

DALGA – AKINTI ETKİSİNDE HAREKETLİ TABANA YERLEŞTİRİLMİŞ BORU HATLARI ETRAFINDA HİDRODİNAMİK YAPININ İNCELENMESİ

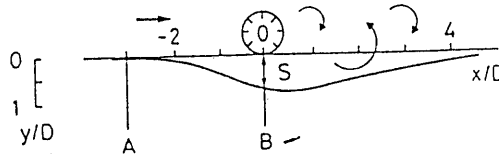
ÇEVİK, E. ve YÜKSEL, Y.
Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi
80750 Yıldız İstanbul

GİRİŞ

Gerek deniz gerekse akarsu yapıları etrafında meydana gelen yerel taban erozyonu bu yapıların stabiliteyi açısından oldukça önemli bir dizayn problemidir. Akarsu yapıları etrafındaki yerel oyulma olayı ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma yayınlanmıştır. Buna karşın, deniz yapıları etrafındaki periyodik akım yapısı bu problemi daha karmaşık hale getirmesi nedeniyle henüz yeterli çözüme ulaşılamamasına neden olmuştur. Bu konuda bir çok problem mevcut olmasına rağmen akarsu yapılarında olduğu kadar yeterli çalışma da mevcut değildir.

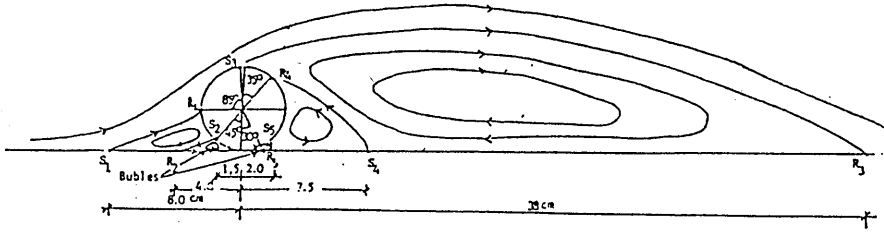
Hareketli bir taban üzerine boru hattının yerleştirilmesi ile akım alanında yaratılan rahatsızlık dolayısıyla, sırasıyla; boru hattı etrafında sınır tabakası oluşumu, sınır tabakasından ayrılma ve çeşitli büyüklüklerde vorteks oluşumları sonucunda yerel oyulma olayı meydana gelmektedir. Tek yönlü akıma (gel-git ve akarsu) maruz bir boru hattı etrafındaki yerel oyulma, menba eğimi mansap eğimine göre daha dik olan bir oyulma çukuru niteliğindedir (Sümer ve Fredsøe, 1990). Bu asimetrik çukur şekli, boru hattının menba ve mansabındaki farklı akım yapısından kaynaklanmaktadır (Şekil 1). Borunun art-iz bölgesindeki ayrılma nedeniyle uzun bir vorteks caddesi şekillenmektedir. Bu mansap akımı aşağıda belirtilen nedenlerden kaynaklanmaktadır:

- Şiddetli türbülans yapısı,
- Art-iz vortekslerinde anlık hızların rahatsız edilmemiş akım hızının 2 veya daha fazla katı kadar artması,
- Bu nedenlerden dolayı daha fazla katı madde taşıma gücü ve erozyon, böylece daha az eğimli oyulma çukurunun oluşumu.



Şekil 1-Tek yönlü akım alanında oyuma çukurunun şekli.

Yüksel ve ark. (1995), yatay bir levha üzerine yerleştirilmiş tek yönlü akıma maruz silindirin etrafındaki akım alanını inceleyerek, beş farklı asimetrik vorteksin şekillendiğini gözlemişlerdir. Bunlardan silindirin art-iz bölgesinde meydana gelen büyük vorteks yapısı, hava akımında yaklaşık olarak boru çapının yedi katı kadarlık etki alanına sahip olmaktadır. Bu da daha geniş bir mansap erozyonunun oluşmasına neden olmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2-Silindir etrafındaki vorteks yapısı (Yüksel ve ark., 1995).

Dalga ve akıntı etkisi altındaki denizaltı boru hatları oyulma çukuruna sarkarak kendi kendilerini gömmektedirler. Bu kendini gömme işlemi denizaltı boru hatlarının inşa maliyetleri açısından oldukça ilgi çeken bir araştırma konusu olmasına rağmen, son derece karmaşık olması olayın anlaşılmasını güçleştirmektedir. Bu oyulma çukuru boru eksenine boyunca üniform olmayan üç boyutlu bir yapıya sahiptir (Fredsoe et al., 1987).

Sırf dalga etkisindeki denizaltı boru hatları etrafındaki oyulma olayını inceleyen Sümer ve Fredsoe (1990) S/D rölatif oyulma derinliğinin, KC ($=U_m T/D$), Keulegan-Carpenter sayısı ile değiştiğini belirlemiştir. Buna göre;

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

dir, burada S borunun altında orjinal taban seviyesinden itibaren ölçülen mutlak oyulma derinliği, D boru çapı, U_m boru ekseninde borunun mevcut olmaması durumunda ölçülen maksimum yörüngesel hız ve T dalga periyodudur.

Sırf dalga etkisinde boru hatları etrafındaki akım yapısının tek yönlü akım halinden 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 çukurunu şekillendirmektedir. Bu art-iz akım yapısı KC sayısı ile lineer olarak artmaktadır (Sümer ve Fredsoe, 1990). Buna göre;

$$L_v / D = 0.3 KC \quad (2)$$

dir, burada L_v art-iz vorteks caddesinin etki mesafesidir.

Boru hatları altında yerel oyulma çukurunun bir kez meydana gelmesiyle boru hattına tesir eden hidrodinamik kuvvetlerin etkisi altında ya boruda vibrasyon oluşabilmekte ya da kendi kendini gömme işlemiyle birlikte hesaba alınmayan ilave dinamik ve statik yüklerin tesirinde kalabilmektedir. Bütün bu etkiler altında boru hatlarının kırılma riski artmaktadır. İşte bu nedenle bu tip yapıların dizaynı esnasında detaylı olarak hareketli taban etüdüleri ve ayrıca boru için dinamik tahkikler proje mühendisleri tarafından yapılmalıdır. Ülkemizde projelendirme hatası nedeniyle kırılan çok sayıda boru hattı mevcuttur.

Bu çalışmada, dalga ve akıntı etkisinde boru-hareketli taban etkileşiminin incelenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen deneysel çalışmaların sonuçları bu iki ayrı hal için ayrı ayrı yorumlanmıştır.

DENEYSEL ÇALIŞMA VE TARTIŞMA

1-Tek yönlü akım hali

Bu hal için çalışmalar 1520 cm uzunluğunda, 35 cm genişliğinde ve tabanına $d_{50}= 1.28$ mm çaplı kum serilmiş bir kanalda yürütülmüştür. Kullanılan boru çapları $D=3.25, 4.91, 7.69$ cm dir. Oyulma derinliğinin boyutsuz olarak aşağıdaki parametrelerin fonksiyonu olduğu belirlenmiştir.

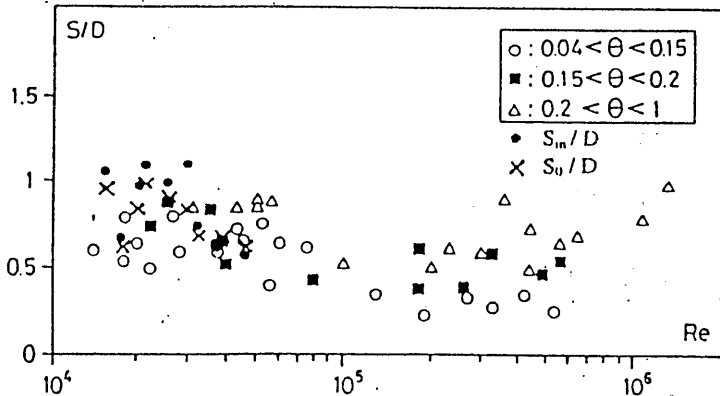
$$S/D=f(h/D, d_{50}/D, Re, \theta, X/D) \quad (3)$$

Burada $Re(=UD/\nu)$ boruya ait Reynolds sayısı, θ Shields parametresi, h/D ise rölatif su derinliğidir. Ancak hareketli taban oyulması durumunda, Shields parametresinin oyulma olayına etkisi olmadığı çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenmiştir.

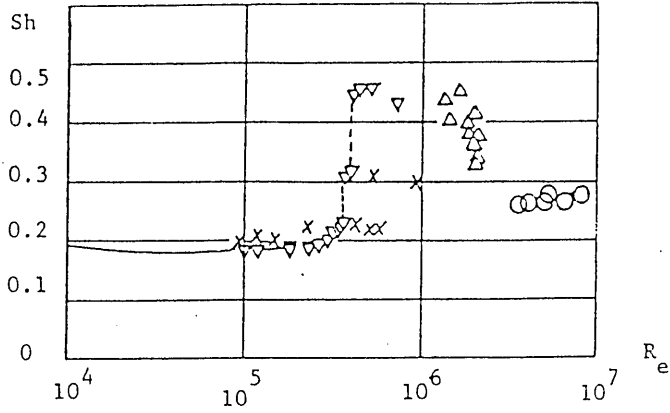
Deneylerden elde edilen borunun hemen altındaki S/D rölatif oyulma derinlikleri Sümer ve Fredsøe (1990) tarafından verilen grafik üzerine işlenmiştir. Elde edilen verilerin bu araştırmacıların sonuçları ile uyumlu olduğu Şekil 3'de görülmektedir. Oyulma derinliği, Re sayısının $10^5 - 3 \times 10^5$ aralığında azalma eğilimi göstermektedir. Re sayısının bu aralığı silindir etrafındaki akım alanlarında kritik altından kritik üstü akıma geçiş aralığını tanımlamakta ve bu geçiş bölgesinde vorteks saçılımı daha az etkin olmakta böylece daha küçük art-iz erozyonu ve oyulma derinliği meydana gelmektedir. Rölatif oyulma derinliği incelendiğinde;

$$\begin{array}{ll} 10^4 \leq Re \leq 10^5 & \text{için } S=0.8D \\ 10^5 \leq Re \leq 3 \times 10^5 & \text{için } S=0.4D \\ 3 \times 10^5 \leq Re & \text{için } S=0.8D \end{array} \quad (4)$$

değerleri arasında bir değişim göstermektedir. Bu değişim tamamen silindir etrafında şekillenerek kopan vorteks yapısından kaynaklanmaktadır. Gerçekten vorteks saçılım frekansını karakterize eden Strouhal sayısının ($Sh=fD/U$, burada f vorteks saçılım frekansdır) Re sayısı ile değişiminde benzeri bir eğilim göstermektedir (Şekil 4). Kritik üstü bölgede vorteks saçılımı periyodik karakter taşımamaktadır. Bu bölgeden sonra Sh sayısı yine yaklaşık olarak 0.2 değerini almaktadır. Bu sonuç Sümer ve Fredsøe (1990)'nun belirttiğinin aksine, oyulma olayına Re sayısının etkisinin oldukça fazla olduğunu göstermektedir.



Şekil 3-Rölatif oyulma derinliğinin Re sayısı ile değişimi.

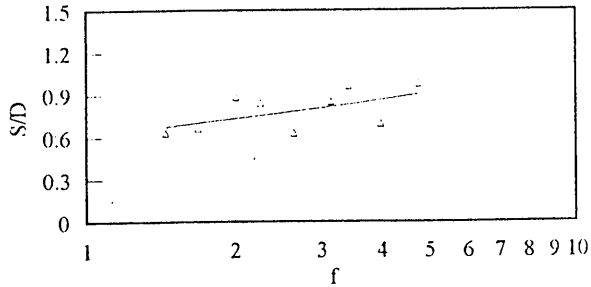


Şekil 4-Silindirler etrafındaki vorteks saçılımı için Sh - Re sayıları arasındaki ilişki.

Bu amaçla Şekil 4'den görüldüğü gibi $Re < 2.5 \times 10^5$ için Sh sayısı 0.2 gibi sabit bir değere sahip olduğundan, vorteks saçılım frekansı $f = 0.2D/U$ eşitliğinden elde edilerek, rölatif oyulma derinliği ile vorteks saçılım frekansı arasında bir bağıntının olup olmadığı araştırılmıştır. Şekil 5'den de görüldüğü gibi Re sayısının bu aralığında vorteks saçılım frekansının rölatif oyulma derinliği üzerinde etkili bir parametre olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu ilişki için aşağıdaki bağıntı elde edilmiştir;

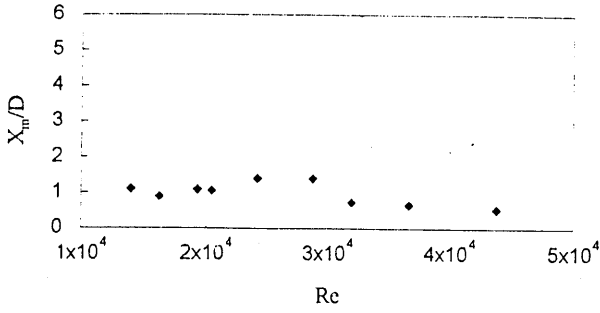
$$S/D = 0.195 \ln(f) + 0.6058 \quad (5)$$

Daha önce de belirtildiği gibi Sh sayısı Re sayısının bir fonksiyonu olduğundan, boru hatları etrafındaki yerel oyulma olayında Re sayısının etkin bir parametre olduğu söylenebilir.



Şekil 5- Rölatif oyulma derinliğinin f vorteks saçılım frekansı ile değişimi.

Yine deney sonuçları maksimum oyulma derinliğinin (S_m) silindirin tam altında değil silindirin biraz daha mansap tarafında meydana geldiğini göstermiştir. Bu sonuçlar (S_m/D) Şekil 3'de ayrı semboller ile belirtilmiştir. Şekil 6'da silindir ekseninden maksimum oyulma derinliğine olan mesafenin (X_m) silindir çapına oranının Re sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Bu şekilde anlaşılabileceği gibi X_m/D oranı Re sayısına bağlı olarak değişmektedir, bu da daha önce bahsedilen akım yapısından kaynaklanmaktadır. Yine gözlemler Yüksel ve ark. (1995)'nin hava tüneli çalışmasında verdiği mansap vorteks etki mesafesinin su içinde aynı Re sayısı aralığında $4D$ 'ye kadar çıktığını göstermektedir.



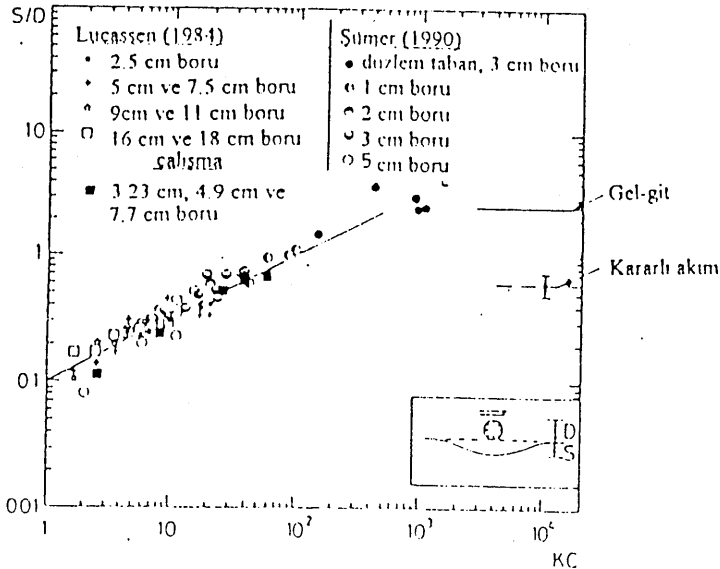
Şekil 6- Maksimum oyulma derinliği yerinin Re sayısı ile değişimi.

2-Sırf dalga hali

Sırf dalga hali için deneyler 20 m uzunluğunda 1 m genişliğinde ve 1 m yüksekliğindeki bir dalga kanalında gerçekleştirilmiştir. Bir önceki deney sistemindeki aynı granülometriye sahip kum kullanılmıştır. Dört farklı boru çapı seçilmiştir. Bunlar $D=3.23, 4.9, 7.7, 11.9$ cm dir. 35cm su derinliğine yerleştirilen boru hatları etrafındaki yerel oyulma derinliğini belirlemek için farklı dalga dikliklerindeki dalgaların ($H_0/L_0=0.0279, 0.0275, 0.0352, 0.0395$) etkisinde ölçümler yapılmıştır. Deneyler boru hattının sarkma halinin söz konusu olmadığı rijit boru şartlarında gerçekleştirilmiştir. Rölatif oyulma derinliği aşağıda belirtilen boyutsuzlara bağlı olup, bunlar ;

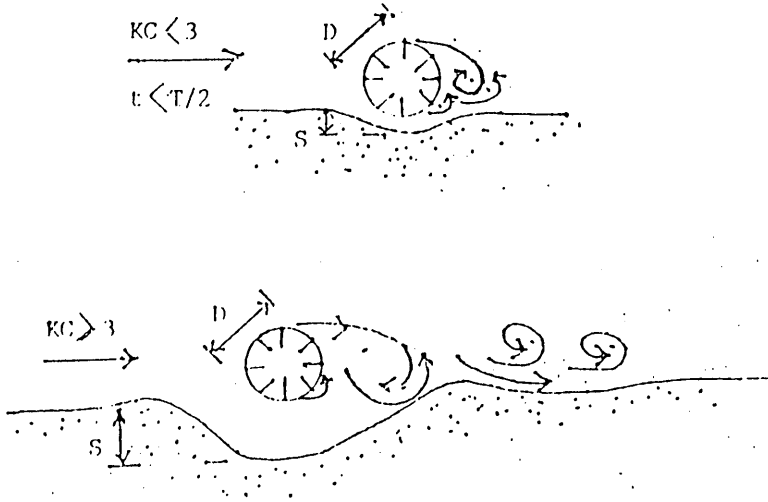
$$S/D=f(KC, Re, H/h, \theta, H_0/L_0) \quad (6)$$

dir, burada H_0/L_0 derin su dalgasının dikliğidir. Elde edilen veriler daha önce Sümer ve Fredsøe (1990) tarafından verilen rölatif oyulma derinliğinin KC sayısı ile değişimine ait grafik üzerine işlenmiştir. Sonuçlar bu araştırmacıların verileriyle oldukça iyi bir uyum içindedir (Şekil 7).



Şekil 7- Rölatif oyulma derinliğinin KC sayısı ile değişimi.

Daha önceki çalışmalardan bilindiği gibi oyulma mekanizması iki farklı moda gerçekleşmektedir. Bunlar; tünel ve art-iz erozyonları olarak adlandırılmaktadır. Oyulma modu özellikle boru hatlarının kendi kendini gömme işleminde oldukça önemlidir. Ancak bu çalışmada sadece farklı KC sayılarında oyulma çukurunun şekli gözlenmiş fakat bu oyulma modlarının bilinen mekanizmasına burada girilmemiştir. Gözlemlerden, $KC < 3.0$ için simetrik $KC \geq 3.0$ için ise asimetrik oyulma çukurunun meydana geldiği belirlenmiştir (Şekil 8). Simetrik oyulma çukurunda maksimum oyulma derinliği borunun altında meydana gelirken, asimetrik oyulma çukurunda borunun altından kaymaktadır, örneğin KC sayısı yaklaşık 20 olduğunda borunun hemen açık deniz tarafında meydana gelmektedir. Asimetrik oyulma çukurunun meydana gelmesinin nedeni bu şartlarda dalganın sinüzoidal dalga yapısından çok non-lineer dalga karakteristikleri taşımasıdır yani daha dik dalga tepesi daha yayvan dalga çukuruna sahip olmasıdır. Dalga tepesi altındaki kıyıya doğru hızların daha büyük olması borunun kıyı tarafındaki art-iz yapısının daha şiddetli olmasına neden olmaktadır.



Şekil 8- Dalga etkisinde oyulma çukurunun şekli; (a) $KC < 3.0$, (b) $KC \geq 3.0$.

Bu çalışmada dalganın non-lineer karakter taşıdığı teorik olarak da belirlenmiştir. Tabandaki bu asimetrik akım yapısı yarım periyotluk süre içinde daha önceki tek yönlü akım şartlarındaki vorteks yapısına benzer davranışlar göstermesi nedeniyle, tek yönlü akımdaki asimetrik oyulma çukuruna benzer şekil almasına neden olmaktadır. Gerçekte bu boru etrafındaki akım ve taban hareketi üzerine dalga periyodunun önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Bilindiği gibi oyulma çukuru üzerine taban şekillerinin de etkisi vardır. Dolayısıyla projelendirme çalışmalarında kıyıdaki katı madde hareketlerinin iyi etüd edilmesi gerekmektedir. İşte bu karmaşık iki fazlı akım yapısı günümüzde önemli bir araştırma konusu olarak araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Türkiye’de iyi etüd edilmeyen bu problemden dolayı, denizaltı boru hatlarının oldukça yüksek yüzdesinde yapımlarından kısa bir süre sonra kırılmaların meydana geldiği bilinmektedir. Büyük ekonomik kayıplara neden olan bu tip pahalı projelerin son derece titiz bir çalışmadan sonra gerçekleştirilmesi uygun olacaktır.

SONUÇLAR

Bu çalışmada tek yönlü ve sırf dalga etkisindeki boru hatları etrafındaki akım yapısı ve yerel taban hareketi ayrı ayrı incelenerek aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

- 1) -Tek yönlü akım halinde rölatif oyulma derinliği Re sayısı ile değişmekte ve vorteks saçılım frekansı oyulma derinliği ile iyi bir korelasyona sahiptir. Oyulma derinliği Re sayısının belirli aralıklarında farklı şekillenen vorteks yapısıyla değişmektedir.
- 2) Sırf dalga etkisinde oyulma derinliği KC sayısı ile değişmekte ve oyulma çukurunun şekli üzerine dalga periyodunun önemli bir etkisi vardır. Oyulma çukuru dalga periyoduna bağlı olarak şekillenen art-iz vorteks yapısından kaynaklanan şiddetli türbülansı sonucunda meydana gelmektedir.

KAYNAKLAR

- 1) Sümer, B.M. and Fredsøe, F. (1990) "Scour Below Pipelines in Waves" ASCE, Jour. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng. Vol.116, No.3, pp.307-323.
- 2) Yüksel, Y., Atlı, V. and (Özkan) Çevik, E. (1995) "Flow Field Along a Flat Surface with a Parallel Placed Cylinder" Fifth Int. Offshore and Polar Eng. Conf., The Hague, June 11-16, Vol.2, pp.157-161.
- 3) Fredsøe, J, Hansen. E.A., Mao, Y., Sümer, B.M. (1987) "Three-Dimensional Scour Below Pipelines" Proc.Sixth Int. Symp. On Offshore Mech. And Arctic Eng. American Society of Mechanical Eng. March 29-36.

