

Farklı Düzenlerde Yerleştirilmiş Küp Yapay Resif Modellerinin Lokal Oyulma Derinliklerinin ve Dalga-Akıntı Özelliklerinin Karşılaştırılması

F. Ozan Düzbastılar

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

Abstract: *Comparison of local scour depths and wave-current characteristics of cubic artificial reef models deployed in different arrangements.* Artificial reef blocks are deployed with various methods in different arrangements. It is important that reef size, reef shape, sizes of structural elements and deploying arrangement to perceive fishes current changing around reef blocks could be produced pressure fluctuations. With this aim, hydraulic experiments were carried in unidirectional wave channel, under 7 different wave heights and constant wave period conditions, on fine gravel ground with 1:30 model scale. Models used for experiments have solid and hollow cubic shape and 5x5x5 cm³ size. Reef models were deployed in 5 different arrangements and local scour depths depend on wave effects were determined. Local scours were formed at the corner of models were measured by ruler with millimetre divisions ruler and *Sand Surface Meter*. At the end of the experiments it could be pointed that there was an effect of artificial reef arrangement to local scour depth.

Key Words: Artificial reef model, wave channel, hydraulic experiments, reef arrangement, local scour.

Özet: Yapay resif blokları deniz zeminine değişik yöntemlerle farklı düzenlerde yerleştirilmektedir. Balıkların resif blokları etrafındaki akış değişimlerini algılayabilmeleri amacıyla gerekli basınç dalgalanmalarının üretilebilmesi için, resif boyutu, resif şekli, yapısal elemanlarının boyutları ve yerleştirme düzeni önemlidir. Bu amaçla, tek yönlü dalga kanalında 7 farklı dalga yüksekliği ve sabit dalga periyodu koşulları altında, ince çakıllı zeminde, 1:30 ölçekle hidrolik denemeler yapılmıştır. Denemede kullanılan modeller, içi dolu ve boşluklu küp şeklinde ve 5x5x5 cm³ boyutundadır. Resif modelleri 5 farklı düzende, 10 m su derinliğine yerleştirilmiş ve dalga etkilerine bağlı lokal oyulma derinlikleri belirlenmiştir. Modellerin köşelerinde oluşan lokal oyulma değerleri "mm" taksimatlı cetvel ve *Sand Surface Meter* (Kum yüzeyi ölçme aytığı) ile ölçülmüştür. Denemeler sonunda yapay resif düzeninin lokal oyulma derinliğine etkisi olduğu ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapay resif modeli, dalga kanalı, hidrolik denemeler, resif düzeni, lokal oyulma.

Giriş

Yapay resifler belirli amaçlar için uygun tasarım yapıldıktan sonra zemin üzerine yerleştirilir ve düzenlenir (Bohnsack, 1991; Grove ve Sonu, 1985). Yerleştirme ve düzen sırasında bir çok faktör yapay resiflerin işlev ve etkinliklerini değiştirebilir. Balık miktarı ve kompozisyonu yapay

resiflerin yerleştirildikleri yerin derinlik, akıntı, substrat ve doğal resiflere olan uzaklığına bağlı olarak farklılık göstermektedir (Grove ve diğ., 1989). Resif boyutu ve su derinliği ilişkisinde, yapay resif kümesi yüksekliğinin, su derinliğinin %10'u kadar olması istenir (Nakamura, 1985). Ayrıca küp şekilli bloklarda pencere genişliğinin 2 m'yi geçmemesi, 5 m'den

daha yüksek olmaması (Grove ve diğ., 1989) ve resifin yapısal elemanlarının ortamda gerekli girdap koşullarını oluşturmaya tercih edilir.

Resif bloğu, akışı engelleyerek arka tarafta (akıntıya karşı) korunaklı bir alan oluşturmaya uygun olmalıdır. Bu korunaklı alan balıkların akıntı tarafından rahatsız edilmeden, hareketlerini engellemeyecek koşulu sağlamalıdır. Ayrıca resifin zeminden su yüzeyine doğru oluşturduğu yükselti, blokta yansıyan basınç dalgalanmaları, akış kararsızlığı ve ses gibi bazı faktörlere bağlı olarak balıkları kendine çekmelidir. Resif boyutu -özellikle yükseklik- ve resifin geçirgenliği, sualtında akış özelliklerini ve buna bağlı sedimantasyonu etkilemektedir. İçi dolu yapay resif blokları kendi yüksekliğinin 15 katı kadar bir türbülans etkisi (zeminden su yüzeyine düşey doğrultuda) yaratırlar. Boşlukları olan bir resif bloğunda ise bu oran 4 kat şeklindedir (Nakamura, 1985). Örneğin; 1 m³'lük içi boş bir küp beton blok, tek başına zemine yerleştirildiğinde 4 m'lik bir türbülansa neden olur.

Sato (1985) yaptığı çalışmada, 3 farklı düzende zemine yerleştirilen yapay resifler arasındaki anaför, boyut ve şekil faktörlerini incelemiş ve resiflerin birbirlerine olan pozisyonlarına göre bunların farklılık gösterdiğini belirtmiştir. Araştırmacı, resif bloklarından beklenen verimin alınabilmesi için uygun bir yerleştirmenin rüzgar, dalga ve akıntı etkileri altında, özellikle derin sularda çok zor bir uygulama olduğunu ifade etmiştir. Serbest düşme yöntemine göre yapılan yerleştirmede, suyun direncinden kaynaklanan resifin ötelenmesinin yerine, vinçlerle yapılan yerleştirmede nokta inişinin gerçekleşeceğini belirtmektedir. Düzgün bir yerleştirme sonucu grup halindeki resif bloklarının sinerji etkilerinin daha yüksek olacağını ifade etmektedir.

Laboratuvar şartlarında gerçeğe yakın çevresel koşulların oluşturulması ile

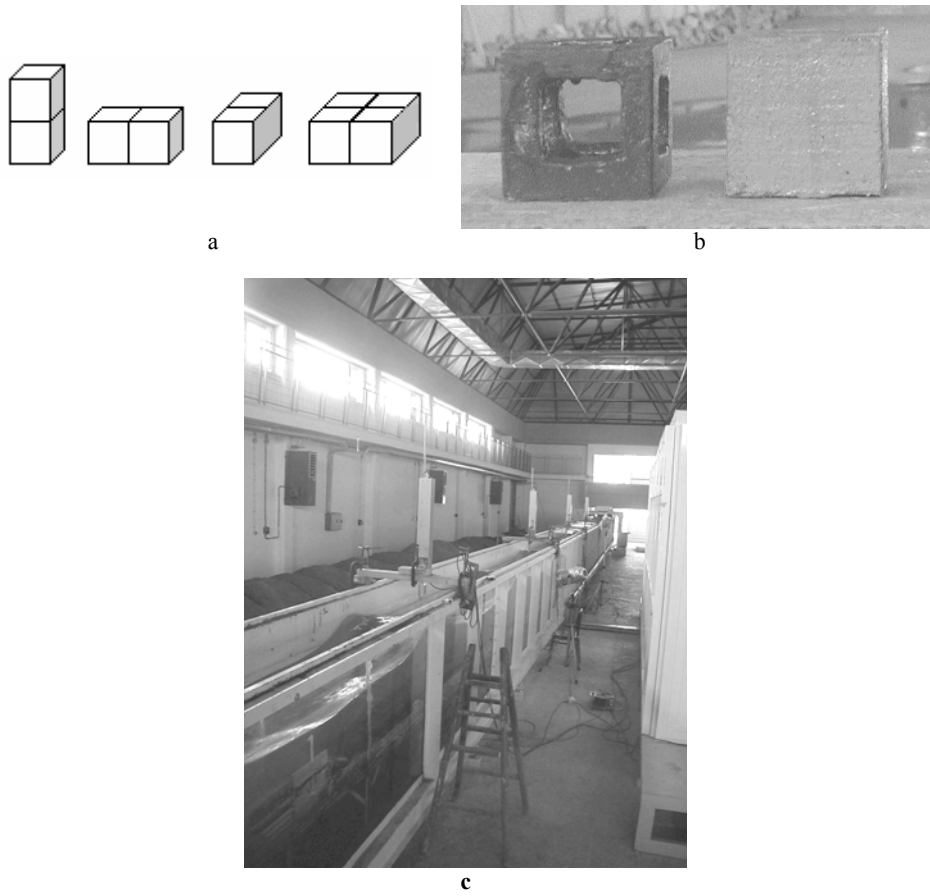
yapay resiflerle hidrolik denemeler yapmak mümkündür. Çeşitli resif model tasarımları, düzenleri ve dalga-akıntı özellikleri ile resiflerin doğal ortamda göstereceği davranışlar izlenebilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre uygun tasarım, derinlik, yerleştirme ve düzenleme gibi resifin işlev ve etkinliğini belirleyen faktörler tespit edilebilir. Bu çalışmada düzenli dalga koşullarında, tek yönlü dalga kanalında, farklı dalga durumları için yapay resif modelleri ile hidrolik denemeler yürütülmüş, dalga ve akıntı etkileri ile oluşan sedimantasyon ve türbülans özellikleri belirlenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Dalga kanalındaki model denemeleri DLH Liman Hidrolik Araştırma Merkezi'nde yürütülmüştür. Hidrolik denemelerde 1:30 model ölçeği ile yapılan içi dolu ve boş, 5x5x5 cm³ boyutunda yapay resif modelleri kullanılmıştır. Tek yönlü dalga kanalında, ince çakıllı zemin koşullarına göre seçilen 0.15 mm (d₅₀) ortalama tane çapına (model malzemesi) sahip kum zemin üzerinde, 1/30 kanal eğimiyle, farklı dalga durumlarında denemeler yapılmıştır (Şekil 1a,b,c). Denemelerde 7 farklı model dalga yüksekliği ve 1.13 s sabit model dalga periyodu kullanılmıştır (Tablo 1). Dalga üretimi her deneme için 15 dakika süresince yapılmıştır. Modeller 10 m su derinliğine karşılık gelen 33.33 cm kanal su derinliğine yerleştirilmiştir. Modeller tekli, üst üste (ikili), yan yana (ikili), arka arkaya (ikili) ve kare şeklinde (dörtlü) olmak üzere zemine yerleştirilmiş ve köşelerde oluşan oyulmalar her dalga üretiminden önce ve sonra ölçülmüştür. Her dalga üretiminden sonra modellerin köşelerindeki oyulmalar, 4 köşenin ortalaması olarak alınmıştır. Ölçümde mm taksimatlı cetvel (şaküle bağlı) ve *Sand Surface Meter* kullanılmıştır. Ölçümler kümülatif olarak, her deneme sonunda zemin düzeltilmeden alınmıştır.

Tablo 1. Hidrolik denemelerde kullanılan dalga periyodu ve yüksekliği değerleri (Ölçek 1:30)

Model dalga yüksekliği (H_m) (cm)	Prototip dalga yüksekliği (H_p) (m)	Model dalga periyodu (T_m) (s)	Prototip dalga periyodu (T_p) (s)	Model su derinliği (cm)	Prototip su derinliği (m)
5.0	1.50				
6.0	1.80				
6.5	1.95				
7.5	2.25	1.13	6.2	33.33	10
8.5	2.55				
9.5	2.85				
10.0	3.00				



Şekil 1. a. Denemelerde yapay resiflerin zemin üzerine yerleştirme düzenleri b. Hidrolik denemelerde kullanılan içi dolu ve boş yapay resif modelleri c. Denemelerin yapıldığı tek yönlü dalga kanalı ve dalga üretimi.

Bulgular

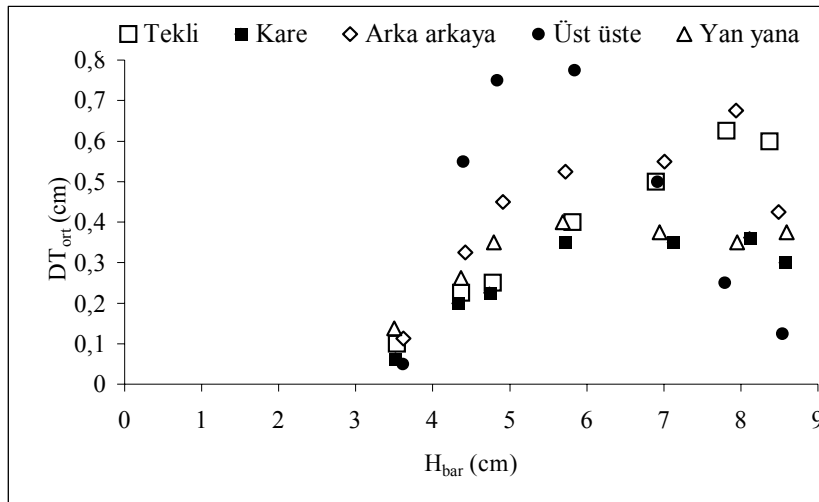
Denemelerde, 5 cm'lik içi dolu ve boş yapay resif modeli kullanılmıştır. 10 m su

derinliğine karşılık gelen 33.33 cm su derinliğinde, 7 farklı dalga durumu için dalga üretimi yapılmıştır. İçi dolu modellerde en yüksek oyulma değeri

sırasıyla, “üst üste”, “tekli”, “arka arkaya”, “yan yana” ve “kare şeklinde” düzendeki modellerde ortaya çıkmıştır. İçi boş olan modellerle aynı denemeler yapılmış, ancak su geçirgenliklerinin (*permeabilite*) daha fazla olması nedeniyle lokal oyulma değerleri birbirine yakın bulunmuştur. İlk 4 dalga durumunda 10 m su derinliği için kum tepeciği oluşumu olmadığı için sürekli lokal oyulma gelişimi artmıştır. 5. dalga durumunda oyulma değerleri sabit kalmış ya da daha az artmıştır. Son iki dalga durumunda ise kum tepeciği oluşumu modelleri etkisi altına almış ve lokal oyulma derinlikleri azalmış ve birikmeler olmuştur.

Şekil 2’de 5 farklı düzendeki modelde meydana gelen lokal oyulma oluşumları verilmektedir. Burada ilk dalga durumunda dalga etkisinin modeller üzerindeki etkisinin az olması nedeniyle lokal oyulma değerleri birbirine çok yakın bulunmuştur. 2. dalga durumunda “üst üste” modelde oyulma değeri en yüksek,

“arka arkaya” olan modelde biraz daha düşük ve diğer üç düzendeki lokal oyulma değerleri birbirine yakın bulunmuştur. 3. ve 4. dalga durumlarında da aynı eğilim devam etmiştir. 5. dalga durumu 10 m su derinliği (33.33 cm) için kritik sınır olduğundan kum tepecikleri oluşumu ile ortaya çıkan lokal oyulma değerleri ve eğilimi değişmiştir. Bu durumda (dalga sensörleri ile okunan model dalga yüksekliği 6.896-7.121 cm arasında değişmektedir) 7 cm’ye yakın olan model dalga yüksekliği ile zemin bozulmaya başlamıştır. “Arka arkaya” olan model en yüksek, “tekli” ve “üst üste” olan modellerde aynı lokal oyulma değerlerine sahiptir. Diğer iki düzen en az değerleri almıştır. Sadece “tekli” ve “arka arkaya” olan düzenlerde lokal oyulma değeri az da olsa artmaya devam etmiştir. 6. dalga durumunda “tekli” ve “arka arkaya” olan düzenlerde oyulma artmış, diğerlerinde azalmıştır. Son dalga durumlarında ise tüm modellerdeki lokal oyulma değerleri en düşük değerlerini almıştır.

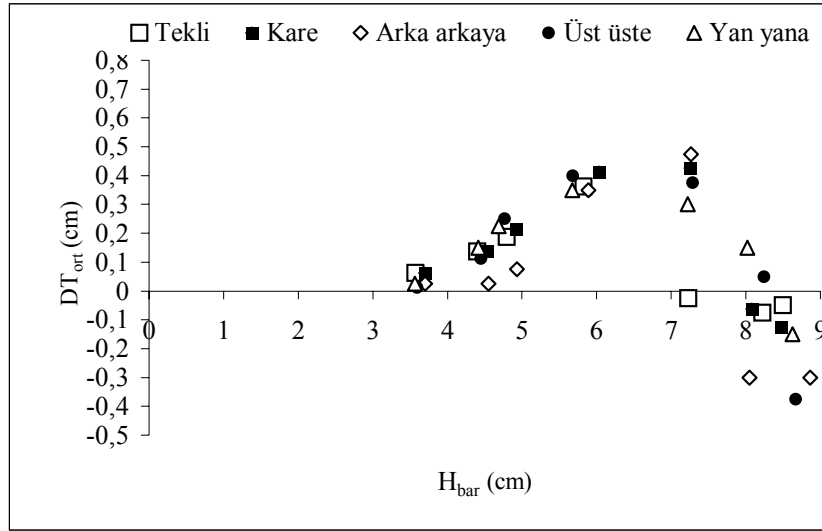


Şekil 2. Beş farklı düzendeki içi dolu kübik yapay resif modelleri etrafında dalga etkisiyle oluşan ortalama lokal oyulma değerleri (DT_{ort}: Ortalama lokal oyulma derinliği; H_{bar}: Sensörden okunan ortalama dalga yüksekliği).

Aynı deneme içi boş yapay resif geçiirgenliğe sahip modeller nedeniyle modelleri ile yapıldığında, yüksek karşılaştırma yapmak ve lokal oyulma

değerlerini hatasız ölçmek mümkün olmamıştır. İlk dört dalga durumunda beş farklı düzen için ortalama lokal oyulma derinlikleri birbirine çok yakın bulunmuştur (Şekil 3). Beşinci durumda sadece “tekli” modelde lokal oyulma derinliği başlangıç halini almıştır. Diğer

düzenlerdeki oyulmalar birbirine yakındır ve bu dalga durumunda giderek oyulma derinlikleri azalmaya başlamıştır. Son iki dalga durumunda ise modeller etrafında oyulmadan çok kum tepelikleri hareketine bağlı birikmeler oluşmuştur.



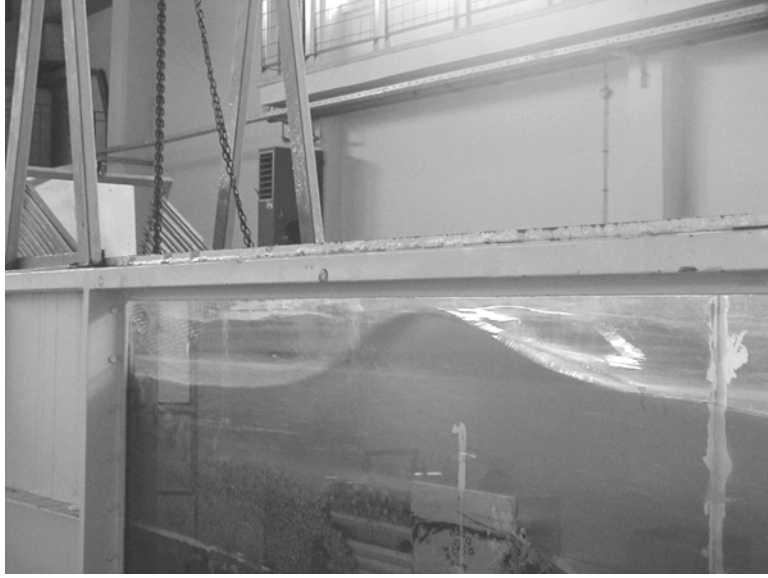
Şekil 3. Beş farklı düzendeki içi boş kübik yapay resif modelleri etrafında dalga etkisiyle oluşan lokal oyulma değerleri.

Tablo 1’de verilen model ve prototip değerlerine göre; model dalga periyodu (T_m); 1.13 s ve prototip dalga periyodu (T_p); 6.2 s’dir. Suyun ve taban malzemesinin yoğunluklarını 1 t/m^3 ve 2.65 t/m^3 kabul ederse, Tablo 2’de dalga yüksekliği ve periyoduna bağlı, derinliğe göre değişen sediment parçacık hareketi kritik değerlerini, bilgisayar programı yardımıyla hesaplayabiliriz. Su derinliği

(h); 10 m, prototip dalga periyodu (T_p); 6.2 s, prototip tane çapı (d_{50}/d_{90}); 4.6 mm olduğunda, hareketin başlaması için gerekli dalga yüksekliği (H_p) en az 2.3 m olmalıdır. Bu sonuç, ilk 4 dalga durumunda kum tepeliklerinin oluşmadığını, sadece model resiflerin zemine değen köşelerinde lokal oyulmalar gözlemlendiğini ve 5. dalga durumundan sonra taban malzemesinin hareketlendiğini desteklemektedir (Şekil 4).

Tablo 2. Zeminde parçacık hareketinin dalga yüksekliğine bağlı başlama derinliği

Zeminin harekete başladığı derinlik (m)	H_m (cm)	H_p (m)
6.19	5.0	1.50
7.71	6.0	1.80
8.43	6.5	1.95
9.78	7.5	2.25
11.10	8.5	2.55
12.12	9.5	2.85
12.64	10.0	3.00



Şekil 4. Dalga kanalının gözlemlerin yapıldığı cam kısmında oluşan dalganın 10 m su derinliğine karşılık gelen 33.33 cm'i etkisine aldığı 7 cm'den daha büyük dalga yüksekliği (H_m).

Tartışma Ve Sonuç

Kıyı akıntıları; denizlerdeki yoğunluk farkından, rüzgar sürtünme tesirinden, gel-git hareketlerinden, akarsuların denize dökülmesinden ve rüzgar dalgalanmalarından meydana gelmektedir. Dalgaların kırılması sonucu oluşan akıntılar ise kıyı boyunca taban hareketlerine neden olmaktadır. Kıyıya ve genellikle 0-30 m su derinliklerine yerleştirilen yapay resiflere etki eden dalga hareketleri, parçacıklar halinde dairesel veya elips şeklinde düşey yörünge çizen, sıkıştırılmayan, her bir dalga periyodunda yörünge hareketlerini tamamlayan, sadece çekim kuvvetlerinden etkilenen ve iki boyutlu bir düzlemdeki suyun hareketiyle meydana gelir (Yüksel ve diğ., 1998).

Sakuda ve diğ. (1983) yaptığı çalışmada, akıntıya karşı yerleştirilen iki adet bitişik durumda arka arkaya resif bloğunun oluşturduğu korunaklı hacmin en az, akıntı doğrultusunda belli bir aralıkta yerleştirilmiş arka arkaya iki resifin oluşturduğu korunaklı hacmin daha

fazla ve üst üste yerleştirilmiş iki bloğun korunaklı hacminin en yüksek değeri verdiğini belirtmiştir. Bu düzenlerde oluşan akış şekilleri birbirine göre farklılıklar göstermiştir (Sato, 1985). Bu belirleme üst üste konan iki bloğun dalga yönünde meydana gelen akış değişikliğinin en fazla olduğunu da ifade etmektedir. Akış değişimine neden olan resifin yüksekliğidir ve bu olay sedimentasyonun da fazla olduğuna bir işarettir. Akıntıyı engelleyen bu kütle, arkasında daha çok korunaklı bir alan oluşmasını sağlar. Ayrıca Sato (1964), resifler tarafından oluşturulan anaforun, balıkların bir noktaya yönelmesinde resifin etki alanının önemli olduğunu ifade etmiştir (Sato, 1985).

Araştırmacı, resiflere balıkların yönelmesini ve ilgilerinin çekilmesini çeşitli matematiksel fonksiyonlarla açıklamaya çalışmıştır. “Cezbedilme fonksiyonunu” iki bağımsız fonksiyonun çarpımı olarak ifade etmiştir ($F(A,B)=F_1(A).F_2(B)$). Bunlardan $F_1(A)$; balık-resif arasındaki ilişkiyi, $F_2(B)$ ise balık-balık

arasındaki ilişkiyi (örneğin, av-avcı ilişkisi, aynı türlerin etkileşimi vb.) sembolize eder. $F_1(A)$ fonksiyonu ise bir çok değişkeni içinde barındırmaktadır. Bunlar; duyuşsal ve koşulsal değişkenlerdir. Duyuşsal değişkenler; duyma, görme, tat, koku vb., koşulsal değişkenler ise; resif geometrisi, balık fizyolojisi ve zamandır. Resif geometrisi, diğer değişkenlerle beraber balıkların cezbedilme işlevini etkileyen önemli bir değişkendir. Bu da farklı düzenlerle yerleştirilip değişik geometrik şekiller kazanan resif kümelerinin işlevini açıklamaktadır.

Tüm bunların ışığı altında uygun resif tasarımı ve geometrisini seçmek balıkların cezbedilmesi açısından olduğu kadar dalga ve akıntı etkilerinin, resif blokları üzerindeki direkt ve dolaylı etkilerini optimum koşulları oluşturmak için saptanmasının önemi ortaya çıkmaktadır.

Hidrolik denemelerde lokal oyulmanın en fazla olduğu resif düzeni “üst üste” olan iki resif modelidir. Sonuçlar, mevcut dalga ve akıntı koşullarında, akış özelliklerini en çok değiştiren modelin en yüksek model olduğunu göstermektedir. Bu sonuç Sato (1985)’te yer alan iki üst üste resifin arka tarafındaki korunaklı alanın veya hacmin en çok olması ile çelişki yaratıyor gibi gözükabilir. Resifin arka tarafında, öndeki mevcut akıntı hızından daha az bir hızın olması balıkları cezbetmektedir. Ancak akıntı hızının düşürülebilmesi için bloğun zemine değen ve zeminde yükselen yapısal elemanlarının akış özelliklerini değiştirerek lokal oyulmalara sebep olması kaçınılmazdır. Bu oyulmalar nedeniyle değışen akış özellikleri ve dolayısıyla akıntı hızının da düşmesi mümkün olacaktır. Burada dalga ve buna bağlı akıntı, enerjisinin bir bölümünü sedimenti taşımak için harcayacaktır. Bu nedenle resifin arkasında oluşan akıntı hızı değeri düşecek ve resif arkasında korunaklı bir alan oluşacaktır.

Resif yüksekliğinin fazla olması, oluşacak türbülans yüksekliğini etkilemektedir. Bunun yanında resif kolonlarının genişliği de ortamdaki akış özelliklerini değiştirerek, basınç dalgalanması yaratabilecek büyüklükte olmalıdır. Nakamura (1985)’e göre kolon genişliği (B; cm) ile akıntı hızının (u; cm/s) çarpımı 100 cm^2/s ’den daha büyük olmalıdır. Bu da resif yüksekliğinin yanında yatay genişliğin de önemini ortaya çıkarmaktadır.

Resif bloğu arkasında oluşan akıntı ile önünde meydana gelen akıntı hızı arasında çeşitli bağıntılar verilmektedir (Nakamura 1985; Grove ve diğ., 1989). Burada her iki hızı da etkileyen değerler suyun birim ağırlığı ve yerçekimi ivmesi ile resifin akıntı yönündeki izdüşüm alanı ve resife etki eden sürüklenme kuvveti değişkenleridir. İzdüşüm alanının artması korunaklı alandaki akıntı hızının düşmesine sebep olur. Ancak aynı zamanda deneylerde gözleendiği gibi lokal oyulma değerlerini de artıracaktır. Dalga etkisinin artması resif üzerindeki sürüklenme kuvvetini artıracığından arka alandaki hız artar ve balıkların cezbedilmesi güçleşir.

Resif arkasında bir korunaklı alan oluşabilmesi için resif yüksekliği, su derinliğinin en az %10’u kadar olmalıdır. Denemelerde, 10 m (33 cm) ve 15 m (50 cm) su derinlikleri kullanılmıştır (1:30 ölçek için). Bu derinliklerde ise 5 cm ve maksimum 10 cm’lik resif modeli yükseltisi yaratılmıştır. Bu da %10-15 (tek) ve %20-30 (üst üste) bir orana karşılık gelmektedir. Bu şarta göre; 15 m’ye 1.5 m’lik bir yükselti korunaklı alan oluşturmak için yeterli olacaktır.

Teşekkür

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

Kaynakça

- Bohnsack, J.A., 1991. Habitat structure and the design of artificial reefs, *Habitat Structure, The physical arrangement of objects in space*, Bell, S.S., McCoy, E.D. and Mushinsky, H.R. (Eds.), Department of Biology University of South Florida, 412-426.
- Grove, R.S., Sonu, C.J., 1985. Fishing reef planning in Japan, In: D'Itri, F.M. (Ed.), *Artificial Reefs: Marine and Freshwater Applications*, Lewis Publishers, Chelsea, MI, 187-252.
- Grove, R.S., Sonu, C.J., Nakamura, M., 1989. Recent Japanese trends in fishing reef design and planning, *Bulletin of Marine Science*, 44(2), 984-996.
- Nakamura, M., 1985. Evolution of artificial fishing reef concepts in Japan, *Bulletin of Marine Science*, 37 (1): 271-278.
- Sato, O., 1985. Scientific rationales for fishing reef design, *Bulletin of Marine Science*, 37(1): s329-335.
- Yüksel, Y., Çevik, E., Çelikoğlu, Y., 1998. *Coast and port engineering (in Turkish)*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, 401s.