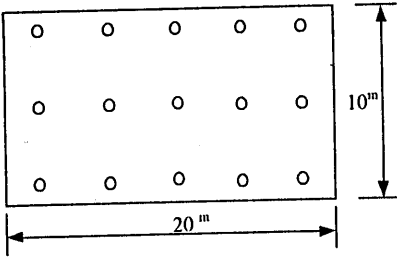
Daha sonra kazık grubuna gelen toplam dalga kuvvetinin hesabında izlenen işlem sırası sayısal uygulamada verilmiştir.

3. SAYISAL UYGULAMA

3.1 Dalga Yüksekliğinin Değişmesi Hali

Dalga peryodu (T), kazık çapı (D), su derinliği (d) ve kazıklar arası mesafe (L) sabit tutulup dalga yüksekliğinin değişik değerleri için kazık grubuna etki eden dalga kuvvetleri hesaplanmıştır.

Kazık grubuna etki eden dalga kuvvetlerini hesaplamak için aşağıda boyutları verilen ano gözönüne alınmıştır (Şekil 3.1).



Gemi Tipi : Yolcu Gemisi (1000 GT)
İskele Boyutu : 120 / 10 (6 Anodan oluşuyor)

Şekil 3.1 Ano boyutları

Verilenler : $T = 8$ s., $H = 3$ m., $d = 15$ m., $D = 0.50$ ve $L = 4.00$ m. (Kazıklar arası mesafe)

İstenen : Kazık grubuna etki eden toplam dalga kuvveti

İlk olarak $H = 3.0$ m ve $T_s = 8$ s olduğunda boyutsuz dalga dikliği ve boyutsuz su derinliği aşağıdaki gibi bulunur:

$$H / gT^2 = 0.005 \quad \text{ve} \quad d / gT^2 = 0.0239$$

Bu boyutsuz d / gT^2 büyüklüğüne karşı gelen (L_A / L_o) oranı Şekil 2.2'den elde edilir.

$$d / gT^2 = 0.0239 \Rightarrow L_A / L_o = 0.82$$

Elde edilen bu orana göre Airy dalga uzunluğu aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$L_A = 0.82 \frac{gT^2}{2\pi} = 0.82 \frac{9.81 \cdot 8^2}{2\pi} = 81.94 \text{ m} \approx 82.00 \text{ m}$$

Daha sonra kazık çapının dalga uzunluğuna oranı hesaplanır.

$D / L_A = 0.60 / 81.52 = 0.00736 < 0.05$ şartını sağladığından (1) bağıntısı kullanılabilir.

$$u_{\max} = \frac{\pi H \left(\frac{L_o}{L_A} \right)}{T} = \frac{\pi \times 3 \left(\frac{1}{0.82} \right)}{8} = 1.437 \text{ m/s.} \quad R_e = \frac{u_{\max} D}{\nu} = \frac{1.437 \times 0.50}{9.29 \times 10^{-7}} = 7.73 \times 10^5$$

$$(11) \text{ bağıntısından } Re = 7.73 \times 10^5 \Rightarrow C_D = 0.7$$

$$(12) \text{ bağıntısından } Re > 5 \times 10^5 \text{ için } C_M = 1.5 \text{ alınır.}$$

Airy teorisine göre boyutsuz su derinliğine karşı gelen K_{im} ve K_{Dm} değerleri Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'daki grafiklerden yararlanılarak elde edilir.

$$d / gT^2 = 0.0239 \text{ için (Airy Teorisi) } K_{im} = 0.412 \quad K_{Dm} = 0.180$$

(8) ve (9) bağıntılarından sürüklenme kuvveti ve atalet kuvveti aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$F_{im} = 1.5 \times (102.5) \times 9.81 \times \frac{\pi \times (0.50)^2}{4} \times (3) \times (0.412) = 0.366 \text{ ton}$$

$$F_{Dm} = 0.7 \times 0.5 \times (102.5) \times (9.81) \times (0.50) \times (3)^2 \times (0.180) = 0.285 \text{ ton}$$

Maksimum toplam kuvveti hesaplayabilmek için (9) bağıntısından

$$W = \frac{C_M D}{C_D H} = 0.357$$

bulunur. Buradan boyutsuz dalga dikliği ve boyutsuz su derinliğine karşı gelen ϕ_m değerleri Şekil 2.7'den Şekil 2.10'a kadar olan grafiklerden yararlanılarak elde edilir.

$$d/gT^2 = 0,0239 \text{ ve } H/gT^2 = 0.005 \text{ için } W = 0.1 \text{ için } \phi_m = 0.13$$

$$W = 0.5 \text{ için } \phi_m = 0.19$$

olup $W = 0.357$ için $\phi_m = 0.17$ değeri enterpolasyonla bulunmuştur. (10) bağıntısından sonlu genlik teorisine göre maksimum kuvvet $[F_m] = 0.538 \text{ t}$ bulunur.

Airy teorisine göre maksimum kuvveti bulmak için önce aşağıdaki ifadelerden F_i , F_D kuvvetleri hesaplanır [2]:

$$F_i = F_{im} \sin \theta \quad (16)$$

$$F_D = F_{Dm} \cos \theta |\cos \theta| \quad (17)$$

Maksimum kuvveti buluncaya kadar 0° 'ya $0 < \theta < \pi$ arasında farklı değerler verilerek aşağıdaki Tablo 3.1 oluşturulur.

Tablo 3.1 θ 'nın farklı değerlerine karşı gelen toplam kuvvet

θ	X	F_i	F_D	$F = F_i + F_D$	$F = F_D - F_i$
0	0.00000	0.00000	0.28500	0.28500	0.28500
20	4.55556	0.12518	0.25166	0.37684	0.12648
40	9.11111	0.23526	0.16724	0.40251	-0.06802
60	13.66667	0.31697	0.07125	0.38822	-0.24572
80	18.22222	0.36044	0.00859	0.36903	-0.35185
100	22.77778	0.36044	-0.00859	0.35185	-0.36903
120	27.33333	0.31697	-0.07125	0.24572	-0.38822
140	31.88889	0.23526	-0.16724	0.06802	-0.40251
160	36.44444	0.12518	-0.25166	-0.12648	-0.37684
180	41.00000	0.00000	-0.28500	-0.28500	-0.28500

$\Rightarrow [F_m] = 0.402 \text{ Ton}$
(Airy Teorisi)

Tablo 3.1'den $\theta = 40^\circ$ olduğunda Airy teorisine göre maksimum kuvvet $[F_m]_{\text{Airy}} = 0.402 \text{ t}$ bulunur. Buna karşı gelen atalet kuvveti $F_i = 0.235 \text{ t}$ ve sürüklenme kuvveti $F_D = 0.167 \text{ t}$ 'dur.

Tablo 3.2 Referans kazığa bağlı olarak hesaplanan kuvvetler

L	x	θ	F _m	FD _m	F _i	FD	F
82.00	4	17.57	0.366	0.285	0.111	0.259	0.370
82.00	8	35.12	0.366	0.285	0.211	0.191	0.401
82.00	12	52.68	0.366	0.285	0.291	0.105	0.396
82.00	16	70.24	0.366	0.285	0.344	0.033	0.377
					0.957	0.587	1.544

Tablo 3.2'deki θ 'lar (14) ifadesinden bulunmuştur. Dalga kırılma sınırında $\theta = 8^\circ$ olduğunda (16) ve (17) bağıntılarından atalet kuvveti ve sürüklenme kuvveti

$$F_i = 0.051 t \quad F_D = 0.279 t \quad \text{ve} \quad \text{toplam kuvvet} \quad F = 0.330 t' \text{ dur.}$$

Kazık grubuna etkiyen toplam dalga kuvveti;

$$\Sigma F = 1.544 \times 3 + 0.330 \times 3 = 5.622 t$$

ve

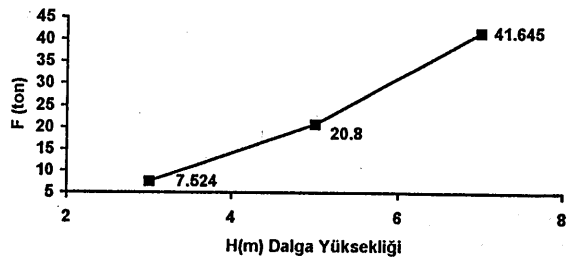
$$[F_{\text{toplam}}] = \frac{[F_m]_{\text{son.gen}}}{[F_m]_{\text{Airy}}} \Sigma F \quad (18)$$

$$[F_{\text{toplam}}] = (0.538/0.402) \times 5.622 = 7.524 t$$

bulunmuştur. Hesaplar sadece bu durum için açık olarak gösterilmiştir. Diğer çözümlerde de aynı hesap tarzı izlendiğinden hesap sonuçları sadece tablo ve grafikler halinde verilmiştir.

Tablo 3.3 Dalga yüksekliğinin değişik değerlerine karşı gelen dalga kuvvetleri

SABİTLER	H(m)	$[F_{\text{toplam}}] (t)$
T = 8 s	3	7.524
d = 15 m	5	20.800
D = 0.50 m	7	41.645
L = 4 m		

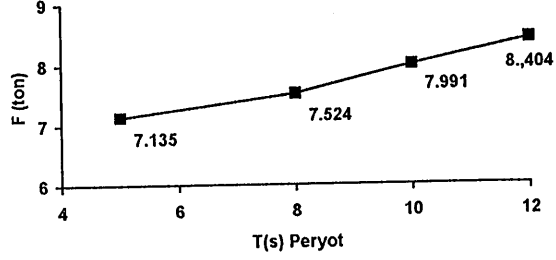


Şekil 3.1 Dalga yüksekliği ile dalga kuvvetinin değişimi

3.2 Dalga Peryodunun Değişmesi Hali:

Tablo 3.4 Dalga periyodunun değişik değerlerine karşı gelen dalga kuvvetleri

SABİTLER	T(s)	F _{toplam} (t)
H = 3 m	5	7.135
d = 15 m	8	7.524
D = 0.50 m	10	7.991
L = 4 m	12	8.404

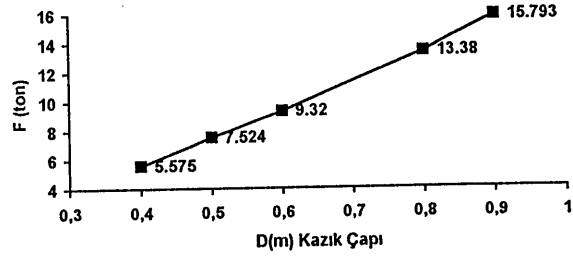


Şekil 3.2 Dalga periyodu ile dalga kuvvetinin değişimi

3.3 Kazık Çapının Değişmesi Hali:

Tablo 3.5 Kazık çapının değişik değerlerine karşı gelen dalga kuvvetleri

SABİTLER	D (m)	F _{toplam} (t)
H = 3 m	0.40	5.575
T = 8 s	0.50	7.524
d = 15 m	0.60	9.320
L = 4 m	0.80	13.380
	0.90	15.793



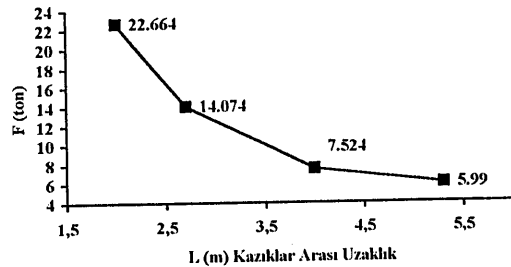
Şekil 3.3 Kazık çapı ile dalga kuvvetinin değişimi

3.4 Kazık Aralıklarının Değişmesi Hali:

Terzaghi ve Peck (1986) kazık merkezleri arasındaki uzaklığın kazık başı çapının 2.5 katı ile 4 katı arasında olmasını öngörmektedir. Alt sınır kabarma olmaması için verilmiştir [3].

Tablo 3.6 Kazıklar arası mesafenin değişik değerlerine karşı gelen dalga kuvvetleri

SABİTLER	L (m)	F _{toplam} (t)
H = 3 m	2.00	22.664
T = 8 s	2.70	14.074
d = 15 m	4.00	7.524
d = 0.50 m	5.30	5.990



Şekil 3.4 Kazıklar arası mesafe ile dalga kuvvetinin değişimi

4. SONUÇLAR

Çalışmada, önce dalga etkisi altındaki silindirik düşey kazıklarda dalga kuvvetinin tayinindeki değişkenler gösterilmiştir. Daha sonra bu kazıklara etkiyen dalga kuvvetinin hesap adımları anlatılırken kullanılan eğrilere ve katsayılara da yer verilmiştir. Dalga kuvvetine dalga yüksekliğinin, dalga periyodunun, kazık çapının ve kazıklar arasındaki uzaklığın etkisini araştırmak amacıyla sayısal örnekler üzerinde çalışılmıştır. Uygulamada ilk olarak diğer değişkenler sabit tutulup dalga yüksekliği değiştirilmiş ve dalga yüksekliği arttıkça kazık grubuna etkiyen dalga kuvvetinin de arttığı görülmüştür (Şekil 3.1). Bu beklenen bir sonuçtur ve kazığın birim uzunluğuna etkiyen atalet ve sürüklenme kuvvetlerini veren (2) ve (3) nolu ifadelerden de bu açıkça görülmektedir. İkinci olarak dalga periyodunun değişken olması hali ele alınmış ve dalga periyodunun dalga kuvveti ile doğru orantılı olduğu görülmüştür (Şekil 3.2). Periyot arttıkça dalga boyu da artmakta ve daha büyük dalga kuvvetleri oluşmaktadır. Üçüncü olarak kazık çapının değişken olması hali incelenmiş kazık çapı büyüdükçe dalga kuvveti de artmıştır (Şekil 3.3). Bu durum da (2) ve (3) nolu ifadelerle uyushmaktadır, çap arttıkça yüzey alanı dolayısıyla kuvvet de artmaktadır. Son olarak kazıklar arası uzaklığın değişken olması hali ele alınmış kazıklar arası uzaklık arttıkça dalga kuvveti azalmıştır (Şekil 3.4). Kazıklar arası uzaklık arttıkça kazık sayısı azalmakta, her bir kazığa gelen kuvvet artmaktadır. Ancak kazık grubuna etkiyen kuvvet kazık sayısına da bağlı olduğundan azalmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Kapdaşlı, S., Kıyı Mühendisliği, İTÜ Yayını, No: 1054, İstanbul, 1992, s. 112.
2. Shore Protection Manuel, Vol.2 U.S Department of the Army , Washington, 1984, 101-160.
3. Toğrol, E., Kazıklı Temeller, Temel Araştırma A.Ş. Yayınları, No: 1, İstanbul, 1970, s. 131.

SUMMARY

A piled pier is influenced by the dead weight formed upper structure and own weight of pile, uniform distributed load on the tablet, vehicle, cooper loading, crane load, ship berthing pressure, bollard pulling force, breaking force, wind force, earthquake force and also wave force.

In this study the wave force effecting to piles calculation was explained. The effect of the wave height, wave period, pile diameter and distance between the piles to the wave force were investigated. It was obtained that while the wave height, wave period and pile diameter increased, the wave force effecting to the vertical pile group increased and if the distance between the piles increased the wave force decreased. The results were given by the tables and graphics and discussed.

DÜZENLİ DALGALARIN DÜZENSİZ TOPOGRAFYA ÜZERİNDE SAPMASININ HESABI

Murat İhsan KÖMÜRCÜ

Arş. Gör.

KTÜ İnş. Müh. Böl.

Trabzon, TURKEY

Hikmet KAPLAN

Arş. Gör.

KTÜ Gümüşhane Müh. Fak. İnş. M. B.

Gümüşhane, TURKEY

Ömer YÜKSEK

Doç. Dr.

KTÜ İnş. Müh. Böl.

Trabzon, TURKEY

İsmail Hakkı ÖZÖLÇER

Arş. Gör. Dr.

KTÜ İnş. Müh. Böl.

Trabzon, TURKEY

ÖZET

Bu çalışmada, derin deniz sınırından kıyıya doğru yaklaşan düzenli dalgaların, düzensiz topografya etkisiyle sapmasını belirleyen diferansiyel denklemler verilmiş ve bu denklemler sayısal olarak çözülerek, dalga sığlaşması ve kırılması da dikkate alınarak dalga ortogonalinin yörüngesini ve dalga yüksekliğini belirleyen bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Programın hesap moduyla, sapma etkisiyle dalga açısı ve sapma katsayısı, sığlaşma etkisiyle sığlaşma katsayısı ve bunlara bağlı olarak dalga yüksekliği, kırılma etkisiyle kırılma derinliği ve bu derinlikteki kırılan dalga yüksekliği belirlenmiştir. Program, kırılma gerçekleşikten sonra, sapma ve sığlaşma hesabını durdurarak, dalga yüksekliğini kıyı çizgisi üzerinde sıfır olacak şekilde lineer olarak azaltmaktadır.

1. AMAÇ

Dalga sapması, düz ve paralel konturlu topografyalarda analitik olarak kolayca belirlenebilmesine rağmen; düzensiz topografyalarda oldukça zaman alıcı, sıkıcı, kullanımda uzmanlık gerektiren ve sonuçları kişilere bağlı olabilen grafik yöntemlerle oldukça zor belirlenebilmektedir. Bu sebeplerden dolayı, günümüzde düzensiz topografyalarda grafik yöntemler yerine sayısal yöntemler geliştirilmeye ve bilgisayar yardımıyla hesap yapılmaya başlanmıştır. Sayısal yöntemlerde, grafik yöntemlerle hesap yaparken kullanılan derinlik konturları yerine, hesap yapılacak bölgeyi karelej oluşturacak şekilde dilimlere bölerek bu dilimler yardımıyla hesap yapılmaktadır. Dilim boyutları, sonucun istenilen hassasiyetine göre seçilebilir; başlangıç şartları bilindiğinde derin deniz sınırından başlanma şartı aranmaz. Sayısal yöntemler için diferansiyel denklemler ortogonal boyunca oluşturulur, taban topografyasının etkisi hızın bir fonksiyonu olarak dikkate alınır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Sapma - Sığlaşma Hesabında Yapılan Kabuller

Sunulacak olan bu yaklaşımda, düzenli, uzun tepeli, küçük genlikli yüzey dalgaları kullanılmış, akıntının, rüzgarın, sızmanın ve türbülans dolayısıyla taban sürtünmesinin etkileri ihmal edilmiştir. Yansımanın ve dönmenin etkileri dikkate alınmamış, bitişik ortogonaller arasında enerji kaybı olmadığı kabul edilmiştir. Ayrıca ortogonallerin birbirini kesmediği (kaustik oluşmadığı) kabul edilmiştir [1].

2.2. Dalga Sapma Yönünü ve Sapma Katsayısını Belirleyen Diferansiyel Denklemler

Skovgaard, Jonsson ve Bertelsen yaptıkları çalışmalarda dalga sapma yönü ve sapma katsayısı için aşağıdaki denklemleri geliştirmişlerdir [1].

Dalga sapma yönü için:

$$\frac{dx}{dt} = C \cdot \cos \theta \quad (1)$$

$$\frac{dy}{dt} = C \cdot \sin \theta \quad (2)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\partial C}{\partial x} \cdot \sin \theta - \frac{\partial C}{\partial y} \cdot \cos \theta \quad (3)$$

Dalga sapma katsayısı için:

$$\frac{d^2 \beta}{dt^2} + p_t \cdot \frac{d\beta}{dt} + q_t \cdot \beta = 0 \quad (4)$$

Denklem (4)'teki katsayılar aşağıdaki kısmi diferansiyel denklemlerle ifade edilebilir.

$$p_t = -2 \cdot \left(\frac{\partial C}{\partial x} \cdot \cos \theta + \frac{\partial C}{\partial y} \cdot \sin \theta \right) \quad (5)$$

$$q_t = C \cdot \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \cdot \sin^2 \theta - \frac{\partial^2 C}{\partial x \partial y} \cdot 2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \cdot \cos^2 \theta \right) \quad (6)$$

Denklemlerde; C dalga hızını, x, y ortogonalin yolunu belirleyen koordinatları, θ ortogonalin x - eksenine yaptığı açığı (ortagonal açısı), d_t seçilen zaman aralığını ve β ortagonal ayırma faktörünü göstermektedir.

Sapma katsayısı, denklem (4)'ün çözümünden elde edilen ortogonal ayırma faktörü " β " 'ya bağlıdır.

$$K_r = \beta^{-1/2} \quad (7)$$

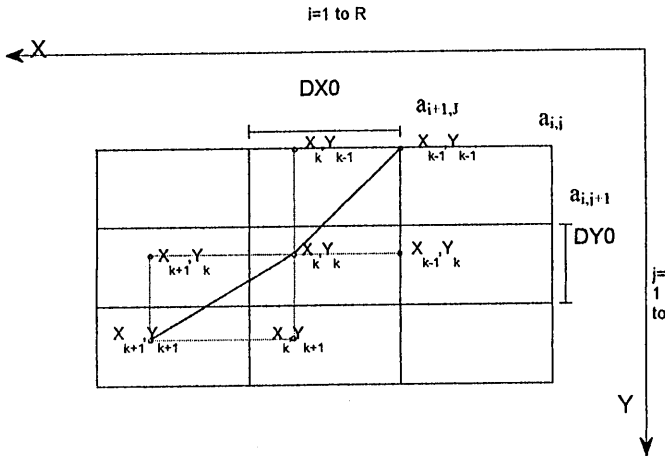
2.3. Sonlu Farklar Tekniğiyle Dalga Yönünü Belirleyen Diferansiyel Denklemlerin

Sayısal Çözümü

Geliştirilen diferansiyel denklemlerin sayısal olarak çözülebilmesi için, adi ve kısmi türevler, sonlu farklar yardımıyla yeniden düzenlenmiştir. Sonlu farklar tekniği kullanımında gerekli olan karelej ağı (Şekil 1), taban topografyasını temsil edecek şekilde oluşturulmuştur. Şekil 1’de, i ve j ’nin maksimum değerleri R ve S ’dir. R ve S değerleri, hesap yapılacak alanın büyüklüğüne ve hücre boyutlarına ($DX0$, $DY0$) bağlıdır [2].

Taban topografyası, karelej ağında, hücrelerin köşegenlerindeki yatay koordinatlar ve bu noktadaki kotlarla ifade edilir. Köşegenlerdeki kotlar elle doğrudan hesaplanacağı gibi, sayısal yükseklik modelleri yöntemlerinden multikvadrik enterpolasyon yöntemiyle de belirlenebilir. Bu yöntemde, oluşturulan karelej ağındaki hücre köşegenlerindeki kotlar, dayanak noktaları yardımıyla yapılan bilgisayar programıyla hesaplanabilmektedir [3].

(1, 2, 3) diferansiyel denklemleri ileri yön sonlu farklar tekniği kullanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir [4, 5, 6]. Şekil 1’de gösterilen karelej ağında X_k , Y_k “ $k \rightarrow 1 - n$ ”e kadar “başlangıç noktası olmak üzere:



Şekil 1. Karelej ağı üzerinde ortogonal yörüngesi

$$X_{k+1} = \Delta t \cdot C_{X_k, Y_k} \cdot \cos \theta_k + X_k \quad (8)$$

$$Y_{k+1} = \Delta t \cdot C_{X_k, Y_k} \cdot \sin \theta_k + Y_k \quad (9)$$

$$\theta_{k+1} = \Delta t \cdot \left\{ \frac{(C_{X_{k+1}, Y_k} - C_{X_k, Y_k}) \cdot \sin \theta_k}{\Delta X_l} - \frac{(C_{X_k, Y_{k+1}} - C_{X_k, Y_k}) \cdot \cos \theta_k}{\Delta Y_l} \right\} + \theta_k \quad (10)$$

$$\Delta X_l = X_{k+1} - X_k \quad (l=1-n) \quad (11)$$

$$\Delta Y_l = Y_{k+1} - Y_k \quad (l=1-n) \quad (12)$$

2.4. Sonlu Farklar Tekniğiyle Dalga Yüksekliğini Belirleyen Diferansiyel Denklemlerin Sayısal Çözümü

İkinci dereceden kısmi türevli (4, 5, 6), diferansiyel denklemlerin Şekil 1'de gösterilen k noktasına göre sayısal ifadeleri aşağıda verilmiştir [4, 5, 6].

$$\beta_{k+1} = \frac{-q_t \cdot \beta_k \cdot \Delta t^2 + 2 \cdot \beta_k - \beta_{k-1} + p_t \cdot \beta_k \cdot \Delta t}{1 + \Delta t \cdot p_t} \quad (13)$$

$$p_t = -2 \cdot \left\{ \frac{(C_{X_{k+1}, Y_k} - C_{X_k, Y_k}) \cdot \cos \theta_k}{\Delta X_l} + \frac{(C_{X_k, Y_{k+1}} - C_{X_k, Y_k}) \cdot \sin \theta_k}{\Delta Y_l} \right\} \quad (14)$$

$$q_t = C_{X_k, Y_k} \cdot (q_{t_1} - q_{t_2} - q_{t_3}) \quad (15)$$

$$q_{t_1} = \frac{(C_{X_{k+1}, Y_k} - 2 \cdot C_{X_k, Y_k} + C_{X_{k-1}, Y_k}) \cdot \sin^2 \theta_k}{\Delta X_l^2} \quad (16)$$

$$q_{t_2} = \frac{(C_{X_{k+1}, Y_{k+1}} + C_{X_k, Y_k} - C_{X_{k+1}, Y_k} - C_{X_k, Y_{k+1}}) \cdot 2 \cdot \sin \theta_k \cdot \cos \theta_k}{\Delta X_l \cdot \Delta Y_l} \quad (17)$$

$$q_{t3} = \frac{(C_{X_k, Y_{k+1}} - 2 \cdot C_{X_k, Y_k} + C_{X_k, Y_{k-1}}) \cdot \cos^2 \theta_k}{\Delta Y_l^2} \quad (18)$$

2.5. Dalga Yüksekliğinin ve Dalga Sığlaşma Katsayısının Belirlenmesi

Denklem (19) yardımıyla , dalga kırılması oluşmadan önceki, dalga yüksekliğinin (H) değişimi, başlangıç dalga yüksekliğine (H_0), hesaplanan sığlaşma (K_s) ve sapma (K_r) katsayılarına bağlı olarak hesaplanabilir [7].

$$\frac{H}{H_0} = K_s \cdot K_r \quad (19)$$

Dalga sığlaşma katsayısı aşağıdaki denklemle analitik olarak hesaplanabilir. Denklemde; H dalga yüksekliğini, K_s sığlaşma katsayısını, d su derinliğini ve L dalga boyunu göstermektedir.

$$\frac{H}{H_0} = K_s = \left[\tanh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d}{L}\right) \right]^{-0.5} \left[1 + \frac{4 \cdot \pi \cdot d / L}{\sinh(4 \cdot \pi \cdot d / L)} \right]^{-0.5} \quad (20)$$

2.5. Sayısal Çözümün Kontrolü ve Durdurulması Gerektiren Şartlar

Hesaplar ortogonal boyunca sürekli kontrol edilmeli ve aşağıdaki şartlara uyup uymadığına bakılmalıdır. Eğer uymuyorsa hesaplar durdurulmalıdır.

- Hesap yapılacak bölge sınırları dışına taşılmamalıdır.
- Ortogonal bir birine çok fazla (kaustik oluşma başlangıcı) yaklaşmamalıdır.

$$\Delta\beta/dt < [-\beta/T] \quad (21)$$

c. Dalga kırılması oluşmamalıdır. Dalga kırılması oluştuğundan sonra, dalga mekanizması değiştiğinden, sapma ve sığlaşma hesabından dalga yüksekliğinin belirlenmesi doğru

olmamaktadır. Kırılma noktasındaki kırılan dalga yüksekliği, ortalama eğime, sapma ve sığlaşma hesabından bulunan dalga yüksekliğine ve periyoduna bağlı olarak, kırılma derinliği ise kırılan dalga yüksekliği ve kırılma indisine bağlı olarak belirlenir.

d. Taban eğimi çok fazla artmamalıdır.

$$\Delta d / \Delta s < m \cdot d / L \quad (22)$$

3. BULGULAR

Sayısal model, 1/20 eğimli düz paralel konturlu topografyaya ve düzensiz topografyaya uygulanmış, elde edilen sonuçlar düz paralel konturlarda analitik sonuçlarla, düzensiz topografyada grafik yöntemle karşılaştırılmıştır. Sayısal model, düzenli dalgalar kullanılarak hazırlanmıştır. Düzenli dalgalarda, derin deniz dalga dikliği (H_0 / L_0), genellikle 0.02 ile 0.06 değerleri arasında değişir. Uygulamada başlangıç şartları seçilirken bu değerler dikkate alınmıştır.

3.1. Düz Paralel Konturlu Topografyada Sayısal Çözüm ve Snell Kanunu Kullanılarak Elde Edilen Sonuçlar

Düz paralel konturlu topografya üzerinde dalga sapması Snell Kanunu kullanılarak analitik olarak belirlenebilmektedir. 1/20 eğimli düz paralel konturlu topografya üzerinde istenilen derinlikteki dalga parametreleri, seçilen başlangıç şartları; açık deniz dalga yüksekliği $H_0 = 6$ m, dalga periyodu $T = 10$ sn, açık deniz dalga açısı $\theta_0 = 55^\circ$, başlangıç noktası koordinatları $X = 60$ m $Y = 0$ ve $d = 30$ m kullanılarak, Snell Kanunu uygulanarak elde edilen sonuçlar ile aynı başlangıç şartları kullanılarak ve $\Delta t = 1.5$ sn alınarak sayısal çözümün uygulamasından elde edilen sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir. Dalga kırılması gerçekleşikten sonra, dalga sapması ve sığlaşması dikkate alınmadığından bu değerler hesaplanmamış ve tablolarda gösterilmemiştir.

Tablo 1. Düz paralel konturlu topografya üzerinde Sayısal çözüm ve Snell Kanunu uygulanarak elde edilen sonuçlar

Başlangıç Değerleri (Açık Deniz Dalga Şartları)							
$H_0=6\text{ m}$	$T=10\text{ sn}$	$\theta_0=55^\circ$	$\Delta t=1.5\text{ sn}$	Snell Kanunu		Sayısal Model	
Nokta No	X (m)	Y (m)	D (m)	θ ($^\circ$)	K_r	θ ($^\circ$)	K_r
Baş. Nok.	90.00	0.00	30.00	59.7073	0.9740	59.7073	0.9740
1	100.39	17.78	29.11	59.9736	0.9727	59.9734	0.9727
2	110.61	35.46	28.23	60.2339	0.9714	60.2509	0.9713
3	120.66	53.05	27.35	60.5212	0.9700	60.5385	0.9700
4	130.53	70.53	26.47	60.8216	0.9686	60.8391	0.9686
5	140.22	87.89	25.61	61.1356	0.9699	61.1534	0.9671
6	149.72	105.15	24.74	61.4609	0.9656	61.4789	0.9657
7	159.03	122.27	23.89	61.7971	0.9641	61.8154	0.9642
8	168.14	139.27	23.04	62.1470	0.9625	62.1656	0.9627
9	177.04	156.12	22.19	62.5114	0.9609	62.5303	0.9612
10	185.72	172.83	21.36	62.8877	0.9593	62.9069	0.9597
11	194.19	189.38	20.53	63.2749	0.9577	63.2946	0.9581
12	202.44	205.77	19.71	63.6786	0.9560	63.6986	0.9566
13	210.45	221.99	18.90	64.0912	0.9543	64.1132	0.9550
14	218.23	238.02	18.10	64.5214	0.9528	64.5421	0.9535
15	225.78	253.87	17.31	64.9657	0.9508	64.9868	0.9519
16	233.08	269.51	16.52	65.4197	0.9491	65.4412	0.9503
17	240.13	284.95	15.75	65.8909	0.9473	65.9129	0.9488
18	246.93	300.16	14.99	66.3735	0.9456	66.3959	0.9472
19	253.48	315.14	14.24	66.8685	0.9438	66.8913	0.9457
20	259.77	329.88	13.51	67.3800	0.9420	67.4033	0.9442
21	265.80	344.37	12.78	67.9033	0.9403	67.9269	0.9427
22	271.56	358.59	12.07	68.4385	0.9385	68.4624	0.9412
23	277.07	372.54	11.37	68.9887	0.9367	69.0130	0.9398
24	282.31	386.20	10.69	69.5521	0.9350	69.576	0.9384
25	287.28	399.55	10.02	70.1301	0.9333	70.1551	0.9370
26	291.99	412.59	9.37	70.7197	0.9316	70.7449	0.9357
27	296.43	425.31	8.73	71.3204	0.9299	71.3459	0.9344
28	300.61	437.69	8.11	71.9369	0.9282	71.9626	0.9332
29	304.53	449.72	7.51	72.5642	0.9266	72.5900	0.9320
30	308.18	461.38	6.93	73.2044		73.2298	
31	311.58	472.67	6.37	73.8547		73.8803	
32	317.73	483.57	5.82	74.5194		74.5453	
33	317.64	494.06	5.30	75.1947		75.2205	
34	320.30	504.15	4.79	75.8800		75.9057	
35	322.72	513.80	4.31	76.5793		76.6046	
36	324.91	523.00	3.85	77.2880		77.3131	
37	326.88	531.77	3.41	78.0064		78.0310	
38	328.64	540.06	3.00	78.7365		78.7605	
39	330.20	547.88	2.61	79.4779		79.5012	
40	331.55	555.20	2.24	80.2274		80.2499	
41	332.72	562.03	1.90	80.9886		81.0097	
42	333.72	568.34	1.58	81.7599		81.7795	
43	334.56	574.13	1.29	82.5404		82.5594	

3.2. Düzensiz Topografyada Sayısal Cözüm ve Grafik Yöntem Uygulamasından Elde Edilen Sonuçlar

Başlangıç değerleri olarak (açık deniz dalga şartları), açık deniz dalga yüksekliği $H_0=5\text{m}$, dalga periyodu $T=8\text{sn}$, dalga açısı (kıyı diki ile ortogonalin yaptığı açı $\alpha=90-\theta$) $\theta_0=45^\circ$, iki ortogonal arasındaki mesafe $b_0=13\text{ m}$ alınmış yatay koordinatları, $X=20\text{ m}$ ve $Y=0\text{ m}$, $d=22.5\text{ m}$ su derinliğine kadar topografyanın düz paralel konturlu olduğu kabul edilerek Snell Kanunundan hesap yapılmıştır. Bu derinlikten sonra grafik yöntem, dalga kırılma noktasına kadar uygulanmış, ortogonal yönü ve sapma katsayısı belirlenerek Tablo 2’de verilmiştir. Sığlaşma katsayısı ise denklem (20)’den elde edilmiştir. Sayısal çözüm aynı topografya ve aynı başlangıç şartlarıyla $\Delta t=1.5\text{ sn}$ alınarak uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 3’de verilmiştir. Ortogonal yöntemi ve sayısal yöntemde, kırılma noktasındaki dalga yüksekliği ve kırılma derinliği hesaplanmış ve bu noktadan sonraki dalga yüksekliğindeki değişme, kırılma indisine göre kıyı çizgisi üzerinde dalga yüksekliği sıfır olacak şekilde lineer olarak azaltılmıştır.

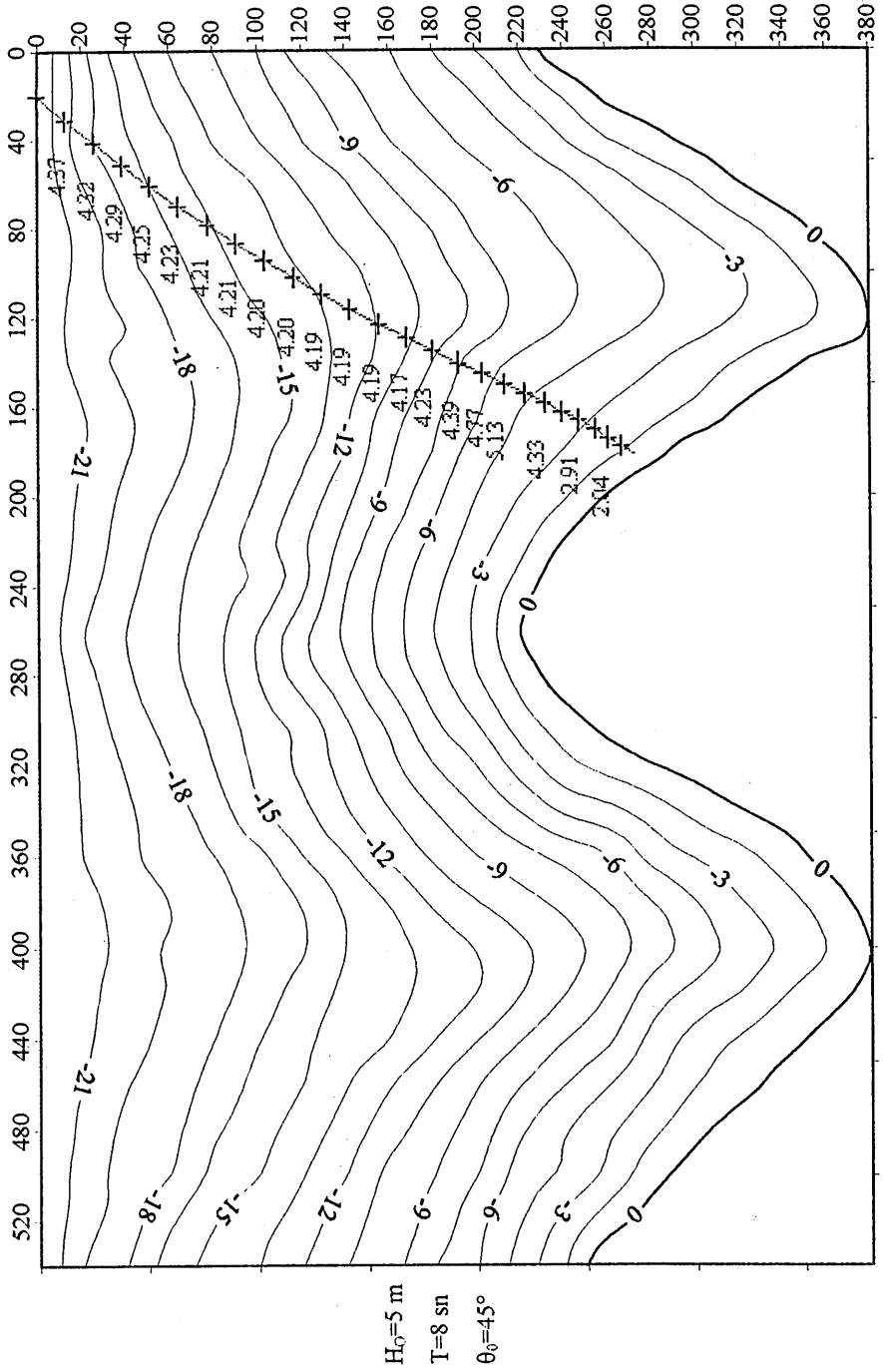
Tablo 2. Düzensiz topografya üzerinde ortogonal yöntemi uygulanarak elde edilen sonuçlar

Başlangıç Değerleri (Açık Deniz Dalga Şartları)							
$H_0=5\text{ m}$		$T=8\text{ sn}$	$\theta_0=45^\circ$	$b_0=13\text{ m}$			
Nokta No	X (m)	Y (m)	D (m)	θ ($^\circ$)	K_r	K_s	H (m)
Baş. Nok.	20.00	0	22.5	49.76	0.9625	0.9232	4.4429
1	26.18	7.14	21.0	50.50	0.9625	0.9205	4.4299
2	33.32	15.47	19.5	51.50	0.9430	0.9170	4.3237
3	42.84	28.56	18.0	52.50	0.9430	0.9145	4.3119
4	60.69	52.36	16.5	55.00	0.9325	0.9131	4.2573
5	82.11	79.73	15.0	58.00	0.9325	0.9133	4.2583
6	108.29	127.33	13.5	61.00	0.9247	0.9156	4.2333
7	123.00	154.47	12.0	63.00	0.8911	0.9204	4.1008
8	130.20	171.36	10.5	63.50	0.9075	0.9290	4.2153
9	135.66	180.29	9.0	64.50	0.9247	0.9420	4.3553
10	141.00	189.21	7.5	64.00	0.9625	0.9622	4.6306
11	151.13	207.06	6.0	65.00	1.0200	0.9932	5.0653
12	158.27	220.15	4.5	64.00			4.3689
13	166.60	233.24	3.0	60.00			2.9126
Dalga Kırılma Noktasında			Su Derinliği	6.17 m			
			Dalga Yüksekliği	5.99 m			
			Kırılma Indisi	1.03			

Tablo 3. Düzensiz topografya üzerinde sayısal model uygulanarak elde edilen sonuçlar

Başlangıç Değerleri (Açık Deniz Dalga Şartları)							
$H_0 = 5 \text{ m}$		$T = 8 \text{ sn}$	$\theta_0 = 45^\circ$	$\Delta t = 1.5 \text{ sn}$			
Nokta No	X (m)	Y (m)	D (m)	θ ($^\circ$)	K_r	K_s	H (m)
Baş. Nok.	20.00	0.00	22.50	49.7500	0.9625	0.9246	4.4497
1	31.05	13.06	19.88	51.1152	0.9531	0.9179	4.3741
2	41.49	25.30	18.28	52.2218	0.9450	0.9148	4.3226
3	51.45	38.85	17.33	53.5703	0.9383	0.9137	4.2867
4	60.95	51.73	16.40	55.0097	0.9312	0.9131	4.2515
5	69.99	64.64	15.73	56.4179	0.9262	0.9130	4.2282
6	78.60	77.61	15.14	57.6833	0.9225	0.9132	4.2124
7	86.82	90.60	14.61	58.7514	0.9214	0.9137	4.2091
8	94.71	103.60	14.15	59.5910	0.9196	0.9143	4.2040
9	102.32	116.58	13.74	60.5950	0.9173	0.9150	4.1968
10	109.64	129.56	13.34	61.7493	0.9150	0.9159	4.1905
11	116.62	142.55	12.71	62.9853	0.9135	0.9177	4.1916
12	123.21	155.48	11.87	63.9144	0.9100	0.9210	4.1907
13	129.44	168.20	10.80	64.4066	0.9007	0.9268	4.1738
14	135.35	64.41	9.20	65.2769	0.9001	0.9400	4.2304
15	140.73	192.23	7.35	65.2154	0.9106	0.9648	4.3929
16	145.65	202.89	6.54	65.6910	0.9737	0.9803	4.7728
17	150.26	213.09	5.61	65.9191			5.1278
18	154.53	222.65	4.74	65.1148			4.3324
19	158.63	231.46	4.16	62.9944			3.7993
20	162.78	239.62	3.66	61.86			3.3459
21	166.86	247.24	3.19	60.9512			2.9181
22	170.80	254.33	2.71	59.8378			2.4790
23	174.57	260.83	2.23	58.4908			2.0408
24	178.16	266.67	1.77	56.9105			1.6146
25	181.50	271.81	1.26	54.4337			1.1535
26	184.53	276.04	0.81	52.7111			0.7401
27	187.07	279.38	0.52	51.8483			0.4708
28	189.07	282.01	0.33	51.7411			0.2973
29	190.79	284.11	0.20	52.3697			0.1859
30	192.08	285.78	0.132	53.7624			0.1144
Dalga Kırılma Noktasında			Su Derinliği	6.48 m			
			Dalga Yüksekliği	5.88 m			
			Kırılma İndisi	1.10			

Şekil 2'de programın çizim modundan elde edilen çıktıyla, düzensiz topografya üzerinde ortogonalin gidişi açıkça görülebilmektedir.



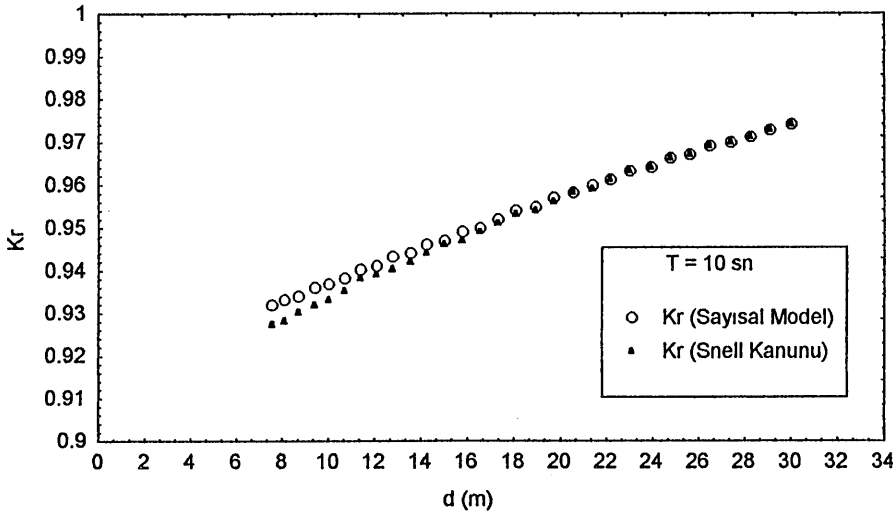
Şekil 2. Düzensiz topografya üzerinde ortogonal yörüngesi ve dalga yüksekliği

4. İRDELEME

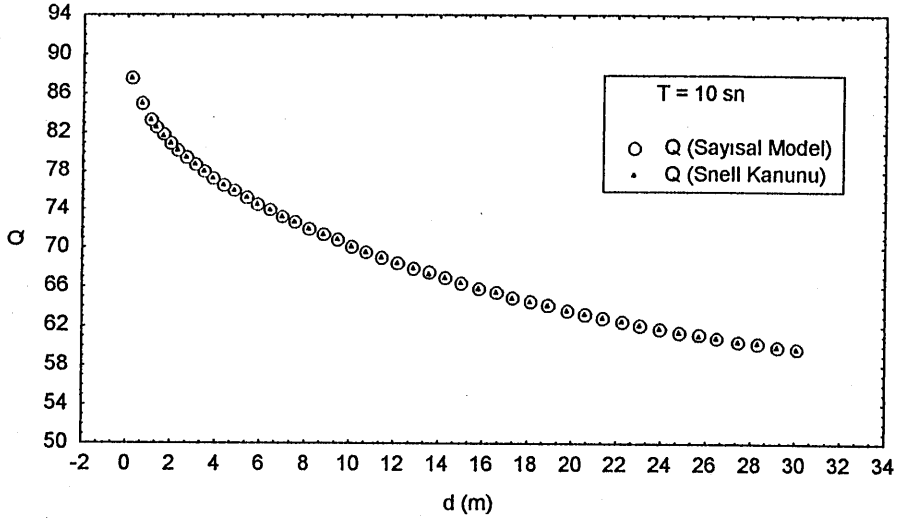
4.1. Düz Paralel Konturlu Topografyalarda, Model Sonuçlarıyla Snell Kanunundan Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

Düz paralel konturlu topografyaya, model uygulandığında elde edilen sonuçlar, aynı topografyaya Snell Kanunu uygulanarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar Şekil 3 ve 4’de verilmiştir.

Şekil 3’de, su derinliği (d) ile sapma katsayı (K_r) incelenirse, sayısal yöntemdeki hatanın yine % 0.58 civarında olduğu görülür ki bu hatanın da sapma hesabında sayısal yöntemin getirdiği yaklaşım hatalarından kaynaklandığı söylenebilir. Düz paralel konturlu topografyada sayısal yöntem ve Snell Kanunundan bulunan değerlere göre, su derinliği (d) ile dalga açısının (θ) karşılaştırıldığı Şekil 4’deki grafik incelendiğinde iki yöntem arasında maksimum hatanın % 0.035 değerini geçmediği görülmüştür.



Şekil 3. Düz paralel konturlu topografya üzerinde sayısal model ve Snell Kanunu karşılaştırılması (su derinliği ile sapma katsayısı)

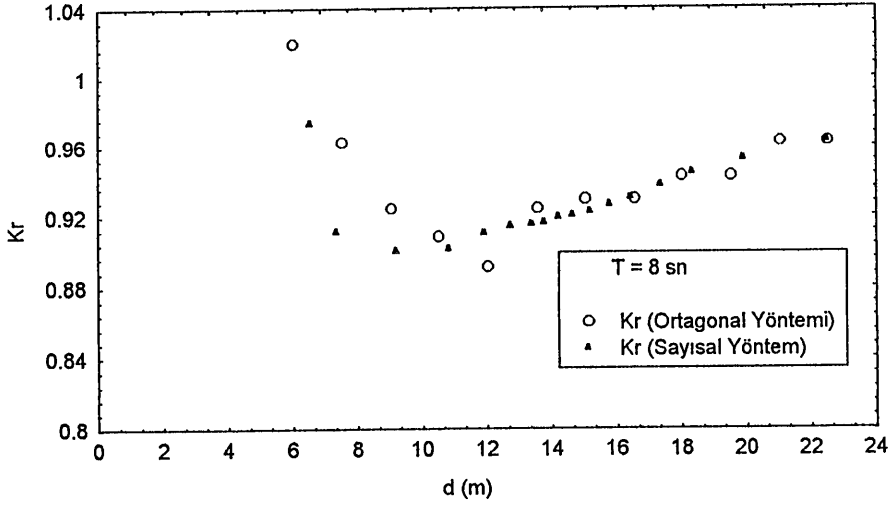


Şekil 4. Düz paralel konturlu topografya üzerinde sayısal model ve Snell Kanunu karşılaştırılması (su derinliği ile dalga yönü)

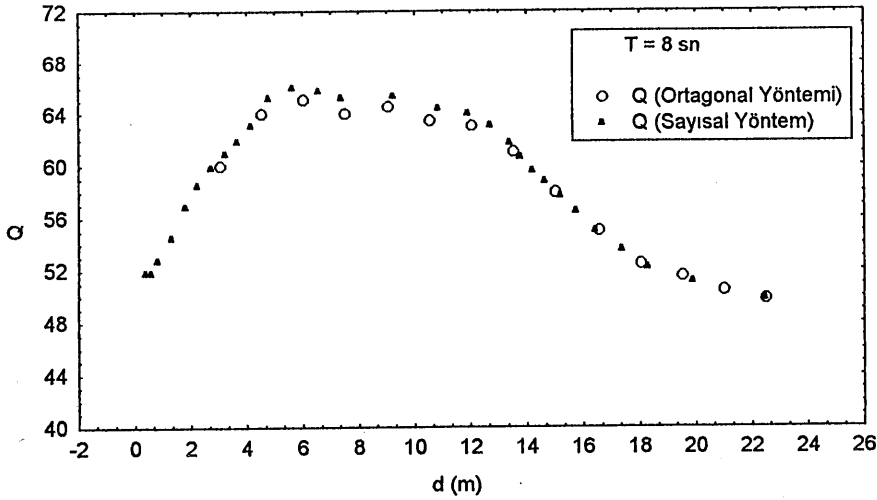
4.2. Düzensiz Topografyalarda Sayısal Çözüm Sonuçlarıyla Grafik Çözümünden Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

Sayısal yöntemle grafik yöntem arasındaki karşılaştırmalar Şekil 5 ve 6'deki grafiklerle verilmiştir. Bu grafiklerden Şekil 5'de su derinliği (d) ile sapma katsayısı (Kr) arasındaki ilişki incelendiğinde, aynı topografyada iki yöntem arasında dalga yükseklikleri ve sapma katsayıları arasında maksimum farkın kırılma noktası yakınlarında % 5.4 olduğu görülmüştür. Bu farkın, grafik yöntem uygulanırken yapılabilecek hataların yığılması olarak artmasından ve sayısal çözümün getireceği hatalardan kaynaklandığı söylenebilir.

Şekil 6'daki su derinliği (d) ile dalga açısı (θ) incelendiğinde, aynı topografyada, iki yöntem arasında oluşabilecek maksimum farkın, kırılma noktası yakınlarında % 1.06 civarında olduğu görülmüştür. Bu farkın, grafik yöntemde, açıölçer hassasiyetinden, uygulama hatasından, sayısal yöntemde ise yaklaşım hatalarından kaynaklandığı görülmüştür.



Şekil 5. Düzensiz konturlu topografya üzerinde sayısal model ve grafik yöntemin karşılaştırılması (su derinliği ile sapma katsayısı)



Şekil 6. Düzensiz konturlu topografya üzerinde sayısal model ve grafik yöntemin karşılaştırılması (su derinliği ile dalga yönü)

5. SONUÇ

Kıyıda, düzensiz topografya üzerinde dalga sapmasını sayısal olarak belirlemeye yönelik yapılmış bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Kıyı bölgesinde, düzensiz topografya üzerinde, dalga sapmasının sayısal olarak belirlenmesi yanında, dalga sığlaşması ve kırılması da dikkate alınarak bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

2. Yapılan irdelemeler sonucu geliştirilen sayısal modelin, tabanı düzgün değişmeyen kıyı bölgesindeki lineer su dalgalarının (düzenli dalgaların) sapmalarını belirlemede rahatlıkla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

3. Sayısal model düzenli (düz paralel) topografyalarda, analitik çözümle çok iyi bir uyum göstermiş ve oluşan hatalar sapma katsayısında % 0.58, dalga açısında ise % 0.035 değerlerini geçmemiştir.

4. Sayısal model düzensiz topografyalarda, grafik yöntemlerle karşılaştırıldığında, aradaki farklılığın sapma katsayısında % 5.4, dalga açısında ise % 1.06 değerleri civarında olduğu görülmüştür. Bu değerler maksimum değerlerdir ve mühendislik projelendirmelerinde kabul edilebilir hata sınırları içindedir.

5. Sayısal modelle grafik ve analitik çözümler karşılaştırıldığında, hataların kırılma noktası civarında en büyük değere ulaştığı görülmüştür. Bunun sebebi, dalgaların hareketlerin bu noktada tamamen değişmesidir. Kırılma noktasına kadar salınımlı gelen dalgalar, bu noktadan sonra kütle taşınımı şeklinde hareket etmektedirler.

6. Dalgaların hareketlerinde dalga dikliği önemli bir parametredir. Sayısal model uygulamalarında, dalga dikliğinin büyük seçildiği başlangıç değerleriyle elde edilen dalga sapma katsayısı sonuçlarının, dalga dikliği küçük seçilen başlangıç değerleriyle elde edilen dalga sapma katsayısı sonuçlarından daha büyük olduğu görülmüştür. Dalga dikliğinin büyük olmasının dalga sapma katsayısı artırdığı sonucuna varılmıştır.

Yapılan çalışmada, sayısal modelden elde edilen sonuçlar, düz paralel konturlu topografyalarda analitik, düzensiz topografyalarda grafik çözümlerle karşılaştırılmış olsa da, sayısal modelden elde edilen tüm sonuçlar, fiziksel model (laboratuvar deneyleri) sonuçları

ve arazi verileriyle de karşılaştırılarak doğrulukları kontrol edilmelidir. Yapılan tüm hesaplarda düzenli dalgalar kullanılmıştır. Düzensiz dalga durumunda da, bu hesaplar yapılmalıdır. Düzensiz dalgaların kıyı bölgesindeki dalga hareketine etkileri incelenmelidir. Ayrıca, düzenli ve düzensiz dalgalar arasındaki farklılıklar araştırılmalıdır. Düzenli ve düzensiz dalgaların, sapma ve kırınımını birlikte inceleyen matematiksel ve fiziksel model çalışmaları geliştirilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Skovgaard, O., Jonsson, I.G., ve Bertelsen, J.A., Computation of Wave Heights due to Refraction and Friction, Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division, ASCE, 101, No. WW1, February, (1975), 15-32.
2. Ebersole, B.A., Cialone, M., ve Prater, M.D., Regional Coastal Processes Numerical Modelling System, Technical Report, CERC-86-4, CERC, 1984
3. Bayrak, T., Sayısal Yükseklik Modellerinde Interpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1996.
4. Smith, G.D., Numerical Solution of Partial Differential Equations, Third Edition, Oxford University Press, Ely House, London W. I, 1975.
5. Akpınar, S., Sayısal Çözümleme, İkinci Baskı, KTÜ Mühendislik - Mimarlık Fak., Trabzon, 1994,
6. Kömürcü, M. İ., Dalga Sapmasının Sayısal Yöntemle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1998.
7. Svendsen, I.A. ve Jonsson, I.G., Hydrodynamics of Coastal Regions, First Edition, Den Private Ngenqr fond Technical University, Denmark, 1976.

REFRACTION OF REGULAR WAVES OVER IRREGULAR TOPOGRAPHY

ABSTRACT

In this study, differential equations to determine the refraction of regular waves over irregular topography are numerically solved and taking into consideration wave shoaling and breaking, a computer programme which determine both the orbit of wave orthogonal and wave height is presented. Angle due to refraction, coefficient by refraction, coefficient by shoaling and resulting wave height, depth of breaking and breaking height are determined by the calculation mode of the programme. The programme when the waves are broken terminates the calculations of refraction and shoaling and reduces the wave height linearly to the zero on the shoreline.

**DALGAKIRAN ARKASINDAKİ DALGALARIN KIRINIM KATSAYISININ
SAYISAL MODELLEME İLE HESAPLANMASI**

İlhamet KAPLAN	Ömer YÜKSEK	Murat İhsan KÖMÜRCÜ
Arş.Gör.	Doç.Dr.	Arş.Gör.
KTÜ GMF İnş.Müh.Böl.	KTÜ MMF İnş.Müh.Böl.	KTÜ İnş.Müh.Böl.
GÜMÜŞHANE/TÜRKİYE	TRABZON/TÜRKİYE	TRABZON/TÜRKİYE

ÖZET

Bu çalışmada , düzenli ve düzensiz dalgaların tekil dalgakıran arkasındaki kırınım katsayılarının belirlenmesi, birbirleriyle karşılaştırılması ve dalgakıran içerisinde istenilen noktadaki dalga yüksekliğinin hesaplanması amacıyla bir sayısal model geliştirilmiş; bu sayısal modelin bilgisayar programı hakkında bilgi verilmiş ve bu programın sonuçları irdelenmiştir. Sonuç olarak, düzensiz dalgaların kırınım katsayısı ile düzenli dalgaların kırınım katsayısı arasındaki farkın, θ ile θ_0 arasındaki farka göre değiştiği, özellikle θ açısının küçük olduğu bölgelerde, düzensiz dalgalarındaki kırınım katsayısı değerlerinin, düzenli dalgalarınkinin iki katına kadar çıktığı ve $\theta > \theta_0$ olması halinde, şu anda kullanılmakta olan kırınım katsayısı değerleriyle, bu programda hesaplanan değerler arasında %20' ye varan rölatif hataların olduğu belirlenmiştir. Ancak, pratikte çoğu defa $\theta < \theta_0$ olması durumuyla karşılaşıldığından, bu hatalar uygulama açısından önemli değildir.

1. AMAÇ

Bu çalışma , düzenli ve düzensiz dalgaların kırınım katsayılarının belirlenmesi ve birbirleriyle karşılaştırılması amacıyla yapılmıştır.

Dalgakıran arkasındaki dalga parametrelerinin belirlenmesinde ana faktör olan dalga kırınımı, kıyı ve liman yapılarının planlanmasında çok önemlidir. Dalga kırınımı konusunda yapılan araştırmaların büyük bir kısmında sadece düzenli dalgalar incelenmiştir. Oysa, dalgakıran arkasındaki dalgalar genelde düzensiz dalgalardır. Düzenli dalgalar ile düzensiz dalgaların kırınımı arasında önemli farklılıklar vardır. Düzensiz dalgalarda frekans ve yön arasında farklı bileşen enerjileri olduğu için farklı etkiler oluşur. Çalışmanın sonucunda, düzenli ve düzensiz dalga şartlarında kırınım katsayısını hesaplayan bir sayısal model ve bir bilgisayar programı geliştirilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Tekil Dalgakıran Arkasındaki Düzenli Dalgaların Kırınım Teorisi

2.1.1. Düzenli Dalgalar İçin Kırınım Katsayısının Hesaplanması

Herhangi bir dalgakıran arkasındaki dalgaların kırınım katsayısı, kırınımına uğramış dalga yüksekliğinin gelen (etkilenmemiş) dalga yüksekliğine oranı olarak tarif edilir ve bağlı olduğu parametreler aşağıda gösterilmiştir.

$$K_d = K_d \left(\theta_0, \theta, \frac{r}{L} \right) \quad (1)$$

Kırınım katsayısı; gelen dalganın dalgakıranla yaptığı açıya (θ_0), kırınım katsayısı hesaplanacak olan noktanın dalgakıranla yaptığı açıya (θ) ve dalgakıran ucu ile ilgili nokta arasındaki mesafenin (r), dalga boyuna (L) oranının (r/L) bir fonksiyonudur.

$$K_d = K_d(u_1, u_2) \quad (2)$$

Buradaki u_1 ; gelen dalga ve kırınımına uğramış dalga arasındaki faz farkı ile ilgili bir fonksiyonu u_2 ; gelen dalga ve yansıyan dalga arasındaki faz farkı ile ilgili bir fonksiyonu gösterir. u_1 ve u_2 'nin mutlak değerleri alınır, dalga alanlarının üç bölgesi için kırınım katsayılarını gösteren fonksiyonlar gösterilmektedir

$$u^2_1 = 4 \left\{ \frac{r}{L} [1 - \cos(\theta_0 - \theta)] \right\} \quad (3)$$

$$u^2_2 = 4 \left\{ \frac{r}{L} [1 - \cos(2\pi - \theta_0 - \theta)] \right\} \quad (4)$$

1) Kırınım Bölgesi ($0 \leq \theta \leq \theta_0$)

$$F(r, \theta) = f(-u_1) e^{-ikr \cos(\theta_0 - \theta)} + Rg'(-u_2) e^{-ikr \cos(\theta + \theta_0)} \quad (5)$$

Burada, $k=2\pi/L$ (dalga sayısı)'dir. (5) no'lu denklemin sağ tarafındaki ilk terim gelen dalganın kırınımını, ikinci terim yansımış dalganın kırınımını, R ise yansıma katsayısını göstermektedir.

2) Gelen Dalga Bölgesi ($\theta_0 \leq \theta \leq 2\pi - \theta_0$)

$$F(r, \theta) = e^{-ikr \cos(\theta - \theta_0)} - f(-u_1) e^{-ikr \cos(\theta - \theta_0)} + Rg'(-u_2) e^{-ikr \cos(\theta + \theta_0)} \quad (6)$$

Denklem 6'nın sağ tarafındaki ilk terim gelen dalgayı , ikinci terim gelen dalganın yayılmasını , üçüncü terim ise yansımış dalganın kırınımını gösterir.

3) Yansıyan Dalga Bölgesi ($2\pi - \theta_0 \leq \theta \leq 2\pi$)

$$F(r, \theta) = e^{-ikr \cos(\theta - \theta_0)} - f(-u_1) e^{-ikr \cos(\theta - \theta_0)} + R \left(e^{-ikr \cos(\theta + \theta_0)} - g'(-u_2) e^{-ikr \cos(\theta + \theta_0)} \right) \quad (7)$$

Denklem 7'nin sağ tarafındaki ilk terim gelen dalgayı, ikinci terim gelen dalganın yayılmasını , üçüncü terim yansımış dalgayı ve dördüncü terim ise yansımış dalganın yayılmasını gösterir.

$$f(-u) = g'(1-u) = \frac{1}{2} [(1-c-s) + i(s-c)] \quad (8)$$

Buradaki ; $c=c(u)$, $s=s(u)$ sırasıyla Fresnel integrallerindeki kosinüs ve sinüs fonksiyonlarını gösterir. Yukarıdaki denklemin reel ifadesi aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir.

$$|f(-u)| = \frac{1}{\sqrt{2\pi u}} \tanh \left[\frac{\pi u}{\sqrt{2}} \exp(-0.4u^{0.6}) \right] \quad (9)$$

Kırınım katsayısı (K_d) , kompleks değişken fonksiyonunun ($F(r, \theta)$) mutlak değeri olarak ifade edilir.

$$K_d = |F(r, \theta)| \quad (10)$$

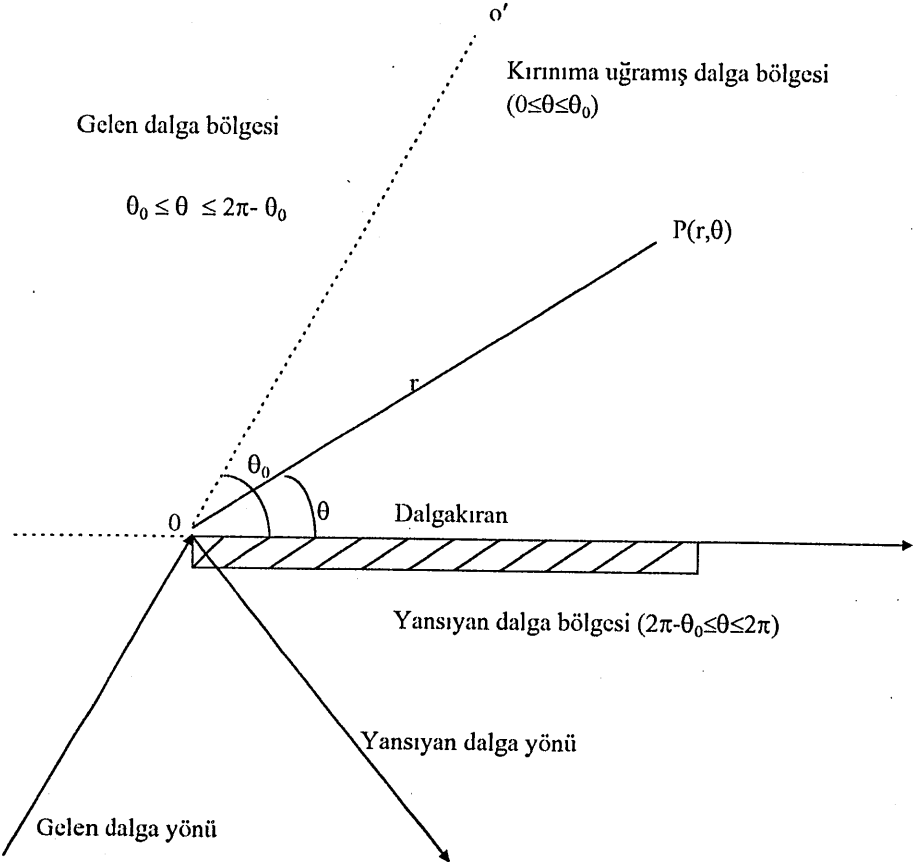
$\theta=180^\circ$ olduğunda , $R=0$ alınmalıdır.

2.1.2. Düzensiz Dalgalar İçin Kırınım Katsayısının Hesaplanması

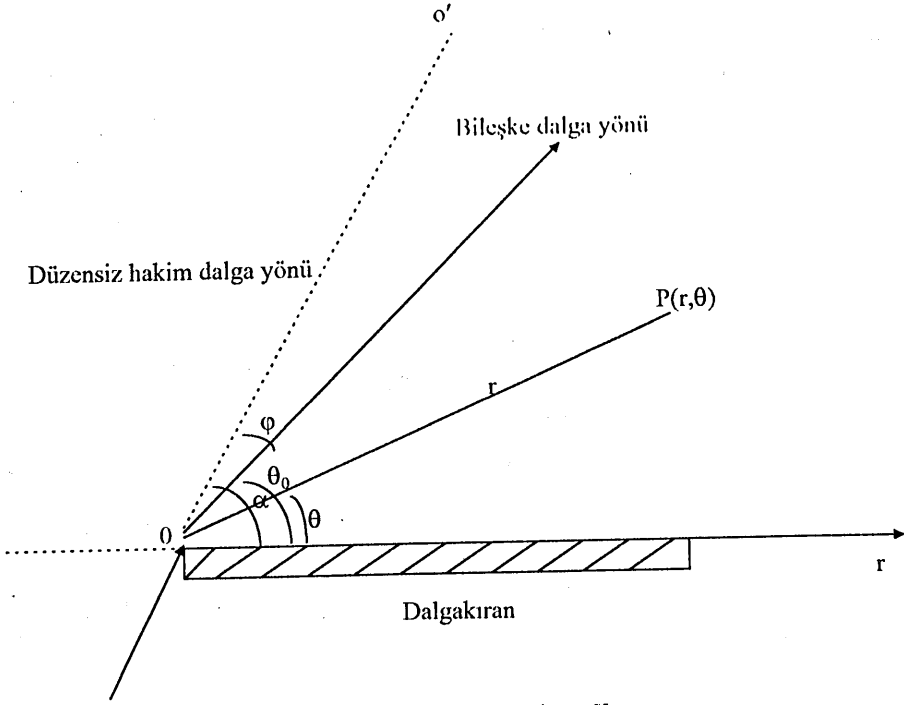
Ölçülmüş veri analizleri ve teorik dalga spektrumu araştırmaları göstermiştir ki, doğal dalgalar, frekansları ve yönleri farklı düzenli dalgalardan oluşmuş düzensiz dalgalar

topluluğudur. α ve φ , sırasıyla esas dalga yönü ve etkin dalga bileşen yönü arasındaki açı, yarı sonsuz dalgakıran absisi ve düzensiz dalgaların asıl yönü arasındaki açı olarak ifade edilirler. $D(f, \varphi)$ iki boyutlu enerji spektrumunda, φ değeri, saat dönüş yönünde pozitifdir.

$$D(f, \varphi) = F(f, \varphi) \cdot S(f) \quad (11)$$



Şekil 1. Üç dalga bölgesinin dağılımı



Şekil 2. Düzensiz Dalgaların Kırınımı

Burada , $S(f)$; enerji fonksiyonunun yoğunluk fonksiyonu, $F(f, \varphi)$; verilen spektrumun yayılma dağılım yönüdür. Dalga spektrum teorisine göre ; gelen dalganın ortalama yüksekliği şöyle hesaplanır:

$$\overline{(h_0)^2} = \pi \int_0^\infty \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} D(f, \varphi) d\varphi df = \pi \int_0^\infty \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} F(f, \varphi) S(f) d\varphi df \quad (12)$$

Küçük limanlarda hakim dalga yönündeki yayılmış dalga bileşenleri ihmal edilebilir. φ_1 , φ_2 'nin sırasıyla küçük ve büyük değerleri φ açısına bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\begin{aligned} \alpha \leq \pi/2 & \text{ ise } \varphi_1 = -\pi/2 ; \quad \varphi_2 = \alpha \\ \alpha > \pi/2 & \text{ ise } \varphi_1 = \alpha - \pi ; \quad \varphi_2 = \pi/2 \end{aligned}$$

P noktasında kırınımına uğramış ortalama dalga yüksekliği şöyle bulunur:

$$\overline{(h_p)^2} = \pi \int_0^\infty \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} D(f, \varphi) K_d^2 d\varphi df = \pi \int_0^\infty \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} F(f, \varphi) S(f) K_d^2 d\varphi df \quad (13)$$

Burada; K_d : Kırınım katsayısı , L : Hakim dalga bileşeni boyu , T : Periyod ise L ve T arasındaki denklem aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (14)$$

Ortalama periyod ($\bar{T}$), karakteristik dalga boyu ($\bar{L}$) ise,

$$\bar{L} = \frac{g\bar{T}^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{\bar{L}}\right) \quad (15)$$

Boyutsuz büyüklükler olarak;

$$T^* = \frac{T}{\bar{T}} = \frac{\bar{f}}{f} = \frac{1}{f^*} \quad (16)$$

$$L^* = \frac{L}{\bar{L}} \quad (17)$$

$$d^* = \frac{d}{\bar{L}} \quad (18)$$

Boyutsuz yön spektrum fonksiyonu $D(f^*, \varphi)$ ' dir:

$$D(f^*, \varphi) = \frac{D(f, \varphi)}{H^2 \bar{T}} = F(f^*, \varphi) S(f^*) \quad (19)$$

$$L^* = f^{*-2} \frac{\tanh\left(\frac{2\pi d^*}{L^*}\right)}{\tanh(2\pi d^*)} \quad (20)$$

Denklem (20) boyutsuz uzayda dinamik ve hareketli sınır şartında geliştirildi. Bu yüzden, frekans ve spektrum istikametindeki düzensiz dalgaların kırınım katsayısı aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$(K_d)_n = \frac{\overline{h_p}}{h_0} = \left[\frac{\int_0^\infty \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} D(f^*, \varphi) K_d d\varphi df^*}{\int_0^\infty \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} D(f^*, \varphi) d\varphi df^*} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (21)$$

Tek yönlü frekans spektrumu göz önünde tutulursa, düzensiz dalgaların kırınım katsayısı aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$(K_d)_i = \frac{\overline{h_p}}{h_0} = \left[\frac{\int_0^\infty S(f^*) K_d^2 df^*}{m_0^*} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (22)$$

Burada m_0^* boyutsuz frekans spektrumunun en aşağı noktadaki momentidir.

$$m_0^* = \int_0^\infty S(f^*) df^* \quad (23)$$

2.2. Kırınım Katsayısının Hesabı İçin Geliştirilmiş Sayısal Modelin Bilgisayar

Programı

Geliştirilmiş bilgisayar programı ile, θ , θ_0 ve r/L değerleri girilerek düzenli ve düzensiz dalgaların kırınım katsayıları hesaplanabilmektedir. Program, θ ve θ_0 açı değerlerinin istenilen her değerinde ve r/L 'nin tüm değerleri için kırınım katsayılarını hesaplayabilmektedir. Hesaplanan kırınım katsayıları tablo değerleri ile karşılaştırarak rölatif hataları bulunmuştur.

Düzenli dalgaların hesaplanmasında, (3), (4), (9) ve dalga gelen dalganın düştüğü bölgeye göre (5), (6), (7) denklemleri, düzensiz dalgalarda ise, (3),(4), (9) ve dalga gelen dalganın düştüğü bölgeye göre (5), (6), (7) , (21) denklemleri kullanılarak kırınım katsayısı hesaplanmıştır. Bilgisayar programının akış diyagramı Şekil 3'te verilmiştir.

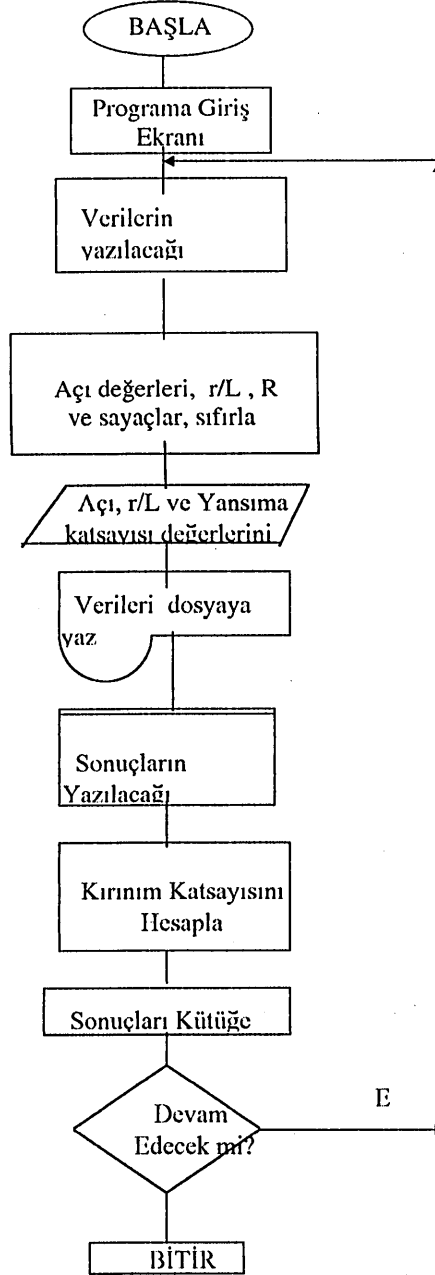
3. BULGULAR

Bölüm 2.2' de açıklanan programın çalıştırılması ile düzenli ve düzensiz dalgaların kırınım katsayısı , θ , θ_0 ve r/L 'nin değerleri klavyeden girilerek kırınım katsayıları hesaplanmıştır. Tablo değerleri ile hesaplanan düzenli dalgaların kırınım katsayılarının farkının mutlak değerini 100 ile çarpıp, tablo değerlerine oranı bulunmuştur. Bu orana rölatif hata denir. Program çıktısının bir örnek sayfası Tablo 1'de gösterilmektedir.

4. İRDELEME

4.1. Hata Oranları

$\theta > \theta_0$ olması halinde, tablodaki değerlerle hesaplanan değerler arasında %20' ye varan rölatif hatalar gözlenmektedir. Ancak, bu hatalar mühendislik açısından önemli değildir. Çünkü, uygulamada çoğu defa $\theta < \theta_0$ olması durumuyla karşılaşılmaktadır. Hesaplanan kırınım katsayıları, sadece düzenli dalgalar için hazırlanan tablo değerleri ile karşılaştırılabilmektedir. Ancak, düzensiz dalgalar için tablo değerleri bulunmadığından, karşılaştırma yapılmasına imkan bulunmamaktadır. Bu değerler, deneysel sonuçlarla karşılaştırılabilir. Ancak, bu çalışmanın kapsamı içinde fiziksel deney çalışmaları yapılmamıştır.



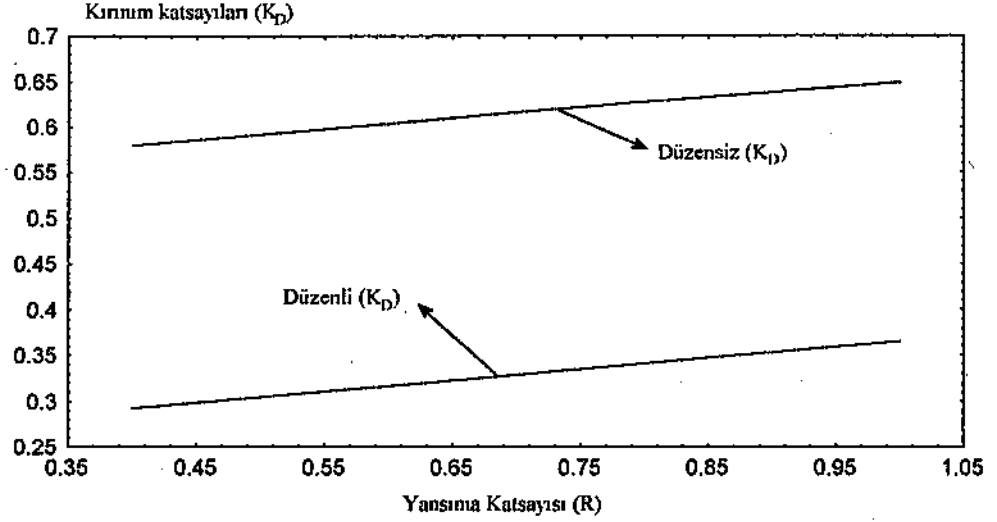
Şekil 3. Programın Akış Diyagramı

Tablo 1. Bilgisayar Program Çıktısı Örneği

r/L	θ	θ_0	Düzenli K_D	Düzensiz K_D	Tablo Değerle ri	Relatif Hata
0,5	0	15	0,776	0,927	0,49	58,37
0,5	0	30	0,613	0,835	0,61	0,49
0,5	0	45	0,491	0,747	0,49	0,2
0,5	0	60	0,406	0,676	0,4	1,5
0,5	0	75	0,346	0,589	0,34	1,76
0,5	0	90	0,304	0,552	0,31	1,94
0,5	0	105	0,274	0,524	0,28	2,14
0,5	0	120	0,253	0,503	0,25	1,2
0,5	0	135	0,238	0,488	0,24	0,83
0,5	0	150	0,228	0,478	0,23	0,87
0,5	0	165	0,223	0,472	0,23	3,04
0,5	0	180	0,221	0,47	0,2	10,5
0,5	15	15	0,794	0,92	0,79	0,51
0,5	15	30	0,634	0,842	0,63	0,63
0,5	15	45	0,51	0,759	0,5	2
0,5	15	60	0,419	0,688	0,41	2,2
0,5	15	75	0,355	0,633	0,35	1,43
0,5	15	90	0,31	0,557	0,31	0
0,5	15	105	0,279	0,528	0,28	0,36
0,5	15	120	0,256	0,506	0,26	1,54
0,5	15	135	0,241	0,491	0,24	0,42
0,5	15	150	0,231	0,48	0,23	0,43
0,5	15	165	0,225	0,474	0,23	2,17
0,5	15	180	0,223	0,472	0,25	10,8
0,5	30	15	0,857	0,921	0,83	3,25
0,5	30	30	0,69	0,853	0,68	1,47
0,5	30	45	0,561	0,79	0,55	2
0,5	30	60	0,459	0,721	0,45	2
0,5	30	75	0,383	0,661	0,38	0,79
0,5	30	90	0,33	0,614	0,33	0
0,5	30	105	0,292	0,541	0,29	0,69
0,5	30	120	0,266	0,516	0,27	1,48
0,5	30	135	0,249	0,499	0,25	0,4

4.2. Yansım Katsayısının Etkisi

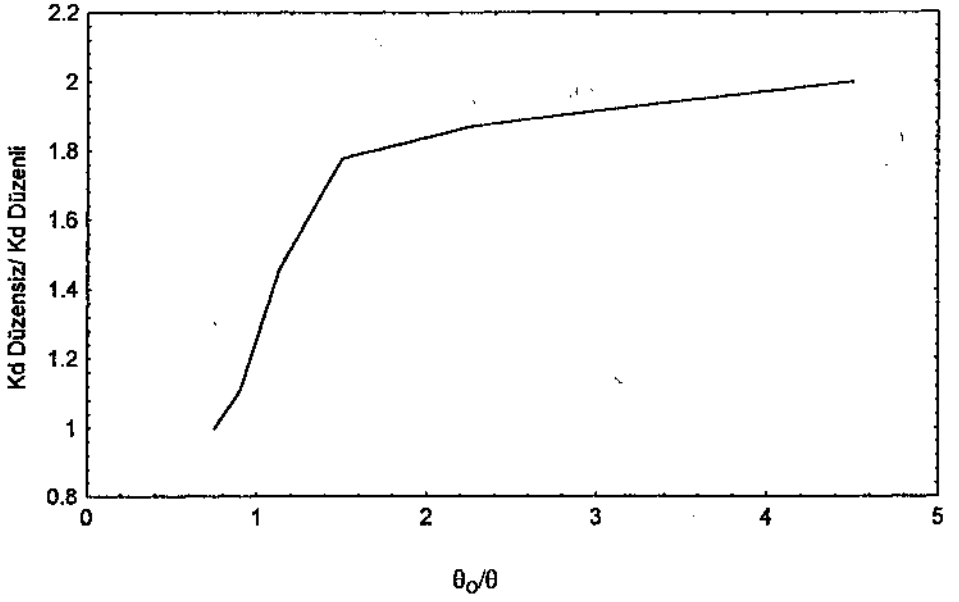
Yansım katsayısı değeri büyüdükçe düzenli ve düzensiz dalgaların kırınım katsayıları da büyümektedir. Bu değeri örnek olarak seçilen bir dalga grubu için ($r/L=0.5$, $\theta=45^\circ$, $\theta_0=90^\circ$) Şekil 4te gösterilmektedir.



Şekil 4. Yansım Katsayısının Kırınım Katsayısına Etkisi

4.3. Düzensiz Dalgaların Etkisi

Düzensiz dalgaların kırınım katsayısı ile düzenli dalgaların kırınım katsayısı arasındaki fark, θ ile θ_0 arasındaki farka göre değişmektedir. Özellikle θ açısının küçük olduğu bölgelerde, düzensiz dalgalarındaki kırınım katsayısı değeri, düzenli dalgalarınkinin iki katına kadar çıkabilmektedir. Bu etkiyi inceleyebilmek için, örnek olarak seçilen bir veri grubunun ($r/L=0.5$, $R=1.0$, $\theta_0=135^\circ$) sonuçları Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Düzensiz Dalgaların Kırınım Etkisi

5. SONUÇ

Bu çalışmadan elde edilen başlıca sonuçlar şöyle özetlenebilir:

1. Düzenli ve düzensiz dalga şartlarında kırınım katsayısını hesaplayan bir sayısal model ve bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.
2. Yansıma katsayısı değerleri büyüdükçe düzenli ve düzensiz dalgaların kırınım katsayıları da büyümektedir.
3. Düzensiz dalgaların kırınım katsayısı ile düzenli dalgaların kırınım katsayısı arasındaki fark, θ ile θ_0 arasındaki farka göre değişmektedir. Özellikle θ açısının küçük

olduğu bölgelerde, düzensiz dalgalarındaki kırınım katsayısı değerleri, düzenli dalgalarınkinin iki katına kadar çıkabilmektedir.

4. $\theta > \theta_0$ olması halinde, tablodaki değerlerle hesaplanan değerler arasında %20'ye varan rölatif hatalar gözlenmektedir. Ancak, bu hatalar mühendislik açısından önemli değildir. Çünkü, uygulamada çoğu defa $\theta < \theta_0$ olması durumuyla karşılaşılmaktadır.

Bu çalışmada, düzenli ve düzensiz dalgaların kırınım katsayısı sayısal modelleme ile hesaplanmaktadır. Bu program tekil dalgakıran arkasındaki dalgaların kırınım katsayısını hesaplayabilmektedir. İki dalgakıran arasında açıklık olması durumunda, kıyıya paralel olmayan yapıların ve tali mendirekli inşa edilen limanların arkasındaki kırınım katsayısını hesaplayamamaktadır. Kırılan dalgaların rıhtım duvarlarına çarpması sonucu oluşan dalga yığılmasını ve bunun sonucunda meydana gelen dalga ilave yüksekliklerini hesaplama imkanı vermemektedir. Bu konuları da kapsayan araştırmalar yapılmalıdır. Ayrıca, tüm sayısal model sonuçları, fiziksel model sonuçlarıyla ve arazi verileri ile karşılaştırılarak doğrulukları kontrol edilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Kaplan, H., "Dalgakıran Arkasındaki Dalgaların Kırınım Katsayısının Sayısal Modelle Hesaplanması", Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bil. Enst., İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Trabzon, 1997, 32 sayfa
2. Guoquan, Y., Zhixiong, M. ve Bingcan D., Computation of Diffraction of Irregular Waves Behind Single Jetty, China Ocean Engineering , 3 (1991) 321-334
3. Chae , J.W ve Jeong S.T , Current-Depth Refraction And Diffraction Model For Irregular Water Waves , Proceedings of the Twenty- Third Conference on Coastal Engineering (1992) 129-141
4. Watanabe, A. ve Maruyama K., Numerical Modeling Of Nearshore Wave Field Under Combined Refraction, Diffraction And Breaking , Coastal Engineering In Japan , 29 (1986) 19-39

5. Massel , S.R. , Extended Refraction- Diffraction Equation For Surface Waves, Coastal Engineering , 19 (1993) 97-126
6. Zhu, W. ve Liu P. L.-F., A Finite Model for Wave Refraction, Diffraction, Reflection and Dissipation , Applied Ocean Research , 11 (1989) 33-38

SUMMARY

A NUMERICAL MODEL TO DETERMINE WAVE DIFFRACTION COEFFICIENTS BEHIND BREAKWATERS

In this study, a numerical model is studied to determine the diffraction coefficients both of regular and irregular waves behind a singular breakwater; and a computer programme is developed. It was concluded from the programme that the difference between diffraction coefficients of regular and irregular waves depends on the difference θ and θ_0 ; that in the regions where with small θ values diffraction coefficients of irregular waves are much greater than those of regular waves; and that when θ is greater than θ_0 , great relative errors are observed by using the developed model. However, since in practice θ is less than θ_0 , these errors are not important.

**JONSWAP SPEKTRUMU PİK DEĞERİNİ ARTTIRMA FAKTÖRÜ ' γ ' NİN
DALGAKIRAN STABİLİTESİNE ETKİSİ**

Bergüzar Öztunalı ÖZBAHÇECİ
İnş.Yük.Müh.,

Gülşen KIZIROĞLU
Mak. Müh.

Engin BİLYAY
İnş.Yük.Müh

**DLH İnş.Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Liman Hidrolik
Araştırma Şube Müd. Serpmeler No:3 Macunköy/ANKARA**

Tel: 397 33 50 Fax: 397 35 07

E-posta: jphrcp@ada.net.tr

ÖZET

Bu çalışma, Marmara Ereğlisi ile Tekirdağ arasında yapılması planlanan 'Yeni Marmara Limanı'na ait dalgakıranın hidrolik modelleme ile stabilite analizinin yapılmasıdır. Düzensiz dalgalarla yapılacak deneyler için, spektrum tipi olarak JONSWAP seçilmiştir. Ancak inşaatın gerçekleşeceği bölgede JONSWAP spektrumunun en önemli parametresi olan 'spektrum pik değerini arttırma faktörü ' γ ' nın değeri hakkında bilgi edinilememiştir. Bu nedenle stabilite araştırma deneyleri $\gamma=3.3$, $\gamma=5$ ve $\gamma=7$ alınarak tekrar edilmiş ve böylece γ faktörünün hasar oranına, dalga iletimine ve dalga yansımaya etkisi araştırılmıştır. Ayrıca ' γ ' ile spektrum dikliği parametresi Q_p ve dalga gruplaşması arasındaki ilişki de incelenmiştir.

1.GİRİŞ

Bilindiği gibi hidrolik modelleme, kıyı ve liman yapılarının doğru, yani, güvenli ve ekonomik tasarımı için kaçınılmazdır. Dünyanın pek çok yerinde olduğu gibi ülkemizde de artık hidrolik model deneyleri, düzensiz dalgalar kullanılarak yapılmaya başlanmıştır. Bu oldukça önemlidir, çünkü gerçek deniz dalgaları; yükseklik, periyot ve ilerleme yönü farklı sonsuz sayıdaki dalganın bileşimi olarak tanımlanırlar, yani düzensizdirler. Ancak daha da önemli olanı gerçek deniz dalgalarındaki bu düzensizliği laboratuvar koşullarında doğru olarak oluşturabilmektir.

Gerçek deniz dalgalarının karakteristiklerini anlamakta en önemli araç, dalga spektrumlarıdır. Dolayısıyla tasarımı yapılacak bölgedeki deniz dalgalarını tanımlayabilecek spektrum tipini bilerek laboratuvarında uygulayabilmek önemlidir. Ancak maalesef ülkemizde şu ana kadar yapılan kısıtlı sayıdaki dalga ölçümü araştırmacıyı zor durumda bırakmaktadır.

Söz konusu çalışma, Marmara Ereğlisi ile Tekirdağ arasında yapılması planlanan ‘Yeni Marmara Limanı’na ait dalgakıranın hidrolik modelleme ile stabilite analizinin yapılmasıdır. Bu amaçla dalgakıran kesiti, 1/25 ölçekle DLH İnşaatı Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi, Liman Hidrolik Şube Müdürlüğü’ndeki 40m x 0.6m x1.2m boyutlarındaki dalga kanalına yerleştirilmiştir. Düzensiz dalgalarla yapılacak deneyler için, Marmara Denizi; gelişmesini tamamlayamayan bir deniz ortamı olarak kabul edilmiş ve dolayısıyla spektrum tipi olarak JONSWAP seçilmiştir. Bu model aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$S(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4} f^{-5} \exp \left[-1.25 \left(\frac{f}{f_p} \right)^{-4} \right] \gamma^{\exp \left[\frac{-(f-f_p)^2}{2\sigma^2 f_p^2} \right]} \dots\dots\dots(1)$$

Burada:

$$\alpha = 0.076 \overline{\chi}^{-0.22} \approx 0.0081$$

f_p = Pik frekans

γ = Spektrum pikini artırma faktörü

$$\sigma = \begin{cases} \sigma_a \approx 0.07 & f \leq f_p \\ \sigma_b \approx 0.09 & f > f_p \end{cases}$$

JONSWAP spektrumu, denklemdе görülen parametreler yardımıyla sabit bir formda olmayıp değişken deniz ortamlarına uyum sağlayabilme özelliğinden dolayı oldukça sık kullanılan bir modeldir (1). Ancak bu modelin doğru uygulanabilmesi, bu parametrelerin değerlerinin bulunabilmesine bağlıdır. Özellikle ‘spektrum pik değerini artırma faktörü γ ’, spektral genişliğin ölçüsü sayılabileceğinden JONSWAP spektrumunun en önemli parametresi olup doğru belirlenmesi önemlidir (2).

Denizde gerçekleştirilen dalga ölçümlerinden spektrumların elde edilmesi ve bu spektrumların JONSWAP spektrumu gibi standart bir forma dönüştürülmesi yaygın bir uygulamadır (2). Böylelikle ölçüm yapılan bölgeye ait ortalama bir ‘ γ ’ parametresi de bulunabilmektedir. Örneğin JONSWAP spektrumunun formülize edildiği çalışmada, Kuzey Denizi için ‘ γ ’ ortalama 3.3 olarak bulunmuştur (3). Ancak hidrolik modellemesi yapılan Yeni Marmara Limanı dalgakıranı inşasının gerçekleşeceği bölgede ‘ γ ’ nın değeri hakkında bilgi edinilememiştir. Bu nedenle stabilite araştırma deneyleri $\gamma=3.3$, $\gamma=5$ ve $\gamma=7$ alınarak tekrar edilmiş ve böylece γ faktörünün hasar oranına, dalga iletimine ve dalga yansımaya etkisi araştırılmıştır.

2. Hidrolik Model

Marmara Ereğlisi ile Tekirdağ arasında yapılması planlanan “Yeni Marmara Limanı” dalgakıranının stabilite analizi için dalgakıran kesiti, ‘Freude Benzeşim Kanunu’ kullanılarak, 1/25 ölçekle dalga kanalına yerleştirilmiştir. Giriş bölümünde de belirtildiği gibi dalga kanalının boyutları 40m x 0.6m x 1.2m olup Çizim 1’de gösterildiği üzere kanalın sonu enerji emişini sağlayarak yansımayı önlemek amacıyla ¼ eğimli ocak taşıyla kaplanmıştır. Dalga üreticisi, vidalı uzun bir bar yardımıyla motor gücünün pedal hareketine dönüştüğü bir sisteme sahip olup düzenli (dalga yüksekliği ve periyodu sabit) ve

düzensiz (dalga yüksekliği ve periyodu değişken) dalgalar üretebilmektedir. Üretim sınırları dalga periyodu için 0.7 ile 2.0 sn arasında değişirken, dalga yüksekliği için maksimum 25 cm.'dir ($H_{1/3}$).

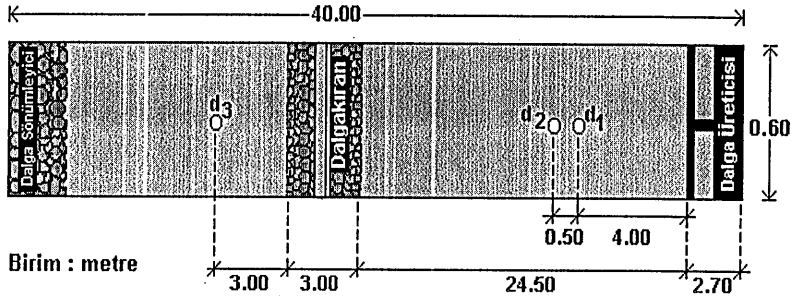
Çizim 1'de görüleceği gibi dalga üreticisinin önüne, gelen ve yansıyan dalgayı ölçen iki dalga ölçer, iletilen dalgayı ölçebilmek için de kesitin arkasına bir adet dalga ölçer yerleştirilmiştir. Kesitin önündeki iki dalga ölçer arasındaki mesafe, gelen ve yansıyan dalganın ayrıştırılması prensibindeki frekans çözüm aralığı dikkate alınarak, 50 cm olarak belirlenmiştir (4).

Önceki deneyimler, koruma tabakasında kullanılan malzemenin yerleştirilme yönteminin dalgakıran stabilitesini önemli düzeyde etkilediğini göstermektedir. Bu çalışmada kullanılan yerleştirme yöntemi; literatüre göre %37 ile 40 arasında olan (5) gözenekliliğin %40 olarak seçilerek yerleştirilecek taş miktarının bulunması ve ikinci sıradaki taşların birinci sıranın boşluklarını dolduracak şekilde, ancak mümkün olduğunca rasgele, 5- 10 cm. yükseklikten atılması olarak özetlenebilir.

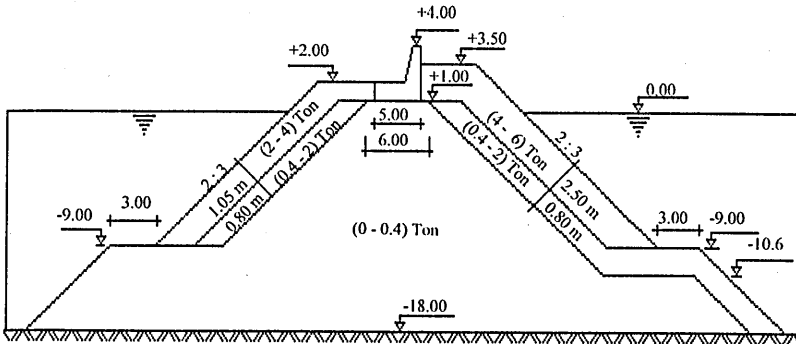
Kesit boyutları JICA (Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı) tarafından Yeni Marmara Limanı için yapılan projeden alınmıştır(6). Dalgakıranın inşa edileceği bölgede taban eğimi 1/100 veya daha az eğimli olduğundan modelde taban eğimli yapılmamış, su derinliği (72 cm.) sabit alınmıştır. Çizim 2'de kesitin ve tabakalarda kullanılan taş boyutlarının ilkörnek (prototip) değerleri gösterilmiştir. Yine projeye göre yapı eğimi 1:1.5'dur.

Koruma tabakasında kullanılan taşlar projede belirtilen aralıkta (256-384 gr.) olmak üzere rasgele seçilmiş olup, Çizim 3'de gösterilen ağırlık dağılımına sahiptirler. Ortalama ağırlık 318 gr. (ilkörnek 5 ton) bulunmuştur.

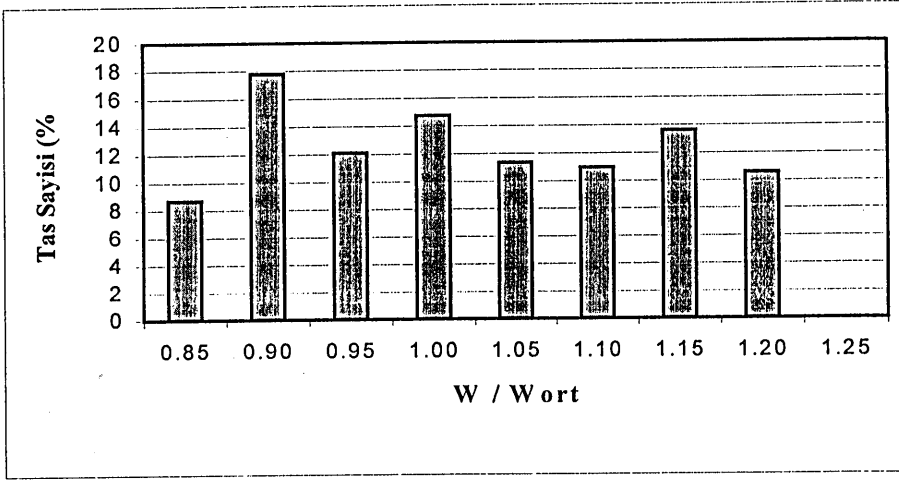
Her deneyin sonunda hasar düzeyinin saptanmasını kolaylaştırmak ve hasarın kesitin hangi bölgesinde en fazla oluştuğunu gözlemleyebilmek için taşlar üç ayrı renge boyanmış ve renklerine göre yerleştirilmişlerdir.



Çizim 1. Dalgı Kanalının Plan Görüntüsü



Çizim 2. Dalgakıran Kesiti (İlkörnek)



Çizim 3. Koruma Tabakasında Kullanılan Taşların Ağırlık Dağılımı (Wort= 5 ton)

3. Model Deneyleri ve Analiz Yöntemi

Meteoroloji istasyonundan alınan rüzgar verileriyle elde edilen dalga iklimi değerleri Orta Doğu Teknik Üniversitesi ve Delft Hidroliğin 1990 yılında Marmara Ereğlisi yakınlarındaki LNG terminali için hazırladığı rapordan alınmıştır (7). Çünkü raporun hazırlandığı bölge ve yeni liman için tasarlanan yer birbirine yakın olup, kabarma mesafesi açısından oldukça benzerlikler göstermektedir (6). Bu raporda verilen uzun dönem dalga istatistiklerine göre en etkili yön Güney Güney Doğudur(GGD). Aynı raporda Güney (G) ve Güney Güney Batı (GGB) ikincil ve üçüncül etkili yön olarak gösterilmektedir.

Dalga iklimi çalışmasıyla elde edilen derin deniz değerleri daha sonra dalga transformasyonu için hazırlanan sayısal model yardımıyla yapının önüne taşınmıştır. Böylece her üç yön için de dalgakıran boyunca maksimum dalga yüksekliği, periyodu ve yönü hesaplanmıştır. Bu değerler Çizelge 1’de gösterilmektedir. Buna göre GGD yönü en etkili yön olarak gözükmekle birlikte dalgakıranla 32° açı yapması dolayısıyla tasarım dalgası olarak dalgakırana dik geldiği kabul edilebilecek GGB yönlü dalga (H=2.72 m ve

T= 6.21 sn) seçilmiştir. Ancak deneyler GGD yönlü dalganın dik geleceği gibi düşünülmüş Bu yönün dalga yüksekliği ve periyodunu içerecek şekilde düzenlenmiştir.

Çizelge 1. Marmara Limanı İçin Etken Yönlerin Derin Deniz ve Yapı Önündeki Karakteristikleri

	GÜNEY GÜNEY DOĞU			GÜNEY			GÜNEY GÜNEY BATI		
	H(m)	T(sn)	θ^0	H(m)	T (sn)	θ^0	H(m)	T(sn)	θ^0
Derin deniz	3.7	7	-37	2.77	6	-14,5	2.89	6.1	8
Yapı önü	3.21	7.13	-32	2.66	6.13	-15	2.72	6.21	7

0 = Gelen dalganın dalgakıranının normaliyile yaptığı açı

Bir deney seti, periyot ve spektrum parametrelerinin sabit tutulup dalga yüksekliğinin basamak basamak (0.6Hd, 0.8Hd, 1.0 Hd, 1.2Hd, 1.4 Hd) artırıldığı en az beş testten oluşmaktadır. Eğer bu beş test sonucunda hasar oranı %5'ten azsa, testlere dalga yüksekliği artırılarak, en az %5 hasar elde edilene kadar devam edilmiştir. Her set, aynı girdilerle ancak 'rasgele sayı' değiştirilerek tekrarlanmış, böylece yerleştirme biçimi, faz açısı gibi etkenler azaltılmaya çalışılmıştır. Bir testin süresi 6 saatlik fırtınaya denk gelen 72 dakikadır. Deney programı Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2 . Deney Programı

Deney Seti No.	Dalga Tipi	Periyot(sn)	γ Değeri
1	Düzenli	1.24 (6.21)	-
2	Düzenli	1.43 (7.13)	-
3	Düzensiz	1.24 (6.21)	3.3
4	Düzensiz	1.43 (7.13)	3.3
5	Düzensiz	1.43 (7.13)	5
6	Düzensiz	1.60 (8.0)	5
7	Düzensiz	1.80 (9.0)	5
8	Düzensiz	1.43 (7.13)	7

Dalga ölçerler yardımıyla 0.05 sn. aralıkla alınan 4096 profil verisi, FFT tekniği ile ayrıştırılarak spektrum değerleri elde edilmiş; ‘sıfırdan yukarı’ yöntemi ile dalga yüksekliği ve periyoduna dönüştürülmüşlerdir. Gelen ve yansıyan dalganın ayrıştırılmasında Goda ve Suzuki’nin yöntemi uygulanmıştır. (8)

Her deney öncesinde gerçek su seviyesi ve bu seviyenin alt ve üst derinliklerini de içeren dokuz noktada ölçüm yapılarak voltajın profil değerine dönüştürülmesini sağlayan dalga ölçer kalibrasyonu yapılmıştır.

Hasar oranı, her testin sonunda dalgakıran koruma tabakasındaki yer değiştiren taş sayısının, toplam taş sayısına bölümü ile bulunmuştur.

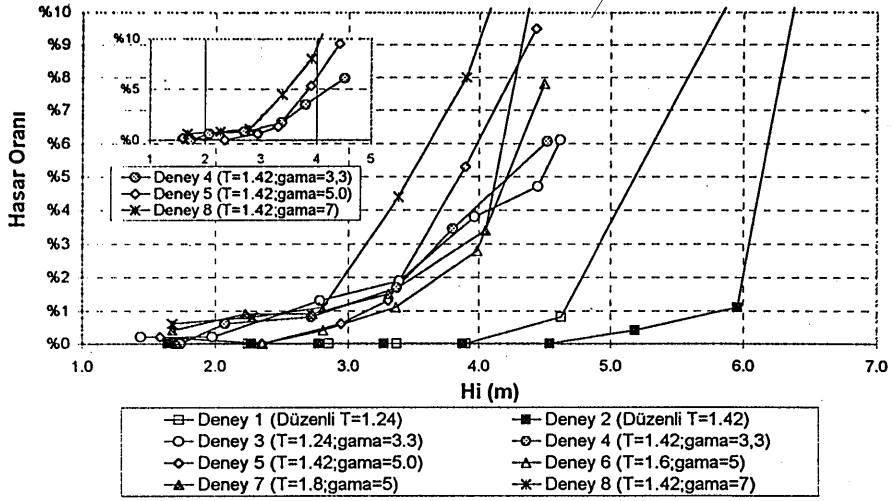
4. Analiz Sonuçları

Yukarıda bahsedilen analizlerin sonucu üç başlık altında değerlendirilebilir:

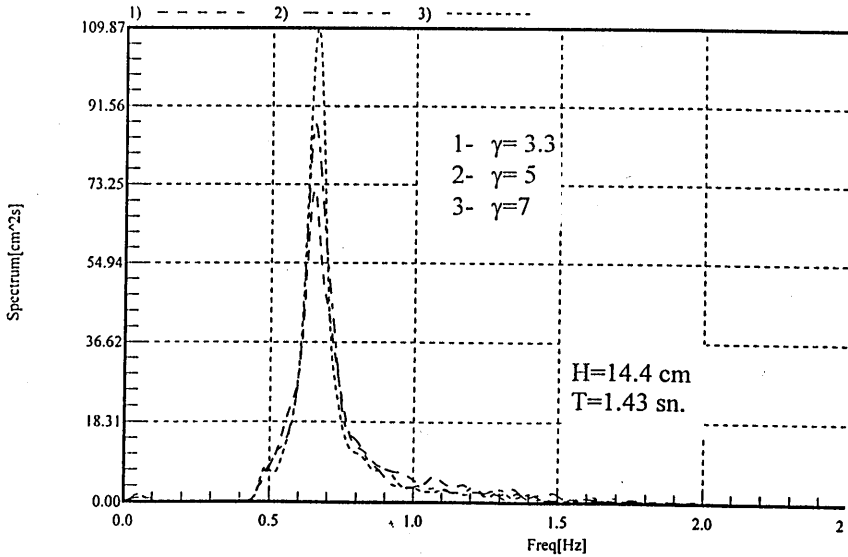
- 1) Hasar Oranı
- 2) Dalga Yansıması
- 3) Dalga İletimi

4.1. Hasar Oranı

Hasar oranı için sonuçlar dalga yüksekliğine bağlı hasar oranı değişimini gösteren Çizim 4 ‘de verilmiştir. Bu çalışmanın ana temalarından birini oluşturan γ faktörünün hasar oranına etkisi çizimin üst sol köşesinde ayrıca gösterilmiştir. Buna göre periyotları aynı ($T=1.42$ sn) ancak γ değerleri sırasıyla 3.3, 5 ve 7 olan deney 4, 5 ve 7’nin sonuçları karşılaştırıldığında γ faktörünün arttıkça hasarın da arttığı görülmektedir. Aynı dalga yüksekliği ve periyota sahip ancak farklı γ değerleriyle oluşturulan dalgaların örnek spektrumları Çizim 5’te gösterilmektedir. Buna göre γ ’nın artması spektrum pikinin artarak, spektrumun daha dik hale gelmesini sağlamıştır. Deneylerde kullanılan üç farklı γ için ($\gamma=3.3, 5, 7$) Goda tarafından Denklem 2’deki gibi formülize edilen spektrum dikliği parametresi (Q_p) hesaplanmış ve Çizelge 3’de gösterilmiştir. Çizelge 3’de Q_p ’nin γ ile doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir.



Çizim 4. Dalgı Yüksekliğine Bağlı Hasar Oranı Sonuçları



Çizim 5. γ Değeri =3.3, 5 ve 7 Olan Dalgaların Frekans Spektrumunun Karşılaştırılması

$$Q_p = \frac{2}{m_0^2} \int_0^{\infty} S^2(f) df \dots\dots\dots(2)$$

Burada; $m_0 = \int_0^{\infty} S(f) df$

Q_p 'nin dalga gruplaşması ile ilintili olduğu bilinmektedir (9). Deniz dalgaları düzensiz olmaları ve rasgele görünmelerine rağmen, yüksek dalgaların gruplar halinde geldiği saha ölçümlerinden gözlemlenmektedir. Dalga gruplaşması olarak bilinen bu olayın demir almış gemilerin salınımına, yapılarda rezonans oluşumuna etkisi olduğu gibi eğimli, koruma tabakası taş veya beton blokla kaplı yapıların stabilitesine de etkisi vardır (3). Dalga gruplaşmasının uzunluğu; fırtına boyunca yüksekliği, belirlenen herhangi bir dalga yüksekliğini aşan dalgaların sayılması ile bulunur. Bu çalışmada dalga gruplaşması uzunluğu, ortalama dalga yüksekliği baz alınarak hesaplanmış ve Çizelge 3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3'den de görüleceği gibi γ arttıkça dalga gruplaşması uzunluğu da artmaktadır.

Çizelge 3. Farklı γ Değerleriyle Yapılan Deneylerden Elde Edilen Ortalama

Q_p , Grup Uzunluğu ve Korelasyon Katsayısı Değerleri

T (sn)	γ	Q_p	Grup uzunluğu	Korelasyon katsayısı, r(1)	Korelasyon katsayısı, r(2)
1.42	3.3	3.468	2.616	0.429	0.067
1.42	5	4.302	2.692	0.473	0.164
1.42	7	4.982	2.910	0.518	0.217

Dalga gruplaşmasının oluşumunun kontrol etmenin diğer bir yolu da birbirini izleyen dalga yükseklikleri arasındaki korelasyon katsayısının bulunmasıdır. Çizelge 3'te son iki kolonda verilen deneylerden elde edilen korelasyon katsayıları aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır:

$$r(k) = \frac{1}{r(0)} \frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^{N-k} (H_i - \bar{H})(H_{i+k} - \bar{H}) \dots\dots\dots(3)$$

Bu denklemde:

N= Dalga Sayısı

$$\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H$$

$$r(0) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_i - \bar{H})^2$$

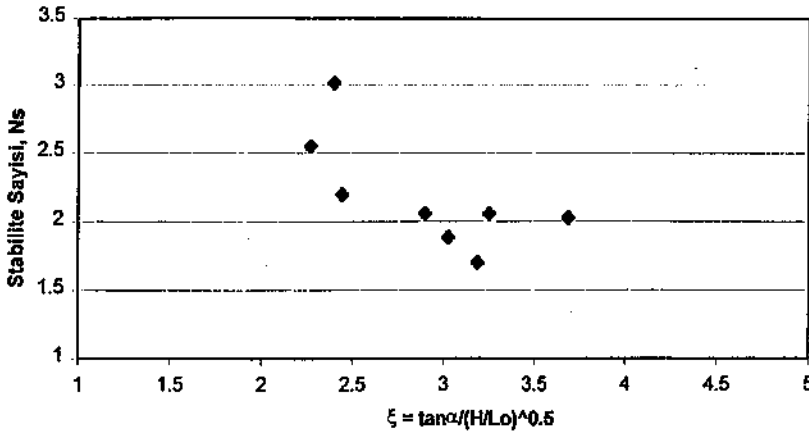
Arhan ve Ezraty (10) Kuzey Denizi'nde yaptıkları çalışmada ($Q_p \approx 3$) korelasyon katsayısını 0.3 civarında bulurlarken, Goda (9) tarafından Costa Rica'da 'ölü deniz dalgaları' ile yapılan çalışmada ($5 \leq Q_p \leq 8$) bu katsayı 0.5 ile 0.8 arasında çıkmıştır. Dolayısıyla deneylerden elde edilen katsayılar ölçümlerle uyumlu gözükmektedir.

Çizelge 3, yukarıda değinilen çalışmalarda verilen γ ve dolayısıyla Q_p 'nin artışının birbirini izleyen dalgalar arasındaki korelasyon katsayısının artması yani dalga gruplaşmasının oluşması sonucunun deneysel olarak yaratıldığını göstermektedir. Demek ki γ 'nın artışıyla oluşan dalga gruplaşması dalgakıran kesitindeki hasarın artmasına neden olmaktadır.

Çizim 4'e göre: dalga yüksekliği arttıkça hasar da artmaktadır. Bu beklenen bir sonuçtur. Çünkü dalga yüksekliği dalgakıranın dengesini bozacak hidrodinamik kuvvetlerin en önemli kaynağıdır. Periyotun stabiliteye etkisi için Çizim 4'den bir sonuç çıkarmak zordur. Çünkü, düzenli dalgalarda belirgin olarak yüksek periyot daha az hasar vermişken, düzensiz dalgalarda; $\gamma = 3.3$ için, özellikle dalga yüksekliği büyüdükçe daha fazla hasara neden olmuş, $\gamma = 5$ içinse en fazla hasar en küçük periyotta görülürken, $T = 1.6$ ve $T = 1.8$ 'de hasar oranı birbirine yakın çıkmıştır.

Periyotun stabiliteye etkisini daha rahat gözlemleyebilmek için sabit hasar oranına (%5) karşılık gelen İrribaren sayısına (ζ) bağlı stabilite sayısını gösteren Çizim 6 oluşturulmuştur. Buna göre ζ , 3'e yakın değerler aldığımda stabilite en olumsuz duruma geçmekte bu değerden yükseldikçe ya da düştükçe stabilite artmaktadır. Diğer bir deyişle yapı eğimi 1:1.5 için ζ 'ın 3'e yakın çıkmasını sağlayan periyotlar stabiliteyi azaltırken

diğerleri yüksek ya da düşük olsalar da stabiliteyi olumlu olarak etkilemektedirler.



Çizim 6 İrribaren Sayısına Bağlı Stabilite Sayısını Veren Stabilite Eğrisi
(% 5 Hasar Oranı İçin)

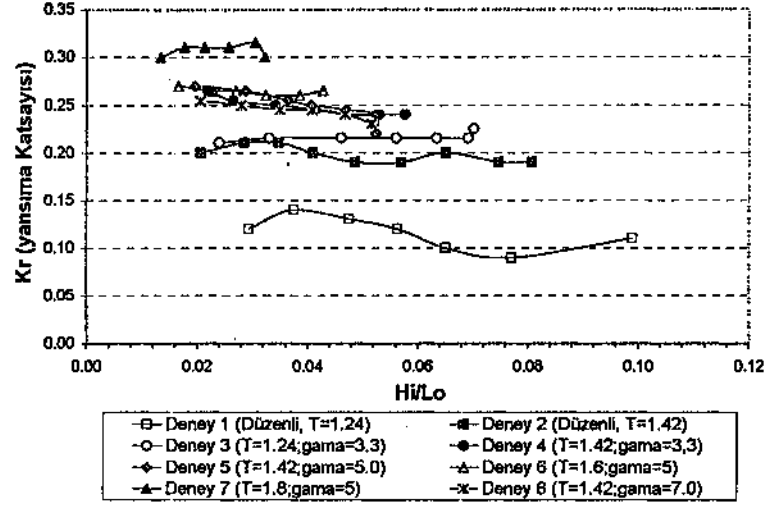
Hasar analizlerinden çıkan diğer bir sonuç da düzensiz dalgaların düzenlilere göre daha yıkıcı olmasıdır. Bu da önceki deneyimlerle uyumludur (4). Özellikle küçük dalga yüksekliklerinde düzenli dalgalarla yapılan deneylerde hasar hemen hemen hiç görülmezken, düzensiz dalgalarda; dalga yüksekliği sabit olmayıp 0.6 H/3 ile 1.8 H/3 arasında değiştiğinden, gelen yüksek dalgalar hasara neden olmaktadır. Ancak hasar yapacak dalga yüksekliğine ulaşıldığında da düzenli dalgalar sürekli aynı şiddetle geldiklerinden daha fazla hasar vermektedirler.

4.2. Dalga Yansıması

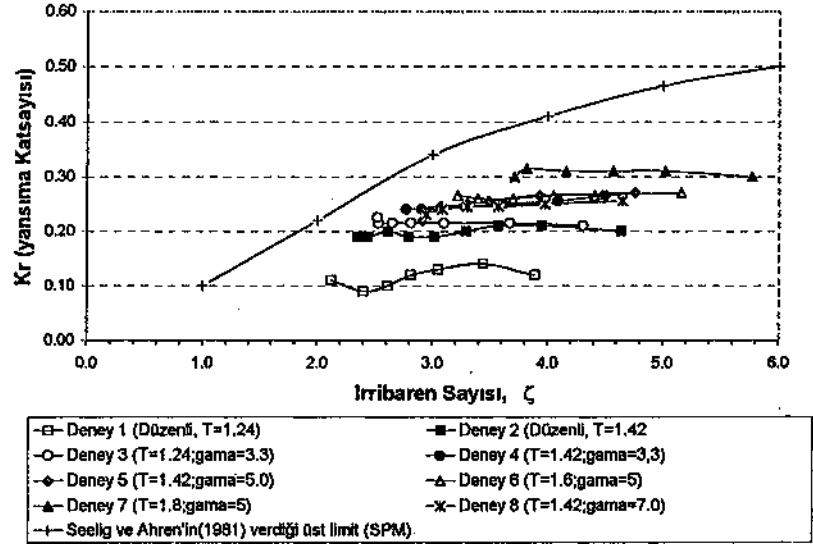
Dalga yansıması için sonuçlar Çizim 7'de dalga dikliğine bağlı yansımaya katsayısı (K_r) eğrileri ile verilmiştir. Bu çizime göre, yansımaya katsayısı 0.09 ile 0.32 arasında değişmektedir. Dalga dikliği veya yüksekliği arttıkça K_r düşmektedir. Dalga periyodu uzadıkça K_r da artmaktadır. Düzensiz dalgalar düzenlilere oranla daha yüksek K_r 'a sahiptirler. γ faktöründeki artış K_r 'ı etkilememektedir.

GODA (3)'ya göre eğimli yapılar ve kumsallar için yansımaya katsayısı dalga dikliği ile ters orantılıdır. Dolayısı ile bu çalışmanın sonucu ile uyumlu görünmektedir. Yine aynı kaynakta Goda K_r 'ı 0.3 ile 0.6 arasında vermektedir. Ayrıca Çizim 8'de deney sonuçları

ζ 'a bağlı K_r katsayıları ile gösterilmiş ve aynı çizimde SPM'(5) de verilen Seelig ve Ahren'in üst limit sonucu yerleştirilmiştir. Deneylerden bulunan K_r değerleri biraz düşük görünmekle birlikte verilen üst sınırın altındadır ve Issacsan, Paps ve Mansard (11) tarafından yapılan deney sonuçlarıyla uyumludur. Adı geçen yayında ayrıca düzensiz dalgalarda düzenlilere göre daha fazla yansıma katsayısı ölçüldüğü belirtilmektedir.



Çizim 7. Dalganın Dikliğine Bağlı Yansıma Katsayısı Sonuçları

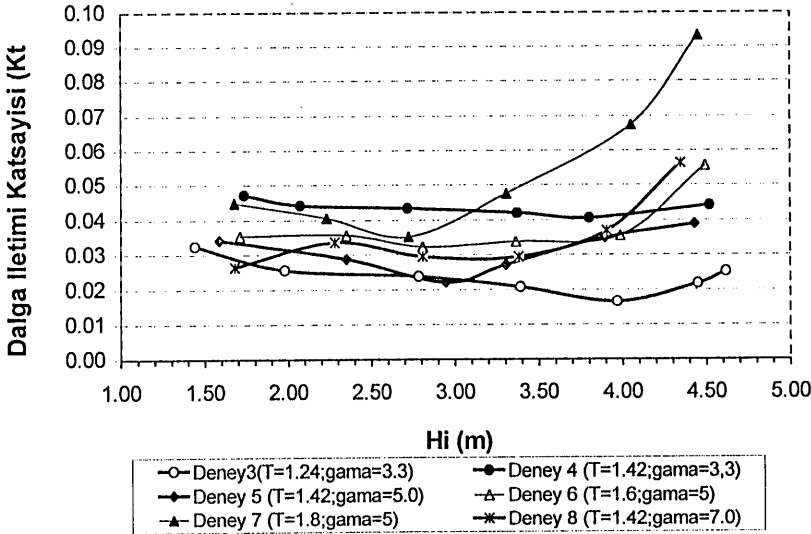


Çizim 8. İrribaren Sayısına Bağlı Yansıma Katsayısı Sonuçları ve Literatürle Karşılaştırılması

4.3. Dalga İletimi

Dalga iletimi için sonuçlar dalga yüksekliğine bağlı dalga iletimi katsayısı (K_t) eğrileri ile Çizim 9'da verilmiştir. Dalga iletimi katsayısı (K_t) dalgakıranın arkasında ölçülen dalga yüksekliğinin, dalgakıranına gelen dalganın yüksekliğine oranı olarak tanımlanmaktadır. Buna göre; başlangıç deneylerinde K_t 'de bir düşüş görülmekle birlikte daha sonra artış olmaktadır. γ değeri arttıkça bahsedilen artış da hızlanmaktadır.

Bilindiği gibi taş dolgu dalgakıranlar için dalga iletimi; dalga aşması ve dalganın yapıdan sızmasının bileşiminden oluşmaktadır. Dalga aşması başlamadan önce dalga iletimi dalga sızmasından oluştuğu için ve sızma dalga yüksekliği arttıkça azaldığı için (3 ve 5) K_t önce düşmekte, daha sonra dalga aşmasının başlaması ile artış gözlenmektedir.



Çizim 9. Dalga Yüksekliğine Bağlı Dalga İletimi Katsayısı Sonuçları

5.SONUÇ

Daha çok, gelişmesini tamamlayamayan deniz ortamı için kullanılan JONSWAP spektrumundaki pik değerini artırma faktörü γ 'nın dalgakıran stabilitesine etkisi, 1:1.5 eğimli, geçirgen, taş dolgu model dalgakıranı kullanılarak, sabit su derinliğinde ve düzenli ve düzensiz dalgalar altında araştırılmıştır. Buna göre γ değerinin artışı spektrum pikliği parametresinin (Q_p) de artışı getirmekte, bu ise dalga gruplaşmasını oluşturmaktadır. Dalga gruplaşması ise dalgakıran stabilitesini olumsuz etkileyerek hasarı arttırmaktadır. Dalga yansıması açısından γ 'nın bir etkisi gözlemlenmezken, dalga iletimi özellikle dalga aşmasının başladığı andan itibaren γ değerine koşut olarak artmaktadır.

Bu çalışma spektrum şeklinin ve dalga gruplaşmasının stabiliteye etkisini bir kez daha göstermiştir. Bu aynı zamanda, gerçek deniz dalgalarının düzensizliğini yalnızca belirgin dalga yüksekliği kullanılarak tasarıma aktarılamiyacağının da göstergesidir.

KAYNAKLAR

1. E. Huang N., Tung C., Long S., 'Wave Spectra' , The Sea, Ocean Engineering Science, Volume 9, Part A
2. Mansard E.P.D. and Funke E.R., 'On The Fitting of JONSWAP Spectra to Measured Sea States
3. Goda Y., 'Random Seas and Maritime Structures', University of Tokyo Press, 1985
4. Öztunalı, B.(1996) 'An Experimental Study on the Stability Coefficient For Trunk Section of Cubic Armoured Breakwaters Under Nonbreaking Waves, M.S. Thesis METU, Ankara
5. SPM (1984) Shore Protection Manual, CERC, Volume 2
6. Marmara Denizi'nde limanların gelişimi için master çalışması, Eylül 1997, Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı
7. Schuurmans, S.Th, Özhan, E., Hurdle, D.P., (1990) 'Hydraulic Studies For LNG Terminal Near Marmara Ereğlisi, Turkey' Volume1, Report on Hydraulic Studies, November 1990
8. Goda Y., Suzuki Y.(1976). 'Estimation of Incident and Reflected Waves in Random Wave Experiments' Proc., 15th Coast Engrg. Conf. ASCE, New York
9. Goda Y.(1983)'Analysis of wave Grouping and Spectra of Long Travelled Swell' Report of The Port and Harbour Research Institute, Vol:22 No:1
10. Arhan M., Ezraty R.(1978). 'Statistical Relations Between Successive Wave Heights' Oceanologica Acta, Vol:1 No:2
11. Issacsan, Paps ve Mansard (1996) 'Oblique Reflection Characteristics of Rubble Mound Structures' Journal of Waterway, Port, Coastal nad Ocean Eng. Vol.122

ABSTRACT

In this study, a series of hydraulic model experiments was conducted in order to investigate the stability of Marmara New Port Breakwater which will be constructed between Tekirdağ and Marmara Ereğlisi. JONSWAP spectrum was chosen for the irregular wave experiments because of developing sea conditions. But, unfortunately, no information was obtained about peak enhancement factor ' γ ' at that region. Therefore, experiments were repeated for different γ values ($\gamma=3.3, 5, 7$) to see the effect of this factor on the damage ratio of breakwater, wave reflection and transmission. Moreover, the relation between γ factor and both spectrum peakedness parameter (Q_p) and wave groupiness was investigated.

According to results of experiments, the higher the γ factor value, the more damage ratio is obtained. This is due to high proportionality between γ factor and either Q_p or wave groupiness. Although, no effect of γ was observed on wave reflection, wave transmission increase by increase in γ value especially when overtopping is dominant on transmission.

