

**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 yer alması 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 demektir. 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 deşarjın 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 kısaydı.

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 umutlursa; 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 difüzerler 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 yarayan '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 kısa deşarj ünitesinde Tideflex kullanılmasına karar vermiş, ayrıca halen çalışmakta olan eski deşarj 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 olmayacağını 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'daki deşarj 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 itmıştır. 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 pek çok 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 bildiriye, 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 kilitleme 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 mangelere 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 aksel hareketini önlemektir. Ayrıca, sisteme uzunlamasına bir süreklilik vererek aksel 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 üretilebilmesine imkan verir.
- soket uygun bir şekilde boru gövdesinin ek yerlerine konulmuş-biraraya tutturulmuş boruların integral elementi gibi hareket eden- katı bir blok gibidir.

Üstelik, kilitleme halkalarına etki eden uzunlamasına gücü test etmekte teklif edilmiştir, (uçları kapatılarak ve iç hidrolik basınca maruz bırakarak). Ayrıca, sisteme etki eden aksel 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 t₁=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 $1.1 \times 28.8 = 32 \text{ ton}$ 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 $= 2 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_C = 54.68 \text{ N/mm}^2 \ll \sigma_C$ (güvenlik katsayısı) $FS = 482/54.68 > 8.8$

*Uzunlamasına güçlere karşı duvarın direnci:

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

ve bundan dolayı $F_{al} = 241 \times 7214 = 1738.6 \text{ kN} = 177.3 \text{ ton}$, 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: $\tau_{al} = 0.66 \times \tau_T = 9.8 \text{ N/mm}^2$

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:

$$A_{clr} = \pi x \{ (384+2)x2 \} + \{ (382-2)x2 \} = 4813 \text{mm}^2 \quad \text{ve} \quad \text{spesifik} \quad \text{basınç}$$
$$\sigma_c = 313800/4813 = 65.19 \text{N/mm}^2 \quad \text{FS} = 1.2$$

*Çekme gücünün 8 mm genişliğinde kesme gücü olarak davrandığını farzederseniz, kesme gerilimi alanı 9500mm^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 $1.6x2.16 \text{N/mm}^2 = 3.456 \text{N/mm}^2$

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

Hesaplama prosedürüne ait bütün çaplarda borulara uygulanacak bir örnek vermiştik. Büyük çaplardaki borular için (2000mm'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 625N/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 5N/m^2 olmalıdır.

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

Sonuc:

Bu bildiriye 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.

