

## Yapay Resif Boyutunun Dalga Hareketinden Kaynaklanan Lokal Oyulma Olayı Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi\*

F. Ozan Düzbastılar, Adnan Tokaç

*Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Su Ürünleri Avlama Teknolojisi Anabilim Dalı, 35100, Bornova, İzmir, Türkiye.*

**Abstract: Determination of effects of artificial reef size on local scouring phenomena resulting from wave action.** Waves effect stability of artificial reefs depends on water depths were deployed. Local scour effect is formed at structures on the sea bottom by influences of waves and currents, causes to artificial reefs sinking into the bottom with time and losing their functions. To occur local scour effect is related to permeability, influence of wave and current, water depth, reef size and shape. Particularly, artificial reef size changes values of local scour. It was founded that both artificial reef size and local scour depth increases at the same time by hydraulic experiments carried under regular wave condition in unidirectional wave channel. With this aim, wave and current parameters were taken by Port Hydraulic Research Center, DLH were used for solid cubic reef models have three different sizes in laboratory conditions with the scale of 1:30. 7 different wave cases were propagated between 5 and 10 cm wave heights with 1.13 second constant wave period. Values of local scour were measured by ruler with millimetre divisions ruler and Sand Surface Meter on fine gravel ground. It was determined that artificial reef size and local scour depth were directly proportional. In 10 m (for model 33.33 cm) water depth local scour depths for 5 cm-model is 0.6 cm, 4 cm model 0.45 cm and 3.3 cm model 0.387 cm and for 15 m (for model 50 cm) water depth these values were measured 0.4 cm, 0.375 cm and 0.225 cm respectively. According to these results, it was determined that artificial reef size increases local scour depths, others without and other factors which effect scour depth.

**Key Words:** Artificial reef size, local scour, wave channel, hydraulic experiments.

**Özet:** Dalgalar yapay resiflerin stabilitelelerini, yerleştirildikleri su derinliğine bağlı olarak etkilemektedir. Dalga ve akıntı tesiriyle deniz zeminindeki yapılarda oluşan lokal oyulma etkisi, yapay resiflerin zamanla zemine gömülmesine ve işlevlerini kaybetmelerine neden olmaktadır. Lokal oyulma etkisinin ortaya çıkması geçirgenlik, dalga ve akıntı etkisi, su derinliği, resif boyutu ve şekli ile ilgilidir. Özellikle yapay resif boyutu lokal oyulma değerlerini değiştirmektedir. Tek yönlü dalga kanalında, düzenli dalga koşullarıyla yapılan hidrolik denemelerde, yapay resif boyutu arttıkça lokal oyulma derinliğinin de arttığı tespit edilmiştir. Bu amaçla DLH, Liman Hidrolik Araştırma Merkezi tarafından Zonguldak, Hisarönü'nde alınan dalga ve akıntı parametreleri laboratuvar koşullarında 1:30 ölçek koşuluyla, üç farklı boyuta sahip içi dolu küp resif modelleri için uygulanmıştır. 5 ile 10 cm dalga yükseklikleri arasında, 1.13 s sabit dalga periyoduyla 7 farklı dalga durumu üretilmiştir. Lokal oyulma değerleri ince çakıllı zemin üzerinde, "mm" taksimatlı cetvel ve *Sand Surface Meter* (kum yüzeyi ölçme aygıtı) ile ölçülmüştür. Denemeler sonunda yapay resif boyutu ile lokal oyulma derinliği arasında bir doğru orantı olduğu saptanmıştır. 10 m (model için 33.33 cm) su derinliğinde, 5 cm'lik model için 0.6 cm, 4 cm'lik model için 0.45 cm ve 3.3 cm'lik model için 0.387 cm lokal oyulma derinlikleri ve 15 m (model için 50 cm) su derinliği için bu değerler sırasıyla 0.4 cm, 0.375 cm ve 0.225 cm ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre yapay resif boyutunun oyulma derinliğini etkileyen diğer faktörlerden bağımsız olarak lokal oyulma derinliğini arttırdığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay resif boyutu, lokal oyulma, dalga kanalı, hidrolik denemeler.

\*Bu yayın "Yapay Resiflerin Yapısal ve Teknik Özellikleri Üzerine Bir Araştırma (2001)" isimli doktora tezinin verilerini içermektedir.

## **Giriş**

Balıkçılığın aktif bir elemanı haline gelen yapay resiflerin kendilerinden beklenen verimi verebilmeleri için, Japon bilim adamlarına göre en az 30 yıl işlevlerini yerine getirmeleri gerekmektedir (Nakamura, 1985). Kıyısız alanlarda daha çok uygulama imkanı bulan yapay resifler, özellikle dalga, dalgaların oluşturduğu akıntı, gel-git olayının neden olduğu akıntı, rüzgar akıntıları gibi etkileri nedeniyle meydana gelen sedimantasyon sonucu buldukları zemine bir süre sonra gömülmektedirler. Sedimantasyon dalga ve akıntı etkisi sonucu oluşmaktadır. Bir tanenin harekete geçmesi için bu taneyi etkileyen kuvvetlerin büyüklüğü önemlidir ve bu tane harekete geçerse bu durum kritik durumdur. Taneye etki eden hidrodinamik kuvvetler, direnç kuvvetinden daha fazla ise hareket başlar (Yüksel ve diğ., 1998).

Temas noktalarındaki zemin taneciklerinin harekete geçmesiyle, önce yana eğilme veya yatma şeklinde başlayan bu olay, zamanla resif gövdesinin kısmen ya da tamamen zemine doğru gömülmesine neden olur (Ingsrisawang, 1996; Kim ve diğ., 1995; Lök, 1999). İlk olarak yapay resif bloğunun zemine değdiği kolon elemanlarında ortaya çıkan bu olaya "lokal oyulma" adı verilmektedir. Lokal oyulma olayı, köprü ayaklarında ortaya çıkmış ve bununla ilgili bir çok çalışma yürütülmüştür. Yapay resif uygulamalarının artmasıyla, özellikle okyanus kıyısı ülkelerde sığ sularda meydana gelmeye başlayan lokal oyulma etkisi resif bloklarının etkinliğini azaltmış ve yok etmiştir (Sungthong ve Ingsrisawang, 1993; Kimura ve diğ., 1994a'dan).

Lokal oyulmayla ilgili yapılan laboratuvar ve saha çalışmalarında, bu mekanizmanın oluşumu ve nedenleri saptanmaya çalışılmıştır. Bu olayı araştırmacılar; ilk aşama, orta aşama ve

denge aşaması olmak üzere üç farklı evreye ayırmışlardır. Genellikle sirkülasyon kanalında ve dalga kanallarında yürütülen hidrolik denemelerde, değişik boyutlardaki farklı resif modelleri, çeşitli düzenlerde ve açılarda, farklı özelliklere sahip zeminlere yerleştirilerek dalga ve akıntı parametreleri ile değerlendirilmiştir (Nakamura, 1982; Kimura ve diğ., 1994a; Kimura ve diğ., 1994b). Bu denemeler model ölçeği, zemin eğimi; resif boyutu, zemin analiz sonuçları ve çevresel koşullar hesaplanarak yürütülmüştür.

Ülkemizde yapay resifler Ege Bölgesi'nde yoğunluk göstermekle beraber, Karadeniz Bölgesi'nde de ilk kez uygulanmıştır. Ege Bölgesi'nde yapılan yapay resif çalışmalarında, resif blokları yerleştirildikten sonra yapılan sualtı gözlemlerinde genelde blokların yapısal elemanlarında, bloğun stabilitesini bozacak şekilde lokal oyulmaya rastlanmamıştır. Gözlenen lokal oyulmalar bloğun sadece bir köşesinde ve genel eğilimi bozmayacak şekilde olmuştur. Ancak Karadeniz'de yapılan çalışmalarda, ölçülen dalga yükseklik ve periyotlarının Ege Bölgesi'ne nazaran daha büyük değerler almasıyla, lokal oyulma etkisinin oluşma olasılığı artmıştır.

1995-1996 yılları arasında Karadeniz'de (Hisarönü) maksimum dalga yüksekliği 7.55 m olarak ölçülmüş, 1999'da Ege'de (Çandarlı) maksimum dalga yüksekliği 1.45 m ölçülmüştür (DLH, 1998; Düzbastılar ve diğ., 2000). Karadeniz'de dalga değerlerinin yüksek olması nedeniyle, bu bölgede DLH tarafından yapılan dalga ve akıntı ölçüm ve analizlerine bakılarak, laboratuvar koşullarında hidrolik denemeleri yapma zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Hidrolik deneme sonuçlarına göre blokların yapısal elemanlarında ortaya çıkması muhtemel oyulmaların önlenmesi ya da tedbir alınması gerekmiştir. Ayrıca Karadeniz'de uygulanan 1.5x1.5x1.5 m<sup>3</sup>'lük blokların lokal oyulma özelliklerinin farklı su

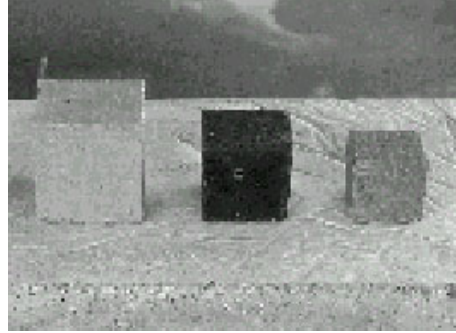
derinliklerinde ortaya çıkarılabilmemesinin yanında, Ege Denizi'nde uygulanmış iki farklı boyuttaki ( $1 \times 1 \text{ m}^3$  ve  $1.2 \times 1.2 \times 1.2 \text{ m}^3$ ) resif bloklarını lokal oyulma özellikleri bakımından karşılaştırmak amacıyla hidrolik denemelerde modelleri kullanılmıştır.

### Materyal ve Yöntem

Hidrolik denemeler DLH, Liman Hidrolik Araştırma Merkezi bünyesinde bulunan tek yönlü dalga kanalında yürütülmüştür (40 m uzunluk, 1.2 m derinlik, 0.6 m genişlik) (Şekil 1). Düzenli dalga koşulları altında 3 farklı boyutta resif modeli kullanılarak, 10 ve 15 m su derinliklerine karşılık gelen kanal derinlikleri için farklı dalga setleri uygulanmıştır (Şekil 2). Dalga setlerinde 7 farklı dalga yüksekliği ve sabit dalga periyodu kullanılmıştır (Tablo 1). Dalga hareketi her deneme için 30 dakika sürmüştür (Düzbastılar, 2001).



Şekil 1. Hidrolik denemelerde kullanılan tek yönlü dalga kanalında dalga üretimi ve dalga parametrelerini ölçen dalga sensörleri.



Şekil 2. Denemelerde kullanılan 1:30 ölçeğe göre yapılan yapay resif modelleri (1.5 m/5 cm; 1.2 m/4 cm; 1 m/3.3 cm).

Denemelerde kullanılmak üzere belirlenen dalga değerlerinin gerçek değerlerini bulmak için kanalda modeller yokken kalibrasyon yapılmıştır. Tek yönlü dalga kanalında 2 farklı derinlik için yapılan ölçümler için her 3 model için tekrarlanmış ve ölçümler kümülatif olarak alınmıştır. Lokal oyulma deliklerinin derinlikleri "mm" taksimatlı cetvel ve *Sand Surface Meter* kullanılarak ölçülmüştür.

Ölçüm noktaları modellerin 4 köşe noktası ( $T_1, T_2, T_3, T_4$ ) ve bu noktalarda oluşan lokal oyulma deliklerinin en derin noktaları olarak belirlenmiştir. Ölçümler ilk dalga seti verilmeden ve her dalga seti verildikten sonra alınmıştır. Ölçüm su seviyesinden zemine olan ilk uzaklık ve son uzaklık olarak yapılmış ve bu iki değer farkı lokal oyulma değerini vermiştir ( $T_{ilk} - T_{son} = \Delta T$ ). Modeller geçirgenlikleri düşük olan içi dolu küp blok şeklinde beton malzeme kullanılarak, 1:30 model ölçeği ile yapılmıştır. Model ölçeği için yapay resif bölgesinden alınan zemin örneği analiz edilerek  $2.65 \text{ t/m}^3$  yoğunluk ( $\rho$ ) değeri, 4.6 mm ortalama tane çapı ( $d_{50}$ ) (ince çakıl),  $5.0964 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$  hacim ve  $1.3505 \cdot 10^{-7} \text{ t}$  ağırlık tespit edilmiştir. Model malzemesi olarak kullanılan kum özellikleri ise  $2.85 \text{ t/m}^3$  yoğunluk, 0.15 mm ortalama tane çapı,  $1.767 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3$  hacim ve  $5.036 \cdot 10^{-12} \text{ t}$  ağırlık şeklindedir. Analiz sonuçlarına

göre, tane çaplarının oranı; 30.67, hacimlerin oranı; 30.67 ve ağırlıkların oranı; 29.93 olarak bulunmuştur. Buna göre model ölçeği 1:30 seçilmiştir.

Modeller dalga jeneratörüne dik gelecek şekilde, düzgün zemin üzerine, tek tek yerleştirilmiştir. Kullanılan zemin ortalama tane çapı 0.15 mm olan kum malzemeden, saha şartlarına bağlı olarak 1/30 eğimle yapılmıştır. Dalga ölçümleri laboratuvar tipi dalga ölçerler ile yapılmıştır ve bunlar her derinlik

noktasının jeneratöre doğru 0.4 m ilerisine yerleştirilmiştir. Modeller etrafında oluşan lokal oyulma oluşumları *Olympus-Camedia-C-1400l* dijital fotoğraf makinesi ile kaydedilmiştir.

### Bulgular

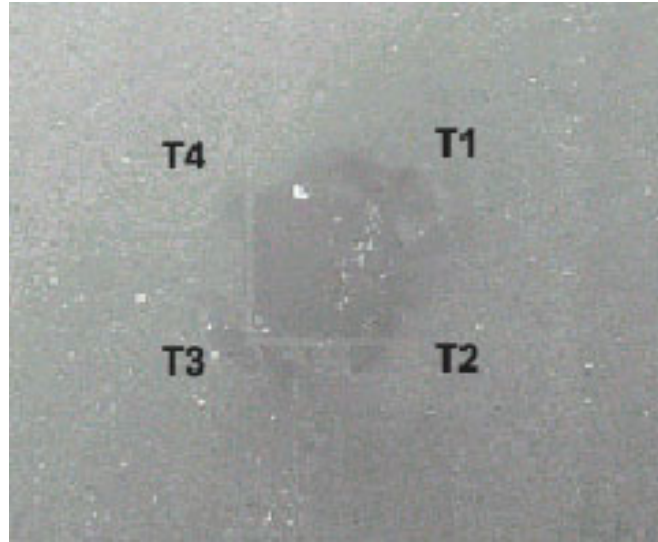
Denemelerde seçilen dalga değerleri zemin yapısını fazla bozmadan, lokal oyulmaları belirgin olarak izleyebilmek için küçük tutulmuştur (Şekil 3).

**Tablo 1.** Hidrolik denemelerde uygulanan dalga değerleri.

Ölçek: 1:30	5 cm'lik resif modeli	4 cm'lik resif modeli	3.3 cm'lik resif modeli		Dalga periyodu (Model-s)		
	Denemelerde kullanılan su derinliği (m/cm)						
	10/33.33	15/50.00	10/33.33	15/50.00	10/33.33	15/50.00	
Üretilen dalga yüksekliği (Model-cm)	Laboratuvar tipi dalga ölçerden okunan dalga değerleri (cm)						
5	3.535	4.344	3.589	4.378	3.387	4.341	1.13
6	4.370	5.475	4.392	5.493	4.290	5.358	1.13
6.5	4.779	5.828	4.745	5.949	4.698	5.939	1.13
7.5	5.812	7.201	5.724	7.224	5.830	7.168	1.13
8.5	6.896	8.128	6.832	8.135	6.787	8.075	1.13
9.5	7.812	9.803	7.820	9.655	7.851	9.558	1.13
10	8.372	10.325	8.282	10.504	8.277	10.438	1.13

$$T_m = T_p \cdot n^{-1/2}$$

Model dalga periyodu ( $T_m$ ), Prototip dalga periyodu ( $T_p$ ), Model ölçeği ( $n$ )



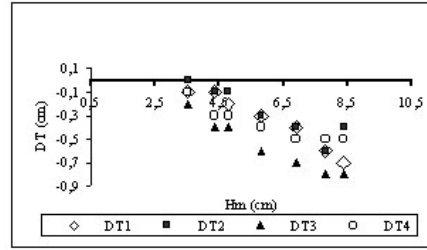
**Şekil 3.** Dalga etkisiyle zeminde modelin köşelerinde oluşan lokal oyulma delikleri.

Sadece son iki dalga durumunda zemine kum tepcikleri oluşumu meydana gelmiş ve lokal oyulma delikleri kum tepcikleri ile karışmıştır. Bu durumlarda ölçüm yapmak ve gerçek oyulma değerlerini saptamak çok zordur. Ancak yine de 5, 6 ve 7. dalga durumlarında kum tepcikleri ortaya çıkmıştır. Sabit dalga periyodu seçilerek, iki farklı su derinliğinde dalga yüksekliğinin resif modelleri üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Yapay resif modellerinde lokal oyulma etkisi dalganın geldiği yönde daha fazla olmuştur.

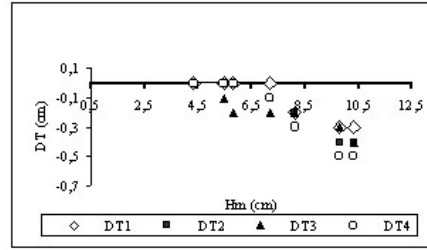
Şekil 4'te 10 m su derinliğine denk gelen derinlikteki 5 cm'lik modelde lokal oyulma derinlikleri ilk dalga durumlarında artmış, son iki dalga durumunda sabit hale gelmiş ve  $T_1$  köşesinde olduğu gibi azalmıştır. Bu azalma resifin zemine ilk konduğu seviyeye gelmemekte, zamanla resif modeli oyulma deliğine doğru kaymaktadır. Şekil 5'de ise 15 m su derinliğine denk gelen derinlikte 5 cm'lik modelde, dalganın etkisi kum tepciklerini oluşturmaya yetmemiş, lokal oyulmalar düzenli olarak izlenmiştir. Burada modelin 4 köşesinde oluşan oyulmaların dalga yüksekliğine bağlı olarak düzenli bir artış gösterdiği görülmektedir. 4 cm'lik ve 3.3 cm'lik modellerde lokal oyulma gelişimi aynı şekillerde izlenmiştir. 10 m su derinliğine karşılık gelen derinlikte 6 cm'in üzerindeki dalga yüksekliklerinde zemin yapısı değiştiğinden lokal oyulmanın artışı azalmaktadır (Şekil 6, 7). Özellikle model boyutu küçüldükçe bu değişimler daha açık bir şekilde görülmüştür. Bunun nedeni oluşan kum tepcikleri üzerinde modelin yürümesi veya dalgalanmasıdır. 15 m su derinliğine karşılık gelen su derinliğinde ise kum tepciği oluşumu olmadığından düzgün bir şekilde devam etmiştir (Şekil 8, 9).

Denemelerde farklı boyuttaki üç yapay resif modelinin lokal oyulma derinlikleri ve model boyutu arasında düzgün bir ilişki ortaya çıkmıştır. Lokal oyulma derinliği 5 cm'lik modelde en yüksek, 4 cm'lik modelde daha düşük ve

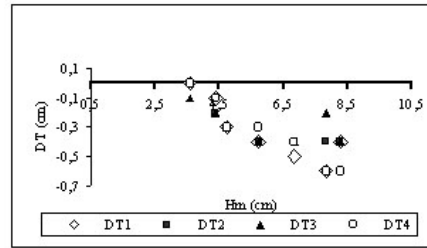
3.3 cm'lik modelde en küçük değeri almıştır. Bu ilişkinin hidrolik denemelerde bazen farklılık göstermesi, modelin dalgaya göre konumu (eğik veya dik), zeminin düzgünlüğü, model yüzeyi ve kanalın iç cidarlarında akıntıyı değiştirebilecek bazı elemanlar olmasından kaynaklanmaktadır.



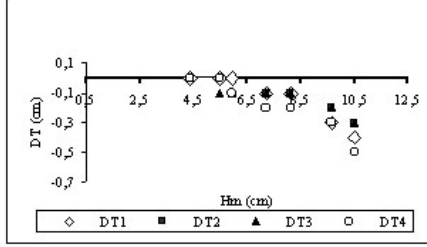
Şekil 4. 5 cm'lik yapay resif modelinin, 10 m su derinliğine denk gelen derinlikteki, 4 farklı köşesinde oluşan lokal oyulma derinliklerinin değişimi (DT: Lokal oyulma derinliği; Hm: Model dalga yüksekliği).



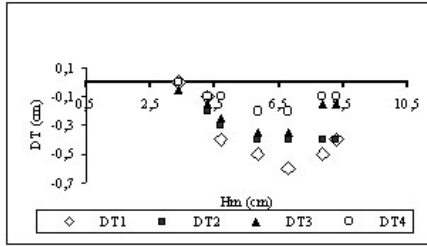
Şekil 5. 5 cm'lik yapay resif modelinin, 15 m su derinliğine denk gelen derinlikteki, 4 farklı köşesinde oluşan lokal oyulma derinliklerinin değişimi.



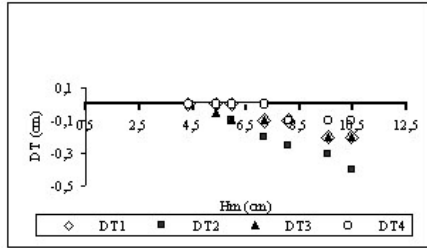
Şekil 6. 4 cm'lik yapay resif modelinin, 10 m su derinliğine denk gelen derinlikteki, 4 farklı köşesinde oluşan lokal oyulma derinliklerinin değişimi.



Şekil 7. 4 cm'lik yapay resif modelinin, 15 m su derinliğine denk gelen derinlikteki, 4 farklı köşesinde oluşan lokal oyulma derinliklerinin değişimi.



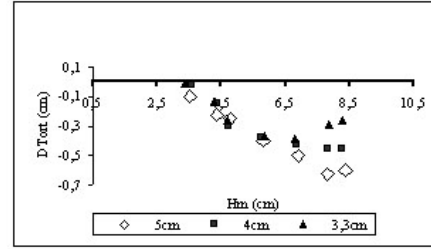
Şekil 8. 3.3 cm'lik yapay resif modelinin, 10 m su derinliğine denk gelen derinlikteki, 4 farklı köşesinde oluşan lokal oyulma derinliklerinin değişimi.



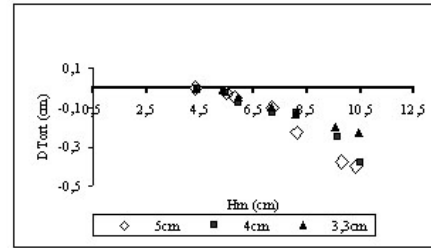
Şekil 9. 3.3 cm'lik yapay resif modelinin, 15 m su derinliğine denk gelen derinlikteki, 4 farklı köşesinde oluşan lokal oyulma derinliklerinin değişimi.

Üç yapay resif modelinin boyutlarının lokal oyulma derinliği ile ilişkisini gösterebilmek için her iki su derinliğinde, her modelin dört köşesine ait lokal oyulma değerlerinin ortalama değeri alınmış, Şekil 10 ve 11'de bu ilişki verilmiştir. Buna göre 10 m su derinliğinde en büyük ortalama lokal

oyulma değeri 5 cm'lik modelde 0.6 cm, 4 cm'lik modelde 0.45 cm, 3.3 cm'lik modelde ise 0.387 cm olarak bulunmuştur.



Şekil 10. 10 m su derinliğine denk gelen derinlikteki üç farklı boyuttaki yapay resif modellerinin köşelerinde oluşan lokal oyulmaların ortalama değerlerinin gelişimi (Dtort: Ortalama lokal oyulma derinliği).



Şekil 11. 15 m su derinliğine denk gelen derinlikteki üç farklı boyuttaki yapay resif modellerinin köşelerinde oluşan lokal oyulmaların ortalama değerlerinin gelişimi.

15 m su derinliğinde bu değerler sırasıyla; 0.4 cm, 0.375 cm ve 0.225 cm olarak hesaplanmıştır. 10 m su derinliği için lokal oyulma değeri son üç dalga durumunda azalmaya başlarken, 15 m su derinliği için bu değerler artmaya devam etmiştir.

## Tartışma ve Sonuç

Lokal oyulma tam olarak yapay resif bloklarının zemine değdiği bölgelerde hareketli zeminin değişen akışların etkisiyle taşınması sonucu oluşmaktadır (Ingsrisawang ve diğ., 1995a, b). Dalga

tesiriyle meydana gelen yatay akışların yön değiştirmesi ve hızlarının artmasına neden olan resifin yapısal elemanlarıdır. Akışlar bir engelle karşılaştıklarında farklı şekiller alır ve sedimente hareket verirler (Kimura ve diğ., 1994a; Ingsrisawang, 1996). Zeminde kum tepcikleri oluşması, köprü ayaklarında, deniz yapılarında ve yapay resiflerde meydana gelen lokal oyulmalar ve sonuçta gömülme olayının ortaya çıkması bu şekilde açıklanabilir.

Üç farklı boyuttaki yapay resif modeliyle yapılan hidrolik denemelerde, sabit dalga periyodu ve değişen dalga yüksekliklerinde en büyük modelde lokal oyulma değerinin en yüksek, daha küçük modelde daha az oyulma değerine sahip ve en küçük modelde bu değer en az olduğu tespit edilmiştir. Kimura ve diğ. (1994a, b), yaptıkları hidrolik denemelerde 3 farklı boyutta (1:2:4) silindirik şekilli modeller üzerindeki lokal oyulma etkilerini araştırmışlardır. Büyük modelde en yüksek oyulma değeri tespit edilirken, bu değer model boyutu küçüldükçe azalmıştır. Kimura ve diğ. (1996), lokal oyulmanın zemin özellikleri, akış ve resif şekliyle değişmesinin yanında resif boyutuyla da ilgili olduğunu belirtmiştir. Ingsrisawang (1996) da yürüttüğü araştırmada, yapay resifler etrafındaki oyulma benzerliği üzerine model denemeleri yapmıştır. Bu çalışmada, aynı tip resif bloğunun farklı boyutlarının değişik akıntı koşullarında farklı sonuçlar verdiğini ifade etmiştir.

Ingsrisawang ve diğ. (1999) farklı resif modelleri ile düzenli dalga koşulunda belirli dalga yüksekliği ile sığ suda "Froude" benzerlik kuralını uygulayarak lokal oyulma üzerine tek yönlü dalga kanalında hidrolik denemeler yapmıştır. Lokal oyulmanın yapay resif şekline bağlı olduğunu, akış şekillerinden olan oyulmanın gömülmeye neden olduğunu ve ayrıca resifin zemine değme yüzeyinin zamanla azaldığını ifade etmiştir.

Yapay resif modelleriyle farklı

boyutlarda yapılan denemelerde zeminde dalga etkisiyle oluşmaya başlayan kum tepcikleri, gerçek oyulma değerlerinin ölçülmesini engellemektedir. Bu nedenle bu tip hidrolik denemelerde kum tepciğini oluşturmayacak dalga yüksekliği ve periyodu seçilmesi ya da dalga etkisinin daha az olduğu su derinliklerinde çalışmak daha uygun olacaktır. Model boyutu-lokal oyulma derinliği ilişkisi bu koşullar altında özellikle 15 m su derinliğinde daha açık bir şekilde izlenmiştir. Lokal oyulma derinliği açısından önemli olan model boyutu, dalga etkisinin model stabilitesi üzerindeki etkisinde çok fazla önemli olmayıp, ihmal edilebilir. Ancak lokal oyulma bir süre sonra yapay resif modelinin, oyulmanın maksimum olduğu bölgeye doğru eğilmesine, kaymasına ve sonuçta devrilmesine sebep olan çok önemli bir etkidir. Bunun önlenmesi için su derinliğinin artırılması (dalganın zemin üzerindeki etkisi derinlere gidildikçe azalır), yapay resif şeklinin değiştirilmesi, pencere ve boşluklara daha çok yer veren bir tasarım yapılması gibi bazı öneriler sunulabilir.

Lokal oyulma etkisinin resif bloğunun stabilitesini her zaman bozması beklenemez. Bu olay bloğun bir yöne doğru eğilmesine veya gömülmesine neden olmayabilir. Özellikle bentik organizmaları harekete geçiren sedimantasyon, predatör bireylerin besin bulmalarına yardımcı olur. Ayrıca burada oluşan akış özellikleri, deniz canlılarının resif bloğunu fark etmelerine neden olacaktır. Ancak lokal oyulma etkisi artınca, resifin etkinliği de azalmaya başlar.

Yapay resif tasarımı yapılırken bir çok faktör göz önünde tutulur. Bu faktörlerden bazıları; biyolojik, ekonomik, çevresel ve emniyet faktörleridir. Çevresel faktörler arasında dalga ve akıntı özellikleri, su derinliği, zemin özellikleri ve akış şartlarına bağlı stabilite tasarımı

sayılabilir. Tasarım yapılırken yapay resifin sadece dalga ve akıntı etkilerine karşı gösterdiği dayanımın optimum seviyede olması yeterli değildir. Bu tasarımın beklenen en iyi verimi vermesi için tüm bu şartların en iyi şekilde tasarlanması ve uzun vadede etkili bir yapay resif kompleksinin ortaya çıkarılması gerekir. Bu nedenle tüm çalışmalar aynı paralelde yapılmalı ve yapay resiflerin verimini etkileyecek tüm şartlar göz önünde tutulmalıdır.

Bu çalışmada tek yönlü dalga kanalında 3 farklı boyuta sahip yapay resif modelleri iki değişik su derinliğinde dalga etkisine karşı gösterdikleri davranış açısından incelenmiştir. Gerçek yapay resif sahası ve koşulları deneme kanalında oluşturulmuştur. Sonuç olarak, yapay resif boyutu ile resif blokları etrafında meydana gelen lokal oyulma derinliğinin doğru orantılı olarak arttığı izlenmiştir. Ayrıca dalga etkisi su derinliği arttıkça azalmakta ve lokal oyulma derinliği de azalmaktadır. Dalga yüksekliği sabit dalga periyodu ile arttıkça lokal oyulmanın şiddeti de artmaktadır. Sığ bölgede dalga yüksekliği arttıkça kum tepelikleri oluşmakta, zemin bozulmakta ve lokal oyulmalar ile tepeler birbirine karışmaktadır. Daha derin bölgede ise dalga etkisi zeminde sadece lokal oyulmalar yaratmıştır. Lokal oyulmalar bu dalga yüksekliklerinde yapay resif bloklarının stabiliteelerini bozmamıştır.

10 m su derinliğine karşılık gelen 33.33 cm'lik derinlikte 3 farklı modelin dört köşesinde meydana gelen lokal oyulma derinlikleri, model yüksekliğinin %11-12'si kadar olmuştur. 15 m (50 cm) su derinliğinde ise lokal oyulma ortalaması her üç model için %7-9 arasında meydana gelmiştir. Bu oranlar resif bloğunun bu koşullarda işlevini yerine getirebileceğini göstermektedir. 1.5 m'lik yüksekliğe sahip yapay resif bloğunun yaklaşık 16-18 cm'lik bir bölümünün gömülmesi resifin işlevi

açısından bir sakınca oluşturmayacaktır. Sonuç olarak verilen dalga değerleri ve su derinlikleri (10 ve 15 m) ile yapılacak yerleştirme işleminde resif boyutu lokal oyulma derinliğini arttırmakta, ancak stabiliteelerini bozacak şekilde gömülmesine neden olmamaktadır. Bunun yanında özellikle 2.5-3 m ve üzerindeki dalga yükseklikleri özellikle 10 m su derinliği için risk taşımakta ve yapay resif bloğu etrafındaki taban hareketini ve buna bağlı blok hareketine neden olabilmektedir. Bu nedenle yapay resif bloklarını bu koşullar altında daha derine yerleştirmekte fayda olacaktır. Ayrıca büyük boyutlu yapay resif blokları, daha küçük boyuttakilere göre yüksek lokal oyulmaya sahip olduklarından, resif yapısındaki boşluk oranının artırılması akışın engellenmemesi ve gömülmenin ortaya çıkmaması için çözüm olabilir.

#### **Teşekkür**

Hidrolik denemeler sırasında laboratuvar ve saha olanaklarından yararlandığım DLH-Ankara, Liman Hidrolik Araştırma Merkezi mühendis ve çalışanlarına, İnşaat Yüksek Mühendisi Engin Bilyay nezdinde teşekkür ederim.

#### **Kaynakça**

- DLH, 1998. Wave measurement and general analysis of port in Filyos (in Turkish), Teknik rapor No:2, T.C. Ulaştırma Bakanlığı, Demiryollar, Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, Araştırma dairesi Başkanlığı, Ankara, 51.
- Düzbastılar, F.O., Lök, A., Metin, C., Ulaş, A., 2000. Evaluation of data of multi purpose oceanographic observation system on sea structures (in Turkish), Sualtı Bilim ve Teknoloji Toplantısı Bildiriler Kitabı, ISBN-975-6908-07-06, Ankara, 93-99.
- Düzbastılar, F.O., 2001. A study on structural and technical characteristics of artificial reefs (in Turkish), E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. 504.06.01, Bornova, İzmir, 153.



- Ingsrisawang, V., Ban, M., Kimura, H., 1995a. Comparative study on the sinking of artificial reefs by local scour between laboratory and field experiments, *Fisheries Engineering*, Vol.32, No.2, 95-103.
- Ingsrisawang, V., Hiraga, H., Ban, M., Kimura, H., 1995b. A study on the local similarity around artificial fish reef, *International Conference on Ecological System Enhancement Technology for Aquatic Environments*, Proceedings Volume I, Tokyo, Japan, 162-167.
- Ingsrisawang, V., 1996. A Study on local scour similarity around artificial fish reefs and its application (PhD thesis), *Laboratory of Fisheries Engineering, The United Graduate School of Agricultural Sciences, Ehime University*, (unpublished), 102.
- Ingsrisawang, V., Kimura, H., Ban, M., 1999. Experiment on Local Scour and Embedment of Artificial Reef Models due to Wave Action in Shallow Water Area, *Thai Mar. Fish. Res. Bull.*, 7:26-34.
- Kim., J.Q., Mizutani, N., Iwata, K., 1995. Experimental study on the local scour and embedment of fish reef by wave action in shallow water depth, *International Conference on Ecological System Enhancement Technology for Aquatic Environments*, Proceedings Volume I, Tokyo, Japan, 168-173.
- Kimura, H., Ingsrisawang, V., Ban, M., 1994a. A study on local of cylindrical artificial fish reefs, *Fisheries Engineering*, Vol. 31, No. 1, 33-40.
- Kimura, H., Ban, M., Lee, H.R., 1994b. How to improve the environment of polluted fishing grounds, *Bull. Natl. Res. Inst. Aquaculture*, Suppl. 1:81-87.
- Kimura, H., Ingsrisawang, V., Ban, M., Hiraga, H., 1996. Similarity law of the model test of local scour depth around artificial fish reef due to current, *Trans. Of JSIDRE*, No. 184, 131-135.
- Lök, A., 1999. Effects of wave on artificial reefs: Observations in the experimental wave tank, *Final Report of Self Study, Fisheries Oriented Resources Management Course, Japan International Cooperation Agency (JICA), Japan*, (unpublished), 5.
- Nakamura, M., 1982. Marine construction technologies for the aquaculture fishery, In *Japanese Artificial Reef Technology* (trans. And ed. Y. Haga), *Aquabio*, Technical Report, No. 604, Columbia, 168-179.
- Nakamura, M., 1985. Evolution of artificial fishing reef concepts in Japan, *Bulletin of Marine Science*, 37 (1): 271-278.
- Yüksel, Y., Çevik, E., Çelikoğlu, Y., 1998. *Coastal and port engineering (in Turkish)*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, 401.