

Enerji Gemilerinde Egzoz Kulesi Tasarımı

Alican Aşkun¹, Serkan Ekinci²

alicanburada@gmail.com¹, ekinci@yildiz.edu.tr²

^{1,2} Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Özet

Gemilerde kullanılan ekipman tiplerine bağlı olarak hazırlanan faundeyşınlar için temel esaslar ve genel kriterlerin belirlenmesi; yapılan uygulamalara standart getirilmesi ve uygun profil seçimi ile ağırlık tasarrufu yapılabilmesi açısından önemlidir. Bu çalışmada, yüzer bir elektrik santrali gemisinde karşılaşılan en büyük faundeyşın yapısı için, sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak geliştirilen bir ticari paket program (SAP2000) yardımıyla bir model tasarımı yapılmıştır.

Egzoz kulesi olarak geçen bu yapı ana güverte üzerinde bulunan egzoz sistemini oluşturan ekipmanların taşınması ve desteklenmesi amacıyla tasarlanmıştır. Yapının tasarımında, yapının kendi ağırlığı, taşıdığı ekipmanların ağırlıkları ve rüzgâr yükleri göz önüne alınmış ve farklı rüzgâr hızları için üç farklı senaryo incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda tasarımı yapılan yapının uygunluğu kontrol edilmiş, üç farklı senaryo için sonuçlar karşılaştırılmıştır. İteratif olarak yapılan düzeltmelerle emniyet sınırları içinde kalarak hafif bir yapı oluşturulmaya çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: SAP2000, sonlu elemanlar yöntemi, faundeyşın, gerilme analizi

Exhaust Tower Design On Powerships

Alican Aşkun¹, Serkan Ekinci²

alicanburada@gmail.com¹, ekinci@yildiz.edu.tr²

^{1,2} Faculty of Naval Architecture and Maritime, Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey

Abstract

Establishing a basic and general criterion for the design of foundations depending on the type of supported equipment would be important by means of settling a standard for the applied work and weight saving by selecting the right profiles. A model design is performed by SAP2000 program, which is developed based upon finite element method, for the biggest foundation encountered on a floating energy central.

This structure, which is called exhaust tower, is designed to carry and support the equipment of exhaust system located on the main deck. Structure's own weight, supported equipment and wind loads are taken into account while working on its design and three different scenarios with different wind loads are examined. In consequence of these examinations the model is analyzed for its convenience and the results of three scenarios are compared. By making iterative refinements, a structure of minimum weight within the limits of safe zone, is tried to be created.

Keywords: SAP2000, finite element method, foundation, stress analysis

Sembol Listesi

P_r : Hesaplanan aksenal kuvvet	A_g : Kesit alanı
P_c : İzin verilen aksenal kuvvet	F_e : Elastik eğilme gerilmesi
P_n : Maksimum aksenal kuvvet	E : Elastisite modülü
Ω : Emniyet katsayısı	Z : Mukavemet momenti
M_r : Hesaplanan eğilme gerilmesi	A_w : Profil web alanı
M_c : İzin verilen eğilme gerilmesi	C_v : Web kesme katsayısı
M_n : Maksimum eğilme gerilmesi	V : Rüzgar hızı
K : Efektif uzunluk faktörü	q : Yüzeğe yayılı rüzgar basıncı veya emme
L : Desteklenmeyen boy	ρ : Hava yoğunluğu

r : Eylemsizlik yarıçapı

g : Yerçekimi ivmesi

F_{cr} : Kritik gerilme

W : Eşdeğer statik basınç veya emme kuvveti

F_y : Akma gerilmesi

c_p : Yapı yüzeyi konum katsayısı

1. Giriş

Faunedeysin yapıları, gemi üzerindeki her türlü ekipmanı, kendi etkileri ve dış etkiler (gemi hareketleri) sonucu meydana gelen kuvvetler karşısında desteklemek, gemi bünyesine sabitlemek ve bu ekipmanların meydana getirebileceği azami yük ve titreşimin gemi bünyesine iletimini azaltmak amacıyla tasarlanmaktadır. Faunedeysin dizayn kriteri olarak eskiden beri yapılan uygulamalarda yalnızca klas kuruluşları tarafından ve çoğunlukla ana makine ve kazanları kapsayan kısa referanslar dikkate alınmıştır, ancak daha makul bir yaklaşımla statik ve dinamik koşullar göz önünde bulundurularak yapılan ön dizaynlar ile ihtiyaç dışı yapılar giderilerek faunedeysinın toplam ağırlığının azaltılması ve ekipmanın daha problemsiz çalışmasına olanak sağlanabilmektedir (Cashman, 1962). Yapıl dizaynının ilk evrelerinde verilen kararlar yapıların toplam maliyet ve çevre performansını kritik derecede etkilemektedir. Tasarımcı tek amaca yönelik çalışmanın ötesinde bütünsel bilgi birikimine sahip olması daha kapsamlı karar verebilmesi açısından önemlidir (Zhang vd., 2017).

Türk Loydu tekne yapım kurallarına (2018) göre sevk sistemini oluşturan makinalar ve donanım, sağlam ve rijit temeller üzerine kurulmalı ve güvenli bir şekilde bağlanmalıdır. Bu maksatla, temellerin her bir üst levha sacı için net en kesit alanı, net üst levha sac kalınlığı, temel boyunca konulan gördeler için toplam gövde kalınlığı ve temel boyunca konulan döşeklerin net et kalınlığı için minimum değerler hesaplanmaktadır. Bu minimum değerler diğer klas kuruluşlarınca da çok benzer olmakla birlikte, diğer faunedeysin yapıları için yeterli rijitlikte olmaları gerektiğinin belirtilmesi dışında ayrıca bir formülasyon verilmemiştir.

Faunedeysin tasarımı yapılırken belli bir iş akışını takip etmek optimum bir tasarıma ulaşılması açısından büyük önem taşır (Orhan, 2014). Bu iş akışı; faunedeysin dizayn ihtiyacının belirlenmesi, faunedeysin tasarımı yapılacak ekipmana ait boyut, ağırlık, vs. bilgilerin toplanması, dinamik ve statik yük hesaplarının yapılması, faunedeysin geometrik modelinin oluşturulması, ekipman ve montaj edileceği bölgenin bağlantı detayları da değerlendirilerek taşıyıcı elemanların belirlenip boyutlandırılması ve bağlı kalınan standartlar için kontroller yapılarak mukavemet isterler sağlanana kadar çalışmanın tekrar edilmesi şeklinde sıralanabilir. Bu çalışma dâhilinde de bu sıra takip edilmiştir.

2. Kullanılan yöntem ve yönetmelikler

Faunedeysin geometrisinin oluşturulması ve gerekli mukavemet dayanımının sağlandığının kontrolü SAP2000 paket programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. SAP2000 mühendislik yazılımı, yapıların üç boyutlu olarak modellenmesi, hesaplanması ve boyutlandırılması amacıyla kullanılan bir bilgisayar yazılımıdır. Program çalışma prensibi olarak sonlu elemanlar metodunu kullanmaktadır.

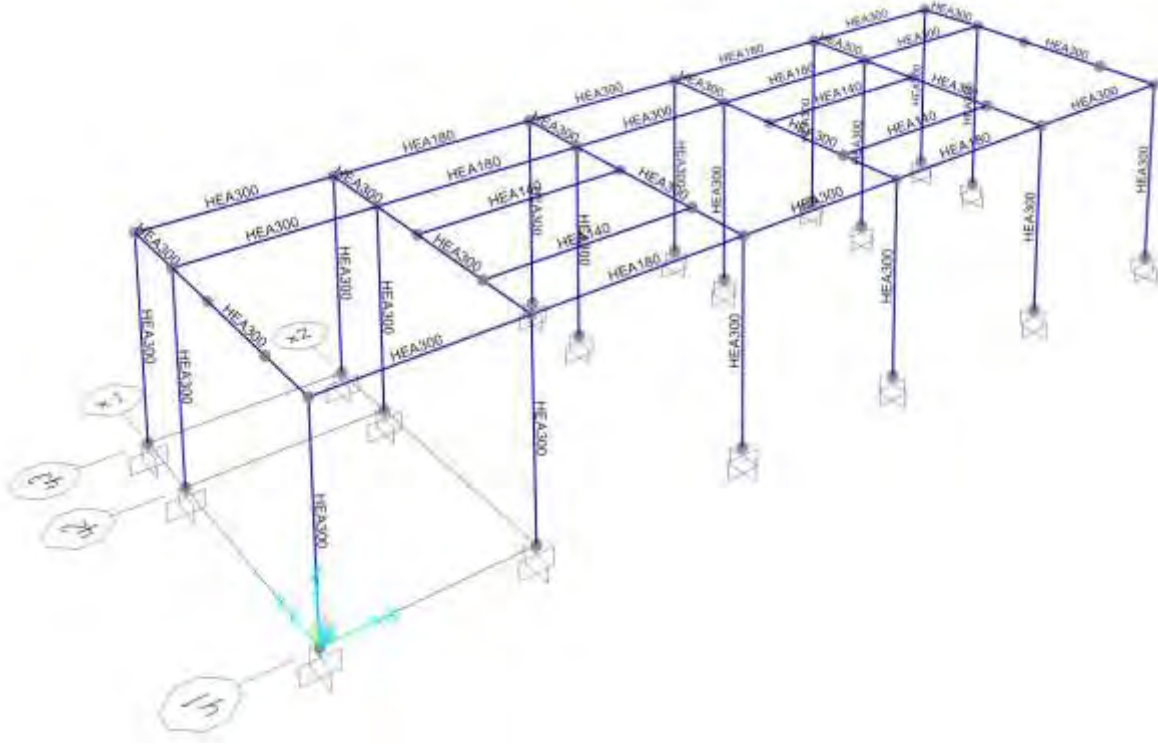
Sonlu elemanlar metodu; karmaşık bir sistemin daha basit alt bölgelere ayrılması, bu basit alt bölgelerin matematiksel olarak çözülüp bunu takiben bütüne uygulanması ve karmaşık sistemin çözümüne

ulaşılması prensibine dayanan bir yaklaşım metodudur. Hamrit ve diğerleri (2015) sonlu elemanlar metodunun, sürekli bir sistemi sonlu sayıda parametre ile tanımlanmış münferit bir sistem olarak kabul etmesi ile ulaşılabilecek en kusursuz sonuca ulaşma imkânı sağladığını belirtmiştir. Cook ve diğerleri (1989) sonlu elemanlar metodunun kuvvetini çok yönlülüğünden aldığını ileri sürmüştür. Metot çok farklı fiziksel problemlerin çözümünde uygulanabilir ve analiz edilen yapı rastgele şekil, yük ve destek durumlarında olabilir. Bu çok yönlülük; problem tipi, geometri, sınır koşulları, eleman seçimi gibi veri girdilerinin kullanıcı kontrolünde girilebileceği tek bir bilgisayar programı bünyesinde toplanabilir.

Alt bölgelere ayırma, "ayrıklaştırma" veya "meshleme" olarak tabir edilen yani sonsuz sayıda noktadan oluşan yapıyı sonlu sayıda eleman ve nodlarına ayırma işlemidir. Sınır şartları tanımlandıktan sonra her eleman için katılık matrisi yazılabilir. Elemanların ortak nodları (düğüm noktaları) için sadeleştirme yapıldıktan sonra ise tüm yapının katılık matrisi elde edilebilir ve buna göre yaklaşık çözüm yapılır. Sonlu elemanlar metodu yapının geometrisini temel alır. Bu yapının ayrıklaştırılması genel katılık matrisinin bulunması için, gerilme enerjisine bağlı olarak ilk temel matrisleri ortaya çıkarır. Sınır şartları ve yüklerin uygulanmasından sonra tüm nodlardaki bilinmeyen yer değiştirmeler ve elemanlardaki bilinmeyen aksenal gerilmeler hesaplanabilir (Lalanne vd., 1995).

SAP2000 paket programı da analiz için her nesneyi geometrik yapıları ile uyuşan bir veya birden fazla elemana dönüştürür. Bu eleman tabanlı model hesap modeli olarak adlandırılır ve sonlu elemanlar ve düğüm noktalarını içerir. Program bölümlendirmenin hassasiyet derecesinin ayarlanması veya el ile yapılması seçeneklerini de sunar. Sonuçlar ise yine nesne tabanlı bir model üzerinde gösterilir. Modelin daha fazla eleman içermesi veya bu elemanların istasyon sayılarının artırılması sonuçtaki hassasiyeti arttıracaktır (CSI Analysis Reference Manual, 2013). Bu çalışmada incelenen egzoz kulesi program içinde 328 üç boyutlu kiriş elemanı ve 274 düğüm noktası girilerek modellenmiş yatay ve dikey çerçeve kısımları oluşturulmuştur. Daha sonra modeli oluşturan yapıya malzeme bilgileri tanımlanmış ve sınır koşulları atanmıştır. Şekil 1'de yapının ilk katı için seçilen malzeme ve profil tipi ataması yapılmış kiriş elemanları ve bağlantı noktaları (nodlar) gösterilmiştir. Sınır koşullarından biri olarak kirişlerin güverteye kaynaklı uçlarının ankastre mesnetli olduğu, bu kapsamda bu uçların doğrusal veya rotasyonel hiçbir hareket gerçekleştirilemeyeceği kabulü yapılmıştır.

Program mukavemet yeterliliği için analiz yaparken AISC 360 standartlarını kullanır. AISC - Amerika Çelik Yapı Enstitüsü, yapısal çelik tasarım topluluğuna ve inşaat sanayine hizmet vermek üzere 1921'de kurulmuş, genel merkezi Chicago'da olan kar amacı gütmeyen bir enstitüdür. Çelikle ilgili teknik ve inşaat piyasasına ilişkin; şartname ve kod geliştirilmesi, araştırma, eğitim, teknik yardım, kalite sertifikasyonu, standardizasyon ve pazar geliştirilmesi faaliyetlerinde lider olan AISC'nin amacı yapısal çeliğin kullanımını yaygınlaştırmaktır. Kesit kapasite kontrolü yapılan son kısımda kullanılan standartlara değinilecektir. Ayrıca rüzgâr yükü hesaplanırken Türk Standartları Enstitüsü'nün TS498 – Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri standartları kullanılmıştır.



Şekil 1. SAP2000 Model gösterimi - egzoz kulesi ilk kat

Bilgisayar programları hesaplamalarda ve sonuçların kontrolünde birçok yetkin özelliklerle donatılmış olsa da sonuçların yorumlanması mühendislik bilgisi ve tecrübesi gerektirir. Kullanılan programdan bağımsız olarak her yapı mühendisinin bir yapıyı ele alma sırası modelleme, hesaplama (analiz) ve boyutlandırma olacak şekilde sıralanabilir (Engin, 2011). SAP2000 içerisinde de bu sıralama geçerlidir.

3. Uygulama

3.1. Gemi hakkında genel bilgi

Geminin Adı	: Karadeniz Powership Osman Khan
Gemi Sahibi	: Karadeniz Holding
Tekne Numarası	: 1268
Bayrak	: Liberia
Kayıtlı Olduğu Liman	: Monrovia
Çağrı Adı	: ELXS8
IMO Numarası	: 9189158
Kızağa Yatırma Tarihi	: 1999
İnşa Yılı	: 2000
Gemi Tipi	: Enerji Gemisi
Klas	: Bureau Veritas
Klas Numarası	: 28629V
Tam Boy	: 300 metre
Dikmeler Arası Boy	: 288,5 metre
Kalıp Genişliği	: 50 metre
Kalıp Derinliği	: 23,9 metre



Şekil 2. Karadeniz Powership Osman Khan

3.2. Kullanılan malzemeler

Gemi bünyesinde malzeme olarak yapısal çelik kullanılmıştır. Tablo 1'de yapısal çeliğin mukavemet özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 1. Malzeme mukavemet özellikleri (Kutay, 2009)

Yapısal çelik	S235
Akma Dayanımı	235 N/mm ²
Kopma Dayanımı	365 N/mm ²
Elastisite Modülü	210 kN/mm ²

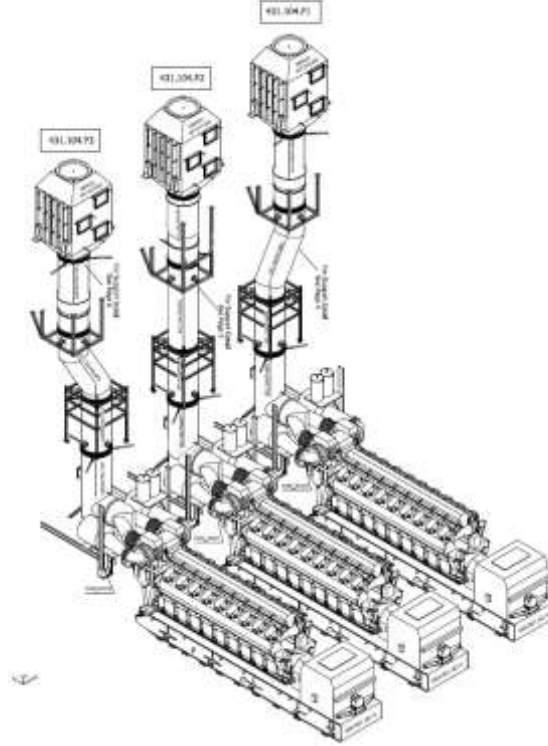
Kule yapısı tasarımında mekanik özellikleri Tablo 2'de belirtilen HEA300, HEA240, HEA200, HEA180, HEA140 ve HEA100 profilleri kullanılmıştır.

Tablo 2. Kullanılan yapı elemanlarının mukavemet özellikleri (Kutay, 2009)

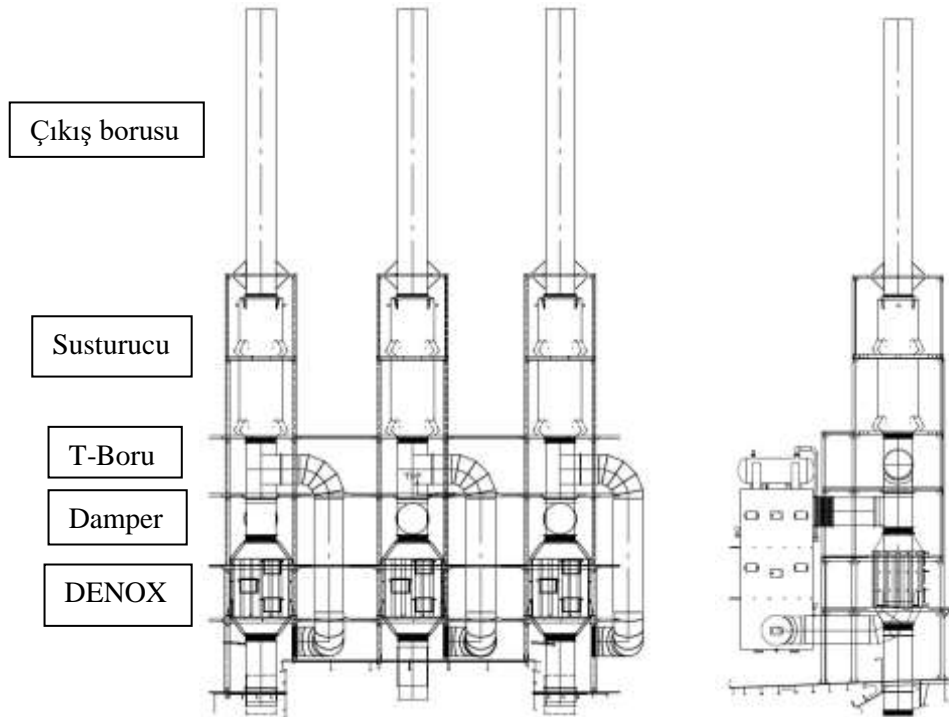
	Kesit Alanı (cm²)	Ağırlık (kg/m)	Atalet Momenti (cm⁴)	Kesit Modülü (cm³)
HEA100	16,7	16,7	349	72,8
HEA140	31,4	24,7	1030	155
HEA180	45,3	35,5	2410	294
HEA200	53,8	43,2	3690	389
HEA240	76,8	60,3	7760	675
HEA300	112	88,3	18260	1260

3.3. Taşıtlacak yükler

Egzoz hattı ana makinelerden çıkışı Şekil 3'te, egzoz kuleleri üzerindeki ekipmanların yerleşimi Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 3. Egzoz hattı ana makine çıkışı



Şekil 4. Egzoz kuleleri yerleşimi

Egzoz sisteminde kullanılan ekipmanların ağırlıkları Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Egzoz sistemi ekipman ağırlıkları

DENOX	26000 kg
Damper	3200 kg
T-Boru	860 kg
Susturucu	8500 kg
Çıkış Borusu	3325 kg

Bunların yanında kulelere etki eden rüzgâr yükü dikkate alınmıştır. Rüzgâr yükünün hesaplanmasında Türk Standartları Enstitüsü'nün TS498 – Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri standartlarından faydalanılmıştır. İlgili standarda göre her ekipmanın rüzgâra maruz kalan yüzey alanı hesaplanıp farklı rüzgâr hızları için yük hesabı yapılmıştır.

Rüzgârın esiş yönünde çarptığı yapı yüzeylerinde basınç, terk ettiği arka yüzeylerde ve yalayıp geçtiği yüzeylerde emme kuvveti oluşur. Aşağıdaki 1, 2 ve 3 numaralı denklemlerle elde edilen, W ile gösterilen bu kuvvetin birimi kN/m^2 'dir. Basınç veya emme kuvveti rüzgârın hızına ve yapının geometrisine bağlıdır (Topçu, 2017).

$$q = \frac{\rho V^2}{2g} \quad (1)$$

ρ (Hava yoğunluğu) = $1,25 \text{ kg/m}^3$, g (Yerçekimi ivmesi) = 10 m/s^2 olarak alınıp denklem düzenlenirse aşağıdaki denklem elde edilir.

$$q = \frac{V^2}{1600} \quad (2)$$

Bulunan bu rüzgâr basıncı değeri yapı yüzeyinin konumuna bağlı bir katsayı (c_p) ile çarpılarak metrekareye düşen eşdeğer statik basınç veya emme kuvveti bulunur.

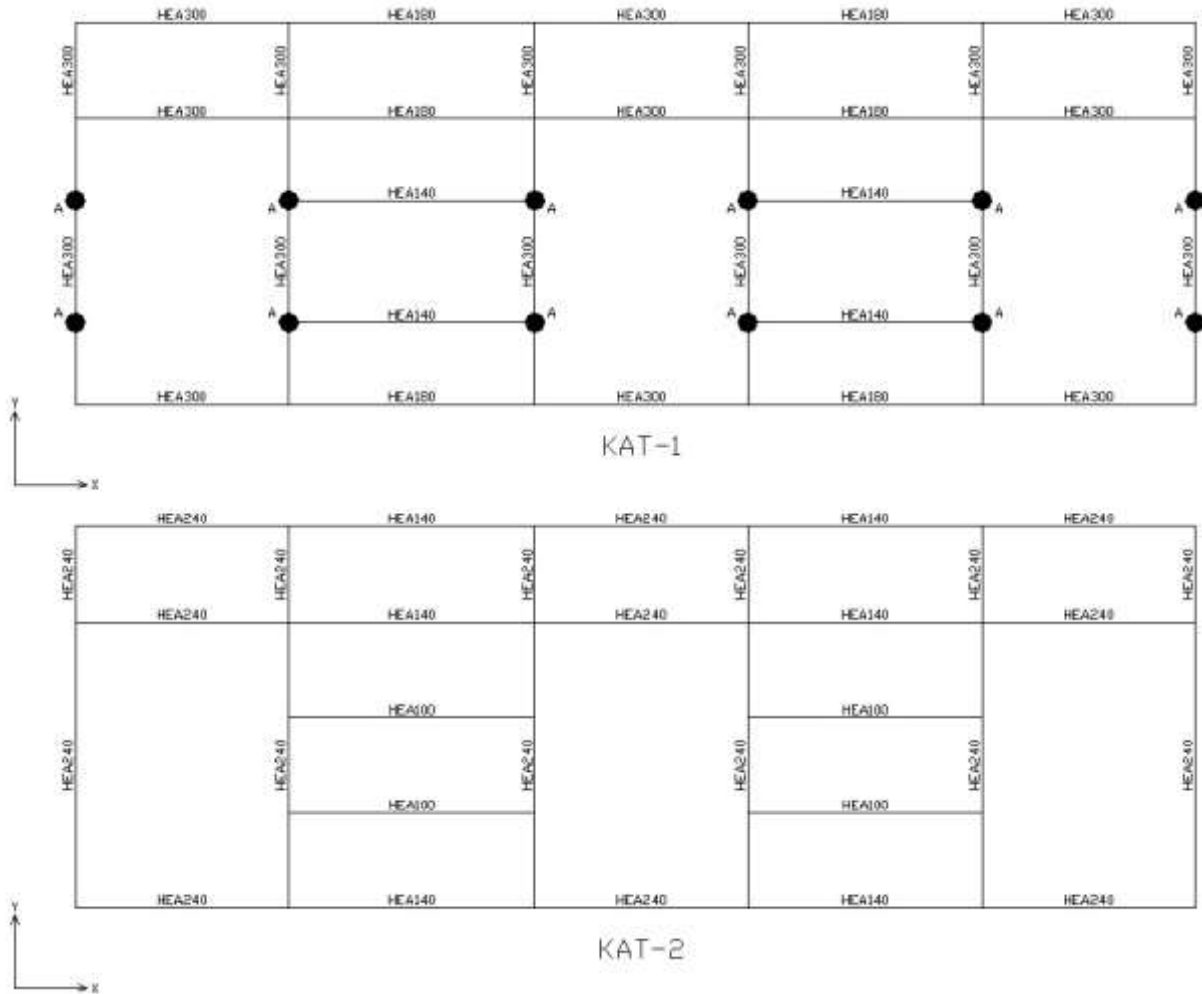
$$w = c_p q \quad (3)$$

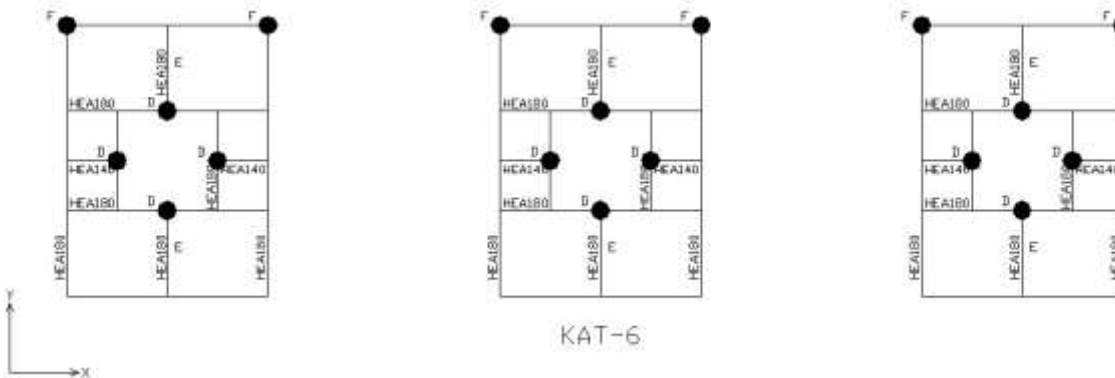
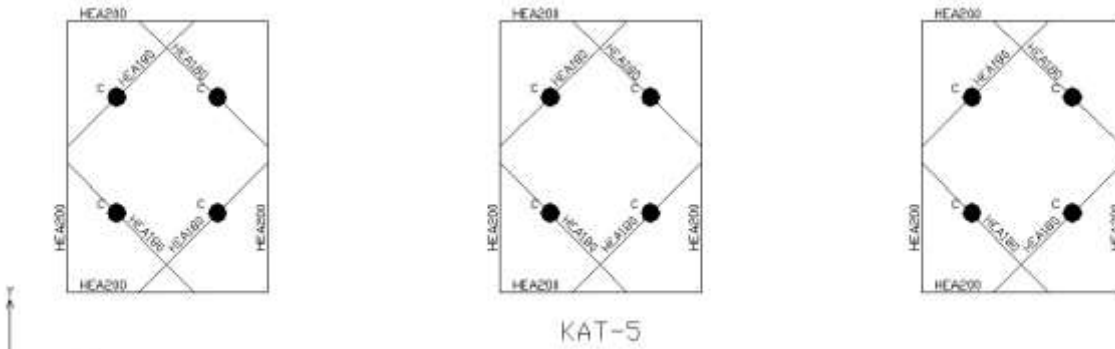
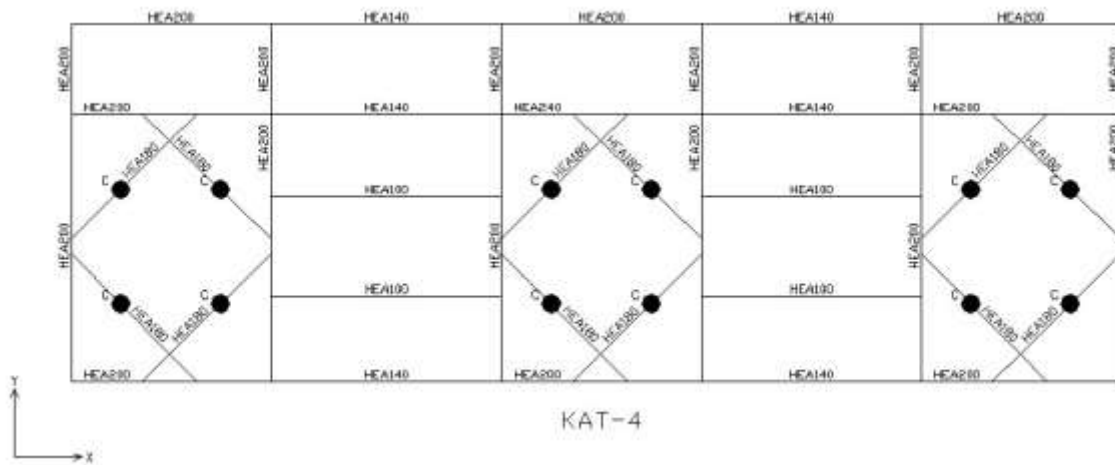
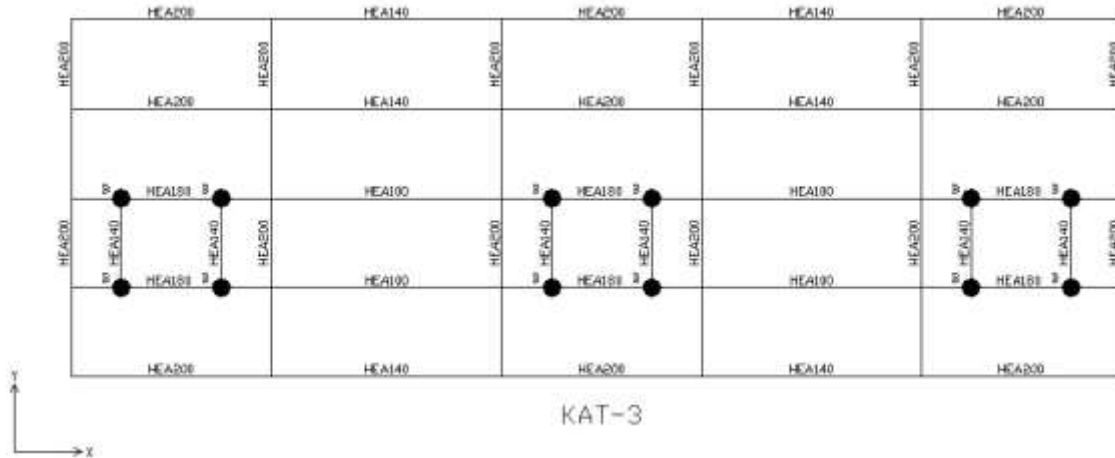
Bu c_p katsayısı normal ve kule tipi yapılar için farklılık göstermektedir. Kule tipi yapı tanımı yüksekliği plandaki eninin beş katı veya daha fazla olan yapılardır. Bu çalışmada çıkış borusu ve susturucu için kule kabulü yapılmış ve bu katsayı 1,6 olarak kabul edilmiş, diğer ekipmanlar için normal yapı kabulü yapılarak değer 1,2 olarak kullanılmıştır. Yapı tasarlanırken incelenen en büyük rüzgâr hızı 40 m/s 'dir (Weather Online, 2017). Bu rüzgâr hızı geminin servis vereceği bölgedeki meteoroloji istatistiklerine göre son yüz yılda kaydedilmiş en yüksek değerdir, bu nedenle daha büyük bir hız için hesap yapmak gerekli görülmemiştir. Yapının artan rüzgâr hızları için gerilme ve yer değiştirme eğilimlerini görmek açısından düşük hızlar için de hesaplama yapılmıştır ve bulunan değerler Tablo 4'te gösterilmiştir. Her eleman üzerindeki rüzgâr yükü ekipmanların egzoz kulesine bağlandığı noktalardan yapıya yüklenmiştir.

Tablo 4. Ekipmanlara etkiyen rüzgâr yükleri

	10 m/s	20 m/s	30 m/s	40 m/s
DENOX	880 N	3560 N	8000 N	14280 N
Damper	544 N	2160 N	4880 N	8720 N
T-Boru	511 N	2000 N	4530 N	8100 N
Susturucu	2700 N	10800 N	24200 N	43200 N
Çıkış Borusu	2475 N	9930 N	22170 N	39580 N

Egzoz kulesini oluşturan yapısal elemanlara ait ağırlık bilgisi, analizin yapıldığı yazılım içerisinde otomatik olarak hesaplanarak analize katılmıştır. Egzoz kulesinin kendi ağırlığı, ekipman yükleri ve rüzgâr dolayısıyla oluşan yükler kulenin ilgili yerlerine dağıtılarak, yükleme istasyonları oluşturulmuştur. Bu istasyonlar Şekil 5 ve 6'da, yükleme değerleri ise Tablo 5'te görülebilir.


Şekil 5. Kat 1,2 yükleme istasyonları



Şekil 6. Kat 3,4,5,6 yükleme istasyonları

Tablo 5. Yükleme istasyonları değerleri

İstasyon	Yük (N)		
	X	Y	Z
A	-	6000	-73000
B	-	2100	-3500
C	-	5500	-11000
D	-	5100	-11000
F	1000	1400	-8500

3.4. Tasarım ve sistemin oluşturulması

Genel olarak tasarım, işlevsel tasarım ve taşıyıcı sistemin tasarımı olarak iki bölümde incelenebilir. İşlevsel tasarımda kullanıma uygunluk ve mimari dikkate alınırken; taşıyıcı sistemin tasarımında ise belirlenen yükleri güvenle taşıyacak elemanların seçimi yapılmalıdır. Tasarımın adımları, planlama, ön tasarım, yüklerin saptanması, ön boyutlama, analiz (yüklerin ve sistemin modellenmesi, iç kuvvetlerin ve yer değiştirmelerin saptanması), değerlendirme (dayanım ve işletme koşullarının kontrolü; sonucun optimum tasarım kriterleriyle karşılaştırılması), gerekiyorsa yeniden tasarım ve sonuç şeklinde özetlenebilir (Kocabaş, 2009).

Program içinde ilk olarak işlevsel tasarım göz önünde bulundurularak istenilen geometrik modelin oluşturulması için kafes yapısı hazırlanır. Bu sistem hazırlandıktan sonra tanımlamalar yapılmaya başlanabilir. Bu tanımlamalar; kullanılacak malzeme, kullanılacak kesit ve profil çeşitleri, yüklenecek yükler, farklı yükleme ve analiz durumları şeklinde sıralanabilir.

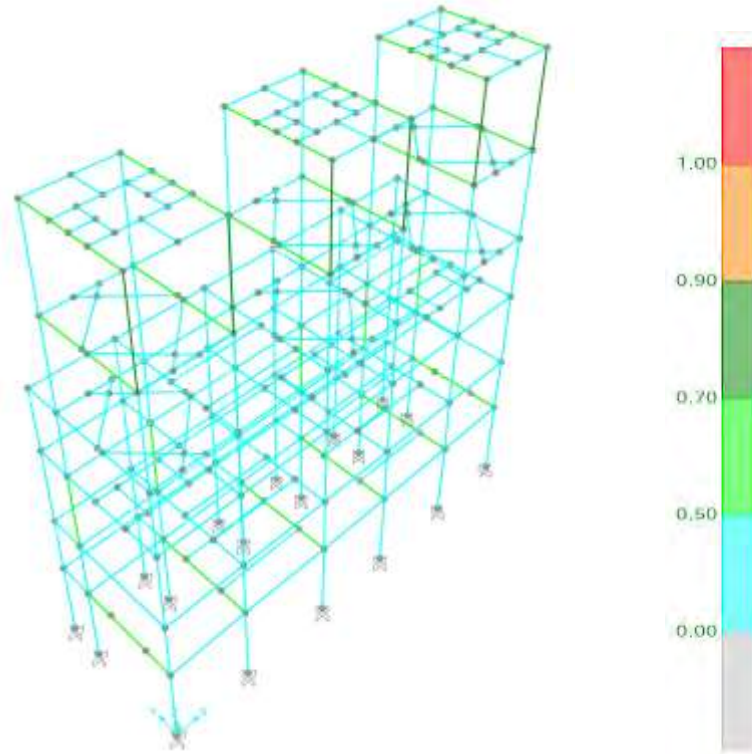
Bu tanımlamalar yapıldıktan sonra sistemin geometrik modeli çizim araç çubuğu kullanılarak oluşturulmaya başlanabilir. Oluşturulan elemanlara tanımlanan kesitler atanır, bağlantı noktaları oluşturulup bu noktalar için mesnet kabulleri yapılır. Yapının ana güverteye bağlandığı noktalarda mesnet koşulları yer değiştirmeye ve dönmeye kapalı olarak kabul edilmiştir. Diğer kesişim noktaları mafsal olarak ele alınmıştır.

Model tamamen oluşturulduktan sonra tanımlanan yükler yapılan kabullere göre noktasal veya yayılı yük olarak elemanlara atanır. Bu sistemde ekipmanların ağırlıkları yapıya montajlandıkları nokta sayısına bölünüp yukarı değere yuvarlanarak noktasal yük olarak etki ettirilmiştir. Son olarak çıkış borusu üzerindeki rüzgar yükünün yarısı borunun yapıya bağlandığı dört bağlantı noktası arasında, diğer yarısı ise bağlı olduğu çelik halatlar arasında paylaştırılmıştır.

3.5. Analiz ve iyileştirme

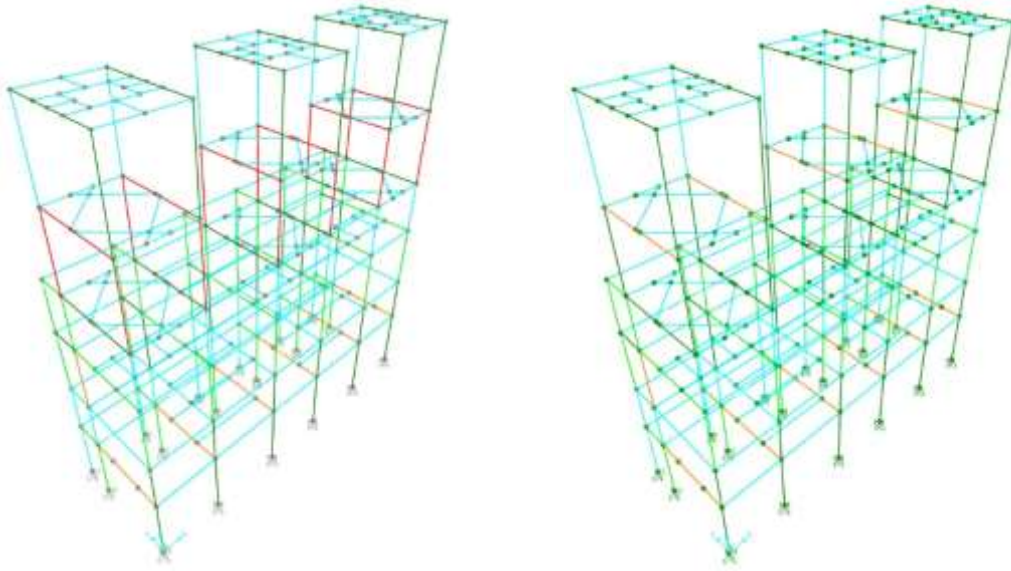
Tüm yüklemeler yapıldıktan ve bağlantı koşulları da belirlendikten sonra analiz komutu verilir. Analiz tamamlandıktan sonra yapının nasıl davranacağı, her nokta için gerilme ve yer değiştirme durumları incelenebilir. Her profildeki kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları görülebilir.

Her elemanda her yükleme durumu için eleman boyunca belli sayıdaki istasyonda kesit kontrolü yapılır. Bu istasyonlar elemanın serbest açıklığının eşit aralıklı parçalarından oluşur. Elemandaki istasyon sayısı çözümlenmeden önce kullanıcı tarafından belirtilir. Kullanıcı eleman boyunca boyutlama hesaplarını daha hassas almak üzere daha çok sayıda parça tanımlı isteyebilir (Çağdaş, 2016). AISC 360 standartları kullanılarak gerçek eleman gerilme bileşenleri ve bunlara uyumlu müsaade edilebilir gerilmeler hesaplanır. Kontroller için, yönetmelik eşitliklerine, yükleme durumlarına ve noktanın tanımına uygun olarak basınç/eğilme ve kesme gerilme oranları elde edilir. Gerilme oranının 1'den büyük olması, bir limit durumun aşıldığını gösterir. Kesit kontrolünün görsel ifadesinde renk skalasından kesit yeterliliği incelenebilir. Kırmızı ile işaretlenen yerler gerilme oranının 1'den büyük olduğu yetersiz kesitleri gösterirler. Ayrıca bu değerin 1'e yakın olduğu kritik elemanlar için Amerika Çelik Yapı Enstitüsü'nün kurallarına göre elle kontrol yapılır. Seçilen bir eleman için kapasite hesabı örneği 3.6'da verilmiştir.



Şekil 7. Model 1 kesit kontrol görüntüsü

Bu sistemde ilk dikmeler güverte üzerindeki ekipmanlara göre atılmış, taşıtılacak egzoz boruları ve ekipmanlar için boşluklar bırakılmıştır. Üst seviyelere çıkıldıkça daha küçük kesitli profiller kullanılmaya çalışılmıştır. Destekleyici ara bağlantılar için yine daha küçük kesitli profiller seçilmiştir. Sistem rüzgâr hızının 10, 20, 30 ve 40 (m/s) olduğu durumlar için incelenmiştir. Şekil 7'de rüzgâr hızının 40 m/s olduğu durum için kesit kontrolü görülmektedir. Görüleceği üzere çoğu eleman taşıyabilecekleri kapasitenin çok altında boyutlandırılmıştır. İteratif olarak yapılan düzeltmelerle iki model daha oluşturulmuştur. Üçüncü modelde 1 sınırının üzerine geçen kısımlar için bir düzeltme daha yapılarak son hale ulaşılmıştır. Şekil 8'de rüzgâr hızının 40 m/s olduğu durum için düzeltilen model 3'e ait kesit kontrol görüntüleri incelenebilir.

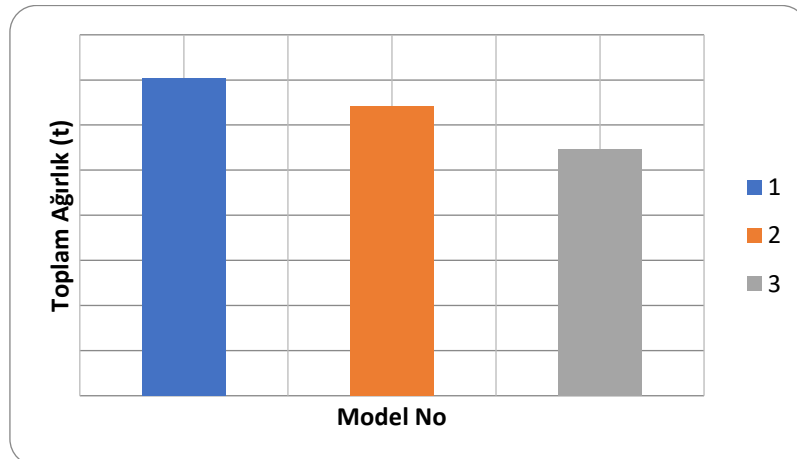


Şekil 8. Düzeltilen model 3 kesit kontrol görüntüleri

Yapılan düzeltmelerle yaklaşık 15,8 ton azaltma yapılarak ilk yapıya göre %22 daha hafif bir yapı oluşturulmuştur. Sekiz ambar için yaklaşık 126 ton ağırlıktan tasarruf edilmiştir. Her modelde kullanılan farklı tipteki profillerin sayısı ve modellerin toplam ağırlığı Tablo 6 ve Şekil 9'da görülebilir.

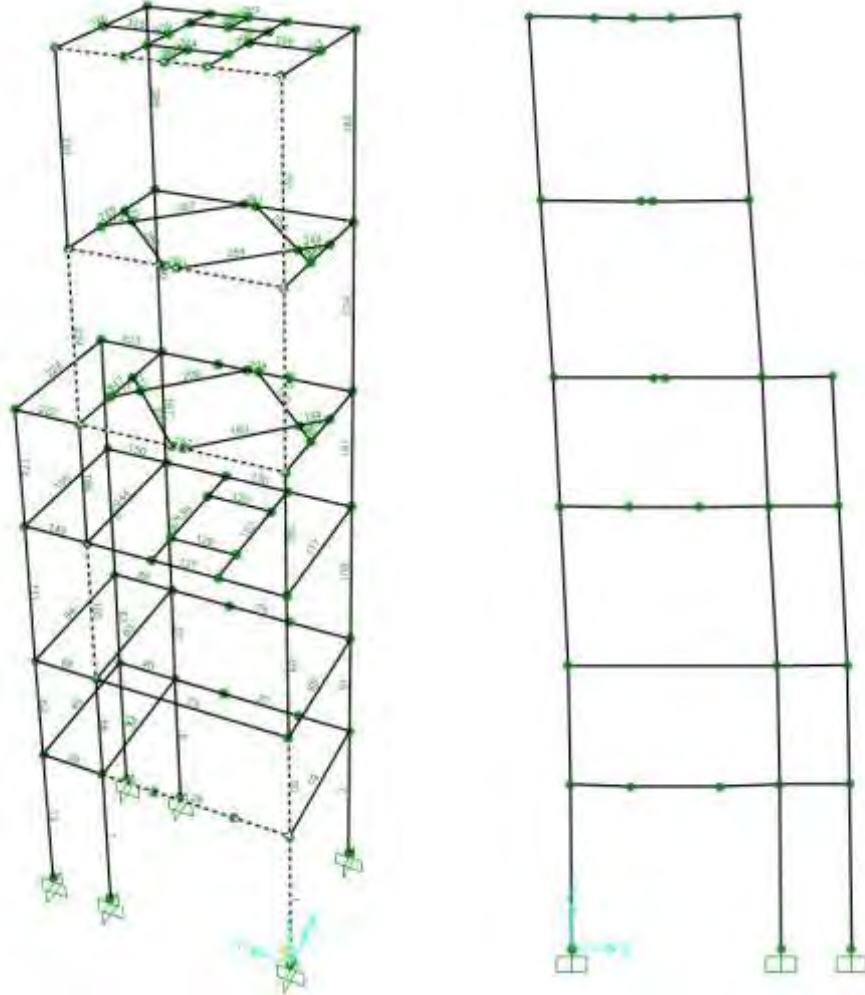
Tablo 6. Model ağırlıkları ve kullanılan profil sayıları

	Model 1	Model 2	Model 3
HEA100	-	-	12
HEA140	16	28	39
HEA180	83	119	97
HEA200	-	-	102
HEA240	151	142	38
HEA300	78	39	40
Toplam Ağırlık (t)	70,4	64,1	54,6



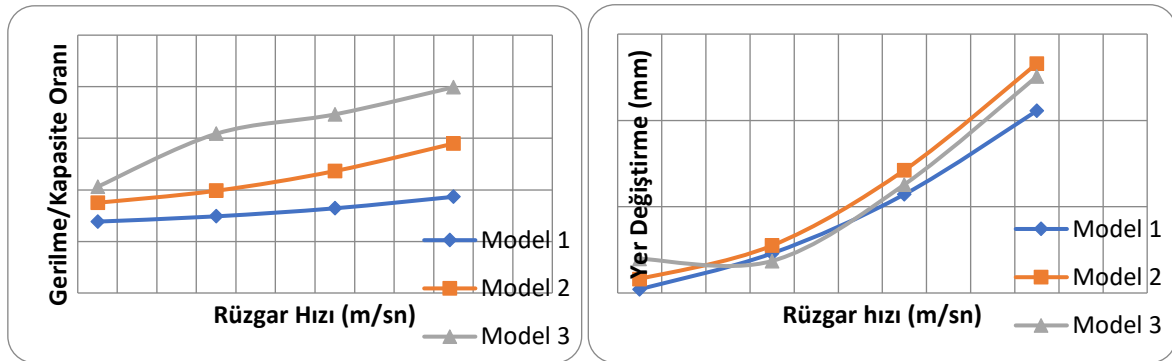
Şekil 9. Model ağırlıkları

Farklı rüzgâr hızları için yapılan analizler boyunca en çok yüklemeye maruz kalan kritik elemanların gerilme kapasite oranları ve uç noktadaki yer değiştirmeleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Şekil 10'da yapının deforme hali ve seçilen kritik elemanlar gözlemlenebilir.



Şekil 10. En çok gerilme taşıyan elemanlar ve yapının deforme hali

Elemanlardaki gerilmeler ve uçlardaki yer değiştirmeler artan rüzgâr yüklerinde artma eğilimi göstermektedir. Şekil 11'de model 3'e ait 50 numaralı eleman örnek olarak incelenmiştir.



Şekil 11. 50 numaralı eleman için gerilme oranı ve yer değiştirme değerleri

Bir yapının ağırlığı maliyetinin önemli bir kısmını oluşturmakla beraber, minimum ağırlık tasarımı her zaman minimum maliyet tasarımı anlamına gelmeyebilir. Kullanılan malzemenin kalitesine göre daha hafif olan malzeme daha maliyetli olabilir. Yapısal iyileştirme son yıllar içinde yaygın olarak ele alınmış ve çelik iskeletlerin optimal tasarımı alanında yoğun çalışmalar yapılmıştır; ancak mühendisler optimal maliyetlere ulaşabilmeleri hususunda çok fazla araca sahip olmadıklarından, bu çalışmaların çoğu ağırlık minimizasyonu üzerine odaklanmıştır (Hojjat, 2006). Maliyet açısından tersane malzeme stoğu, çalışılan tedarikçiler ve malzemelerin nakledilmesi önemli parametrelerdir.

Bu çalışmada hedeflenen emniyetli kısımda kalarak en hafif yapının oluşturmasıdır. Ancak bu tasarımdaki tek kriter olmayabilir. Egzoz sisteminin tedarikçisi tarafından ortaya koyulan kriterlere de uyulmalıdır. Bunlardan biri sistemin geminin 3 dereceden fazla meyil yaptığı durumlarda çalışmaya elverişli olmamasıdır. Bu kriter stabilite kısmı tarafından ayrıca incelenir, bu açıdan yapının geminin ağırlık merkezini fazla yukarıya çekmesinden kaçınılmalıdır. Ayrıca kabul edilen standartlar göz önünde bulundurularak yer değiştirme değerleri de kontrol edilmelidir. Sistem son haliyle ortaya koyulan şartları sağlamaktadır.

3.6. AISC 360'a göre kesit kontrolü

Son modele ait 281 numaralı eleman için programın matematiksel çalışma prensibinin gösterilmesi açısından kontrol yapılmıştır.

Eksenel kuvvet ve eğilme etkisi altındaki elemanlar için tasarım;

$$(a) \frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \text{ ise; } \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (4)$$

$$(b) \frac{P_r}{P_c} < 0.2 \text{ ise; } \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (5)$$

Eksenel kuvvet için;

$$\text{Eylemsizlik yarıçapı: } r_g^2 = \frac{I}{A} = \frac{2510}{45,3} = 55,4 \quad r_g = 7,4 \text{ cm} \quad (6)$$

$$\text{Efektif uzunluk: } \frac{KL}{r} = \frac{1 \times 5185}{74} = 70 \quad (7)$$

$$(a) \frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise; } F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y \quad (8)$$

$$(b) \frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise; } F_{cr} = 0,877 F_e \quad (9)$$

$$\text{Elastik burkulma gerilmesi: } F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r} \right)^2} = \frac{\pi^2 \times 210}{70^2} = 0,423 \text{ GPa} \quad (10)$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{210}{0,235}} = 140,8 > 70; \quad F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y = \left[0,658 \frac{0,235}{0,423} \right] 0,235 = 0,186 \text{ GPa}$$

$$P_c = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{F_{cr} A_g}{\Omega} = \frac{0,186 \times 4500}{1,67} = 501,2 \text{ kN} \quad (11)$$

Eğilme etkisi için;

$$M_{cx} = \frac{M_n}{\Omega} = \frac{F_y Z_x}{\Omega} = \frac{0,235 \times 303612}{1,67} = 42723,8 \text{ kN.mm} \quad (12)$$

$$M_{cy} = \frac{M_n}{\Omega} = \frac{F_y Z_y}{\Omega} = \frac{0,235 \times 147765}{1,67} = 20793,3 \text{ kN.mm} \quad (13)$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{17,07}{501,2} = 0,034 < 0,2;$$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = \frac{17,07}{2 \times 501,2} + \left(\frac{26086}{42723,8} + \frac{596}{20793,3} \right) = 0,017 + (0,62 + 0,029) = 0,67 \leq 1,0$$

Kesme kuvveti için tasarım;

$$V_n = 0,6 F_y A_w C_v = 0,6 \times 0,235 \times 1026 \times 1 = 144,6 \text{ kN} \quad (14)$$

$$\frac{8,81}{144,6} = 0,061 \leq 1,0$$

Yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değerlerin kritik 1 değerinin altında olduğu gösterilmiştir, ayrıca bu değerler (0,67 ve 0,061) Şekil 12'de işaretli olarak gösterilen programdan gelen değerlere (0,78 ve 0,091) yakınlık göstermektedir.

Steel Stress Check Information (AISC-ASD89)

Frame ID	281	Analysis Section	HEA180
Design Code	AISC-ASD89	Design Section	HEA180

COMBO ID	STATION LOC	MOMENT RATIO	INTERACTION CHECK	MAJ-SHR RATIO	MIN-SHR RATIO
G+E+Q+0.5	0,00	0,270 (C)	= 0,049 + 0,157 + 0,064	0,031	0,001
G+E+Q+0.5	2,59	0,104 (C)	= 0,046 + 0,044 + 0,014	0,031	0,001
G+E+Q+0.5	5,19	0,323 (C)	= 0,043 + 0,245 + 0,035	0,031	0,001
KRAL	0,00	0,649 (C)	= 0,070 + 0,515 + 0,064	0,091	0,001
KRAL	2,59	0,166 (C)	= 0,067 + 0,085 + 0,014	0,091	0,001
KRAL	5,19	0,785 (C)	= 0,064 + 0,686 + 0,035	0,091	0,001

Modify/Show Overwrites	Display Details for Selected Item	Display Complete Details
Overwrites	Details	Tabular Data

Stylesheet: Default
Table Format File

Strength Deflection

Şekil 12. Program gerilme kontrol bilgisi

4. Sonuç ve öneriler

Bir yapıyı en iyi şekilde tasarlamak ya da tasarlanmış bir yapıyı okuyarak optimize etmek öncelikle o sisteme, oluşum aşamasında veya sonrasında, etki eden bütün parametrelerin ve bu parametreler için ne şekilde kabuller yapıldığının çok iyi bilinmesine dayanır. Bu parametreler; ağırlık, rüzgâr, deprem, sürekli dinamik etkiler (titreşim, dalga vs.) ve sıcaklık değişimleri gibi dış etkiler olabildiği gibi, dış ortam koşullarına uyum, dayanım gereksinimleri (gerilme, stabilite), kurma, sökme ve bakım gereksinimleri gibi malzeme özellikleri olabilir. Bunun yanında uygulanan şartnameler, parametreler ve konstrüktif koşullar deneyim birikimi ile birlikte dikkate alınmalıdır. Sistem oluşturulurken kullanılacak programların, yöntemlerin kapsamları iyi bilinmeli, sistemin yapılabiliği ve doğa davranışı uyumu gözetilmelidir. Bu gibi faktörlerin ne kadar çoğu yapılan hesaplamaların içine katılabilirse oluşturulan model o denli gerçekçi olarak incelenip sağlıklı hesaplar yapılabilir. Bu çalışmada elde olan bilgiler ve bilgisayar yazılımı kullanılarak sistemin uygun şekilde çalışabileceği güvenli bir yapı en hafif şekilde oluşturulmaya çalışılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan doküman ve verilerin paylaşımına müsaade eden ve tecrübelerini paylaşan Karadeniz Holding ve SEFT Gemi Tasarım firmalarına teşekkürlerimizi sunarız. Ayrıca çalışma boyunca destek ve önerilerini esirgemeyen Y. Doç. Dr. Özgür DEMİR'e teşekkürü borç biliriz.

Kaynakça

- American Institute of Steel Construction (AISC). (2010). "Specification for Structural Steel Buildings".
- Cashman, R. M., (1962). "Design of Marine Foundations", The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 723.
- Cook, R.D., Malkus, D.S., Plesha, M.E., (1989). "Concepts and Applications of Finite Element Analysis". Madison, Wisconsin.
- Computers & Structures, Inc. (CSI) (2013). "Analysis Reference Manual", Berkeley, California.
- Çağdaş, M., (2016). "Uygulamalı SAP2000: Yapı Sistemlerinin Modellenmesi", İstanbul Gelişim Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Engin, G., (2011), "SAP2000 Yazılımı Temel Eğitim Notları-1".
<https://tr.scribd.com/document/59249458/46718723-SAP2000v10-BASLARKEN>, Eylül 2017.
- Hamrit, F., Necib, B., Driss, Z., (2015). "Analysis of Mechanical Structures Using Beam Finite Element Method", International Journal of Mechanics and Applications, 1.
- Hojjat, A., Kamal, C.S., (2006). "Cost Optimization of Structures", England: John Wiley & Sons.
- Kocabaş, S., (2009). "Çelik Yapıların SAP2000 Programı ile Analiz ve Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Kutay, M.G., (2009). "Malzemenin Mukavemet Değerleri". Mukavemet ve Malzeme ders notları.
(<http://www.guven-kutay.ch/>)

- Lalanne, M., Berthier, P., Hagobian, J., (1995). *Mécanique des vibrations linéaires*”, MASSON Edition.
- Orhan, O., (2014). “Su Üstü Savaş Gemilerine Ait Savaş Sistemi Temellerinin Yapısal Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Topçu, A., (2017). “Betonarme II Ders Notları”, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/betonarme2.htm.
- TSE 498, (1987). “Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri”, TSE, Ankara.
- Türk Loydu, (2018). “Tekne Yapım Kuralları”, Kısım 1, Bölüm 19 Makina Montajı, B Motor Temelleri.
- Zhang, J., Li, H., Zhao, Y., Ren, G., (2017). “An ontology-based approach supporting holistic structural design with the consideration of safety, environmental impact and cost”, *Advances in Engineering Software*, 115, 26-39.
- <http://www.guven-kutay.ch/mukavemet/05-2-mukavemet-degerleri.pdf>, Eylül 2017.
- <https://tr.scribd.com/document/59249458/46718723-SAP2000v10-BASLARKEN>, Eylül 2017.
- <https://www.csiamerica.com/products/sap2000> [Online] [Erişim 10.01.2017]
- <http://www.weatheronline.co.uk> [Online] [Erişim 10.01.2017]
- <http://www.b2bmetal.eu/hea-sections-specification> [Online] [Erişim 01.12.2017]
- <https://global.ihs.com/standards.cfm?publisher=AISC> [Online] [Erişim 05.01.2018]