

## **MARMARA DENİZİ KIYILARINDA ÇALIŞACAK DEPREMDEN ETKİLENMEYECEK YÜKLEME BOŞALTMA SİSTEMLERİNİN DİZAYNI**

**Yalçın ÜNSAN<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümü-İSTANBUL  
E-Posta: [unsany@itu.edu.tr](mailto:unsany@itu.edu.tr)

### **Özet**

Gemilerden LPG transferi yapmak için kullanılacak yüzer platformun, Kuzey Marmara Denizi için batimetrik incelemesi ve hidrodinamik dizaynı yapılmıştır. Yüzer platformun konstrüksiyonu daha sonra makalede anlatıldığı gibi belirlenmiş ve mukavemeti incelenmiştir.

Gemilerden sıvı (petrol) transferi yapmak için kullanılacak Çok Noktalı Tanker Bağlama Sistemi (ÇNTBS) için Marmara çevresinin batimetrik incelemesi yapılmıştır. Daha sonra sistemin hidrodinamik dizaynı gerçekleştirilmiş ve sistem üzerine gelen yükler tespit edildikten sonra sistemin konstrüksiyonu belirlenmiş ve sonlu elemanlar yöntemiyle mukavemeti incelenmiştir.

Son olarak katı veya paketlenmiş yüklerin transferinin yapılabileceği yüzer çelik iskele dizaynı yapılmış ve sonlu elemanlar yöntemiyle mukavemeti incelenmiştir.

*Anahtar Terimler : LPG platformu, Şamandıra, Yüzer İskele*

### **Abstract**

Bathymetric evaluation of North Marmara Sea region has been carried out for the design of a floating platform to be used for LPG transfer from tankers. Hydrodynamic design of the platform was carried out and construction details and strength analysis were established as outlined in the paper.

Bathymetric evaluation of Marmara region has been carried out for multi-pointed mooring system for fuel cargo discharge from tankers. Secondly, hydrodynamic design of the system was done. Having determined the loads on the system this way, construction details were decided and strength analysis was performed by finite elements method (FEM).

Lastly, design of a steel floating pier for transfer of solid or bale cargo transfer has been accomplished and strength analysis was checked by finite elements method (FEM)

*Keywords: LPG Platform, Buoy, Floating Pier*

## 1. GİRİŞ

Bu yazıda sunulacak sistem üç ana yapıyı kapsamaktadır:

### 1.1. LPG veya Petrol Türevi Transferi Yapabilecek TLP " *Tension Leg Platforms*" Dizaynı

Gemilerden LPG transferi yapmak için kullanılacak yüzer platformun, Kuzey Marmara Denizi için batimetrik incelemesi ve hidrodinamik dizaynı yapılmıştır. Yüzer platformun konstrüksiyonu daha sonra belirlenmiş ve mukavemeti incelenmiştir. Yapısal analizde kullanılan kabuller, yöntem, göz önüne alınan yükler ve en kötü durum kabulleri ile bulunan sonuçlar açıklanmıştır. Göz önüne alınan yapı, temel olarak, açık deniz yapıları sektöründe "**tension leg platforms**" (TLP) olarak anılan yapıların bir benzeridir. Bu tip yapıların esas özelliği, suyun kaldırma kuvvetinin (sephiyesinin) yapının toplam ağırlığından fazla olması ve aradaki farkın, deniz dibine sabitlenmiş bağlar (kablolar veya zincirler) aracılığı ile karşılanmasıdır. Bu tip yapıların deniz dibine tam bağlı olmamaları dolayısı ile dış dinamik yüklere uyumlu yapılar olduğu, dolayısı ile rijit bağlı yapılar kadar yüksek mukavemeti gerektirmediği, fakat dinamik hareketler nedeniyle probleme titreşim, rezonans ve yorulma gibi dinamik karakterli fiziksel olayların eklendiği bilindiğinden bu yönde de hesaplar yapılmıştır. Ancak bu dinamik karakterli fiziksel olayların kapsamı çok geniş olduğundan bu bildiri içinde sunulmayacaktır.

### 1.2. Çok Noktalı Tanker Bağlama ve Yük Boşaltma Sistemlerinin Analizi

Gemilerden sıvı (petrol) transferi yapmak için kullanılacak Çok Noktalı Tanker Bağlama Sistemi (ÇNTBS) için Marmara da ihtiyaç duyulan bölgelerin batimetrik incelemesi ve sistemin hidrodinamik dizaynı yapılmıştır. Sistem üzerine gelen yükler bu yolla belirlendikten sonra sistemin konstrüksiyonun sonlu elemanlar yöntemiyle mukavemeti incelenmiştir. Bu yazıda yapısal analizde kullanılan kabuller, yöntem, göz önüne alınan yükler ve en kötü durum kabulleri ile bulunan sonuçlar açıklanmıştır. Göz önüne alınan yapı, temel olarak, çoklu şamandıra sisteminden oluşmaktadır. Her bir şamandıraya beton bloklar, palamar zincir sistemi ile bağlıdır.

### 1.3 Yüzer Çelik İskele Dizaynı

1999 ağustos ayında meydana gelen Marmara depreminde bir çok beton iskelenin yıkıldığı tespit edilmiştir. Bu durumda bölgeye gelen malzemenin büyük kısmının dağıtımı önemli oranda aksamıştır. Bu durumun beklenen Marmara depreminde tekrarlanacağı savıyla yüzer ve kısa sürede yer değiştirebilir çelik bir iskele dizaynına karar verilmiştir. Dizayn aşamaları yukarıdaki sistemlerin benzeridir.

## 2. PROBLEMLERİN TANIMI

Dizaynların yapılabilmesi için aşağıdaki konuların incelenmesi gerekmektedir:

- Dizayn dalgası olarak belirlenen en büyük dalga yüksekliğine göre yapı yüksekliğinin tespiti,
- Yapının konfigürasyonunun belirlenmesi ve konstrüksiyon seçimi,
- Yapıya gelecek en büyük yüklerin ve en kötü yüklenme durumlarının seçimi,
- Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) ile gerilme ve deformasyon analizi,
- Burkulma kontrolü.

Yukarıda sıralanan çalışmanın bütün aşamalarında, açık deniz yapılarının dizaynında uyulan kurallara ve genel kabul görmüş uygulamalara aykırı bir durumun ortaya çıkmamasına

özel özen gösterilmiştir. Tüm problemlerin çözümü için kullanılan yapıların malzemesi özellikleri Çizelge 1’de sunulan normal gemi inşa çeliğidir.

Çizelge 1. Normal Mukavemetli Çeliklerin Mekanik Özellikleri [3]

Kalite	Akma sınırı $R_{eH}$ [N/mm <sup>2</sup> ] min.	Çekme Mukavemeti $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Kopma uzama $A_5$ [%] min.	Çentik darbe testleri Test sıcaklığı [° C]	Darbe enerjisi (KV) (J)					
					t≤50 mm		50<t≤70 mm		70<t≤100 mm	
					Boyuna	Enine	Boyuna	Enine	Boyuna	Enine
TL-A	235	400-520 (1)	22 (2)	+20	-	-	34(5)	24(5)	41(5)	27(5)
TL-B				0	27(4)	20(4)	34	24	41	27
TL-D				-20	27	27	34	24	41	27
TL-E				-40	27	27	34	24	41	27
t=manuel kalınlığı (1) TL-A kalitedeki profillerin, çekme mukavemetinin üst sınırının mamul kalınlığına bağlı olmaksızın aşılmasına TL'nun onayı ile müsaade edilir. (2) Geniştir 25 mm ölçü uzunluğu 200 mm ve kalınlığı mamul kalınlığında olan düz çekme test parçalarında kopma uzaması aşağıdaki minimum değerlere erişmelidir.										
	Kalınlık [mm]	≤ 5	>5 ≤10	>10 ≤15	>15 ≤20	>20 ≤25	>25 ≤30	>30 ≤40	>40 ≤50	
	Kopma uzaması[%]	14	16	17	18	19	20	21	22	

### 3. LPG VEYA PETROL TÜREVİ TRANSFERİ YAPABİLECEK TLP "TENSION LEG PLATFORMS" DIZAYNI

Bu çalışmada İstanbul açıklarında, 40 m derinlikte denizde yerleştirilecek bir LPG transfer platformu için analizler yapılmıştır. Bu sistem için analizler sonuçlanmasına rağmen konu oldukça kapsamlı olduğundan sonuçlar verilmemiş ve sistemin analizi için kullanılan sınır şartları ve yük hesapları üzerinde durulmuştur.

#### 3.1. Hidrodinamik Analiz

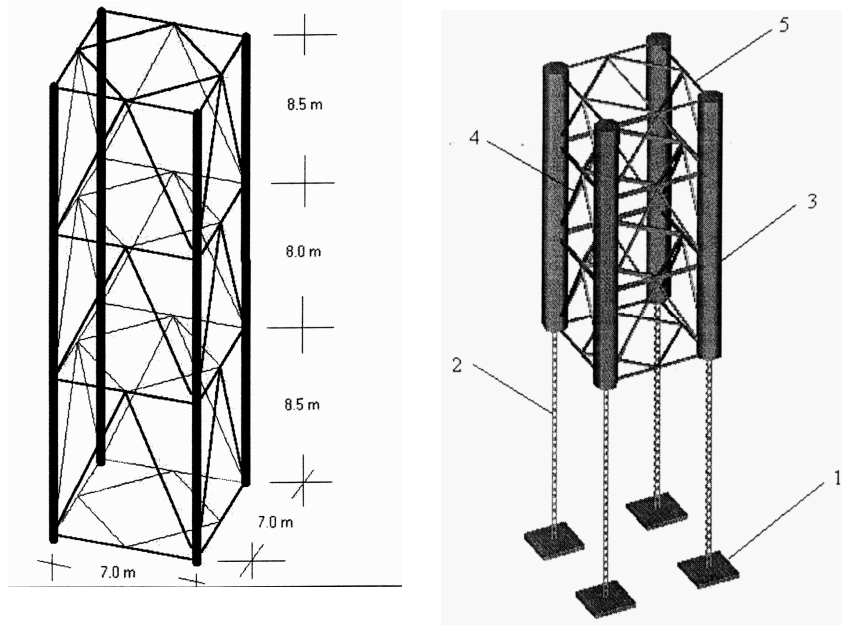
Platformun dalgalar ve akıntı etkisiyle hidrodinamik hareket analizi ve kuvvet hesabı sonucu aşağıdaki saptamalar yapılabilir.

1. Normal çalışma koşullarında platformun yatay öteleme, dalıp-çıkma hareketleri ihmal edilebilir düzeydedir.
2. 50 yılda rastlanabilecek fırtına koşullarında platformun düzenli dalgalara karşı yatay öteleme hareketindeki genlik 2.70 m.dir. Yine fırtına koşullarında, karakteristik dalga yüksekliğinin  $H \approx 4.8$  m ve modal periyodun  $T_1 = 8.8$  s alındığı JONSWAP spektrumuna dayanan karışık dalgalar arasında yatay öteleme hareketinde karakteristik genlik 1.74 m bulunmuştur.[1,2]

Fırtına koşullarında zincir başına gelen demirleme kuvveti 8.54 tondur. Bu durumda demirlerde (bloklarda) bir hareket beklenmemektedir.

#### 3.2. Yapısal Dizayn ve Yapının Mukavemeti

LPG transfer platformunun ana sephiye elemanlarının dört adet 1 m (Çizelge 2) çaplı düşey borudan meydana geleceği ve bu elemanların 20 metrelik kısımlarının su altında (draft) kalacağı, yatayda merkezler arasında 7 m aralık bulunacağı (Şekil 1.) ön koşul olarak tespit edilmiştir.



Şekil 1. Platformun denizde yerleşimi ve ana boyutları.

Platformun üç ayaklı olarak dizayn edilmesi, bir ayakta sephiye kaybı olması veya gergili zincirlerden birinin kopması hallerinde yapının stabilitesi kalmayacağı gerekçesiyle mümkün görülmemiştir. Dizayn dalgası, 8.5 m yüksekliğinde alınmış ve yapının minimum gerekli fribord yüksekliği 4.5 m olarak kabul edilmiştir. Böylece, düşey dört adet 1 m çaplı ana ayakların toplam yüksekliği 25 m olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 2. Yapının ana elemanları.

Eleman	Açıklama
1	25 tonluk beton ağırlık
2	60 mm çaplı zincir
3	1 m çaplı ana boru
4	0.2 m çaplı çapraz boru
5	0.2 m çaplı yatay boru

Konfigürasyonda dalga hareketinin en fazla olduğu kısımda çok sayıda eleman bulunmamasına özen gösterilmiştir. Yapının burulma ve eğilme deformasyonlarını karşılayacak bağ elemanlarının, bir ön hesaplama sonucunda 0.2 m çaplı borulardan meydana gelmesi uygun görülmüştür. Genel olarak açık deniz yapılarındaki uygulamalar da göz önüne alınarak, optimum yapı ağırlığı verecek konfigürasyon belirlenmiştir. Bu konfigürasyon Şekil 1'de gösterilmiştir. Güverte teçhizatını taşıyacak ızgara, platformun ana yapı elemanlarına bağlanacak, fakat yapının temel mukavemetine bir katkıda bulunmayacaktır. Benzer şekilde, deniz dibinden gelen LPG transfer borularını taşımaları için yapıya eklenmesi gereken elemanların da yapının esas mukavemetine bir katkı yapması düşünülmemiştir.

Mukavemet hesapları için "dizayn dalgası" olarak, hidrodinamik analiz sonucu bulunan dalga özellikleri göz önüne alınmıştır. Yapının 1.0 m ve 0.2 m çaplı boru elemanlarına etki eden dinamik dalga kuvvetleri bu hesaplamalar sonucu elde edilmiştir.

Yapının Sonlu Elemanlar Metodu (FEM) ile analizi, endüstri standardı olarak kabul edilen birkaç bilgisayar programından biri olan ANSYS paket programı kullanılarak yapılmıştır.

Uzay giriş sistemin modellenmesinde BEAM 44 elemanı kullanılmıştır. BEAM 44 tek eksenli bir giriş elemanı olup, çekme ve basma eksensel kuvvetleri, burulma ve eğilme momentlerini taşıyan giriş yapıları modellemek için kullanılmaktadır. Yapının Sonlu Elemanlar Modeli'nde 2724 adet BEAM 44 giriş elemanı kullanılmıştır. Bu modelde 2716 tane düğüm noktası oluşmuş ve bu düğüm noktalarında ötelemeler ve dönmeler olmak üzere 16296 serbestlik derecesi ortaya çıkmıştır.

Yapının dört noktadan deniz dibine bağlı olması dolayısıyla, Sonlu Elemanlar Analizi'nde bu dört nokta mesnet olarak kabul edilmiştir. Bu noktalar, üç doğrultuda ötelemelerin olmadığı, fakat üç eksen etrafında dönme serbestliğinin bulunduğu basit mesnetlerle bağlanmıştır. Gerçek durumda yapı bu noktalardan düşey zincirlerle bağlı olması dolayısıyla, bir miktar yatay ve düşey öteleme yapacaktır. Bu, yapının bağ noktalarında tam rijit bağlı olmadığını gösterir. Mukavemet hesaplarında bu noktaların basit mesnetlerle bağlanması daha rijit bir duruma karşı geldiği ve bu bölgelerde gerilmeler gerçek durumdan daha yüksek olacağı için, incelenen hal "en kötü durum" olarak nitelendirilebilir.

Mukavemet hesaplarında, yapının taşıdığı yükler; Ağırlıklar, Suyun kaldırma kuvveti (sephiye), Dizayn dalgası kuvvetleri olarak, üç ana başlık altında toplanmıştır.

ANSYS Sonlu Elemanlar programının olanaklarından yararlanılarak, yapı ağırlığı verilen boyutlara ve malzeme yoğunluğuna göre bütün elemanlar için düşey yayılı yük olarak, yapının tümüne etki ettirilmiştir.

Güverte yükleri, seçilen güverte teçhizatı ağırlıkları ile uyumludur. Bu teçhizatın güvertedeki taşıyıcı ızgara sisteme bağlanacağı ve bu ızgara sistemini yapının en üstündeki yatay elemanların taşıyacağı kabul edilerek, ızgara sistemi de dahil olmak üzere güverte ağırlıkları toplamı, uzay giriş yapının üst yatay elemanlarına birim boya gelen düşey yük olarak dağıtılmıştır.

1 m ve 0.2 m çaplı boru elemanlar için birim boya gelen sephiye kuvveti hesaplanmıştır. Bu kuvvet, ağırlıkların hesaba katılmasına benzer şekilde, düşey yukarı doğru bir yayılı kuvvet olarak bütün elemanların sephiyesi göz önüne alınmıştır.

1.0 m ve 0.2 m çaplı borular için hesaplanan ve dinamik dalga kuvvetlerinin, derinliğe ve elemanların dalga geliş yönüne göre durumları da göz önüne alınarak, uzay giriş sistemi elemanları üzerine yayılı yük olarak etki ettiği kabul edilmiştir. Bu kuvvet derinliğe orantılı olmayıp, hidrodinamik analiz sonuçlarına göre bir dağılıma sahiptir. 8.5 m yükseklikli dizayn dalgasının boyu 100 m civarında olup, 1.0 m çaplı ayaklar arası mesafe olan 7.0 m.den çok daha uzun olacağından, dinamik dalga kuvvetinin en büyük değerinin bütün elemanlara aynı anda etki ettiği düşünülmüştür. Bu kabul, mukavemet analizi için gerekli olan en kötü hal tanımının esas kabulüdür.

### 3.3. En Kötü Durum Analizi

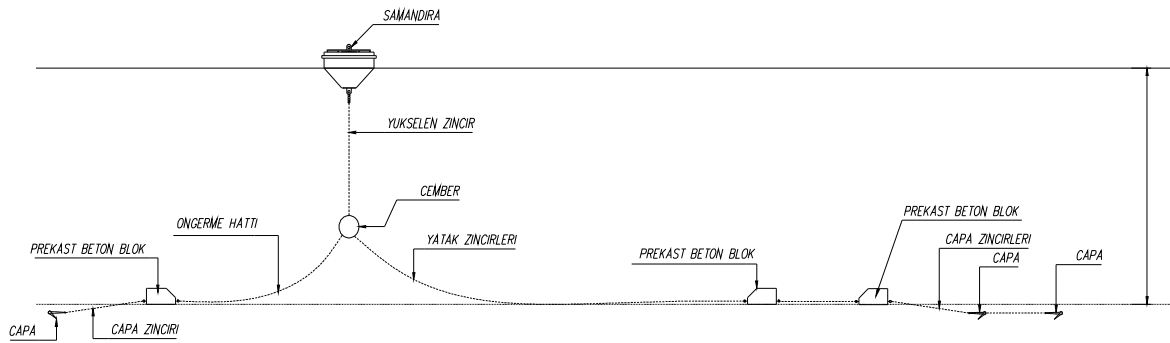
Sınıflandırma kuruluşları, örneğin Det Norske Veritas [4], açık deniz yapılarının mukavemet hesaplarında, yapının "en kötü durum" halinde yükleme halinin ne olacağını belirlenmesini istemektedir. Burada, bu kurala uyularak, dört yükleme durumu tespit edilmiş ve Sonlu Elemanlar Analizi her durum için tekrarlanmıştır. Göz önüne alınan yükleme durumları şöyledir:

- Durum A:** Dalga geliş yönü platformun cephesine dik, platform dört noktadan deniz dibine bağlı.
- Durum B:** Dalga geliş yönü platformun cephesine dik, platform üç noktadan deniz dibine bağlı (Dalga geliş yönündeki zincirlerden birisi kopuk).

- Durum C:** Dalga geliş yönü platformun cephesine 45 derece açılı (diyagonal), platform dört noktadan deniz dibine bağlı.
- Durum D:** Dalga geliş yönü platformun cephesine 45 derece açılı (diyagonal), platform üç noktadan deniz dibine bağlı (Dalga geliş yönündeki zincir kopuk)

#### 4. ÇOK NOKTALI TANKER BAĞLAMA VE YÜK BOŞALTMA SİSTEMLERİNİN ANALİZİ

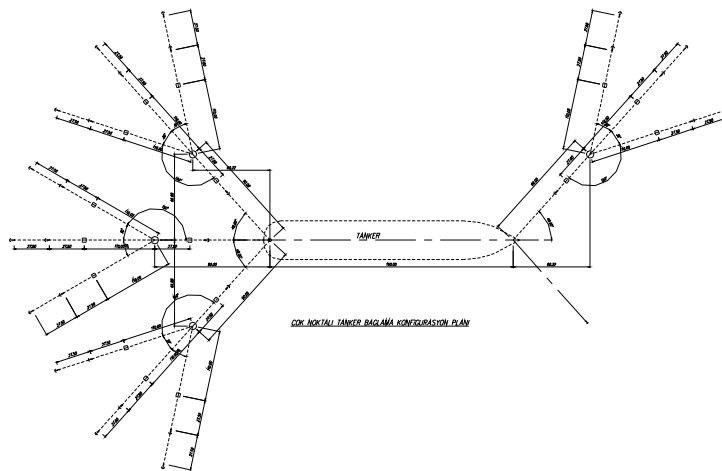
Çok noktalı tanker bağlama sistemlerinin ana bileşenleri; sepiye şamandırası, zincir, beton bloklar ve çapalardır (Şekil 2.). Bu tip yapıların deniz dibine tam bağlı olmamaları dolayısı ile dış dinamik yüklere uyumlu yapılar olduğu, dolayısı ile rijit bağlı yapılar kadar yüksek mukavemeti gerektirmediği, fakat dinamik hareketler nedeniyle probleme titreşim, rezonans ve yorulma gibi dinamik karakterli fiziksel olayların eklendiği unutulmamalıdır [5].



Şekil 2. Tanker bağlantısında kullanılacak tipik bir şamandıra.

#### 4.1. Doğa Şartları, Sistemin Geometrisi ve Hidrodinamik Analiz

Tankerlerin dolun boşaltım yapmasını sağlayacak olan şamandıra sistemi İstanbul sahillerinde yer alacaktır. Şamandıra sisteminin yer alacağı derinlik ortalama 15 m dir. Hesapı yapılan sistemde boşaltma yapan geminin arkasında 3 adet şamandıra olup gemi önden 1 şamandıra ve 1 noktadan zincirle bağlanacaktır (Şekil 3.).

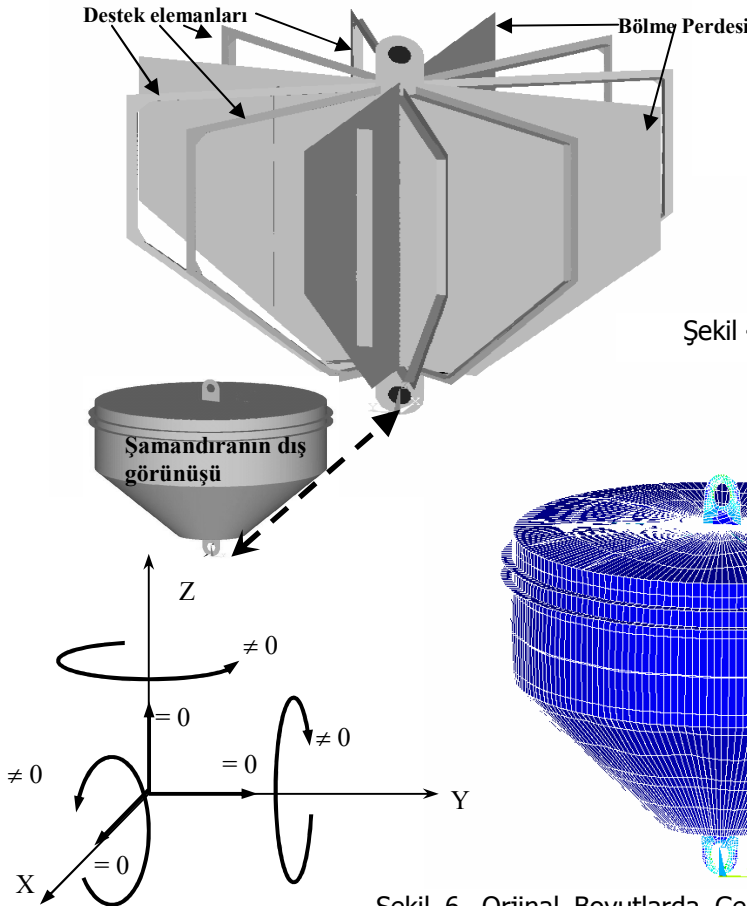


Şekil 3. Çok noktalı tanker bağlama planı.

## 4.2. Şamandıra Konstrüksiyonunun Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi

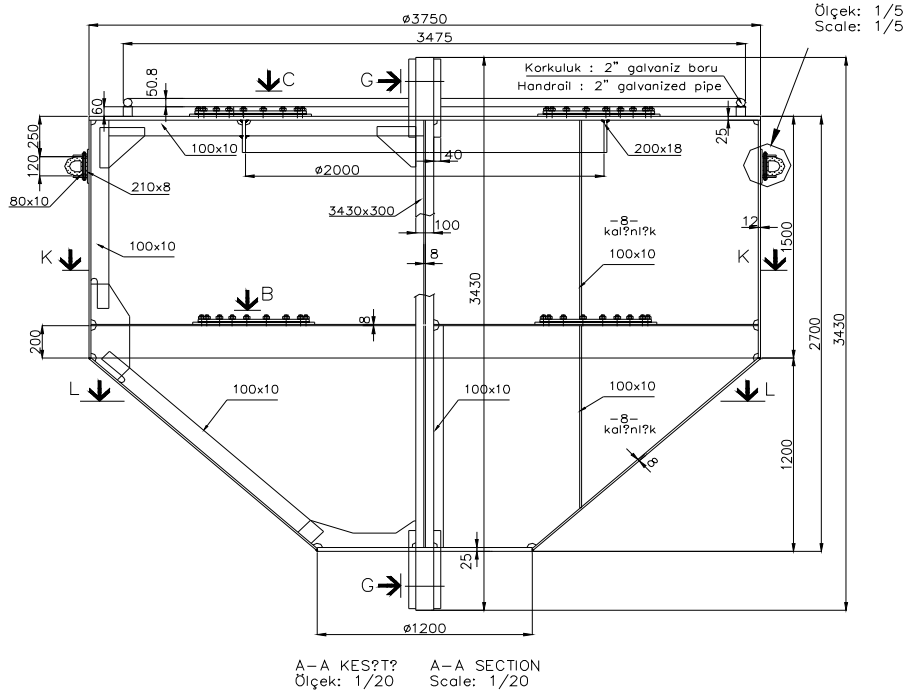
15 m Derinlikte kıydan yaklaşık olarak 500 m açıktaki yapılacak olan ve 30000 DWT'e kadar petrol tankerlerinin bağlanarak yükleme-boşaltma yapabilmesine olanak sağlayacak çok noktalı bağlama sisteminin şamandıra kısmının mukavemeti incelenmiştir. Şamandıranın mukavemetinin incelenebilmesi için öncelikle yapısal model elde edilmiş ve sonra sonlu elemanlar yöntemi ile yapısal analiz gerçekleştirilmiştir. Sonlu eleman hesabında ANSYS program paketi kullanılmıştır.

Ambarlı bölgesinde deniz şartları için yapılan hidrodinamik hesaplarda, ayrıntılı olarak verilen 5 deniz şiddetindeki denizde, 30000 DWT tankerinin bir şamandıra için elde edilen çekme yükü dikkate alınmıştır. Yapılan hesaplamalara göre şamandıraya etki eden çekme yükü olarak 87 ton alınmıştır. Ayrıca şamandıra en kritik hal olarak tamamen suya batırılmış, elde edilen maksimum hidrostatik basınç[6] dubanın tüm dış çeperine dinamik etki de düşünülerek % 10 artırılarak etki ettirilmiştir ( 25 kN/m<sup>2</sup> ). Şamandıranın zincire bağlandığı bölgede x,y,z eksenleri boyunca tüm ötelemeler tutulmuştur. Buna karşılık dönmelere kısıtlama getirilmemiştir. (Şekil5.) Şamandıra yüzey elemanlarla modellenmiştir. Modellemede 3256 keypoint ile 3380 alan oluşturulmuştur. Nod sayısı 10878, eleman sayısı ise 9010 adettir. Sınır koşulları zincir bağlanan deliğin iç çeperinde birbirine çok yakın 5 adet nod'a uygulanmıştır. Tanker bağlama yükü sınır koşullarındaki benzer şekilde üst bölgedeki deliğin iç çeperinin üst yarımında birbirine çok yakın 5 adet nod'a dağıtılmıştır. Şamandıra yapısının üç boyutlu yapısal analizinde Ansys sonlu eleman paketinde verilen Shell63 elemanı kullanılmıştır. Eğilme ve membran kabiliyeti olan bu elemanın her düğümü üç öteleme ve üç dönme olmak üzere altı serbestlik derecesine sahiptir.



Şekil 5. Sınır Koşulları.

Şekil 6. Orjinal Boyutlarda Gerilme Analizi (Von Mises Bileşik Gerilme Dağılımı) ( $\sigma_{em} = 180 \text{ N/mm}^2$ )



Şekil 7. Şamandıra en kesit işçilik resmi.

Sınır koşulları zincir bağlanan deliğin iç çeperinde birbirine çok yakın 5 adet nod'a uygulanmıştır. Tanker bağlama yükü sınır koşullarındakine benzer şekilde üst bölgedeki deliğin iç çeperinin üst yarımında birbirine çok yakın 5 adet nod'a dağıtılmıştır. Şamandıra yapısının üç boyutlu yapısal analizinde Ansys sonlu eleman paketinde verilen Shell63 elemanı kullanılmıştır. Eğilme ve membran kabiliyeti olan bu elemanın her düğümü üç öteleme ve üç dönme olmak üzere altı serbestlik derecesine sahiptir.

Yapısal konfigürasyonun modelinin hesaplarının sonucunda,  $\sigma_z$  ve Von Mises bileşik gerilmeleri (Şekil 6.) yapının tüm bölgelerinde incelenmiş ve yalnızca çeki çubuğu dublin saclarının kalınlaştırılmasına gerek duyulmuştur. Bu değişiklik yapıldıktan sonra yapısal analiz korozyonlu durumu incelenmiş ve bir probleme rastlanmamıştır. Şamandıranın en kesit işçilik resmi Şekil 7'e sunulmuştur.

Yapılan hesaplama sonucunda Z eksenine doğrultusundaki gerilme ve Von Mises bileşik gerilme hali için gerilme değerleri hesaplanmış ve maksimum deformasyon elde edilmiştir. Yapılan ilk hesap sonucunda çeki çubuğunun delik bölgesinde Von Mises gerilme değeri  $287 \text{ N/mm}^2$ , maksimum deformasyon ise  $0.7 \text{ mm}$  olarak elde edilmiştir. Deformasyon değerinin küçük olmasının nedeni en fazla gerilmenin çeki çubuğunda aksiyel normal gerilme olmasıdır. Üstelik bu bölgede malzeme kalınlığı  $180 \text{ mm}$  dir. Diğer bölgelerdeki gerilme göreceli olarak çok düşüktür. Bu problem çeki çubuğu dublin sacı kalınlığı  $20 \text{ mm}$ ' den  $50 \text{ mm}$ 'ye çıkartılarak giderilmiştir. Böylelikle delik bölgesindeki et kalınlığı toplam  $150 \text{ mm}$  olmuştur. Daha sonra yukarıda yapılan yapısal değişiklik göz önüne alınarak yapılan hesaplamalarda maksimum Von Mises gerilme değeri  $172 \text{ N/mm}^2$ , maksimum  $\sigma_z$  değeri ise  $151 \text{ N/mm}^2$  değerlerine düşmüştür. Maksimum deformasyon ise  $0.5 \text{ mm}$  olarak elde edilmiştir. Maksimum gerilme yine çeki çubuğu deliği kenarında görülmüştür. Kalınlık arttırıldıktan sonra hesaplanan bu gerilme değeri çok küçük bir bölgede görülmüş yapının çalışmasında bir problem oluşturmayacağına karar verilmiştir. Şamandıra yapısının diğer bölümlerinde herhangi bir problem görülmemiştir.



## 5. YÜZER ÇELİK İSKELE DİZAYNI

Bu iskele dizaynı için Kocaeli Yeniköy mevki seçilmiştir. Bu amaçla 19.2x51 m ebadında, yaklaşık 900 ton taşıma kapasiteli, tankerlerinin veya kuru yük gemilerinin bağlanarak yükleme-boşaltma yapabilmesine olanak sağlayacak şekilde kullanılacak şatın (duba) mukavemeti incelenmiştir. Şat belirtilen mahalde yüzer iskele olarak kullanılacaktır. Yüzer İskele mukavemetinin incelenebilmesi için öncelikle yapısal model elde edilmiş ve sonra sonlu elemanlar yöntemi ile yapısal analiz gerçekleştirilmiştir. Sonlu eleman hesabında ANSYS program paketi kullanılmıştır. Burada incelenen mukavemet problemi; söz konusu yüzer iskele üzerine çıkan aşağıda özellikleri öngörölmüş iki aracın ve taşıdığı yüklerin, yüzer iskele için bir tehlike teşkil edip etmeyeceğinin incelenmesidir.

**Vinç ;** 40 ton ağırlığında, 5ton ağırlık kaldırma kapasiteli, 6 m. uzunluğunda, 3 m. genişliğinde ve ayak açıklıkları 5.5 - 6 m. dir. Toplam yük : 45 ton.

**Kamyon ;** Fatih kamyon, 2,4 m. eninde, 9 m. boyunda, 8 ton boş ağırlık, 25 ton yük kapasitelidir. Toplam yük : 33 ton.

Yapılan incelemeler sonucunda tam ortada bulunan 15 m boyunda ve 19,2 m. enindeki tank bu problemde mukavemet açısından en kritik bölge olduğu tespit edilmiştir. Bu amaçla aşağıdaki koşullar altında tank için sonlu elemanlar modeli incelenmiştir.

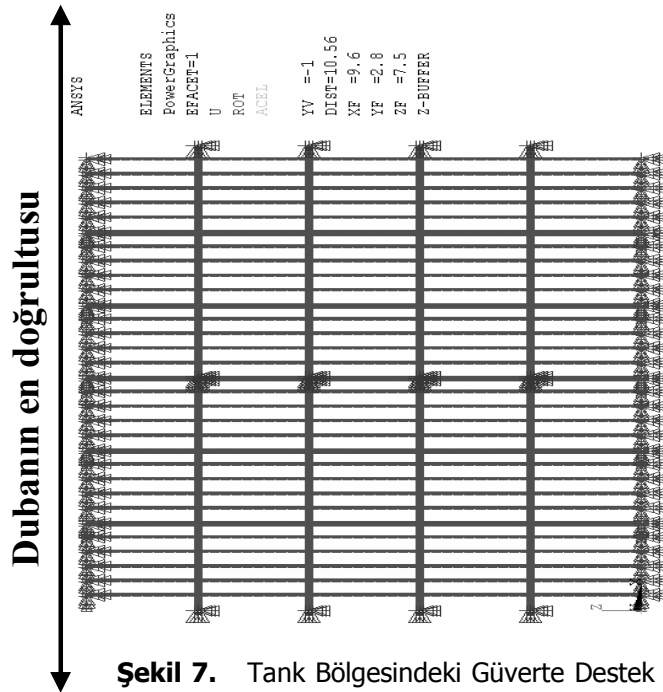
### 5.1. Dizayn Yükleri

Yapının üzerine açık güverte dizayn basıncı uygulanmış ve olabilecek en tehlikeli durum olan desteklenmemiş levha ortasından tekerlek yükleri vasıtası ile vinç ve kamyon yükleri uygulanmıştır.

### 5.2. Sınır Koşulları

Yüzer İskelenin Tank bölgesindeki güverte yapısının boy yönündeki uçları yapının sınırdan sonra devam ettiği ve perdede sınırlandığı için ankastre kabulü yapılarak sınırlandırılmıştır. (Şekil 7.) Bölgede x,y,z eksenleri boyunca tüm ötelemeler ve dönmeler tutulmuştur.

Ayrıca yapının orta ekseninde derin elemanlar üzerinde bulunan puntellerin yapıda basit mesnet görevi gördüğü için bu bölgede x,y,z eksenleri boyunca tüm ötelemeler tutulmuştur. Buna karşılık dönmelere kısıtlama getirilmemiştir (Şekil 7.)



**Şekil 7.** Tank Bölgesindeki Güverte Destek Yapısının Sınır Koşulları.

### 5.3. Yapısal Model

Tank bölgesindeki güverte destek yapısı yüzey elemanlarla modellenmiştir. Modellemede 744 keypoint ile 751 alan oluşturulmuştur. Nod sayısı 8264 , Eleman sayısı ise 8370 adettir. Tank bölgesindeki güverte destek yapısının üç boyutlu yapısal analizinde Ansys sonlu eleman paketinde verilen Shell63 elemanı kullanılmıştır. Eğilme ve membran kabiliyeti olan bu elemanın her düğümü üç öteleme ve üç dönme olmak üzere altı serbestlik derecesine sahiptir.

### 5.6. Yapısal Analiz

Yapısal konfigürasyonun sonlu elemanlar yöntemiyle hesapları yapılmıştır ve sonuçta, Von Misses bileşik gerilmeleri ,  $\sigma_x$   $\sigma_y$   $\sigma_z$  normal gerilmeleri ve  $\tau_{xy}$   $\tau_{yz}$   $\tau_{xz}$  kayma gerilmeleri yapının tüm bölgelerinde incelenmiştir. Sonuçlar toplu olarak Çizelge 3. de verilmiştir.

Çizelge 3. Yapıdaki Gerilme Değerleri

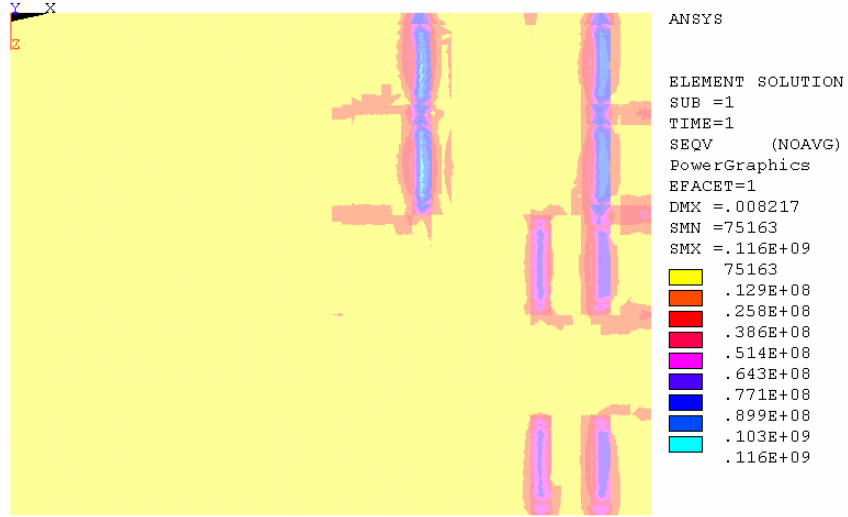
D	8.2 mm	Deformasyon
$\sigma_v$	153 N/mm <sup>2</sup>	Von Misses Gerilmesi - Bütün yapı
$\sigma_v$	116 N/mm <sup>2</sup>	Von Misses Gerilmesi - Güverte kaplama sacı
$\sigma_v$	153 N/mm <sup>2</sup>	Von Misses Gerilmesi - Güverte destek elemanları
$\sigma_x$	125 N/mm <sup>2</sup>	Normal gerilme - Güverte kaplama sacı
$\sigma_x$	148 N/mm <sup>2</sup>	Normal gerilme - Güverte destek elemanları
$\sigma_y$	0.615 N/mm <sup>2</sup>	Normal gerilme - Güverte kaplama sacı
$\sigma_y$	83 N/mm <sup>2</sup>	Normal gerilme - Güverte destek elemanları
$\sigma_z$	110 N/mm <sup>2</sup>	Normal gerilme - Güverte kaplama sacı
$\sigma_z$	118 N/mm <sup>2</sup>	Normal gerilme - Güverte destek elemanları
$\tau_{xy}$	58.7 N/mm <sup>2</sup>	Kayma gerilmesi - Güverte destek elemanları
$\tau_{yz}$	28.7 N/mm <sup>2</sup>	Kayma gerilmesi - Güverte destek elemanları
$\tau_{xz}$	15.8 N/mm <sup>2</sup>	Kayma gerilmesi - Güverte destek elemanları

Araç yüklerini Tank Bölgesindeki Güverteye uygularken 2 ayrı kabul yapılmıştır:

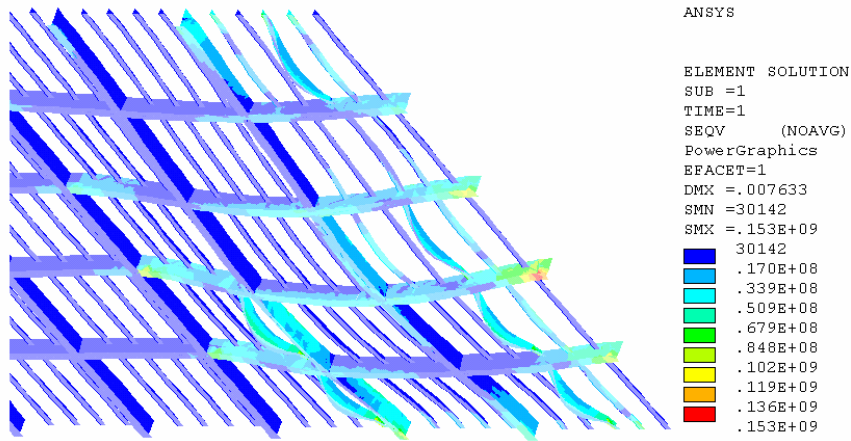
- 1) Tekerlekler güverte altındaki tulanilerin tam arasına basınç uygulamakta.
- 2) Tekerlekler güverte altındaki tulanilerin tam üstüne basınç uygulamakta.

## 6. SONUÇ

1999 Kocaeli depremi göstermiştir ki Marmara denizinde beklenen deprem İstanbul ve Marmara Denizi etrafındaki bütün denizyolu taşımasını ve yük transferini etkileyecektir. Deprem sonrası denizden karaya hemen bütün bağlantı noktaları hasar görecektir. Bu bölge Türkiye açısından sanayinin lokomotifi olduğu düşünülürse durum daha iyi anlaşılacaktır. Bu yazıda denizden karaya 3 farklı mobil bağlantı şekli önerilmiş ve dizayn hesaplarının sadece sonlu elemanlar modeli ve gerilme analizi sunulmuştur. Sıvı veya sıvı yakıtların transferinin yapılabileceği, LPG veya petrol türevi transferi yapabilecek TLP " *tension leg platforms*", Sadece sıvı transferi yapabilecek çok noktalı tanker bağlama ve yük boşaltma sistemi, katı veya paketlenmiş yüklerin transferinin yapılabileceği yüzer çelik iskele. Bu sistemler deprem sonrası bölgenin enerji, yiyecek ve malzeme ihtiyacının kesilmeden iletilmesini sağlayacaktır.



**Şekil 8.** Güverte Sacı Sonlu Elemanlar Modeli Güverte Üstünden Görünüş  
Tekerlekler güverte altındaki tulanilerin tam arasına basınç uyguluyor  
Von-Misses Bileşik Gerilmesi ( $\sigma_{von}=116 \text{ N/mm}^2$ ) .



**Şekil 9.** Güverte Altı Elemanları Sonlu Elemanlar Modeli Güverte Altından Çapraz Görünüş  
Tekerlekler güverte altındaki tulanilerin tam arasına basınç uyguluyor  
Von-Misses Bileşik Gerilmesi ve Şekil Değişiklikleri ( $\sigma_{von}=153 \text{ N/mm}^2$ ) .

## 7. KAYNAKÇA

- [1] "Marmara Denizi Limanları Haritası" No: 2922., Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı,1980
- [2] BAYAZIT, M., AVCI,İ., ve KAPDAŞLI, S., "Kumcular Ambarlı Limanına Ait Meteorolojik ve Oşinografik Verilerin Denenmesi ve Değerlendirilmesi", İ.T.Ü. ,Su ve Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Uygulama Araştırma Merkezi., 1990
- [3] Türk Loydu, Çelik Gemileri Klaslama Kuralları, Cilt A, Kısım 2 - Malzeme Kuralları, Ocak 2000
- [4] "Rules for Clasification of Offshore Units", Det Norske Veritas., July 1996.
- [5] CHAKRABARTI, S.K., "Hydrodynamics of Offshore Structures", Springer-Verlag, Berlin, 1987.
- [6] Türk Loydu, Çelik Gemileri Klaslama Kuralları, Cilt A, Kısım 1 – Çelik Tekne Kuralları, Ocak 2000