

## LİMAN VE DENİZ YAPILARININ TASARIMI VE UYGULAMA ÖRNEKLERİ

### DESIGN AND APPLICATION EXAMPLES OF PORT AND MARINE STRUCTURES

ALP GÖKALP<sup>1</sup>

#### ÖZET

19. yüzyılın başından itibaren dünya genelinde deniz ticaretinin önemli ölçüde artması, küresel ekonominin dinamizmini artırmıştır. Deniz yapıları, deniz veya kıyı alanlarında inşa edilen ve çeşitli amaçlara hizmet eden mühendislik yapılarıdır. Deniz yapıları; iskeleler, rıhtımlar, plaj ve kıyı koruma yapıları, dalgakıranlar, limanlar, deniz fenerleri, açık deniz (off-shore) yapıları, tüneller, köprüler, su altı yapıları ve açık su havuzlarını kapsamaktadır. Deniz yapıları arasında özellikle limanlar, ulaştırma ve tedarik zincirinin önemli bir kısmını oluşturduğu için buldukları bölgelerin büyümesine ve gelişmesine yardımcı olan tesislerdir.

Dünya ticaret hacminin günden güne artması ile birlikte ithalat, ihracat ve transit taşımalara hizmet veren limanlar ve terminallerin kapasitelerinin artırılması, daha büyük, daha etkili ve daha işlevsel hale getirilmesi için uzun vadeli planlamalar yapılmasını zorunlu hale getirmiştir. Son yıllarda konteyner ve kruvaziyer limanlarında ve terminallerinde gerek artan talepleri karşılamak gerekse gemilerin büyüyen boyutları ve kapasitelerinin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla genişleme ve modernizasyon gereksinimi duyulmaktadır. Bu yüzden son yıllarda ülkemizde ve dünya genelinde yeni liman yatırımlarında veya mevcut limanların genişletilmesi projelerinde önemli bir artış yaşanmaktadır. Yeni liman inşaatları ve mevcut limanların kapasite artırımı, ticaretin verimliliğini sağlamanın yanı sıra, deniz taşımacılığında rekabet gücünü artırmaktadır. Liman ve deniz yapıları, özellikle deprem ve benzeri afet durumlarında, acil müdahale ve tahliye işleri için olduğu kadar ülke savunması için de kritik önemdedir. Limanların tasarımı ve inşa edilmesi inşaat mühendisliğinin farklı uzmanlık alanlarını ilgilendirmekte olmasına rağmen özellikle geoteknik mühendisliğinin rolü, liman yapılarının güvenliği ve dayanıklılığı açısından kritik öneme sahiptir.

Limanlar, gemilere dalga, akıntı, fırtına ve buz gibi çevresel etkenlere karşı koruma sağlayan, rıhtım ve iskele gibi yanaşma yapılarına gemilerin ve diğer deniz taşıma araçlarının yanaşıp bağlanabileceği veya demirleyebileceği olanakları sunan, tekne ile kıyı arasında gerekli yük ve insan nakli ile muhafazası için tesisler barındıran, sınırlandırılmış kara ve deniz alanları olarak tanımlanırlar. Limanlar, gemilerin her türlü hava ve deniz koşullarında güvenle barınıp hizmet aldıkları korumalı alanlardır. Limanlar, buldukları yerin konumuna göre sınıflandırılabilir gibi işlev ve kullanım amaçlarına göre de sınıflandırılabilir. Liman yeri seçimi birçok bilim dalının birlikte çalışarak karar vermesi gereken çok disiplinli bir konudur. Bir liman yeri belirlenirken denizlerin dalga ve akıntı özellikleri, geri sahanın topoğrafyası, su derinlikleri, hinterlant ile ulaşım bağlantıları, hinterlanttaki ekonomik faaliyetler, liman zeminin durumu, depremsellik gibi çok farklı disiplinlere ait konular incelenmekte ve liman yerine öyle karar verilmektedir.

<sup>1</sup> MS. C.E., Kasktaş A.Ş., [alp.gokalp@kasktas.com.tr](mailto:alp.gokalp@kasktas.com.tr)

Limanlar, genellikle derin alüvyal zemin tabakaları ve deniz tabanı çökelleri üzerinde inşa edilen yapılar olup genellikle son derece olumsuz temel zeminleri üzerinde inşa edilirler. Bu yüzden de inşaat aşamasına geçilmeden önce detaylı bir zemin etüt çalışması yapılarak karadaki ve denizdeki zemin koşullarının sağlıklı bir şekilde belirlenmesi ve elde edilen verilerin doğru yorumlanması ile güvenilir bir geoteknik modelin oluşturulması gerekmektedir. Proje sahası ve çevresinin jeolojik yapısı da dikkate alınarak bir model oluşturulmasında, mevcut koşullar yanında inşaat faaliyetleri sonucunda meydana gelebilecek değişiklikler de dikkate alınmalı, tanımlanan zemin ve kaya birimleri için statik ve özellikle de deprem durumlarında kullanılacak geoteknik tasarım parametreleri hassas bir şekilde belirlenmelidir. Limanların performansa dayalı tasarımında inşaat yapım yöntemleri ve özellikle uygun geoteknik mühendisliği uygulamaları seçilerek inşaat aşamalarını dikkate alan analizler yapılmalıdır. Tasarlanan sistemin geoteknik mühendisliği açısından kısa ve uzun dönem performansı incelenmeli, statik yükler ve özellikle deprem yükleri altında sivilaşmaya karşı güvenliğinin sağlanması ve dinamik yükler altında zeminde oluşacak yer değiştirme, oturma veya taşıma gücü kayıpları hesaplanmalıdır. Yapılan hesaplar hem olası göçme durumları (ULS) hem de servis durumu için (SLS) kontrol edilmelidir. Analizler önce, limit denge analizleri gibi basitleştirilmiş yöntemlerle merteye olarak kontrol edilmeli, detaylı çalışma aşamasında ise sonlu elemanlar ya da sonlu farklar yöntemleri kullanılarak gerekli kontroller yapılmalıdır.

Son yıllarda özellikle gemilerin boyutlarının ciddi bir şekilde büyümesi hem daha geniş ve uzun hem de daha derin liman ihtiyacı doğurmuştur. Bunun sonucu olarak istenen performans kriterlerinin güvenli bir şekilde karşılanabilmesi için özel geoteknik ve temel mühendisliği uygulamalarının kullanılması zorunlu hale gelmiştir. Bir liman inşaat projesi; seçilen liman yapısının tasarım ve inşaatını, büyük tonajlı gemilerin liman içinde navigasyonuna müsaade edecek derinliğe kadar tarama yapılan bölgelerde yer alan derin alüvyal zemin tabakaları ve deniz tabanı çökellerinin iyileştirilmesini ve güçlendirilmesini, bunlara ilave olarak depolama alanlarında beklenen sivilaşma potansiyeli riskini ortadan kaldırmak; uzun dönemli oturma ve taşıma gücü problemlerini çözmek için gerekli olan zemin iyileştirme ve temel mühendisliği uygulamalarını kapsamaktadır.

Bu bildiride yakın zamanda yurtdışında gerçekleştirilen bazı önemli liman inşaatlarında yer alan geoteknik mühendisliği uygulama örnekleri özetlenmektedir. Bu bildiride dört farklı ülkede farklı zemin koşullarında ve farklı işlevlere sahip liman projelerinde başarılı bir şekilde gerçekleştirilen temel ve geoteknik mühendisliği uygulamalarına ait detaylar ve kalite kontrol testlerinin sonuçları özetlenmiştir.

İlk uygulama proje örneği; Fas'ın Akdeniz kıyısında yer alan entegre endüstriyel liman platformu ve serbest ticaret bölgesinin inşaatı başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu endüstriyel limanda özellikle petrol ve gaz ürünlerinin taşınması ve depolanması amaçlanmaktadır. Bu proje kapsamında yer alan servis iskelesi ve RoRo iskelesi için en uygun liman yapı sistemi olarak diyafram duvar ve baret kazıklardan oluşan bir sistem seçilmiştir. Diyafram duvar ve baret kazıklar hidrolik freze makinesi kullanılarak imal edilmiştir. İmalatlar süresince yoğun kalite kontrol testleri yapılmıştır.

İkinci uygulama proje örneği; Suudi Arabistan'ın Cidde şehrinde yer alan Cidde İslami Liman Projesi kapsamında inşa edilmekte olan 26 ile 31 numaraları arasındaki mevcut blokluların rıhtımlarının rehabilitasyonu işlerini kapsamaktadır. Proje kapsamında mevcutta var olan ve -9.00 metre kotuna oturan blokluların rıhtım yapısının kaldırılması ve yerine -15.50 metre kotuna oturan yeni blokluların rıhtım yapısının inşa edilmesi planlanmıştır. İlave kazı nedeniyle mevcut liman binalarının korunması amacıyla proje kapsamında geçici iksa yapısı olarak tekli delik çoklu ankraj teknoloji (SBMA) kullanılarak imal edilen yüksek kapasiteli ankrajlar ve gergi çubukları ile desteklenen teğet fore kazıklı duvar imal edilmiştir. İmalatlar tamamlandıktan sonra inklinometreler yardımı ile sistemin performansı yakından takip edilmiştir.

Üçüncü uygulama proje örneği; Karayipler'de yer alan bir kruvaziyer liman projesinin genişletilmesi işlerini kapsamaktadır. Mevcut palplanşlı perde duvarlı rıhtım yapısını yenilemek ve rıhtım derinliğinin artırılması amacıyla mevcut sistemin ön tarafına çelik boru kazık ve palplanşlardan oluşan yeni bir kombi duvar inşa edilmiştir. Çelik boru kazıklar ve palplanşlar vibro çekiç ve hidrolik çekiç kullanılarak çakılmıştır. Ön sırada yer alan kombi duvar tamamlandıktan sonra sisteminin yatay olarak stabilizasyonu için arka sırada yer alan ankraj kazıkları çakılmıştır. Ön sıra ve arka sırada yer alan kazıklar bağlantı çubukları (tie-rod) kullanılarak birbirlerine bağlanmıştır. Mevcut rıhtımdan bağımsız olarak yeni oluşturulan rıhtım hattı arkasında yaklaşık 13,500 m<sup>2</sup> alanı kaplayan ve ortalama 9.50 metre derinliğe sahip taranmış gevşek granüler hidrolik dolgu malzemesi yerleştirilmiş ve vibroflotasyon yöntemi ile iyileştirilerek hedeflenen minimum %65 relatif sıkılık değerine kadar sıkıştırılmıştır.

Dördüncü ve son proje uygulaması; Irak'ta Umr al Qasr bölgesinde inşa edilen bloklu çok amaçlı terminal ve konteyner sahası projesidir. Proje kapsamında -19.0 metre kotuna oturan bloklu rıhtım, yüksek kapasiteli gantry vinçler, deniz tabanı taraması ve dolgu işleri bulunmaktadır. Bu bağlamda yüksek kapasiteli gantry vinçlerin arka ayaklarının oturacağı bölgelerde bloklu rıhtım yapısının geri dolgusu nedeniyle negatif çevre sürtünmesi etkileri dikkate alınarak fore kazık tasarımı yapılmıştır. İmalatlar süresince yoğun kalite kontrol testleri yapılmış, tasarlanan kazık kapasitelerinin sahada doğrulanması amacı ile bir seri kazık yükleme deneyi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

*Anahtar Kelimeler: Deniz Yapıları, Liman, Fore Kazık, Diyafram Duvar, Kombi-Duvar, Zemin İyileştirme*