

Çok Fonksiyonlu Paralel Geçit Merdiveni Tasarımı, Analizi ve Üretimi

Yavuz Sümer* 

SABANCI Üniversitesi
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
Mekatronik Mühendisliği Programı
İstanbul

Bekir Bediz 

SABANCI Üniversitesi
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
Mekatronik Mühendisliği Programı
İstanbul

Makale Bilgisi:

Araştırma Makalesi

Gönderilme: 28-08-2020

Kabul: 03-10-2020

*Sorumlu Yazar: Yavuz Sümer

Email: yavuzsumer@sabanciuniv.edu

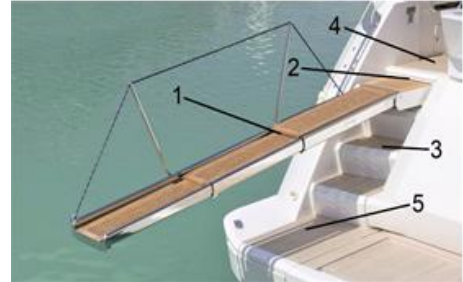
Deniz ve hava araçlarında yolcuların transferini sağlamak için geçici köprü sistemi olan geçit merdivenleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada fonksiyonel paralel geçit merdiveni tasarımı, analizi ve üretimi yapılarak deniz aracına monte edilmiştir. Bu tasarım sayesinde, geleneksel geçit merdivenlerinin fonksiyonelliğinin ve istiflenmiş verimliliğinin artırılması sağlanarak nispeten daha uzun geçit merdivenleri elde edilmiş ve yer kısıntısı olan yatlara uygulanması kolaylaştırılmıştır. Tasarım aşamasında, öncelikle sistemin çubuk mekanizmaları ile kavramsal tasarımı tamamlanmıştır. Ardından 3B modellemenin gerçekleşmesi adına tasarım parametrelerini kolaylıkla elde edebilmek için analitik olarak kinematik analizi yapılmış ve hareket denklemleri MATLAB yardımı ile çözülmüştür. Elde edilen verilere göre sistemin 3B tasarımı bilgisayar destekli tasarım (CAD) programı SolidWorks ile ilgili kurallar (DNVGL-ST-0358) ve uygulanan yatın tasarım limitleri dikkate alınarak modellenmiştir. Modelin statik analizi sonlu elemanlar analizi ANSYS Workbench programı kullanılarak sağlanmıştır. Kompleks tasarımlarda sistemi hareket ettiren eyleyiciler için gerekli kuvvetin hassas bir şekilde hesaplanmasındaki zorluklar nedeni ile ANSYS Katı Cisimler Dinamiği modülü kullanılmış, kuvvet ve kinematik analiz sonuçlarına göre uygun hidrolik pistonlar seçilmiştir. Aynı zamanda analitik olarak elde edilen kinematik analiz sonuçları ANSYS ile doğrulanmıştır. Tasarım isterlerine göre nihai tasarımı yapılan geçit merdiveni üretilmiş ve yata uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: geçit merdiveni, paralel mekanizma, sonlu elemanlar analizi, kinematik ve kuvvet analizleri

GİRİŞ

Geçit merdiveni deniz ve hava araçlarında yolcuların araç ile kara arasında güvenli bir şekilde transferini sağlayan genellikle hareketli geçici köprü sistemleridir. Çeşitleri kullanım alanlarına (yat, kargo, tanker vb.), işlevselliğine (katlanır, teleskopik, döner ve sabit), malzemesine (ahşap, alüminyum, çelik, kompozit vb.) ve montaj tipine (iç ve dış) göre değişmekle beraber bu çalışmanın uygulama alanı olan yatlarda genellikle estetik görünümün sağlanabilmesi adına dahili olarak monte edilen ve teleskopik açılabilen kompakt geçit merdivenleri tercih edilmektedir (Şekil 5). Şekilde gösterildiği üzere teleskopik kasetlerden (1 numaralı) oluşan sistem üst güverte (4) ile yüzme platformu (5) arasında geçişi sağlayan sabit merdivenin (3) üst basamaktaki (2) boşluktan teknenin gövdesine doğru açılan boşluğa kasalı kutu halinde monte edilerek ve sistemi ileri-geri hareketini sağlayan mekanizma ile birlikte monte edilmektedir. Teknenin karakteristiğine bağlı nispeten daha uzun geçit merdivenleri gerektiğinde teleskopik

kademelerin sayısının ve uzunluğunun artırılması ve sistemi açıp-kapanan eyleyicilerin bu boşlukta yer alması bu tipteki geçit merdivenlerinin yer kısıntısı olan teknelerde kullanımını zorlaştırmaktadır.



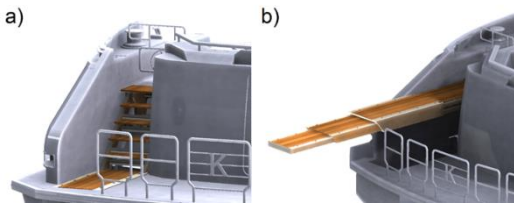
Şekil 1. Geleneksel geçit merdiveni [1]

Literatürde Grimaldi [2] manuel taşınabilir tipte, Besenzoni [3] teleskopik açılan ve harici monte edilen tipte, Franceschi ve arkadaşları [4] teleskopik dahili monte edilen ve gizlenebilen tipte, Sacco [5]

teleskopik açılan döner ve gizlenebilir tipte geçit merdiveni geliştirmiştir. Ancak bu tasarımlar estetik açıdan [2,3] ve montaj koşullarından [4,5] dolayı yeterli saklama kapasitesine sahip olmayan yatlar için uygun değildir.

Literatürde geliştirilen geçit merdiveni tasarımlarında sıklıkla kinematik, kuvvet ve statik analiz yöntemleri uygulanmıştır. Salzmann [6] hareket dengelemeli paralel geçit merdiveni sisteminde ve Yu [7] çalışmasında geçit merdivenin ucu ile iskele arasındaki teması dengelemek için kinematik, kuvvet ve statik analiz uygulamıştır. Stüberg ve Amundsen [8] geçit merdivenin bağıl hareketini azaltıcı kontrol sisteminde, Li ve arkadaşları [9] hareketli iki deniz yapısını bağlayan geçit merdiveni sistemi için kinematik analiz uygulamıştır. Son olarak, Genç [10] dört kademeli teleskopik geçit merdiveni için, Yunus [11] taşınabilir geçit merdiveni için ve Kumar [12] iskele geçit merdiveni için statik analiz uygulamıştır.

Bu çalışmada yatlarda kullanılan kasalı (dahili monte edilen) tipteki geçit merdivenlerinin istiflenmiş verimliliğinin ve fonksiyonelliğinin artırılarak, tekne gövdesinde depolama için yer problemi olan yatlara uygulanması üzerine yattaki estetik tasarımı koruyan fonksiyonel paralel geçit merdiveni mekanizması geliştirilmiştir (Şekil). Geçit merdiveni, Şekil .a'da gösterildiği üzere, tekne seyir halinde iken yani yolcuların kara ile transferini sağlamak için kullanılmadığı durumda güverteler arası geçişi sağlayan merdiven görevi de görmektedir. Teleskopik kasetler merdivenin uç noktasına eklenmiştir. Bu pozisyonda kasetler teknenin yüzme platformunda açılan boşlukta güverte ile üst yüzeyleri çakışık olacak şekilde geçit merdivenini gizlemek için konumlandırılmıştır. Paralel 4-çubuk mekanizması sayesinde geçit merdiveni, Şekil .b'de tamamen açılmış pozisyonda gösterildiği üzere, yolcuların karaya güvenli bir şekilde transferini sağlamak adına geçici köprü sistemi oluşturmaktadır.



Şekil 6. Fonksiyonel paralel geçit merdiveni

Geliştirilen mekanizma sayesinde geçit merdiveni kara ile transfer amaçlı kullanılmadığı durumlarda güverteler arası geçişi üstlenerek fonksiyonellik kazanmıştır. Ayrıca eski tipteki sistemlerde olduğu gibi kutu halinde teknenin gövdesi içerisinde sınırlanmadığından dolayı yer problemi olan teknelere uygulanmasını kolaylaştırmıştır.

Üstelik teleskopik kasetler merdivenin uç noktasından uzamaya başladığı için (geleneksel tipte daha geride, sabit merdivenin üst basamak noktasında) ve sistemi açıp/kapatan eyleyicilerin de yüzme platformunda konumlanan teleskopik kasetler içinde yer almasından dolayı (geleneksel tipte gövde içerisinde açılan kutu şeklindeki boşlukta yer olarak ek hacim kaplamakta) nispeten daha uzun geçit merdivenleri elde edilmektedir.

TASARIM GEREKSİNİMLERİ

Geçit merdivenin tasarım süreci boyunca ilgili kurallar ve standartlar (DNVGL-ST-0358) [13] ile teknenin karakteristik özellikleri [14] dikkate alınmıştır. İlgili kurallar ve standartlara göre:

- Deniz korozyonu, deniz ekipmanlarının malzeme seçiminde önemli bir faktördür ve tasarım korozyona karşı dayanıklı olmak zorundadır.
- Teknenin pozisyonuna göre iskele (kara) ile arasında yükselti farkı olabilmektedir. Güvenli bir şekilde transferin gerçekleşmesi adına bir dönme özelliği olmalıdır ve operasyonel dönme açısı en fazla 15 derece ile sınırlandırılmıştır.
- Yolcuların güvenli bir şekilde yürüme yolunu kullanabilmesi için geçit merdivenin geçiş yolunun eni ve bu yoldaki tirabzanların (merdiven korkuluğu) yüksekliği sırasıyla en az 0.6 ve 1 metre olmalıdır.
- Normal ve acil durum koşullarında, bir kişi (120 kg) ve 3 kişi (350 kg/bir kişinin sedyede taşınma durumu) yük kapasitesinde iken, sistemin emniyet katsayısı akma dayanımı kriterine göre sırasıyla en az 1.5 ve 1.1 olmalıdır.
- Tirabzanların ayakları arasındaki mesafe 1.5 metreden fazla olmamalı ve merdivenin basamakları arasındaki mesafe en fazla 0.24 metre olmalıdır.
- Geçit merdivenin emniyet uzunluğu yani teknenin uç noktasından iskele ile olan mesafesi 1.5 metreden az olmamalıdır.

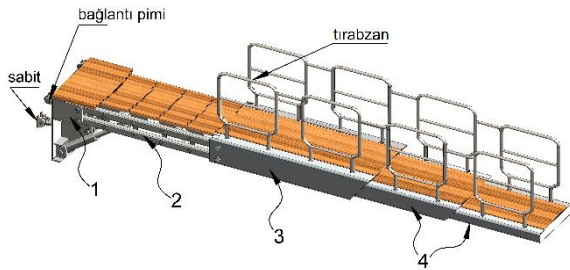
Teknenin tasarım sınırlarına ve karakteristik özelliklerine göre:

- Geçit merdivenin maksimum çalışma uzunluğu 5.6–6 metre arasında olmalıdır. (Emniyet uzunluğu dikkate alındığında geçit merdivenin başlangıç noktasının teknenin uç noktası ile olan mesafesi 4.1 metre olduğundan dolayı tam boyda minimum uzunluk 5.6 metre olarak belirlenmiştir.)
- Geminin dengesinin sağlanması adına denge hesaplarına göre geçit merdivenin ağırlığı 1 tonu geçmemelidir.

- Sistemin tamamen açılma süresi bir dakikadan fazla olmamalıdır.
- Teknedeki güverteler arası mesafe 1.2 metre ve alt güvertede açılabilir en fazla derinlik 0.6 metre olduğundan dolayı, geçit merdiveninin yüksekliği 1.8 metreden fazla olmamalıdır.
- Teknedeki sabit olan merdivenin yerine geliştirilen paralel 4-çubuk merdiven konumlandırılacağı için, geçit merdiveninin genişliği 0.9 metreyi yani geleneksel merdiven genişliğini geçmemelidir.

TASARIM

Tasarım aşamasında, bilgisayar destekli tasarım programı olan SolidWorks tercih edilmiştir. 3B tasarımın yanında, parçalar arası montaj tipleri belirlenerek mekanizmaların çalışması da kontrol edilmiştir. İlk tasarımdan son tasarıma ulaşma sürecinde imalat yöntemleri, statik ve kinematik analiz sonuçları temel alınmıştır. Şekil 7’te geliştirilen tasarımın ana parçaları gösterilmektedir. Geçit merdiveni tekneye ana parça (1) yardımıyla destek noktalarından bağlıdır. Paralel merdiven (2), sabit merdiven görevini görmekte ve ana gövde ile platformu (3) bağlamaktadır. Platform, içerisinde kasetleri (4) yataklayarak, doğrusal eyleyici ve kablo tahrik mekanizması ile teleskopik olarak açılıp kapanmasını sağlamaktadır. Son olarak, yolcuların güvenliği adına taşınabilir tirabzanlar eklenmiştir. Geçit merdiveninin mekanizmalarının ve çalışma prensibinin daha kolay anlaşılması adına öncelikle 3B tasarımı ve parçaları anlatılacaktır.

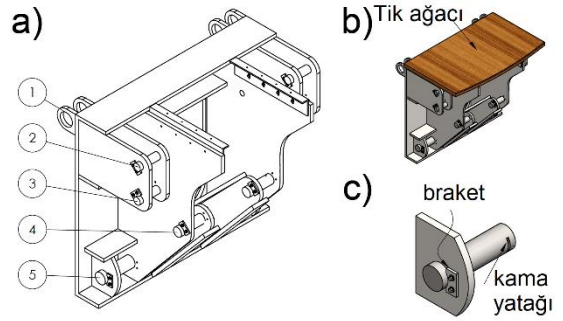


Şekil 7. Geliştirilen fonksiyonel paralel geçit merdiveni

Ana Gövde

Ana gövde geçit merdiveninin tekne ile bağlantısını sağlamakta ve güverte altında kalan boşluğa monte edilmektedir. Paralel çubuklar, bu parçaya eklenir ve ana gövde paralel merdivenin düzgün çalışmasını sağlar. Ayrıca hidrolik silindirler geçit merdiveninin aşağı ve yukarı yönde dönmesini sağlar.

Şekil 4’te gösterildiği üzere, (1) numaralı pim deliğine burç eklenerek teknedeki sabit mil ile ana gövdenin dönme bağlantılı montajı sağlanır. (2) ve (3) numaralı pimler sırasıyla paralel çubuklardan üst kolun ve alt kolun bağlantı pimleridir. Bu pimler arasındaki mesafe paralel merdiven çubuklarının diğer uçlarının bağlandığı platformdaki pimlerde de aynı şekilde korunur; böylelikle, paralel 4-çubuk mekanizması oluşturulmuş olur. (4) numaralı pim, başlangıç noktası teknede olan hidrolik eyleyicinin baş mafsalı ile bağlantı halindedir. Ana gövde (1) numaralı dönme noktasından hidrolik pistonun itme ve çekme hareketi yardımıyla dönmektedir. (5) numaralı pim ise bir diğer hidrolik eyleyicinin başlangıç noktası ile bağlantı halinde olup, bu eyleyici paralel merdiven çubuklarının (2,3) numaralı pimler etrafında dönmesini sağlamaktadır.



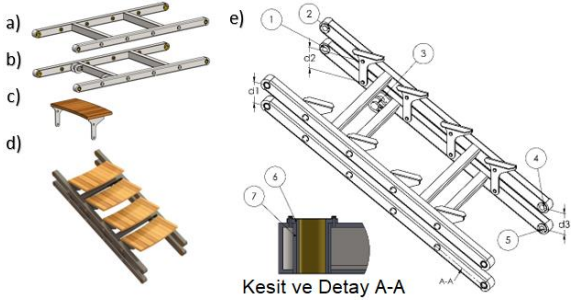
Şekil 8. Ana gövde ve parçaları

Ana gövdenin yapısı, yapısal çelik kullanılarak ve lazer kesimle elde edilen sac levhaların kaynak yolu ile birleşmesinden oluşmaktadır. Görsel açıdan yapıyı gizlemek için Şekil .b’de gösterildiği üzere tik ağacı kullanılmıştır. Paslanmaz çelik malzemeli olan pimleri sabitlemek için dikdörtgen braketler kullanılmıştır (Şekil .c). Bu bağlantının gerçekleştirilmesi için, millere kama yatağı açılmış ve braketler (dirsekler) bu boşluklara yerleştirilmiştir. Bu sayede, ana gövdeye vidalanarak sabitlenen braketler millerin dönmesini ve delikteki doğrusal hareketini kısıtlamıştır.

Paralel merdiven

Geçit merdiveninin ikinci parçası paralel merdiven kısmıdır. Şekil 7’te gösterildiği üzere üç ana parçadan meydana gelmektedir: (a) üst kol, (b) alt kol ve (c) basamaklar. Kolların yapısında paslanmaz çelik dikdörtgen kesitli profiller kullanılmış ve bu profillerdeki deliklere pirinç burçlar eklenmiştir. Üst ve alt kollar, ana gövdenin (2,3) millerine bağlanmaktadır ve her biri dört adet profilin kaynak ile birleştirilmesinden oluşmuştur. Bu kollarındaki delikler freze makinesinde hassas bir şekilde belirli aralıklarla delinmiş ve ilgili platform ve basamakların millerine bağlanmıştır. Bükülmüş sac levhadan oluşan basamaklar tik ağacı plakaları ile karşılıklı olarak birleştirilmiştir (bakınız Şekil .d).

Ana gövde kısmında da değinildiği üzere, paralel 4-çubuk mekanizmasının sağlanması adına, alt ve üst kollardaki tüm pimler veya burçlar arasındaki mesafeler sabit kalmıştır. Örneğin Şekil .e'de gösterildiği üzere, (1) ve (2) numaralı burçlar arasındaki d_1 mesafesi ile (4) ve (5) numaralı burçlar arasındaki d_3 mesafesi eşittir. (3) numaralı pim ise hidrolik silindirin baş noktasını bağlamak için eklenmiştir. Bu hidrolik silindir ileri ve geri yönde hareket ettiğinde merdiven güverte ile yatayda açı yaparak dönmektedir. Basamaktaki delikler arasındaki mesafe (d_2) de yine aynı şekilde d_1 ve d_3 mesafelerine eşittir. Sonuç olarak, merdiven açısından bağımsız bir şekilde basamaklar daima yere paralel kalmaktadır. (7) numaralı boru profiller, kollardaki deliklerin içine kaynak yolu ile eklenmiştir. Silindirik burçlar (6) bu borunun içine yerleştirilmiştir. Bu sayede, dikdörtgen kesitli profil çubukların deliklerinin mukavemeti artırılmıştır. Ayrıca, pim ve burç bağlantılarında H7-j6 mil-delik geçme toleransı uygulanmıştır. Son olarak, pimlerin uçlarına tespit halkaları eklenerek basamakların pimden çıkması önlenmiştir

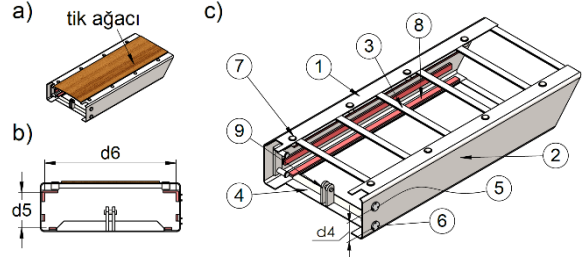


Şekil 9. Paralel merdiven ve parçaları

Platform

Platform paralel merdivenin ucuna bağlanarak geçit merdiveninin çalışması esnasında daima yere paralel kalarak teleskopik kasetlerin açılmasını ve kapanmasını sağlayan bölümdür. Platformun yapısında paslanmaz çelik saclar kullanılmış ve teleskopik kasetlerin yataklanması için de kestamid malzeme tercih edilmiştir. Şekil 'da platformun parçaları gösterilmektedir. Geçit merdiveni kullanılmadığı durumda platform teknedeki boşlukta tik ağacı yardımı ile gizlenmektedir (Şekil .a). Dış iskeleti, Şekil .c'de gösterildiği üzere, U kesitli bükülmüş sac levhalar (1,2) ile üstten T kesitli profil (3) ve alttan L kesitli profillerle (4) kaynak yardımı ile birleştirilerek kutu halini almıştır. (5) ve (6) numaralı pimler paralel merdiven çubuklarındaki (4) ve (5) numaralı burçlara bağlanmaktadır. Paralel mekanizmanın sağlanması adına pimler arasındaki d_4 mesafesi yine bu burçlar arasındaki mesafe ile eşit durumdadır. Tirabzanların ayaklarının manuel şekilde takılarak yürüme yolunda korkulukların olması için (7) numaralı silindirik yuvalar açılmıştır. (8) numaralı kırmızı renkli plakalar, temas eden kasetin liner

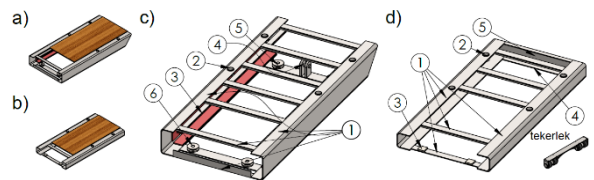
yataklanması için eklenmiştir. Bu plakalarda düşük sürtünme katsayısına ($\mu = 0.08$) ve korozyon direncine sahip olan kestamid malzemesi tercih edilmiştir. Son olarak (9) numaralı pim, teleskopik kasetleri açan/kapanan hidrolik silindirin başlangıç mafsalına bağlanmaktadır.



Şekil 10. Platform

Teleskopik Kasetler

Teleskopik kasetler platformdaki piston sayesinde kablo tahriki ile teleskobik olarak açılan ve geçit merdiveninin uzamasını sağlayan iki adet kasetten oluşmaktadır: ilk kaset (Şekil .a) ve son kaset (Şekil .b). Kasetlerin içyapısı tik ağacı ile gizlenmiştir. Şekil .c'de gösterildiği üzere, ilk kasetin iskeleti platform ile benzer şekilde oluşturulmuştur. Dış ölçüleri ise bir önceki şekilde (Şekil .b) belirtilen d_5 ve d_6 mesafelerine göre ayarlanmıştır. Ancak (2) numaralı yuva, geçit merdiveni tam boyuna ulaştığındaki ilk kasetin platformdaki konumuna göre, platformdaki yuvalar arası mesafeyi koruyarak ayarlanmıştır. Böylelikle tirabzanlar arasındaki boşluk en aza indirilmiştir. (3) numaralı yataklama sistemi benzer şekilde son kasetin yataklanması için de eklenmiştir. (4) numaralı pim ise, piston başındaki mafsalın bağlantısı için eklenmiştir. (5) ve (6) numaralı makaralar ise kasetlerin tek bir hidrolik silindir hareketi ile beraber hareketini sağlayan kablo tahrik mekanizması için eklenmiştir. Bu mekanizma ileriki bölümlerde detaylı olarak açıklanacaktır. Son kasetin (1,2) numaralı parçaları benzer şekilde olup, (3) numara hareket aktaran parçayı, (4) numara uç noktasına eklenen tekerleği ve (5) numara içyapısını gizlemek için kullanılan kapak parçasıdır (Şekil 7.d).



Şekil 11. Teleskopik kasetler

MALZEME SEÇİMİ

Malzeme seçimi yapılırken deniz suyu korozyonu direnci, aşınma, dayanıklılık, işlenebilirlik, kaynak tutma özellikleri, parlatılabilirlik gibi etmenler göz önünde bulundurulmuştur. Bunların arasında deniz ekipmanları için en önemlisi tuzlu suya olan korozyon direncidir. Çünkü korozyonun kimyasal etkileri çelik malzemenin mukavemetinin azalmasına ve pas etkisi de geçit merdiveninin görünüşü olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, DIN 1.4404 numaralı krom paslanmaz çelik, geçit merdiveninin merdiven, platform, kasetlerinde ve yüksek akma dayanımına sahip olması nedeniyle de pimlerde de kullanılmıştır. DIN 1.0044 numaralı yapısal çelik ise ana gövdede kolay kaynaklama özelliği bakımında tercih edilmiştir. RG-7 bronz malzemesi ise deniz suyuna ve aşınmaya karşı dirençli olduğundan dolayı burçlarda tercih edilmiştir. Son olarak, Kestlub® markalı kestamid malzeme lineer yataklama plakalarında ve pullarda (sürtünmeyi önlemesi bakımından eş merkezli çelik parçalar arasında kullanılan parçalar) düşük sürtünme katsayısına ($\mu = 0.08$) sahip olması nedeni ile tercih edilmiştir. Ayrıca bu malzeme korozyona ve aşınmaya karşı da oldukça dayanıklıdır. Seçilen malzemelerin özellikleri Tablo 1’de verilmiştir:

Tablo 2. Malzeme özellikleri

Malzeme	1.0044 yapısı I çelik	1.4404 paslanmaz çelik	kestamid	RG-7 pirinç
Elastisite modülü (GPa)	200	200	4	115
Poisson oranı	0.3	0.3	0.24	0.3
Yoğunluk (kg/m ³)	7850	7750	1150	8800
Kopma dayanımı (MPa)	460	600	80	300
Akma dayanımı (MPa)	250	400	80	150

MEKANİZMA

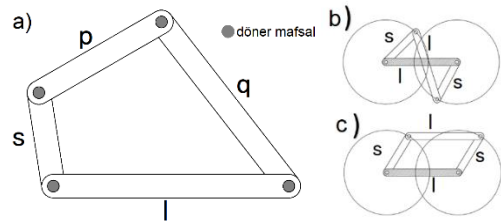
Bu bölümde geçit merdiveninin detaylı çalışma prensibi açıklanmıştır. Mekanizmalar üç ana başlıkta incelenecektir: açılış mekanizmaları I-II ve döndürme mekanizması. Başlıca, açılış mekanizması I başlangıçta merdiven formunda bulunan sistemin geçit merdivenine dönüşmesini sağlamaktadır. Açılış mekanizması II ise, bir diğer adıyla kablo tahrik mekanizması, geçit merdiveninin teleskopik olarak yalnız bir eyleyici ile açılmasını sağlamaktadır. Son

olarak, döndürme mekanizması geçit merdiveninin kara ile arasındaki yükselti farkını önlemek için geçit merdivenini kaldırarak veya indirerek açısını ayarlayan mekanizmadır. Öncelikle, mekanizmalara geçmeden önce 4-çubuk mekanizması ve paralel mekanizma açıklanacaktır:

4-çubuk mekanizması

4-çubuk mekanizması adından da anlaşıldığı üzere birbirlerine döner bağlantılarla bağlanmış dört adet uzuvdan oluşmaktadır (Şekil .a). Bir tanesi sabit olan bu mekanizmada, sabit uzva komşu olan uzuvlar tam tur dönmekte (krank) veya salınım (sarkaç) hareketi yapmaktadır. Sabit olan uzva bağlantısı olmayan son uzuv ise biyel uzvu olarak adlandırılmaktadır.

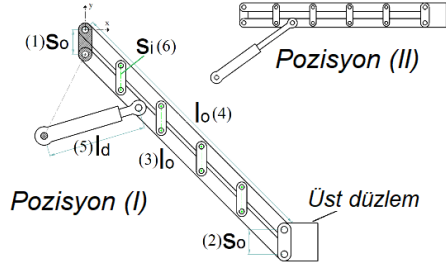
4-çubuk mekanizmasının hareket tipleri, Grashof teoremine göre uzuvların boyutları arasındaki ilişkiye bağlıdır. Şekil .a’da gösterildiği üzere: (s) en kısa uzvu, (l) en uzun uzvu ve diğerleri (p,q) ara uzunluktaki uzuvları temsil etmektedir. Kısa ve uzun kenarların toplamının diğerlerinin toplamının olan eşitliliğine ve sabit olan uzva göre ($s+l > p+q$ ve $s+l < p+q$) çift-sarkaç, çift-krank ve krank-sarkaç mekanizma tipleri oluşmaktadır. Bu eşitliğin bir özel durumu ise denklemin eşit olmasıdır ($s+l=p+q$). Bu durumda karşılıklı kenarlar eşit ise çapraz ve paralel olmak üzere (Şekil .b,c) iki çeşit çift-krank mekanizması oluşmaktadır. Ancak bu mekanizmalarda tüm çubukların aynı hizaya geldiği kritik konumlar oluşmaktadır ve bu durumda krankların dönüş yönleri belirsizdir.



Şekil 12. 4-çubuk mekanizması

Geçit merdiveni merdiveninde paralel 4-çubuk mekanizması tercih edilmiştir (Şekil). Böylece, krankın açısından bağımsız olarak merdivende paralel ve düz bir yürüyüş yolu elde edilebilecektir. Bu mekanizma başlıca iki adet eş kısa çubuk (1 ve 2 numaralı) ve iki adet eş uzun çubuktan (3,4) meydana gelmektedir. Kısa çubuk (1) sabittir ve krankların (3,4) eyleyici bağlantısı (5) ile dönmelerini sağlar. Bu hareket boyunca biyel uzuv (2) daima dikey konumda ve buna karşılık gelen parçanın (platform ve kasetler) yatay üst düzlemi daima yere paralel konumda kalır. Benzer şekilde, merdiven basamaklarını temsil eden ara çubuklar (6) da daima paralel konumda kalır.

Üstelik bu mekanizmada kritik konum eyleyicilerin dönüş açısını sınırlandırmasından dolayı gözlemlenmez. Kranklar yatay eksene paralel olduğu durumda (Pozisyon 2), sistem kilitlenir ve diğer mekanizmaların çalışma safhasına geçilir. Ayrıca, tam tur dönüş olsa dahi ara çubuklar kritik konumda krankların ters yöne dönmesini de önleyebilmektedir. 4-çubuk mekanizmasının açıklanmasından sonra geçit merdiveninin çalışma aşamalarına ve mekanizmalarına geçilmiştir.



Şekil 13. Paralel 4-çubuk mekanizmalı merdiven

Açılış Mekanizması I

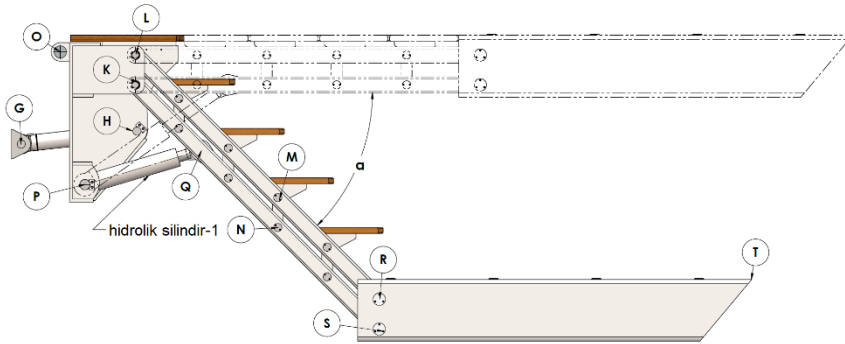
Geçit merdiveni kullanılmadığı durumlarda, örneğin tekne seyir halindeyken, güverteler arası geçişi sağlayan sabit merdiven görevi görmektedir. Böylelikle, fazladan merdiven kullanımı giderilerek ağırlık ve maliyet avantajı kazandırmıştır.

Şekil 'da geçit merdiveninin başlangıç pozisyonundaki düzlemsel mekanizması verilmiştir. Şekildeki tüm noktalar, T noktası hariç, pim bağlantılarını ve dönme noktalarını belirtmektedir. T noktası platformun uç noktasını temsil etmektedir ve bu nokta bu pozisyonda teknedeki güverte ile aynı

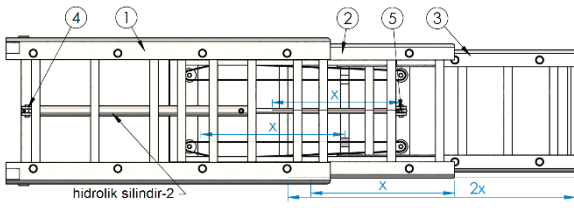
düzlemedir. G, H ve O noktalarından bağlantıları olan ve sabitlenmiş ana gövde, paralel merdiven kollarının K ve L noktaları etrafında hidrolik silindir-1 yardımıyla dönmesine izin vermektedir. Hidrolik silindirin taban ve baş mafsal noktaları sırasıyla P ve Q noktalarından bağlıdır. Bu eyleyici, paralel kolların yatayda yaptığı α açısını kontrol etmektedir. Platformun pimleri ise bu kolların uçlarına R ve S noktalarından bağlıdır. K ve L noktaları arasındaki mesafe ile R ve S noktaları arasındaki mesafe aynı olduğundan paralel 4-çubuk mekanizması oluşmaktadır. Hidrolik silindir-1 tamamen uzadığında ana gövdenin, basamakların (örneğin, M ve N noktalarından bağlı basamak) ve platformun üst düzlemleri aynı seviyeye gelmekte ve merdiven geçit merdiveni fonksiyonuna dönüşerek yolculara düz bir geçit yolu oluşturmaktadır.

Açılış Mekanizması II

Geçit merdiveninin uzaması için lineer açılma mekanizması gereklidir. Tasarımda iki adet kaset bulunmakta ve bunları açmak için iki adet ayrı hidrolik silindir kullanmak yerine, kablo tahrikli açılış silindir mekanizması geliştirilerek kasetlerin tek bir hidrolik silindir ile teleskopik olarak açılması sağlanmıştır. Şekil 'de kablo tahrik mekanizmasının platform ve teleskopik kasetlerdeki uygulanması gösterilmektedir. (1) numaralı parça geçici olarak sabitlenen platformu, (2) ve (3) ise ilk ve son kasetleri temsil etmektedir. (4) ve (5) ise hidrolik silindirin taban ve baş mafsal (sırasıyla platform ve ilk kasetteki) bağlantı noktalarını göstermektedir. Örneğin, piston x birim kadar mesafe ileri ittiğinde son kaset 2x birim mesafe ilerleyecektir. Böylece, kasetlerin birbirlerine göre eşit mesafede hareketi sağlanmıştır.



Şekil 14. Açılış mekanizması I



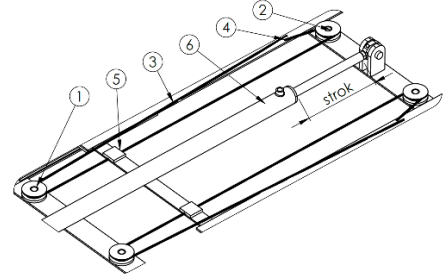
Şekil 15. Açılış mekanizması II

Kablo tahrik mekanizması Şekil 'de gösterildiği üzere, iki adet makara (1,2), bir adet çelik halat (3), bir tane sabitleme noktası (4) ve son olarak hareketi son kasete aktaran aparat (5) oluşmuştur. Makaralar ilk kasette boyuna istikamette aralarındaki mesafe pistonun maksimum strok mesafesinden (6) uzun olacak şekilde monte edilir. Makaraların çevresini dolanan çelik halatın uçları platforma sabitlenir. Son olarak, son kaset çelik halata aparat vasıtasıyla vidalanarak sabitlenir. Piston ilk kaseti hareket ettirdiğine, (5) aparat da aynı mesafede hareket ederek hareketi son kasete aktarmış olur. Bu mekanizma platformun iki yanında ve piston ortada iken uygulanarak dengeli ve düz bir doğrusal hareket sağlanmıştır.

Açılış Mekanizması III

Geçit merdiveni tamamen açıldığı durumda, geçit merdiveninin ucu ile iskele arasında yükselti farkı olabilir. Bunu önlemek için döndürme mekanizması geliştirilmiştir. Ayrıca bu mekanizma sayesinde, tekne limanda bağlı iken geçit merdiveni sürekli olarak da tam uzamış pozisyonda durabilir. Çünkü gelgit etkisiyle denizin seviyesi değişebilir ve bu durumda geçit merdiveni karaya çarparak zarar görebilir. Bu yüzden, bu çarpma problemini önlemek için geçit merdiveni kullanmadığı duruma iskeleden bir miktar yüksekte durması da sağlanır. Şekil 'de gösterildiği üzere, O noktasından dönme kabiliyetine sahip olan geçit merdiveni, tabanı G ve ucu H noktaları

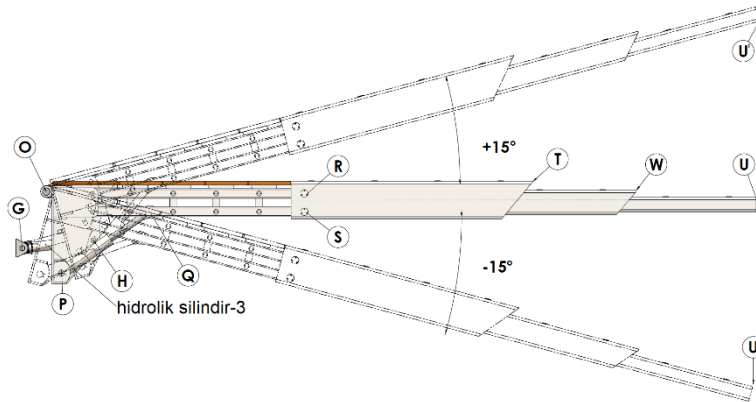
ile sırasıyla tekneye ve ana gövdeye bağlanmış hidrolik silindir-3 yardımı ile salıncak hareketi yapacak şekilde dönmektedir. Burada U noktası son kasetin uç noktasını yani geçit merdiveninin en uç noktasını temsil etmektedir. Hidrolik silindirin strok uzunluğu ile sistemin kaldırılma ve indirilme hareketi yatayla en fazla 15 derece açı ile de sınırlanmıştır.



Şekil 16. Kablo tahrik mekanizması

KİNEMATİK VE KUVVET ANALİZİ

Bu bölümde, kinematik ve kuvvet analizleri uygulanarak sistemin hareketinin analiz edilmesi ve uygun kapasitede piston seçiminin yapılması amaçlanmıştır. Kinematik analizde, analitik ve sonlu elemanlar yaklaşımı olarak iki adet metod yürütülmüştür. Öncelikle, analitik yaklaşım kullanılarak geçit merdiveninin boyutlarının belirlenmesi sağlanmıştır. Bu aşamada, çubuk uzunları, mesafeleri ve açıları değişken olarak seçilmiş ve hareket denklemleri elde edilmiştir. Buradan yola çıkarak tasarım gerekliliklerini karşılayacak şekilde sistemin 3B tasarımı yapılmıştır. Daha sonra, çok parça barındıran karmaşık sistemlerde, eyleyiciler için gerekli kuvvetlerin hassas bir şekilde bulma zorluğu nedeni ile sonlu elemanlar analizi programı olan ANSYS Workbench kullanılmıştır. Üstelik analitik olarak elde edilen sonuçlar da bu metotla doğrulanmıştır.

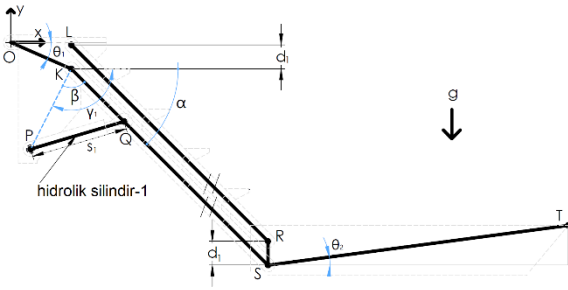


Şekil 17. Döndürme mekanizması

Analitik Metot

Bu analizde her bir mekanizma için parçalar düzlemsel olarak çizilmiş ve uzunların uzunlukları, aralarındaki mesafeler ve açıları değişken olarak ifade edilmiştir. Öncelikle, uzunların uzunlukları tercihen seçilmiş ve hareket denklemleri MATLAB yardımı ile çözülmüştür. Tasarım gerekliliklerine göre yineleme yöntemi kullanılarak 3B tasarım için gerekli tasarım parametreleri bu değişkenler yardımı ile elde edilmiştir. Her bir mekanizma için analitik yaklaşım aşağıda uygulanmıştır: Açılma hareketi I-II ve döndürme hareketi.

Açılma Hareketi I: Geçit merdiveni kullanılmadığı durumda, ilk aşamada merdiven olarak kullanılmaktaydı ve bu mekanizma için paralel 4-çubuk mekanizması geliştirilmiştir (Şekil). LR, RS ve KS çubukları paralel 4-çubuk dörtgenini (LRSK) oluşturmaktadır ve K ve L noktalarından sabit uzva (yere) eklenmiştir. Hidrolik silindir-1 (PQ) uzvu KS krankına Q noktasından bağlanmıştır noktası da bu mekanizma için geçit merdiveninin uç noktasını temsil etmekte ve uzunluğunu O noktasına göre vermektedir.



Şekil 18. Açılma hareketi I

PQ uzvu başlangıç uzunluğu l_1 ve v_1 sabit hızıyla hareket edeceği varsayıldığında hareket denklemleri s_1 cinsinden şu şekilde ifade edilir:

$$s_1 = l_1 + v_1 t_1 \quad (1)$$

KP, KQ ve PQ çubukları KPQ üçgeninin kenarlarıdır ve PQ çubuğunun karşısındaki açı β ile tanımlanmıştır. Kranklardaki açılma değişimi eyleyici strok değişimi ile bağlantılıdır. P ve K noktaları sabit olduğundan γ_1 açısı sabittir, ve β ve α açıların toplamına eşittir. Bu durumda α açısını elde etmek amacı ile kosinüs teoremi uygulanır. Çubuklar ($OK = r_1, KP = r_2, KQ = r_3, KS = r_4$ ve $ST = r_5$) şeklinde ve α açısı β cinsinden ($\alpha = \gamma_1 - \beta$) şeklinde ifade edilerek şu şekilde bulunur:

$$\alpha = \gamma_1 - \arccos\left(\frac{r_2^2 + r_3^2 - (l_1 + v_1 t_1)^2}{2r_2 r_3}\right) \quad (2)$$

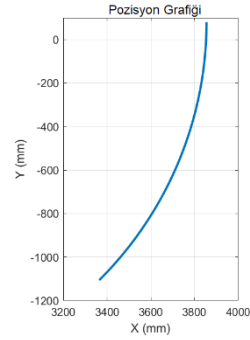
Ardından K noktasının O noktasına göre yatay ve dikey mesafeleri sırasıyla l_2 ve l_3 şeklinde ifade edilir. S noktası da bu noktaya göre KS çubuğu uzunluğu (r_4) ve α açısı cinsinden şu şekilde bulunur:

$$S(x, y) = (r_4 \cos(\alpha) + l_2, -\{r_4 \sin(\alpha) + l_3\}) \quad (3)$$

Bu keyfi olarak seçilen S noktası diğer hareketler için referans noktası olacaktır. Son olarak T noktasının konumu ST uzunluğu (r_5) ve θ_2 açısı cinsinden şu şekilde bulunur:

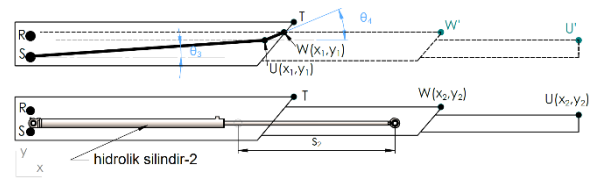
$$T(x, y) = \left(r_5 \cos(\theta_2) + l_2, -\{r_5 \sin(\theta_2) + l_3\} \right) \quad (4)$$

T noktasının konum grafiği Şekil 19'te verilmiştir. Bu eğrisel yol, 3B tasarımda kullanılmak üzere 3B tasarım programına aktarılır. Bu geometriye göre de platformun oturacağı güverte hassas bir şekilde estetik görünüm için en az boşluk kalacak şekilde kesilir.



Şekil 19. T noktasının pozisyonu

Açılma hareketi II: Geçit merdiveni tamamen paralel konuma geldiğine ($\alpha=0$), uzamaya başladığı ikinci aşamaya geçilmektedir. Bu hareketin düzlemsel mekanizması Şekil'da gösterilmiştir. U ve W noktaları ilk ve son kasetin uç noktalarını temsil etmektedir. U' noktası ise maksimum uzama sağlandığı durumdaki geçit merdiveninin uzunluğunu temsil etmektedir.



Şekil 20. Açılma hareketi II

U noktası S noktasına göre \vec{SU} vektörü ile ifade edilir ve U1 noktasının, açılma hareketi I durumundaki pozisyonu SU uzunluğu (r_6) ve θ_3 ile ifade edilir:

$$U(x_1, y_1) = \begin{pmatrix} r_6 \cos(\theta_3) + r_4 \cos(\alpha) + l_2 \\ r_6 \sin(\theta_3) - \{r_4 \sin(\alpha) + l_3\} \end{pmatrix} \quad (5)$$

Bu hareket başlangıcında U noktasının ilk konumu ise ($\alpha=0$) şu şekilde bulunur:

$$U(x_1, y_1)_{\alpha=0} = (r_6 \cos(\theta_3) + r_4 + l_2, r_6 \sin(\theta_3) - l_3) \quad (6)$$

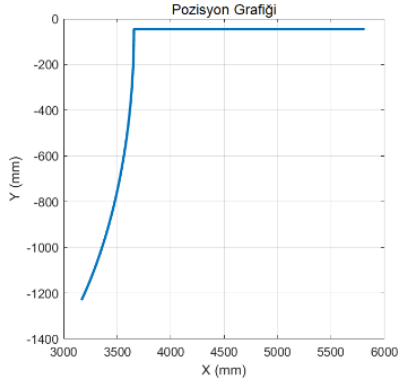
Bu konumda U noktasının O noktasına olan yatay ve dikey uzaklıkları sırasıyla l_4 ve l_5 ile tanımlanmıştır. Hidrolik silindirin x yönünde v_2 sabit hızıyla hareket ettiği varsayıldığından dolayı strok uzunluğu s_2 , t_2 süresi boyunca şu şekilde ifade edilir:

$$s_2 = v_2 t_2 \quad (7)$$

Kablo tahrik mekanizması sayesinde U noktası strok mesafesinin 2 katı yol alacaktır. U noktasının bu hareket boyunca denklemleri ilk konumuna göre şu şekilde ifade edilerek bulunur:

$$U(x_2, y_2) = (l_4 + 2v_2 t_2, l_5) \quad (8)$$

Bu denkleme göre U noktasının pozisyonu Şekil 17'de gösterilmiştir. Bu hareket ile birlikte geçit merdiveninin açılması toplam 44 saniye sürmüştür ($t_1 = 26 s, t_2 = 18 s$). Böylece bir dakikanın altında açılması gerekliliği sağlanmış olur.

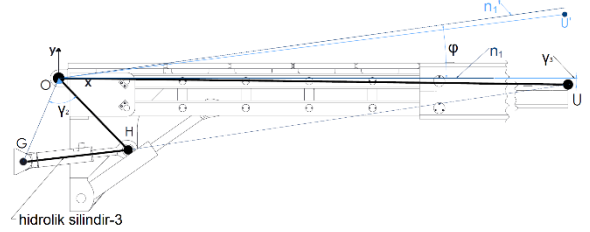


Şekil 21 U noktasının pozisyonu

Bu hareket tamamlandığında, geçit merdiveninin maksimum uzunluğu 5.81 metre olarak elde edilmektedir. Ancak bu uzunluk değerine, tasarım isterlerine göre (tüm hareket boyunca geçit merdiveninin tam boyda minimum uzunluğu en az 5.6 metre olmalıdır) bir sonraki dönme hareketinde geçit merdiveninin tam boy uzunluğu maksimum dönüş açılarında yatayda minimum değerini elde edeceğinden dolayı sıradaki hareket sonucundan yola çıkılarak ulaşılır.

Döndürme hareketi: Geçit merdiveni kaldırılarak ve indirilerek iskele ile arasındaki yükselti farkı giderilmekte ve limanda iken kullanılmadığı

durumda gelgitlerden etkilenmemek için bir miktar yukarıda bırakılmaktadır. Şekil'de döndürme hareketinin düzlemsel mekanizması gösterilmektedir. OHU üçgeni O noktasından dönme serbestliğine sahip, uç noktası U olan tüm geçit merdivenini temsil etmektedir. Sistem hidrolik silindir-3 yardımı ile H noktasından hareketle O noktası etrafında dönmektedir.



Şekil 22. Döndürme hareketi

GH değişken uzunluğu s_3 , ilk uzunluk l_6 ve v_3 sabit hızıyla aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$s_3 = l_6 + v_3 t_3 \quad (9)$$

OG, OH ve GH kenarları OGH üçgenini oluşturmaktadır ve GH çubuğunun karşısındaki açı γ_2 'dir. Bu açı aynı zamanda başlangıçtaki açısı ve dönme açısının toplamı ile de ifade edilebilir ($\gamma_2 = \theta_4 + \varphi$). Bu durumda üçgene kosinüs teoremi uygulanarak φ açısı şu şekilde bulunur ($OG = r_7, OH = r_8$):

$$\varphi = \arccos\left(\frac{r_7^2 + r_8^2 - (l_6 + v_3 t_3)^2}{2r_7 r_8}\right) - \theta_4 \quad (10)$$

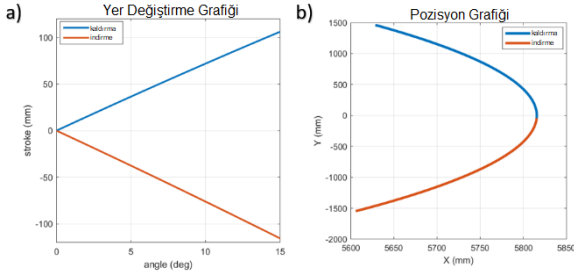
Bu denklem sayesinde geçit merdiveninin hidrolik silindirindeki strok uzunlukları belirlenir. Ayrıca geçit merdiveninin açı kontrolü strok uzunluğu değişiminden de kontrol edilebilir. U noktasının O noktasına göre konumu, OU çubuğu (r_9) ve yatayda yaptığı γ_3 açısı ($\gamma_3 = \theta_5 + \varphi$) ve paralel durumdaki başlangıç açısı ($= \theta_5$) ile ifade edilir.

$$U(x, y) = (r_9 \cos(\gamma_3), r_9 \sin(\gamma_3)) \quad (11)$$

Geçit merdiveninin açısal değişimi ve strok yer değiştirmesi arasındaki ilişkiyi ve U noktasının tüm dönme hareketi boyunca olan pozisyonunu gösteren grafik Şekil 23'da gösterilmiştir.

Geçit merdiveninin tam uzamış halde yataydaki minimum uzunluğu indirilme pozisyonunda 5.6 metre olarak bulunmuştur. Tasarım kriteri de bu sayede karşılanmış olup, geçit merdiveninin eğimi -15° açısında olduğunda iskele ile arasında oluşabilecek boşluk da önlemiş olmaktadır. Bir önceki harekette

elde edilen, geçit merdiveninin maksimum uzunluğu bu denklemdeki minimum 5.6 metre uzunluk kriteri sağlandıktan sonra elde edilmiştir.



Şekil 2. (a) Pistondaki yer değişim ile geçit merdiveni açısal değişimi, (b) U noktasının pozisyonu

Sonlu Elemanlar Metodu

Bu bölümde, analitik sonuçlardan elde edilmiş tüm değişkenlere göre 3B modeli elde edilen geçit merdiveninin pozisyon ve kuvvet analizleri ANSYS (Katı Cisimler Dinamiği modülü) programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 3B modeli SolidWorks'de elde edilen geçit merdiveni ANSYS'e aktarılmış ve mekanizmanın hareketi için parçalar arasında montaj ilişkileri tanımlanmıştır. Gerekli analiz hazırlıkları (malzeme atama, sınır koşulları atama vb.) programda tamamlandıktan sonra sonuçlar elde edilmiştir.

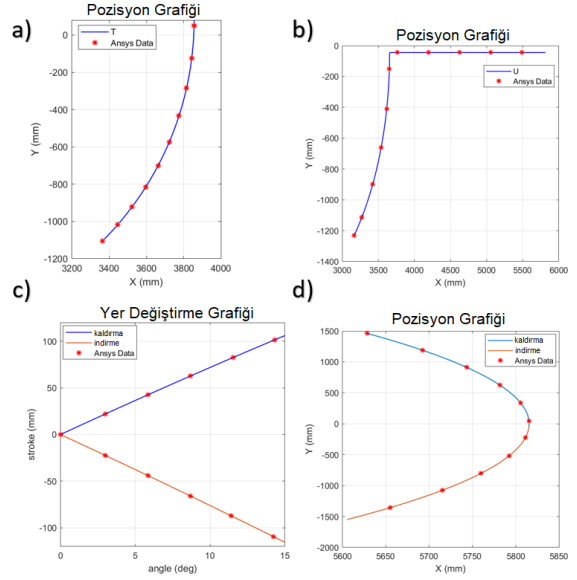
Şekil 24'de analitik metot ile elde edilen grafikler gösterilmektedir. Analitik sonuçlar çizgilerle ve ANSYS sonuçları ise kırmızı dairesel işaretlerle belirtilmektedir. Görüldüğü üzere, analitik sonuçlar ANSYS sonuçları ile uyum halindedir.

Son olarak da, eyleyicilerin seçimi için kuvvet analizleri yapılarak zamana bağlı kuvvet profilleri ortaya çıkarılmıştır. Şekil 24'de açılış I mekanizmasındaki hidrolik silindirin kuvvet grafiği verilmektedir. Hareket eden parçaların momentleri ve hidrolik silindirin açısı sürekli olarak değiştiğinden kuvvet sabit değildir. Sonuç olarak hidrolik silindir için hesaplanan kuvvet gereksinimi 24.25 kN'dur.

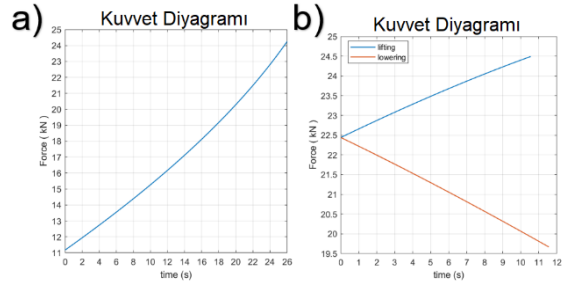
Açılış mekanizması II'deki kasetleri iten hidrolik silindir için gerekli kuvvet sabit 1.49 kN olarak bulunmuştur ve bu kuvvet hareket boyunca kasetlerin ağırlığına ve kestamid yataklar ile arasındaki sürtünme katsayısına bağlıdır.

Son olarak, döndürme mekanizmasındaki kaldırma/indirme hareketini yapan hidrolik silindirin kuvvet gereksinimi Şekil 25'de gösterilmiştir. Birincisine benzer şekilde, hareketli parçaların moment değişiminden ve piston açısının değişmesinden dolayı uygulanması gereken kuvvet

sabit değildir ve uygulanması gereken en fazla kuvvet 24.56 kN olarak bulunmuştur.



Şekil 24. (a) açılış I hareketinde T noktasının konumu; (b) açılma hareketi I ve II'deki U noktasının konumu; (c) geçit merdiveninin açısal yer değiştirmesi ve eyleyicilerin yer değiştirmesi, ve (d) geçit merdiveni kaldırma / indirme hareketinde U noktasının konumu



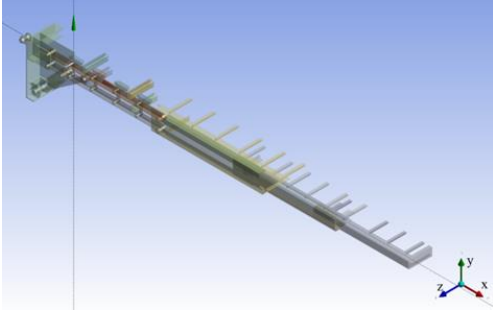
Şekil 25. Hidrolik silindirlerin (I ve III) kuvvet gereksinimi grafikleri

Pozisyon ve kuvvet analizlerine bağlı kalarak, hidrolik silindirlerin kuvvet grafikleri, strok genişlikleri ve maksimum/minimum uzunlukları elde edilerek uygun piston seçimleri yapılmıştır (Bosch Rexroth-Mill tipi).

STATİK ANALİZ

Statik analiz, parçanın ne kadar yüke dayanabildiğini, yük altında ne kadar sehim yaptığını ve tasarım gereksinimlerinde belirtilen emniyet kat sayısını karşılayıp karşılamadığını öğrenmek için uygulanmıştır. Geçit merdiveninin statik analizi ANSYS (Statik Yapısal Modülü) kullanılarak yapılmıştır. Geçit merdivenindeki maksimum gerilme tam uzadığı pozisyonda ve yük en uç noktada iken oluşacağı için bu modele göre analizler

gerçekleştirilmiştir. Hatırlatmak gerekirse, geçit merdiveni modeli simetrik şekilde tasarlanmıştır. Bu yüzden, programa aktarılan 3B model XY orta düzlemi simetri düzlemi seçilerek yarı modele dönüştürülmüştür (Şekil). Bu sınır koşulu sayesinde modelin eleman sayısı azalmaktadır; böylece, program analizi daha hızlı çözmektedir.



Şekil 26. Geçit merdiveninin yarı modeli

Daha sonra modele, seçilen malzemeler ve parçalar arası temas özellikleri atanmıştır. Devamındaki adım ise ağ modelinin oluşturulmasıdır. Son olarak, modele sınır koşulları atanmıştır. Bu durumda, iki tipte geçit merdiveni sınır koşulu vardır: ankastre ve basit mesnetli kiriş. Ancak, sınır koşulları ve yükler tasarım gereksinimlerini karşılamak adına en kötü senaryoya göre uygulanmalıdır.

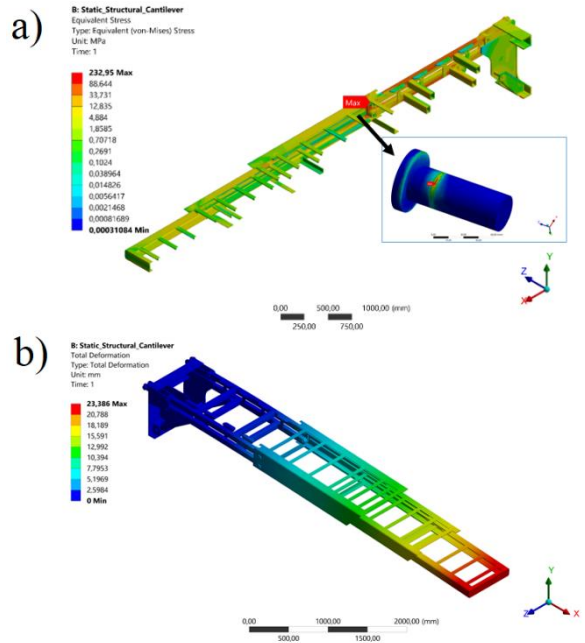
Tasarım gereksinimlerine göre, bir kişilik (120 kg) yük altında yapının emniyet katsayısı 1.5'ten büyük olmalıdır. Acil durumda kullanıldığında ise, üç kişilik (350 kg, bir kişi sedyede taşınma durumu) yük altında iken emniyet katsayısı 1.1'den büyük değildir. Maksimum gerilme konsol tipi koşulunda ve yük geçit merdiveninin uç noktasında iken oluşur. Bu yüzden, yapı bu duruma göre tasarlanmıştır. Yine de analiz basit mesnet destekli koşulu için de yinelenmiş ve bu koşulda geçit merdiveninin yük kapasitesi de hesaplanmıştır. Çünkü geçit merdiveni ucundaki tekerler vasıtasıyla iskele ile temas halinde de kullanılabilir. Her iki durumda da geçit merdiveninin kaynaklı yüzeylerine sabit destek atanmış ve simetri sınır koşulu nedeniyle yükün yarısı büyüklüğünde kuvvet (588.6 N) uygulanmıştır. Konsol tipi kullanımda geçit merdiveninin gerilme ve deformasyon sonuçları Şekil 23'te gösterildiği üzere elde edilmiştir.

Şekil 27.a'da logaritmik ölçekte geçit merdiveninin gerilme sonuçlarının dağılımı verilmiştir ve maksimum von-Mises gerilimi 232.95 MPa olarak platformda oluşmuştur. Akma dayanımına göre (von-Mises kriteri) emniyet katsayısı, paslanmaz çelik malzemenin akma dayanımı 400 MPa olduğundan, von-Mises gerilim değeri bu akma dayanımına bölünerek 1.717 olarak hesaplanır (tasarım

gereksinimi olan en az 1.5 emniyet katsayısı gereksinimini karşılamaktadır).

Şekil 27.b'de gösterildiği üzere maksimum eğilme 23.4 mm olarak bulunmuştur. Üstelik, acil durumlardaki yük altında da analizi gerçekleştirilmiş ve emniyet katsayısı 1.138 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, geçit merdiveni acil durumlarda kullanıldığında en az 1.1 emniyet katsayısı gereksinimini de karşılamaktadır.

Geçit merdiveninin basit mesnetli modeli için de statik analiz yapılmıştır. Bu analizde, modelin en uç kenarını seçilerek dikey yöndeki hareketi kısıtlanmıştır. Maksimum gerilim, geometri homojen olmadığından dolayı tam orta noktada iken oluşmayacaktır. Bunun için, uygulanacak kuvvetin konumu tayin edilmelidir. Yapılan yinelemeli çözümler sonucu, maksimum gerilme yük merkezden 149 mm geride iken oluştuğu elde edilmiştir. Öncelikle bir kişilik yük uygulandığında maksimum gerilme 144.38 MPa ve maksimum eğilme 1.78 mm olarak bulunmuştur. Bu durumda, emniyet kat sayısı 2.77 olarak hesaplanır. Aynı zamanda, emniyet katsayısı 1.5 iken (tasarım gereksiniminde belirtildiği üzere) taşıyabileceği yük 450 kg'dır. Son olarak, acil durumda kullanılmak üzere emniyet katsayısı 1.1 iken maksimum 710 kg yük de taşıyabilmektedir.



Şekil 27. (a) Gerilme ve (b) sehim sonuçları

Bu analiz sonucunda, geçit merdiveninin emniyet katsayısının tasarım gereksinimlerine karşılandığı görüldükten sonra, geçit merdiveninin nihai tasarımı elde edilir; kuvvet ve kinematik analizleri ANSYS yardımı ile tamamlanarak piston seçimleri yapılır.

Ağ Yapısı

Sonlu elemanlar analizinde yapı ANSYS SOLID 186/187 eleman tipi kullanılarak oluşturulmuştur. Analizlerden doğru sonuçların elde edilebilmesi için de ilk aşamada ağ yakınsaması analizleri gerçekleştirilmiştir. Ağ yapısının eleman sayısı arttıkça analiz sonuçlarının doğruluğu artmaktadır. Bu nedenle, ANSYS otomatik mesh kontrolü seçeneği ile ağ yapısının çözünürlük değerleri sırasıyla (0-6) artırılarak (yani eleman sayısı otomatik olarak artırılarak) sonuçlar arasındaki değişim %1'in altına düşene kadar analizler yinelenmiştir:

Tablo 1. Ağ yapısı yakınsama analizleri

Deneme	Düğüm sayısı	Eleman sayısı	Von-Mises gerilimi (MPa)
1	296550	118427	196.53
2	443973	178032	213.46
3	547993	227473	227.02
4	720244	303895	222.09
5	1008737	437449	229.57
6	1370268	599196	231.73
7	1602153	709767	232.95

Tablo 2'de de görüldüğü gibi eleman sayısı artırdıkça yapılan simülasyonlarda artırılarak sonuçlardaki yakınsama davranışı incelenmiştir. Bu analiz sonucunda yüksek doğruluğa sahip sonuçların elde edilmesi için analizlerde 7 numaralı denemedeki eleman sayısı kullanılmıştır.

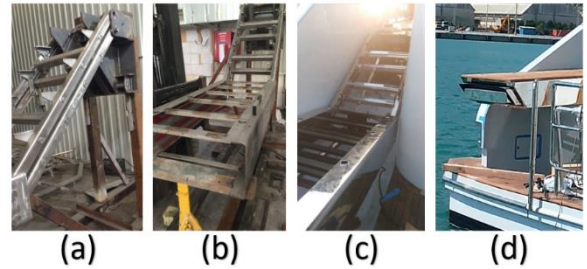
ÜRETİM

Bu bölümde, geçit merdiveninin imalat süreci ve tekneye uygulaması gösterilecektir. Geçit merdiveninin tasarım sürecinde imalat yöntemleri de göz önünde bulundurularak tasarım yapıldığı ve yöntemlere değinildiği için üretimi kısaca anlatılacaktır.

Tasarımdaki tüm sac levha parçaları çelik plakalardan lazer kesim makinesi ile elde edilmiştir. Ana gövdenin yapısı, bu çelik parçaların kaynak yolu ile birleştirilmesinden oluşmuştur. Paralel merdivenin kollarında dikdörtgen kesitli profiller kullanılmış ve üzerindeki delikleri frezede delinmiştir. Pimler ve burçlar tornada işlenmiştir. Bu parçalardaki delik ve kama yatakları da yine freze ile açılmıştır. Sonra bu parçalar, deliklere yerleştirilerek ve merdiven basamakları da eklenerek Şekil .a'daki formunu almıştır.

Teleskopik parçaların ve platformun lazer kesimden elde edilen sacları büküm makinesinde U şeklini almıştır. Daha sonra, profillerle kaynak yolu ile

birleştirilerek kutu haline getirilmiştir (Şekil .b). Kestamid uzun ince plaklar bu kutuların içine vidalanarak eklenmiş ve kızak sistemi oluşturulmuştur. Çelik makaralar tornada işlenmiş ve ilk kasetin içine sabitlenmiştir. Arıdan çelik halat eklenerek kablo tahrik mekanizması oluşturulmuştur. Geçit merdivenini tekneye monte etmeden önce, tüm montajı tamamlanmış ve hidrolik silindirleri eklenerek çalışması test edilmiştir. Ardından estetik görünümün sağlanması için dış yüzeyi parlatılmış ve diğer parçaları da boyanarak Şekil .c'de gösterildiği üzere tekneye monte edilmiştir. Son olarak teknede de son kontrolleri yapıldıktan sonra tik ağaç plakalar eklenerek (Şekil .d), geliştirilen çok fonksiyonlu paralel geçit merdiveni tasarımının ilk uygulaması tamamlanmıştır.



Şekil 28. Geçit merdiveninin üretim aşamaları

SONUÇ

Bu çalışmanın amacı, çok fonksiyonlu paralel geçit merdiveni mekanizması geliştirilerek yatarda kullanılan kasalı tipteki geçit merdiveninin istiflenme verimliliğinin ve fonksiyonelliğinin artırılmasıdır. Geçit merdiveni kullanılmadığı durumlarda güverteler arası merdiven görevi görerek fonksiyonellik kazanmış ve kullanıldığı durumda ise paralel 4-çubuk mekanizması sayesinde kolaylıkla düz bir yürüme yolu elde edilmiştir.

Tasarım süreci boyunca ilgili emniyet kuralları ve geçit merdiveninin uygulandığı yatın tasarım limitleri dikkate alınmıştır. Öncelikle, sistemin kavramsal ön tasarımı düzlemsel olarak çubuk mekanizmaları ile çizilmiştir. Ardından tasarım parametrelerinin elde edilmesi adına kinematik analiz analitik metotla MATLAB yardımı ile çözülmüştür. Boyutsal olarak tasarım gereksinimleri sağlandıktan sonra ilk 3B tasarım SolidWorks yardımı ile gerçekleştirilmiştir.

Üstelik her bir mekanizmanın çalışma prensipleri açıklanmıştır. Açılış mekanizması I, geçit merdiveninin merdiven konumundan düz geçit yoluna geçişini sağlamaktadır. Bu sayede geçit merdiveni fonksiyonellik kazanmış, fazladan merdiven kullanımını önlenmiştir. Açılış mekanizması II ise kasetlerin teleskopik olarak kablo tahrik mekanizması sayesinde tek bir eyleyici ile açılmasını sağlar. Böylelikle, her bir

kaset için ayrı eyleyici kullanımını önlenerek maliyet ve ağırlıktan tasarruf edilmiştir. Son olarak döndürme mekanizması ise, geçit merdiveninin yanaştığı iskele ile aynı hizada olması için geçit merdivenini döndürmektedir. Ayrıca, gelgit durumlarında geçit merdiveninin yaşanabilecek deniz seviyesi değişiminden dolayı iskeleye çarparak zarar görmesi önlenmiştir.

Ardından 3B tasarımı yapılmış olan modelin SolidWorks programında hareket simülasyonları da yapılarak çalışması test edilmiştir. Ayrıca tasarım gereksinimlerine olan uygunluğu da kontrol edilmiştir. 3B model elde edildikten sonra statik analizi sonlu elemanlar analiz programı olan ANSYS ile yapılmıştır. Geçit merdiveni konsol tipi modelinde normal kullanımda bir ve acil durumda üç kişi taşıyabilmektedir. Basit mesnet destekli modelinde ise normal kullanımda 450 kg ve acil durumda 710 kg yüke dayanabilmektedir.

Sistemin hareket sağlayıcıları hidrolik silindirlere sahiptir. Analitik olarak yürütülen kinematik analiz sonuçlarından ölçüleri elde edilmiş, ANSYS ile yürütülen kuvvet analizinde ise gerekli kuvvet diyagramları elde edilmiştir. Bu sonuçlar yardımıyla hidrolik silindirler üreticilerden temin edilmiştir. Üstelik analitik sonuçlar ANSYS sonuçları ile doğrulanmıştır. Geçit merdiveni tam uzamış pozisyonunda ve 15 derece döndüğünde (aşağı) yataydaki mesafesi 5.6 metre olacak şekilde ölçülendirilerek tasarlanmıştır. Böylelikle, geçit merdiveninin maksimum uzunluğu 5.81 metre ve dönme açısı 15 derecedir.

Deniz suyu korozyonu malzeme seçiminde önemli bir etken olmuştur, ve krom paslanmaz çelik malzeme hem yüksek mekanik dayanımı ve parlatılabildiği için hem de yüksek korozyon dayanımına sahip olduğu için tercih edilmiştir. Öte yandan, kompozit malzemeler hafifliği, yüksek mekanik özellikleri, korozyon dayanımı ve karmaşık şekillerde kalıp yolu ile kolay üretimin olması gibi özelliklerle ön plana çıkmış, çelik malzemeye alternatif olarak kullanılabilen revaçta bir malzeme değildir. Unutulmamalıdır ki, bu çalışmanın ana amacı teknelerdeki kullanılan geçit merdivenlerinin istiflenme sorununa çözüm olan fonksiyonel paralel mekanizma geliştirmek ve tasarlamaktır. Gelecekteki çalışmalarda, özellikle karbon fiber takviyeli malzemeden geliştirilecek geçit merdiveni deniz ekipmanı uygulamaları için hem estetik açıdan hem de hafifliği ile ön plana çıkacak bir tasarım olacaktır.

Sonuç olarak, çelik geçit merdiveni üretilmiş ve tekneye test edilerek uygulanmıştır. Özetçe birincisi, geliştirilen paralel 4-çubuk mekanizması geçit merdiveninin kullanılmadığı durumda merdiven olarak kullanılmasını sağlayarak fonksiyonellik

kazandırmıştır. İkinci olarak, istiflenme verimliliği nispeten daha uzun geçit merdivenleri elde edilerek artırılmıştır. Çünkü sistemi açıp/kapayan mekanizma ve teleskopik kasetler teknedeki platformda bulundurulacak teknenin gövdesinden bağımsız olarak monte edilebilmektedir. Üçüncüsü, teleskopik uzayan elemanlar ve platform, merdiven ucuna monte edildiğinden dolayı nispeten daha uzun geçit merdivenleri elde edilmektedir. Son olarak, bu geçit merdiveni uygulaması, yer kısıntısı olan teknelerde dahili olarak monte edilen gizlenebilir tipteki geçit merdivenlerinin de kullanılmasını sağlamıştır.

DESIGN, ANALYSIS, AND MANUFACTURING OF A MULTIFUNCTIONAL PARALLELOGRAM GANGWAY MECHANISM

Gangways are temporary access bridge systems used in sea and air vehicles, that allows passengers to transfer safely between a vehicle and land. To provide an aesthetic appearance on yachts, internally mounted and telescopic openable types of gangways are preferred. For this purpose, a gangway is mounted inside a space opened into the hull, particularly at the top of the ladder connecting the decks of the boat. Depending on the distance between the boat and pier in boarding position, the size of the gangway and its mechanism differs. In the case of long gangways, the number of telescopic stages and/or the size of parts and occupation of extra volume of retracting mechanism (for hiding the gangway) are the limiting factors in realizing feasible gangway use on space-limited yachts. This study focuses on improving stacking efficiency and adding functionality to the box type (internally mounted) of gangway prevalent in superyachts.

Keywords: gangway, parallelogram mechanism, finite element analysis (FEA), kinematic and force analyses

KAYNAKÇA

- [1] Besenzoni SpA, «Yacht Gangway.» Available: <https://www.nauticexpo.com/prod/besenzoni-spa/product-21536-285492.html>. [Erişildi: 20 09 2020].
- [2] M. Grimaldi, «Manual gangway for a boat». United States Patent: 0,050,045 A1, 26 February 2009.
- [3] G. Besenzoni, «Telescopic gangway for boats with a simplified construction». United States Patent: 6,748,895 B2, 15 June 2014.
- [4] G. Franceschi, A. Borzoni, M. Maracci, G. Besenzoni and G. Besenzoni, "Access gangway for boats made of titanium". European Patent 1,902,940 A3, 21 May 2014.

- [5] P. Sacco, «A movable gangway for a boat, having a rotating actuator». WIPO (PCT) Patent: WO2010013271A1, 4 February 2010.
- [6] D. J. C. Salzmann, "Development of the Access System for Offshore Wind Turbines (PhD Thesis)," Delft University of Technology, 2010.
- [7] F. Yu, *Modeling, Simulation and Control of Motion Compensated Gangway in Offshore Operations (Master's degree)*, Norwegian university of science and technology, 2017.
- [8] P. Stuberg and C. J. Amundsen, "Optimized Offshore Gangway Operations on Monohull," in *MTS Dynamic Positioning Conference*, Houston, 2015.
- [9] W. Huang, B. Li, X. Chen and R. Araujo, "Numerical and experimental studies on dynamic gangway response between monohull flotel and FPSO in non-parallel side-by-side configuration," *Ocean Engineering*, vol. 149, pp. 341-357, 2018.
- [10] İ. Genç, "Designing and Analysis Phases of Four Elements (M.S. Thesis)," Atatürk University, 2007.
- [11] D. E. Yunus, "Design and Manufacturing of Carbon-Fiber-Reinforced Polymer Composite Gangway (M.S. Thesis)," Ege University, 2011.
- [12] P. D. K. A. P. Kumar, «Study on Telescopic Walkway Design of Jetty Gangway (B.S Thesis),» Universiti Teknologi PETRONAS, TRONOH, 2009.
- [13] DNV GL, «Certification of offshore gangways for personnel transfer,» DNV GL AS 2020, 2015.
- [14] *Kando 110*. [Art]. Ava Yachts Co. Ltd., 2019.