

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KONTEYNER KRENLERİNDEKİ GELİŞMELER VE BİR
KONTEYNER KRENİNİN YÜKLEME SİSTEMİNİN
SİMÜLASYONU**

Müh. Yücel Tolga KÖKALP

F.B.E Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Muharrem BOĞOÇLU

İSTANBUL, 2001

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KONTEYNER KRENLERİNİN TANITILMASI VE TASARIM KRİTERLERİ	2
2.1 Rıhtım Konteyner Krenleri:	2
2.2 Örnek Bir Rıhtım Konteyner Kreninin Tanıtılması.....	2
2.2.1 Yük kaldırma hareketi	3
2.2.2 Araba yürütme hareketi.....	3
2.2.3 Vinç yürütme hareketi	4
2.2.4 Yük salınımını giderme.....	4
2.2.5 Bumun kaldırılması	4
2.2.6 Yükün Döndürülmesi.....	5
2.2.7 Konteynerlerin kavranması	5
2.2.8 Ray kıskacı	5
2.2.9 Kabin.....	6
2.2.10 Motorlar	6
2.2.11 Çelik konstrüksiyon.....	7
2.2.12 Mekanik elemanlar	7
2.2.13 Transformatör ve yüksek gerilim şalterleri.....	7
2.2.14 Elektrik ve elektronik kumanda devreleri.....	7
2.2.15 Hidrolik Devreler.....	7
2.2.16 Kablo Tamburu.....	8
2.2.17 Hidrolik Tamponlar	8
2.3 Tasarımın Kriterleri ve İyileştirme	9
2.3.1 Verimin Arttırılması:	9
2.3.2 Hızların ve İvmelerin Arttırılması:	9
2.3.3 Yük Kontrolünün Yükseltilmesi ve Azalan Bekleme Zamanları.....	9
2.3.4 Etkili Bir Tasarım Oluşturmak	9
2.3.5 Motorlu Arabalar	10
2.3.6 Otomasyona Uygun Yapısal Dizayn	10
2.3.7 Kren İskelet Katılığı	10
2.3.8 Ön Destek Çubuğu Dizaynının İyileştirilmesi	10
2.3.9 Yardımcı Bağlantı (MHI patentli)	12
2.4 Konteyner Krenlerinde Yeni Tasarımlar	13
2.4.1 A-İskelet Tipli Krenler.....	13
2.4.1.1 “VIT” Hareketli (Yükselebilen) Araba Kirişi (Elevating trolley girder).....	13
2.4.1.2 Kren Yapısı	14

2.4.2	ANSALDO KAOHSIUNG Kreni	15
2.4.3	LOW PROFILE KRENLER (Düşük Maliyetli Krenler).....	17
2.4.3.1	KOCKS OAKLAND Low Profile Krenleri.....	17
2.4.3.2	SAMSUNG Low Profile PORT EVERGLADES CRANE	18
2.4.3.3	Paceco Firmasının Boston Limanı Teklifi Kren.....	19
2.4.3.4	Samsung Firmasının Boston Limanı Teklifi Kren	21
2.5	Yük Salınım Kontrolü.....	22
2.6	Konteyner İşlemlerinde Gelişmiş Robotik Kren Dizaynı.....	30
3.	MODELLEME	32
3.1	Sistemin fiziksel modeli.....	32
3.2	Sistemin matematik modeli.....	33
3.3	Dinamik yük dağılım faktörü.....	39
4.	SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	40
4.1	Sistemin açık çevrim cevabı.....	41
4.1.1	Yük kaldırma durumu	41
4.1.1.1	Sabit ivme ile yük kaldırma	41
4.1.1.2	Sabit hız ile yük kaldırma	42
4.1.2	Sistemin doğrusal iletim açık çevrim cevabı	43
4.1.2.1	Sabit ivme ile.....	44
4.1.2.2	Sabit hız ile.....	45
4.1.3	Genel sistemin açık çevrim cevabı	46
4.2	Sistemin kapalı çevrim kontrolü.....	50
4.2.1	Doğrusal yük taşıma hareketinin PD kontrolü	51
4.2.1.1	Kontrol parametrelerinin bulunması.....	51
SONUÇLAR		54
KAYNAKLAR.....		55
EKLER		56
Ek A Simülasyon programı m-file.....		57
Ek B Simülasyonun simulink diyagramı		58
Ek C Simülasyon programı MS Excel macrosu olarak		60
Ek D Simülasyonun doğrusal iletim kapalı çevrim blok diyagramı.....		63
ÖZGEÇMİŞ		64

SİMGE LİSTESİ

F_1	Arabayı tahrik eden kuvvet
F_2	Kaldırma kuvveti
m	Araba ağırlığı
M	Yük ağırlığı
L	Halat uzunluğu
θ	Halat açısı
(x_1, θ)	Araba pozisyonu
(x, y)	Yük pozisyonu
g	Yer çekim sabiti
δ	Kütle oranları



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Rıhtım konteyner kreni 45/53/70 t	2
Resim 2.1	Haydarpaşa Limanı rıhtım konteyner kreni.....	2
Resim 2.2	Yük kaldırma sistemi	3
Resim 2.3	Araba yürütme sistemi.....	3
Resim 2.4	Vinç yürütme sistemi	4
Resim 2.5	Bum kaldırma sistemi.....	4
Resim 2.6	Spreader ünitesi.....	5
Resim 2.7	Ray kıskacı	6
Resim 2.8	Kabin	6
Resim 2.9	Konstrüksiyon detayı.....	7
Resim 2.10	Hidrolik tamponlar	8
Resim 2.11	Rıhtım konteyner kreni.....	8
Şekil 2.2	Kiriş uzamasına etki eden faktörler.....	11
Şekil 2.3	Ön destek kirişi alana göre boyut değişimi (yardımcı bağlantı yoktur).....	11
Şekil 2.4	Yardımcı bağlantı (bum açık)	12
Şekil 2.5	Yardımcı bağlantı (bum çekilmiş)	12
Şekil 2.6	Ön destek kirişinin uzaması (yardımcı bağlantı dahil edilmiş)	13
Şekil 2.8	VIT firmasının yükselen kirişli kreni	15
Şekil 2.9	Ansaldo Kaohsiung kreni	16
Şekil 2.10	Bum çekme sistemi	16
Şekil 2.11	Paceco firmasının standart panamax dizaynı.....	17
Şekil 2.12	Kocks oakland low profile krenleri.....	18
Şekil 2.13	Samsung low profile Everglades Limanı kreni.....	18
Şekil 2.14	Bumu taşıyan askı sistemleri	19
Şekil 2.15	Paceco firmasının Boston Limanı teklifi kren	20
Şekil 2.16	Samsung firmasının Boston Limanı teklifi kren.....	21
Şekil 2.17	Tahrik Mekanizması.....	22
Şekil 2.17	Araba ivmesi kullanılarak salınım kontrolü	25
Resim 2.11	Scara Robot.....	31
Şekil 3.1	Konteyner kreninde konteyner işlenmesi	32
Şekil 3.2	Fiziksel model.....	32
Şekil 4.1	Yük kaldırma için yükün X-Y değişim grafiği	41
Şekil 4.2	a) Yük konumu-zaman grafiği b) Yük hızı-zaman grafiği	41

Şekil 4.3	a) Yük ivmesi-zaman grafiği b) Dinamik faktörün zamanla değişimi.....	42
Şekil 4.4	Sabit hızla yük kaldırma için yükün X - Y değişim grafiği	42
Şekil 4.5	Sabit hızla yük kaldırma için: a) Yük konumu-zaman grafiği b) Yük hızı-zaman grafiği	43
Şekil 4.6	Sabit hızla yük kaldırma için: a) Yük ivmesi-zaman grafiği b) Dinamik faktörün zamanla değişimi.....	43
Şekil 4.7	Sabit ivme ile doğrusal iletim için yükün X - Y değişim grafiği.....	44
Şekil 4.7	Sabit ivmeli doğrusal hareket için: a) Yükün yatay pozisyonu-zaman grafiği b) Yükün düşey pozisyonu-zaman grafiği.....	44
Şekil 4.8	Sabit ivmeyle doğrusal hareket için: a) Salınım açısı-zaman grafiği b) Araba pozisyonu -zaman grafiği	45
Şekil 4.9	Sabit hız ile doğrusal iletim için yükün X - Y değişim grafiği.....	45
Şekil 4.7	Sabit hızda doğrusal hareket için: a) Yükün yatay pozisyonu-zaman grafiği b) Yükün düşey pozisyonu-zaman grafiği.....	46
Şekil 4.10	Sabit hızla doğrusal hareket için: a) Salınım açısı-zaman grafiği b) Araba pozisyonu -zaman grafiği	46
Şekil 4.11	Yükün x - y pozisyonu.....	47
Şekil 4.12	a)Yükün zamana göre yatay pozisyonu b) Yükün zamana göre düşey pozisyonu.....	47
Şekil 4.13	a) Yükün yatay hızı-zaman grafiği b) Yükün yatay ivmesi zaman grafiği	48
Şekil 4.14	a) Yükün düşey hızı-zaman grafiği b) Yükün düşey ivmesi-zaman grafiği.....	48
Şekil 4.15	a) Araba pozisyonu-zaman grafiği b) Salınım açısı-zaman grafiği	48
Şekil 4.16	a) Dinamik faktör-zaman grafiği ($F_1=5000$ N $F_2=3000$ N) b) Dinamik faktör-zaman grafiği ($F_1=5000$ N $F_2=5000$ N)	49
Şekil 4.17	a) Dinamik faktör-zaman grafiği ($F_1=3000$ N $F_2=5000$ N).....	49
Şekil 4.18	Kapalı çevrim doğrusal iletim yükün x - y pozisyonu.....	52
Şekil 4.19	a) Yükün yatay pozisyonu-zaman b) Yükün düşey pozisyonu-zaman grafiği. 53	
Şekil 4.20	a) Araba pozisyonu-zaman b) Salınım açısı-zaman grafiği	53
Şekil 4.21	Zamana göre uygulana F_1 giriş kuvveti	53
Şekil Ek B.1	Simulink blok diyagramı	58
Şekil Ek B.2	Simulink blok diyagramı	59
Şekil Ek D	Simülasyonun doğrusal iletim kapalı çevrim blok diyagramı.....	63

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Mekanik salınım sönümlenme sistemleri	23
Çizelge 2.2	Mekanik salınım kontrol yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları.....	27
Çizelge 2.3	Elektriksel salınım kontrol ve sönümlenme sistemleri	28
Çizelge 2.4	Elektriksel salınım kontrol sistemlerinin avantaj ve dezavantajları.....	29
Çizelge 3.1	DIN 15018 Bölüm1' e göre ψ	39



ÖZET

Konteyner taşımacılığında artan ve değişen ihtiyaçlar, verimliliğin artırılması, mevcut teknolojilerin zamanla demode olması, yeni geliştirilen teknolojilerle mevcut sorunlara çözüm bulunabilmesi gibi nedenlerden dolayı diğer önemini sürdüren sektörlerdeki gelişmeler gibi konteyner taşımacılığında da gelişmeler görülmektedir. Bu gelişmelerin büyük bir çoğunluğunun hedefi de konteyner taşımacılığına en fazla zaman ve emek harcanan işlem olan yükleme ve boşaltma işlemlerini iyileştirmektir. Bu işlemdeki en önemli faktör de konteyner krenleri olduğundan gelişim bu noktada yoğunlaşmıştır. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile birlikte tasarım çalışmaları bu ortama kaymış ve optimum tasarım kriterlerini elde etmek mümkün olmuştur.

Bu çalışmada, konteyner krenlerindeki gelişmeler incelenmiş ve bu gelişmelerden biri olan robotik krenlerde kullanılabilecek bir yükleme sisteminin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla ilk bölümde konu hakkında genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde mevcut tasarım ve iyileştirme çalışmaları incelenmiştir.

Üçüncü bölümde sistem elemanlarının modellenmesi ve son bölümde de bu model baz alınarak yapılan simülasyon çalışmasına yer verilmiştir. Simülasyon işlemi Matlab programının Simulink modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Konteyner Kreni, kren salınım kontrolü, MPC kontrol, noktadan noktaya kontrol, gelişmeler.

ABSTRACT

There are some important improvements also in container transport technologies as other important industries due to the reasons like the rising and changing demands at container transport, increasing productivity, being out of date of the existing technologies, and solving the problems with the help of new developed technologies.

The target of the most of the improvements is to optimize the loading and unloading process, which is the most time and effort spending operation in the transport. Since the main element in this operation is the container crane, improvements are focused on this point. By the development of the computer technology, design works have been made on this area and it became possible to have the optimum design parameters.

In this study, improvements in container cranes are examined and a simulation of a loading system, that could be used in robotic cranes, is realized. In the first chapter general information has been given about the subject. Existing design and improvements have been examined in the second chapter. In the third and the last chapters modelling of the system elements and a simulation on the basis model has been made.

Keywords: Container cranes, crane sway control, MPC based control, point to point control, developments.



1. GİRİŞ

İçine konan malların korunup, taşınmalarına yardım eden ve bu işlemi gerçekleştiren, sandık, kutu vb. gibi her türlü taşıma kaplarına konteyner denmektedir. Konteyner kelime anlamı olarak “ihtiva eden, kapsayan” demektir. Burada kullanılan konteyner kavramı özellikleri standartlarla¹ belirlenmiş taşıma kaplarıdır.

Konteyner krenleri konteyner işlenmesi işlemine hız, verim, ekonomiklik gibi özellikler kazandırmak için tasarlanmış krenlerdir. Kullanım amacına göre çeşitli tipleri vardır:

Köprü krenler, konteynerlerin istiflenmesinde kullanılan transteyner adı da verilen raylı veya lastik tekerlekli konteyner krenleri ya da konteynerlerin gemiden limana veya limandan gemiye aktarılmasını gerçekleştiren rıhtım konteyner krenleri (container gantry crane) olarak ikiye ayrılır. Bu çalışmada rıhtım konteyner krenleri üzerinde durulacaktır.

Bir konteyner limanının etkili çalışabilmesi için:

- kısa ve istikrarlı çevrim zamanları
- konteyner başına düşük işlem maliyeti
- işlemde kullanılan araçlar (gemiler, besleyici araçlar, trenler vb.) arasında kısa yükleme/boşaltma zamanları
- gemilerin son dakika değişikliklerine esneklik
- en az yanlış yerleştirilmiş ve hasarlı konteyner

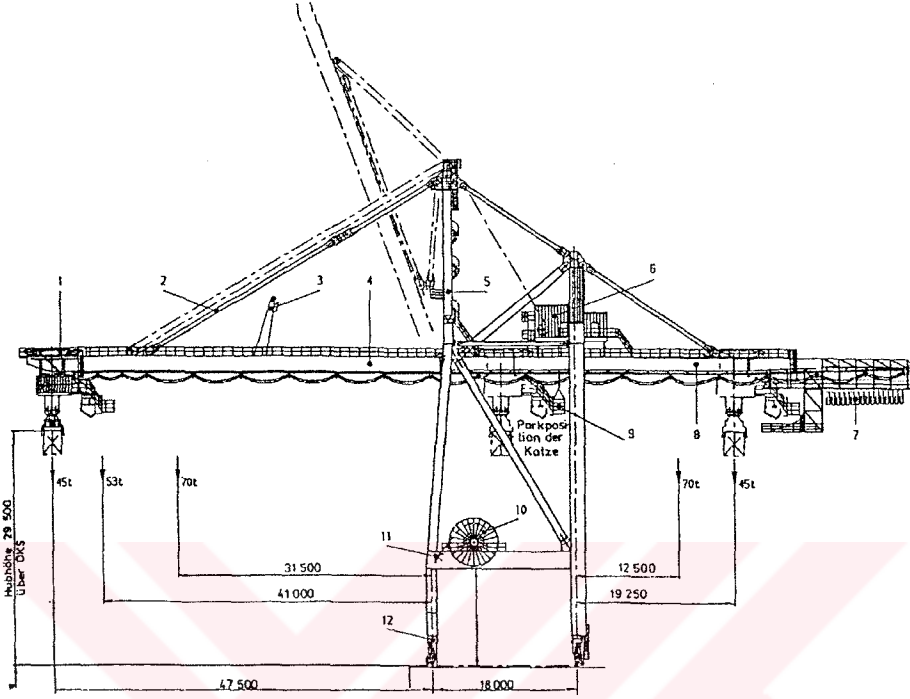
gibi kriterler rol oynamaktadır. Bu kriterlerin istenilen değerler çekilebilmesi ve mevcut problemlerin giderilebilmesi için gerek kren strüktürü ve fonksiyonunda, gerekse kontrol sistemlerinde gelişmeler yapılmaktadır. Aslında bu iki unsuru bir arada ele almak gerekir.

Sonuçta gelişmelerin amacı hizmet kalitesi ile maliyet arasındaki ilişkiyi güvenlik, ergonomi gibi yan faktörleri de göz önünde tutarak optimum noktaya taşımaktır.

¹ DIN 15190 ve DIN EN 284-452 normlarında standartlaştırılmıştır.

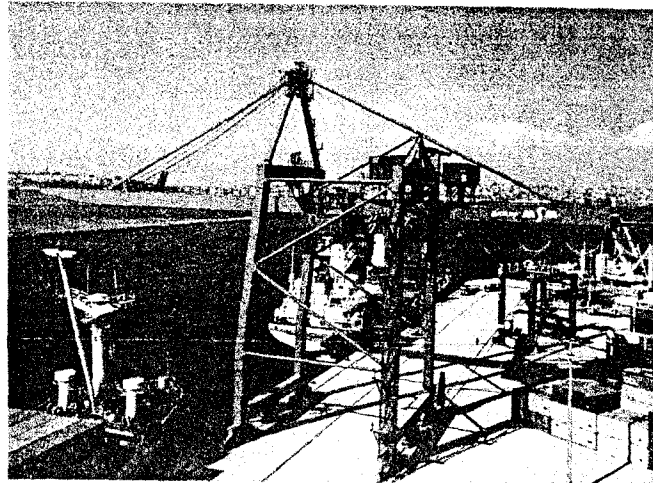
2. KONTEYNER KRENLERİNİN TANITILMASI VE TASARIM KRİTERLERİ

2.1 Rıhtım konteyner krenleri



Şekil 2.1 Rıhtım konteyner kreni 45/53/70 t (1-araba 2-ön destek 3-mafsals desteği 4-bum 5-iskelet 6-makine odası 7-halat 8-araba kirişi 9-kurtarma bölmesi 10-hareket donanımı

2.2 Örnek bir rıhtım konteyner kreninin tanıtılması

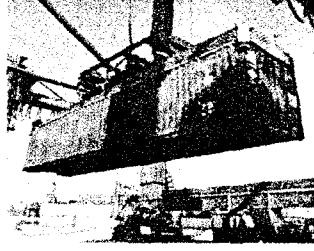


Resim 2.1 Haydarpaşa Limanı rıhtım konteyner kreni

2.2.1 Yük kaldırma hareketi

Yük kaldırma doğru akım motorları ile tahrik edilen redüktör, fren ve tamburdan oluşan kaldırma grubu sayesinde gerçekleştirilir.

Konteynerin kısa eksenini etrafında 5 dereceye kadar açısal hareketi olması istendiğinde, bu birbirine göre faz farkı ile senkronize çalışan iki kaldırma grubu ile sağlanabilir. Kaldırma hızı operatör isteğine göre olmakta ve yüksüz durumda yüklü duruma göre iki misli hızlar gerçekleştirilmektedir. Vinç operatörü kumanda kolu sayesinde 0 ile bu belirtilen hızlar arasındaki istenen değerde indirme veya kaldırma hareketini yapabilmektedir.

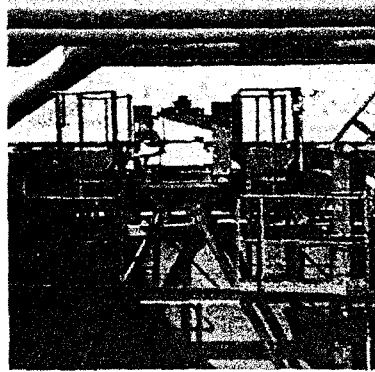


Resim 2.2 Yük kaldırma sistemi

2.2.2 Araba yürütme hareketi

Araba yürütme hareketi doğru akım motoru, redüktör, fren ve tekerlek takımından oluşan tahrik grubu ile sağlanmakta ve 0 ile operatörün istediği azami hız arasında bir değer kumanda kolu ile ayarlanabilmektedir.

Yük kaldırma ve indirme hareketleri ile araba yürütme hareketi aynı anda yapılabilir.

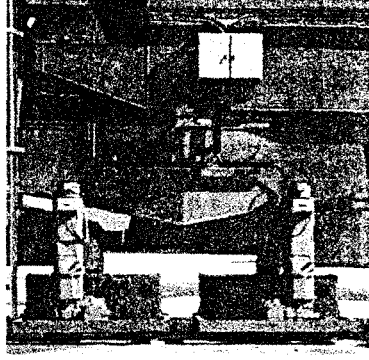


Resim 2.3 Araba yürütme sistemi

2.2.3 Vinç yürütme hareketi

Kren yürütme hareketi doğru akım motoru, redüktör, fren ve çelik döküm tekerlek takımından oluşan tahrik grubu ile sağlanmaktadır.

Hız ayarı bu harekette de kademesizdir. Yükün tekerleklere eşit dağılımı için tekerlek grupları ikişer gruplar halinde mafsallı monte edilmişlerdir.



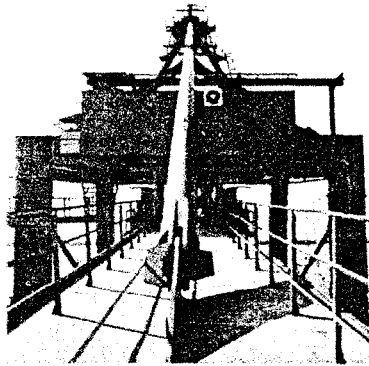
Resim 2.4 Vinç yürütme sistemi

2.2.4 Yük salınımını giderme

Salınım giderici sistem pasif hidrolik amortisör devresi mevcuttur.

2.2.5 Bumun kaldırılması

Gemilerin rahat yanaşmasını sağlamak amacıyla krenin bumu kaldırılmaktadır. Bu hareket motor, redüktör, tambur, fren ve tambur freninden oluşan sistem ile sağlanmaktadır.



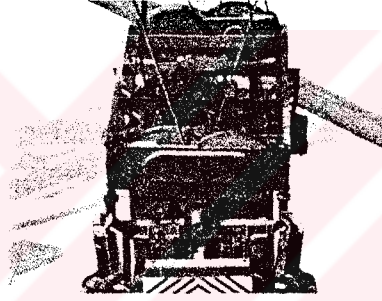
Resim 2.5 Bum kaldırma sistemi

2.2.6 Yükün döndürülmesi

Rıhtım konteyner krenleri talep edildiğinde yükü döndürebilecek Şekilde imal edilirler. Hareket arabanın alt bölümünün üst bölümüne göre döndürülmesi ile sağlanır. Böylece kumanda kabininin yüke göre konumu hep aynı kalır.

2.2.7 Konteynerlerin kavranması

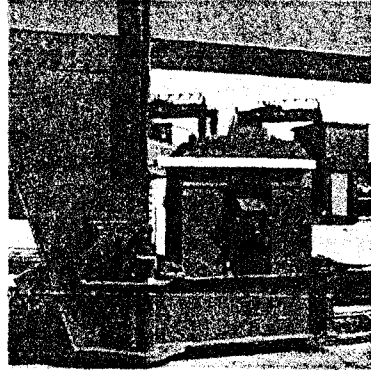
Vincin halatlarında asılı bulunan makara bloğuna spreader adı verilen üniteler takılmaktadır. Spreaderler köŐelerindeki hidrolik tahrikli mekanizmalar ile konteynerlerin kavranmasını sağlamaktadırlar. Spreaderler müŐteri isteklerine göre sabit veya çeşitli konteynerlerin boyutlarına göre ayarlanabilecek Şekilde teleskopik olarak imal edilebilmektedirler. Bazı konteyner gemilerinde bulunan kanallarda kılavuzlamayı sağlamak için 4 köşede döner makaralar mevcuttur. Spreaderin konteynerlere göre pozisyon almasını kolaylaŐtırmak amacıyla 4 köşede hidrolik olarak kaldırılan veya indirilen kollar vardır.



Resim 2.6 Spreader nitesi

2.2.8 Ray kısıkaı

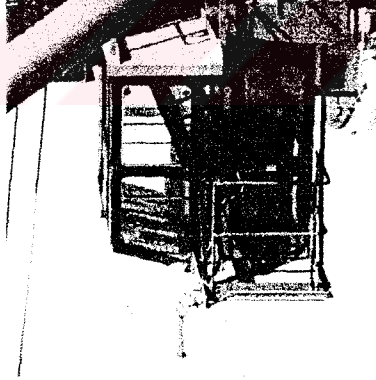
Kuvvetli rüzgarlarda ve fırtınalarda vincin sürüklenmesini önlemek amacıyla hem deniz tarafı, hem de kara tarafı rayda çalıŐmak üzere ray kısıkaıları mevcuttur. Ray kısıkaıları yay ile rayı istenilen kuvvetle sıkıŐtırır ve vincin kaymasını önler. Çalışma sırasında ray kısıkaılarının açılması hidrolik sistem yardımıyla olur.



Resim 2.7 Ray kıskacı

2.2.9 Kabin

Krenin panoramik kabininde tüm hareketlerin kolaylıkla idare edilebileceği kumanda koltuğu bulunmaktadır. Kaldırma, araba yürütme ve vinç yürütme hareketleri iki kumanda kolu vasıtasıyla kademesiz olarak sağlanabilmektedir. Spreaderlerin çeşitli konumlara getirilmesi butonlara basılarak sağlanmaktadır. Bunun için gerekli tüm hareketler mikroişlemci tarafından gerçekleştirilmektedir. Bum hareketleri için deniz tarafındaki ayaklar üzerinde bir kumanda paneli vardır. Bu yerden krenin yürütülmesi de yapılabilmektedir. Bu işlem ayrıca yer hizasında bulunan bir kabinden de yapılabilmektedir.



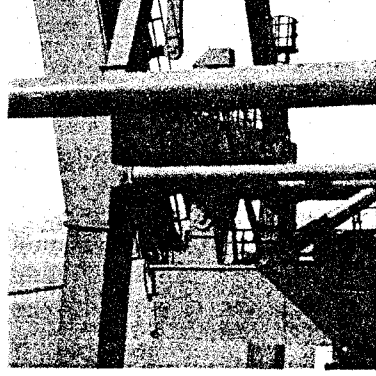
Resim 2.8 Kabin

2.2.10 Motorlar

Kaldırma ve yürütme hareketleri doğru akım motorları tarafından sağlanmaktadır.

2.2.11 Çelik konstrüksiyon

FEM, DIN veya müşterinin öngördüğü standarda göre dizayn edilen kren St 37 veya St 52 çelik malzemeden üretilmiştir. Tüm malzeme otomatik pas giderme makinalarında (shot blasting) İsveç standardı SIS 055900'e göre Sa 2,5 kalitesinde temizlenmiştir.



Resim 2.9 Konstrüksiyon detayı

2.2.12 Mekanik elemanlar

FEM, DIN veya diğer standartlara göre boyutlandırılıp üretilmiştir.

2.2.13 Transformatör ve yüksek gerilim şalterleri

Rıhtım konteyner krenlerinin elektrik beslemesi genellikle 6 veya 10 kV gerilim ile yapılır. Bu gerilim bilhassa sistemlerin yükleme durumuna göre seçilmiş transformatör tarafından motorların çalışma gerilimine indirilir.

2.2.14 Elektrik ve elektronik kumanda devreleri

Tüm hareketlerde hız kontrolü elektronik devreler tarafından sağlanmaktadır. Vinçlerde hareketlerin birbirine uyumlu şekilde olması, tehlikeli olabilecek durumların önlenmesi ve herhangi bir hata durumunda bunun tespit edilmesi mikroişlemci tarafından gerçekleştirilmektedir.

2.2.15 Hidrolik devreler

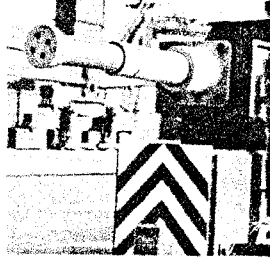
Salınım giderilmesi, spreader hareketleri ve ray kaskacı açılması hidrolik üniteler sayesinde sağlanmaktadır.

2.2.16 Kablo tamburu

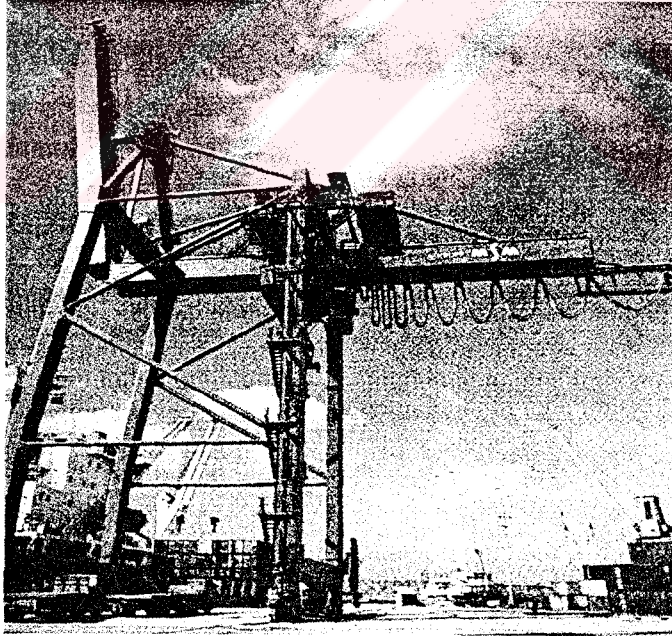
Elastik tip besleme yüksek gerilim kablosu bir kablo tamburu üzerine sarılmıştır. Öze! tip bir motorla tahrik edilen bu kablo tamburu çekme kuvvetini otomatik olarak ayarlayarak vinç hareketi sırasında kablonun düzgün bir şekilde yere serilmesini sağlar.

2.2.17 Hidrolik tamponlar

Krende, arabanın ve vinç yürütme gruplarının dört köşesinde çarpışma anında enerjiyi emen hidrolik tamponlar bulunmaktadır.



Resim 2.10 Hidrolik tamponlar



Resim 2.11 Rıhtım konteyner kreni

2.3 Tasarımın kriterleri ve iyileştirme

2.3.1 Verimin artırılması

Verimliliğin artması gemiye konteyner yükleme ve gemiden indirme çevrimi zamanının kısaltılması sonucu gerçekleşir. Bu çevrimdeki her adım tek tek incelenerek hızın artırılması için mümkün olan yöntemler belirlenmeli, bu artışın miktarı tespit edilmeli ve tüm kren sistemi üzerine maliyet ve etkisi düşünülmalıdır. En etkili çözüm çevrimdeki her işlem için maliyeti ve uygulanabilirliği dengelemektir.

2.3.2 Hızların ve ivmelerin artırılması

Verimliliğin artırılması için araba ve kaldırma mekanizmalarının hız ve ivmelerinin artırılması gerektiği açıktır. Günümüzün makineleri eski modellerinden çok daha hızlı olmalarına karşın, gene de hız, kren sistemine yapacağı zorlayıcı etki ve maliyetin artması nedeniyle ile sınırlanmıştır. Bir kren sisteminde kullanılan makinelerin pratik limit değerleri mühendisler ve donatım sağlayıcıları tarafından saptanabilir. Ayrıca çeşitli simülasyon programları da optimum dizayn hızları ve ivmelerinin bulunmasında yardımcı olabilir.

2.3.3 Yük kontrolünün yükseltilmesi ve azalan bekleme zamanları

İşlem zamanına fazlaca etki eden adımlardan biri de bir konteynerin kavranması ve yerleştirilmesidir. Bu zaman mekanik yükleme kontrolüne ve operatörün becerisine bağlıdır.

Sisteme otomasyonun entegre edilmesi ile yük üzerindeki kontrol artar ve bekleme zamanları azalır.

Arabanın gemi ile rıhtım arasındaki hareketi konteynerin otomatik indirilip kaldırılması da dahil olmak üzere otomasyona çevrilebilir. Bu amaçla noktadan noktaya kontrol sistemleri ile salınım kontrol sistemleri birleştirilerek konteynerin tam otomatik işlenmesi mümkündür.

2.3.4 Etkili bir tasarım oluşturmak

Etkili bir tasarım için sadece kren yapısı ve bileşenlerinin optimum dizaynı değil, bunları koordine edecek kontrol sisteminin de tasarım çalışmasının başından itibaren planlanması gerekmektedir. Bu şekilde otomasyon da tasarımın içine girmiştir. Bu süreçle birlikte otomasyon mühendislerinin de tasarım aşamasından itibaren projeye dahil olması söz konusudur.

2.3.5 Motorlu arabalar

Motorlu araba veya halatla çekilen araba arasında tercih yapmak için bir çok faktörü göz önünde bulundurmak gerekir. Bu faktörlerden bazıları; verimlilik, emniyet, bakım, gerekli yedek parçalar, operatör özellikleri, üretici özellikleri, ağırlık ve maliyettir. Motorlu arabaların bazı özellikleri onları otomasyona daha uygun hale getirir. Araba çekme halatlarındaki gerilmelerin olmaması ve kaldırma halatlarının daha kısa olması nedeniyle motorlu arabalar daha iyi bir yük kontrolü sağlarlar.

2.3.6 Otomasyona uygun yapısal dizayn

Bir sisteme doğru bir şekilde otomasyon uygulanması için, o sistemdeki bütün bileşenlerin yerlerinin tam olarak bilinmesi lazımdır. Sabit objeler için bu kolay bir işlemdir. Arabanın hareketi ile esneme yapan kren yapısı gibi hareketli objeler için ise işlem daha zorlaşır.

Birinci yaklaşım krenin yapısal değişimlerini sınırlamak için oldukça katı ve sağlam bir yapı oluşturmaktır. Krenin rijit yapısı yük kontrolünü kolaylaştıracak, operatöre daha kolay bir kullanım sağlayacak ancak ağırlığı arttıracaktır. Ağırlığı minimumda tutmak ve geometrik yapıyı iyileştirmek için detaylı bir tasarım işlemi gereklidir.

İkinci yaklaşım ise kren hareketi için yük kontrol sisteminin seçilmesi ve kren esneme limitlerinin sınırlandırılmamasıdır. Bu otomasyon işlemi daha karmaşık olmasına rağmen, krenin ağırlığı ve tekerlek yükleri rijit tasarım krenlere nazaran yaklaşık yüzde yedi daha azdır, ki ağırlık ve özellikle tekerlek yükleri özellikle eski limanlar için oldukça önemli bir seçim kriteridir.

2.3.7 Kren iskelet katılığı

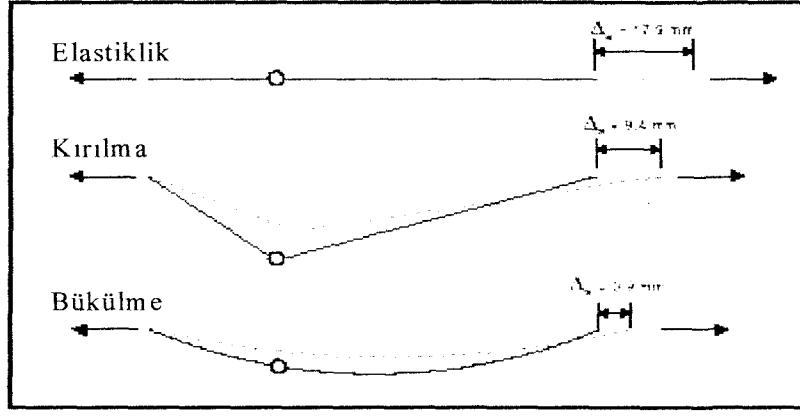
Uygun iskelet dizaynı, deformasyonların ve imalat maliyetinin göz önüne alınarak, genel bir geometrinin seçilmesi ile olur.

Ön destek kirişini, yatay esnemelere yaptığı etki açısından iyileştirme işleminde üzerinde durulması gereken bir elemandır.

2.3.8 Ön destek çubuğu dizaynının iyileştirilmesi

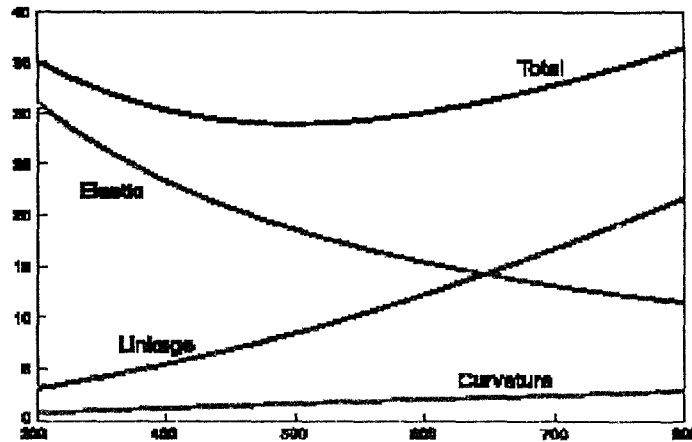
Ön destek kirişinin veya herhangi bir aksenal yüklenmiş esnek mafsallı bir kirişin uzaması şu nedenlerden oluşur; elastik uzama, mafsal doğrulması, kavis azalması. Elastik uzama etki eden gerilmeler sonucu oluşmaktadır. Mafsal düzelmesi ise, mafsallanmış bir kirişe aksenal

yük etkisi sonucu eğilmesindeki azalma ortaya çıkar. Kavis küçülmesi ise mafsalların arasındaki kirişin bükülmesi sonucu oluşur.



Şekil 2.2 Kiriş uzamasına etki eden faktörler

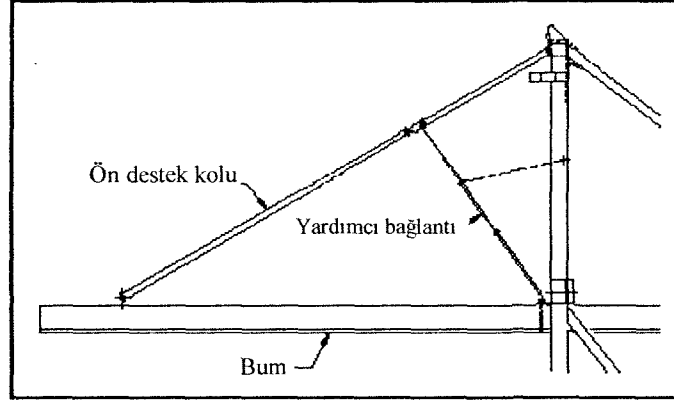
Ön desteğin uzamasının önlemenin bir yolu doğal olarak kesit alanını arttırmaktır. Ancak bu da bir noktaya kadar yardımcı olabilir, çünkü kesit alanının artırılmasıyla elastik uzamalar azalır ancak mafsallamadan ve bükülmeden dolayı oluşan uzamalar artar. Bir çubuğun iki ucunu birere elimizle tuttuğumuzu ve bu çubuğa 5 kg'lık bir yük bağladığımızı düşünürsek, çubuk üzerindeki gerilmeyi arttırdığımızda (çubuğu iki ucundan çekebiliriz) çubukta oluşan sehim azalacaktır. Eğer yükü 0.5 kg olarak koysaydık ve yine aynı gerilmeyi uygulaysaydık, sehim yine azalacak ancak ilk sistemin sehimi ikinciden oldukça fazla olduğundan, uzamadaki fark daha büyük olacaktır.



Şekil 2.3 Ön destek kirişi alana göre boyut değişimi (yardımcı bağlantı yoktur)

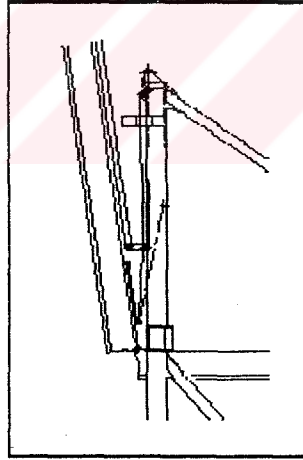
2.3.9 Yardımcı bağlantı (MHI patentli)

Şekillerden de görüldüğü üzere ön destek kirişinin toplam uzamasının ihmal edilemeyecek bir kısmı mafsallanmış olmasından ve eğilme sonucu oluşmaktadır. Eğer bu iki bileşen yok edilebilirse, toplam uzama da kayda değer bir şekilde azalacaktır. Bu işlem bir yardımcı bağlantı elemanı kullanılarak yapılabilir. Yapılan esneme analizlerinde sisteme bir yardımcı bağlantı elemanın eklenmesiyle düşey esnemelerde 20 mm' lik bir azalma görülmüştür.



MHI patent pending

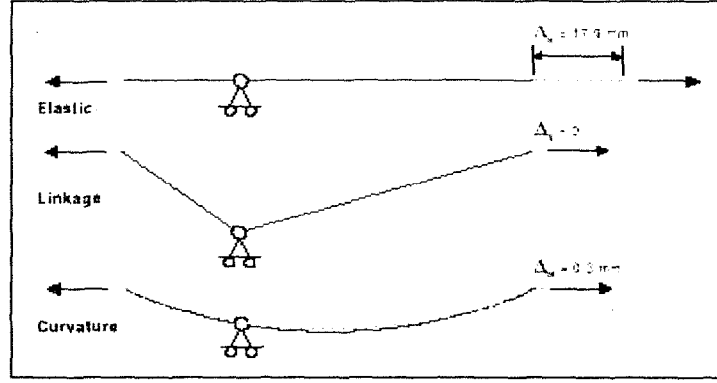
Şekil 2.4 Yardımcı bağlantı (bum açık)²



MHI patent pending

Şekil 2.5 Yardımcı bağlantı (bum çekilmiş)

² Resimler www.jwdlifttech.com



Şekil 2.6 Ön destek kirişinin uzaması (yardımcı bağlantı dahil edilmiş)

2.4 Konteyner krenlerinde yeni tasarımlar

2.4.1 A-iskelet tipli krenler

2.4.1.1 “VIT” hareketli (yükselebilen) araba kirişi (elevating trolley girder)

Çift vinçli kaldırılabilen platformlu konteyner krenleri konteyner işleme kapasitesinde eski nesil tek vinçli krenlere oranla açık bir avantaj getirse de aynı zamanda bir çok kısıtlamaları da mevcuttur. Tek vinçli krenlere göre yüzde 50 ila 75 daha pahalıdır, elektronik ve hidrolik kontroller oldukça karmaşılaşır, kullanılacak motor ve makine sayısı artar, kren kontrolü için iki adet operatör gerekir. Ancak tek vinçli krenlere karşı önemli bir avantajı vardır; arabanın hareketi esnasında yükte oluşan salınımları yok etme ya da en azından kabul edilebilir bir değere indirme gibi.

Yeni tek vinçli krenlerin post-panamax³ normundaki büyük ölçüleri ile kötüleşen yük salınım karakteristikleri (krenin yerden yüksekliği arttıkça salınım genliği artmaktadır), yüksek kaldırma ve araba yürütme hızlarının da olumsuz etkileriyle azaltılmasını gerektirecek bir problem haline gelmiştir.

Yıllar boyunca yük salınımının azaltılması için çeşitli düzenlemelere gidilmiştir. Hidrolik metotlar, salınım giderici otomasyon sistemleri, ve robotik sistemler bunlar içinde sayılabilir.

³ Panamax terimi Panama Kanalı'ndan geçebilen gemiler ve bunlara hizmet veren krenler için, post-panamax terimi ise, Panama Kanalı'ndan geçemeyen gemiler ve bunlara hizmet eden görece daha büyük krenler için kullanılmıştır.

Bütün bu yöntemlerin hedefi sorunun sebebi değil, kendisidir. Bir konteyner aynı bir sarkaç gibi arabadan çıkan kablolarla asılır. VIT mühendisleri de bu yaklaşımdan yola çıkarak arabanın olması gerekenden fazla yükseklikte çalışmaması için bumu kancalara monte edip bu kancaların makaralar üzerinde indirilip kaldırılarak bum yüksekliğinin ayarlanabileceğini düşünmüşlerdir.

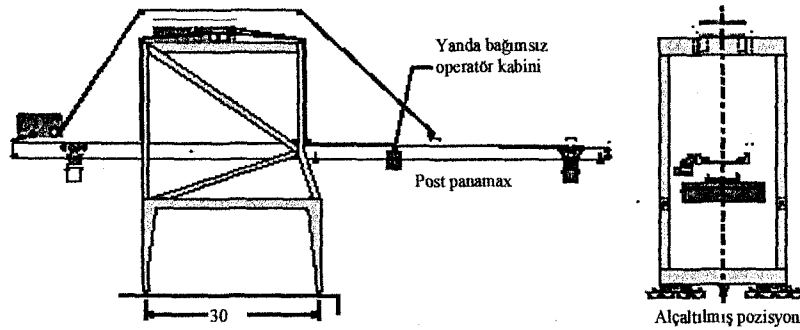
Böylece kısa bir kaldırma yolu ve yüksek hızlar edilir ve konteynerin asılı olduğu halat boyu kısaldığından yükün salınımı da azalır.

Yapılan araştırmalar ve simülasyonlar sonucu bu yeni krenin sadece tek bir operatör gerektirmesine rağmen verimlilik açısından çift vinçli krenlerle karşılaştırılabileceği görülmüştür. Böyle bir krenin potansiyel maliyetinin incelenmesinde de çift vinçli krenlere göre açık bir şekilde daha ucuz olduğu, ancak tek vinçli geleneksel bir krenden de yüzde 20 ila 25 daha pahalı olacağı belirlenmiştir. ⁴

2.4.1.2 Kren Yapısı

VIT kreni iki büyük elemandan oluşmaktadır, kren iskeleti ve hareketli araba kirişinin de bulunduğu üst kısım.

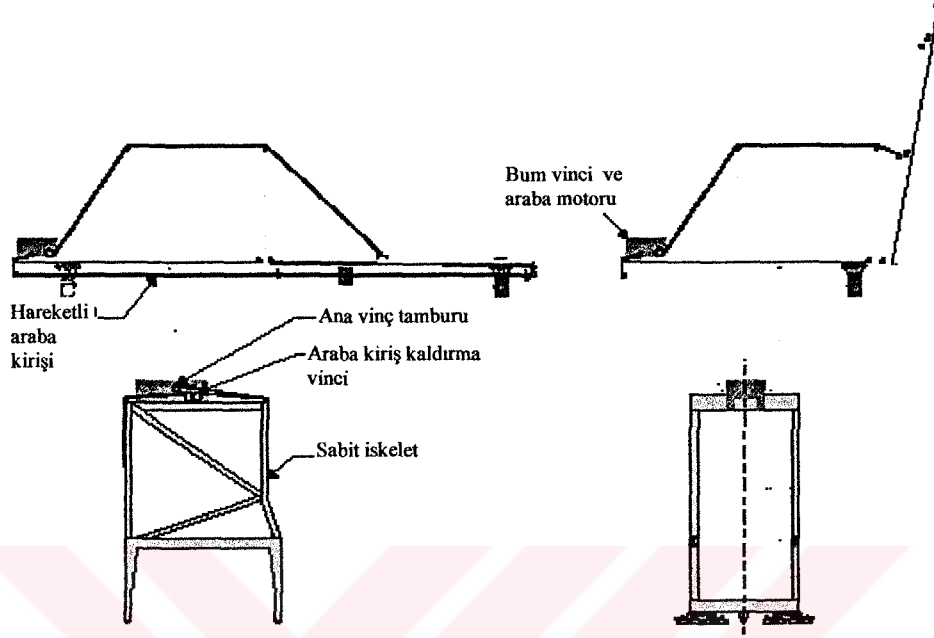
Üst kısım, araba hareket kirişi destek çubukları boyunca uzayan dört adet direk tarafından desteklenir. Destek çubuklarına konumlandırılan hidrolik silindirler, operasyon boyunca üst kısım ile beraber çalışır ve her kaldırma ve indirmede güvenlik için kilitlemeleri yapar.



Şekil 2.7 VIT firmasının yükselen kirişli kreni

⁴ Bakınız www.jwdliftech.com pdf dökümanlar

Üst kısmın yükseltilmesi kren iskeleti üzerinde bulunan makine odasındaki bu iş için ayrılmış olan vinç ile gerçekleşir. Bu vinç beraber çalışan iki adet tambura sahiptir. Her iki tamburunda ayrı motor, redüktör ve frenleri vardır. Vinç halatlarının emniyet katsayısı sekizdir.



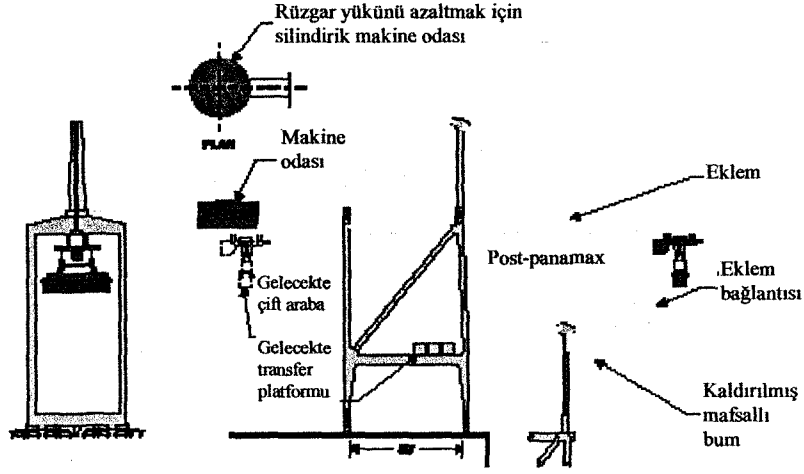
Şekil 2.8 VIT firmasının yükselen kirişli kreni

Bu sistem nükleer tesislerde nükleer yakıtı taşıyan krenlerden bile güvenlidir. Direkleri tutan hidrolik silindirlere gerektiğinde üst kısmı yavaşça aşağı veya yukarı hareket ettirebilir. Ana vinç, makine odasında üst kısmın konumunu ayarlayan vinçten üsttedir. Ana vinçten çıkan halatlar kren iskeletinin deniz tarafındaki ayakları arasından araba kirişine ulaşır.

Üst kısım kren iskeleti bacakları tarafından yanlardan kılavuzlanmıştır .

2.4.2 Ansaldo Kaohsiung kreni

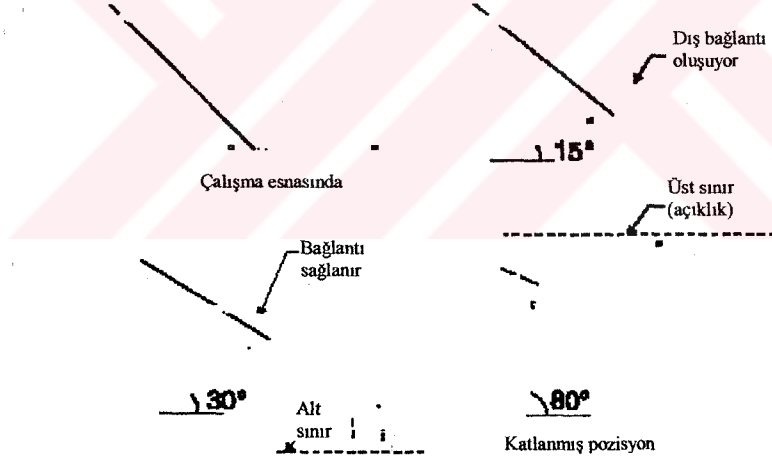
Bu kren aynı araba kirişi üzerinde iki ayrı araba taşıyabilecek şekilde tasarlanmıştır. Şu anda kiriş üzerinde sadece bir araba hizmet verebilmektedir ancak gelecekte ikinci araba da eklenebilecektir. Arabalardan biri arka açıklıktan deniz tarafındaki ayağa, diğeri ise kara tarafındaki ayaktan ön açıklığa kadar olan mesafelerde çalışır. Konteynerler portal ayakların üzerindeki bir platforma bırakılır ve buradan alınırlar.



Şekil 2.9 Ansaldo Kaohsiung kreni

Bu tip krenler "Ansaldo" firması tarafından tek arabalı krenler olarak standartlaştırılmıştır. Bu krenlerin verimi yüksektir ve minimum rüzgar direncine sahiptirler.

Standart köşeli makine odası rüzgar yükünü azaltmak için silindirik olarak yapılmıştır. Bu tasarım makine odası üzerindeki rüzgar yükünü yaklaşık yüzde 40 oranında azaltır.



Şekil 2.10 Bum çekme sistemi

Bumun uç kısmında oluşan rüzgar hızı çok yüksek değerler erişebilir. Çift arabanın ağırlığı, uçaklar için oluşturduğu tehlike ve rüzgar yükleri geleneksel bum kaldırma sistemlerini pratiklikten uzaklaştırmaktadır. Çözüm, Şekil 2.10 de görülen bum kaldırma sistemi ile sağlanabilir.

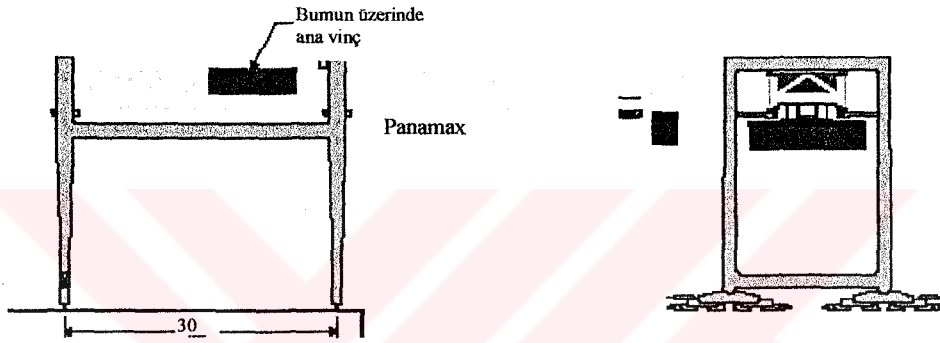
Bum çekme vinci bumu kaldırmaya başladığı esnada, bumun uç kısmı alt sınır çizgisine doğru inişe geçer. Yaklaşık 15° de bum dış desteğe (payandaya) dayanır. 30° civarında bumun dış

kısmı ile iç kısmı arasında bir bağlantı meydana gelir ve bum artık rijit bir cisim gibi yükselmeye devam eder. Yükselme tamamlandığında bumun ucu üst sınır çizgiyi belirler. Bu şekilde bumun kaldırıldığı zaman bum katlanarak toplam yüksekliği azaltmış olur.

Bumun kaldırılması sırasında ortaya çıkan kuvvetler ve geometri bir bilgisayar programı tarafından her aşama için ayrı ayrı hesaplanır.

2.4.3 Low profile krenler (düşük maliyetli krenler)

Bu tip krenler ilk olarak 1960'lı yıllarda imal edilmişlerdir. Paceco firmasının standart panamax dizaynı Şekil 2.11 de gösterilmiştir. Bum, bir askı sisteminin tekerlekleri üzerinde hareket etmektedir.



Şekil 2.11 Paceco firmasının standart panamax dizaynı

Paceco'nun standardında bütün makine ve elektrik donanımları bumun üzerinde yer almaktadır. Bu elemanlar bumla birlikte hareket eder ve tekerlek yüklerinde belirgin artışlara sebep olurlar. Boyutları büyüyen post-panamax krenlerinde ise makinelerin bumun üzerine yerleştirilmesi yaklaşımı tekerlek yüklerinin çok büyük değerlere ulaşmasına neden olur.

Low profile post-panamax krenlerinde krenin ağırlığını ve kren yüklerini azaltmak için yeni tasarımlar üzerinde çalışılmaktadır.

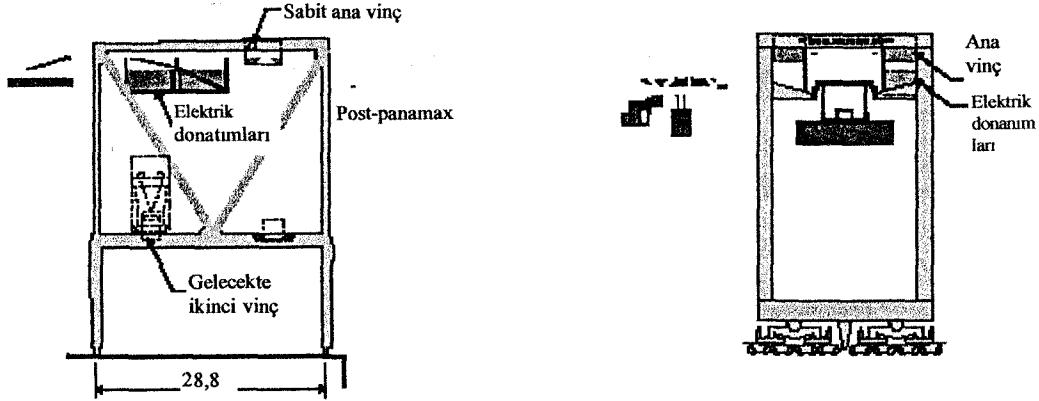
2.4.3.1 Kocks Oakland low profile krenleri

Bu tip post-panamax krenleri, standart Paceco tasarımı low-profile krenleri için hazırlanmış olan raylar üzerinde çalışmaktadır. Tekerlek yüklerinin sınırlanması yeni kavramlar gerektirmektedir.

Kren bumunun ağırlığı ana vinç ve elektrikle ilgili elemanların kren iskeletine yerleştirilmesi ile azaltılmıştır. Ana vincin motorları ve dişli kutuları bumun yan kısımlarına asılmıştır ve ana

vincin tamburu direkt olarak bumun üzerine yerleştirilmiştir.

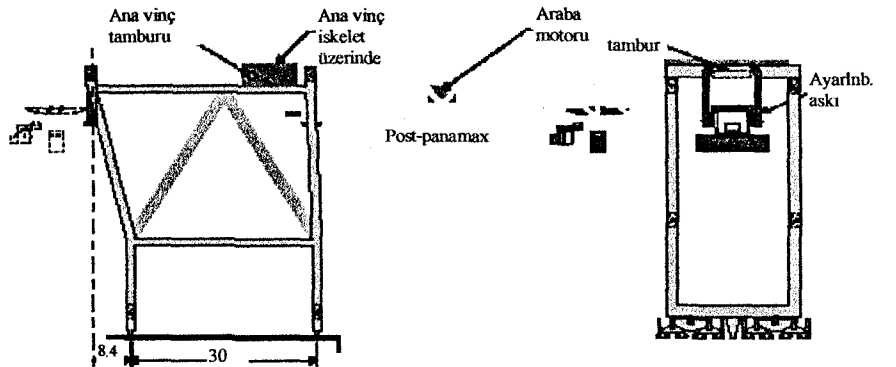
Ön açıklık maksimum değerini aldığı anda arka açıklık mesafesi sıfırdır. Bumun tam olarak uzatılmadığı ara pozisyonlarda arka açıklık mesafesi de bulunur.



Şekil 2.12 Kocks oakland low profile krenleri

2.4.3.2 Samsung low profile Everglades Limanı kreni

Bu kren Everglades limanına yerleştirilmesi düşünülen krenler arasında istenilen tekerlek yükünü sağlayabilen tek krendir. Bu tasarım ile bumun kara tarafındaki desteğinin (taşıyıcısının) krenin kara tarafındaki ayağından yaklaşık 9 metre geriye alınması ile kren ağırlığının azaltılmasını sağlamıştır. Desteklenen bu mesafe ile bumun hareket yük kesilmesi ve askı tutucularının reaksiyonları yüzde 28 azalmış ve rüzgarın bum üzerinde moment etkisinden dolayı yarattığı yük yüzde 23 oranında azalmıştır. Yükteki bu azalmalar birleşince, az yük için az yapı gerekir ve az yapı da az yük oluşmasına neden olur.

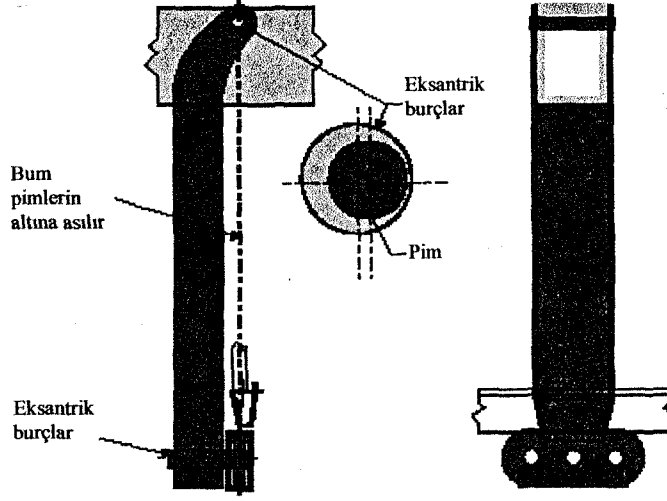


Şekil 2.13 Samsung low profile Everglades Limanı kreni

Everglades' in uçaklar için uçuş yükseklik sınırı Oakland' tan 6 metre daha fazla olduğundan

dolayı makine odası bumun üzerine yerleştirilebilmiş ve bu sayede daha basit ve daha ucuz bir çözüm sağlanmıştır.

Bumu taşıyan askı sistemleri ;



Şekil 2.14 Bumu taşıyan askı sistemleri

Bum veya araba hareket ettiklerinde, bumun destekleri üzerine gelen yükler bir maksimumdan sıfıra kadar değişirler. Askı yükleri değişken olduğundan kren iskeleti eğilir ve ayaklar yayılır. Destek sisteminin tasarımı bum ile kren iskeleti arasındaki hareketin gerçekçi bir tanımlamasını gerektirir.

Bumu taşıyan tekerlekler kusursuz bir şekilde sıralanmayabilir. Bu da bumun gidip gelme hareketi esnasında yanlamasına hareketler yapmasına neden olur.

Askı sistemi bütün bu güçlüklerin üstesinden gelir. Askılar direkt olarak etki eden düşey yükün üzerinde destek kirişlerine bağlanır. Bu nedenle askılar düşey durumda kalmaya zorlanır. Askı sistemi doğrudan ayaklara bağlı olmadığından, ayakların hareketi önemli değildir. Yanal yükler kren iskeletine bağlı kenar silindirleri (tekerlekleri) ile karşılanır.

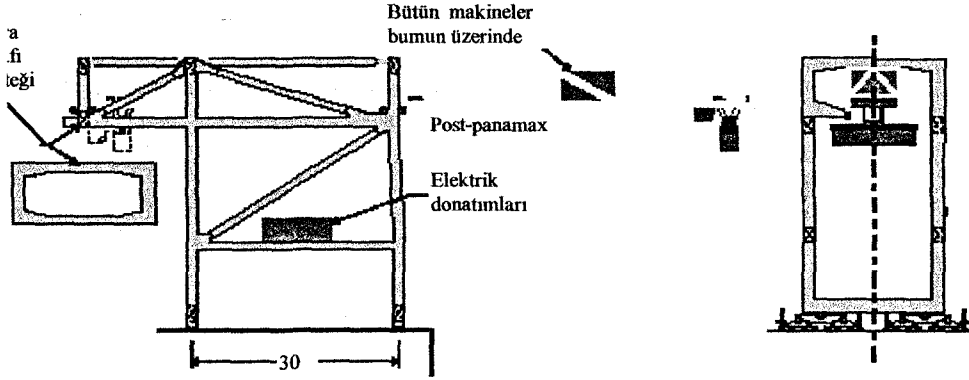
Bumu taşıyan tekerleklerin konumları ayarlanabilir. Bağlantı pimlerindeki eksantriklikler tekerleklerin yükselmesini, alçalmasını ve dönmesini sağlar.

Bum desteklerinden biri olmasa dahi sabit kalacak şekilde tasarlanmıştır.

2.4.3.3 Paceco firmasının Boston Limanı teklifi kren

Bu tasarımda ana vinç ve araba hareket mekanizması bumun üzerine yerleştirilmiştir. Bu kren

Paceco firmasının standart krenlerinden yaklaşık yüzde 50 daha büyüktür. Bu yüzden tekerlek yükleri de yüzde 50 daha büyüktür. İzin verilen çalışma esnasındaki tekerlek yükleri dört ayaklı bir yerleşim için alışılmamış şekilde yüksektir. Her köşede sekiz tekerlek vardır.



Şekil 2.15 Paceco firmasının Boston Limanı teklifi kren

Bumun destekleri arasındaki açıklık 45 metredir. Bu bumdaki hareketli yükün oluşturduğu makaslamayı yüzde 33 ve bum üzerinde oluşan momentleri yüzde 39 oranında azaltır. Bu etkilerin birleşimi sonucu az yük az yapı ve az ağırlık üçlemesi tekrar oluşmuş olur. Eğer makineler kren iskeleti üzerine yerleştirilirse ağırlık azalır, ancak eklenen mekanik sistem maliyeti yapısal maliyetlerden yüksek olur.

Kara tarafındaki bum taşıyıcısının (desteğinin) oldukça uç bir noktada olması askı veya destek sistemleri yerine O-yapılı bir kafes ile bumun taşınmasına izin vermiştir. Bu ağırlıktan tasarruf sağlar, ayakların yayılması problemini giderir ve araba hareketi için kara tarafında bir sınır oluşturur.

Deniz tarafındaki ayaklardan çıkan dirsekler bumun taşınmasını sağlarlar. Burada dirseklerin kullanılması kreni sipariş verenin tercihidir. Askı sistemi ile bumun dirsekler üzerine oturtulması arasında küçük bir maliyet farkı vardır. Her ikisi de güvenilirdir.

Bumun destekleri arasındaki 45 metrelik açıklık neredeyse bumun 50 metrelik hareket mesafesine eşittir. Makine sistemi, bumun ağırlık merkezi çalışma esnasında deniz tarafındaki ayaklardan deniz tarafına doğru biraz uzakta ve bumun çekilmiş halinde ise bu sefer kara tarafındaki ayakların deniz tarafına doğru biraz uzağında olacak şekilde yerleştirilir.

Bum tekerlekler üzerinde hareket eder ve sabit platformlar üzerinde çalışır. Tekerlekler hidrolik krikolar ile yükseltilir ve alçaltılır. Bu platformlar sabit desteklerin birbirine göre hareket etmesini sağlar.

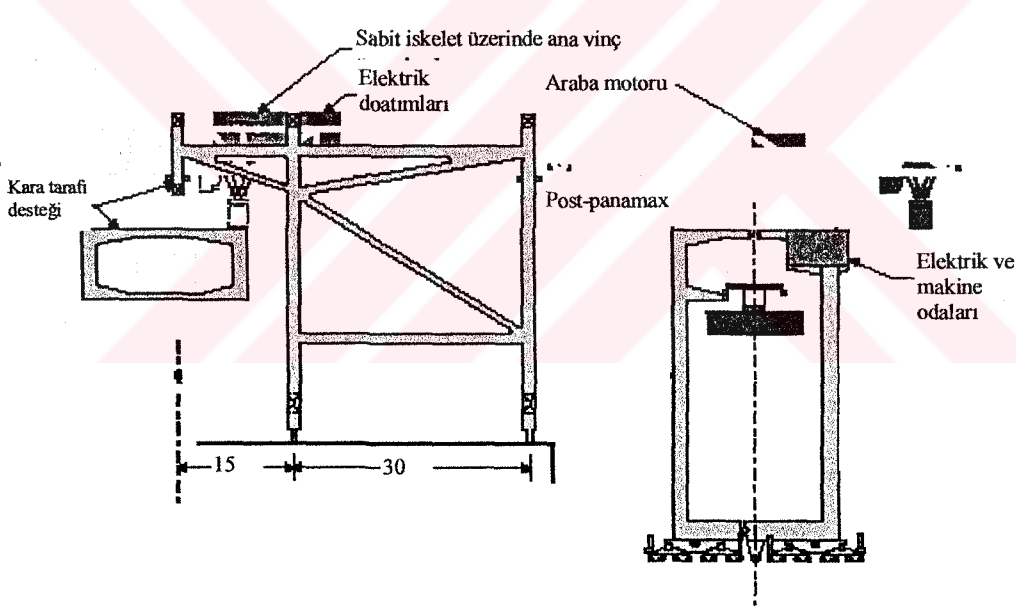
Yeterli iş alanını sağlamak için buma yerleştirilmiş olan makine odası izin verilen bum genişliğinin limitlerine göre bum yapısının dışına uzatılır. Elektrik donatılarının bulunduğu oda bumun ve yanal yüklerin etkisini azaltmak için portal kirişin üzerine konulmuştur.

Kren iskeleti Everglades kreninden kara tarafındaki ayağının eğimli olmamasıyla farklıdır. Bu istenen açıklık değerlerini tutturmak içindir. Bununla birlikte bu açıklık değerlerinde bir değişiklik istenmiştir.

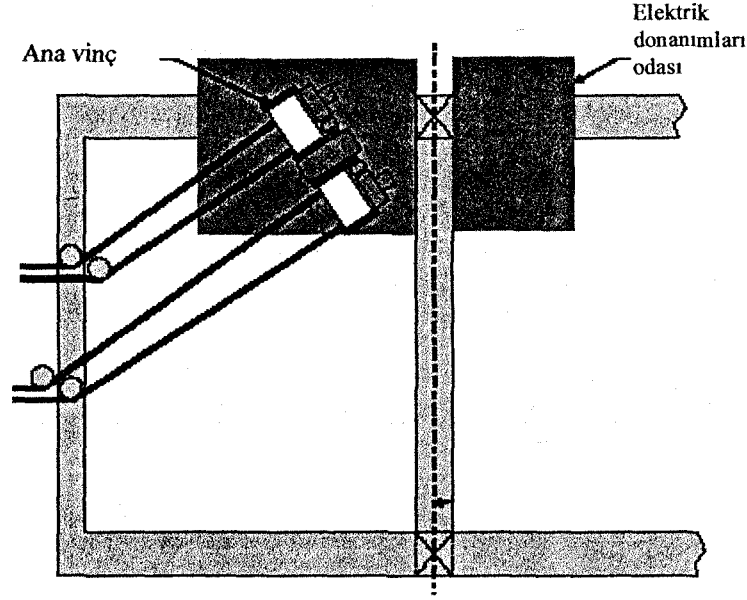
Bu teklif Boston Limanı için kabul görmüştür.

2.4.3.4 Samsung firmasının Boston Limanı teklifi kren

Bu kren tasarımı Boston Limanı için seçilemediyse de, ilginç özelliklere sahiptir. Makinalar kren iskeleti üzerine monte edilmiştir ancak tek taraftan. Bu durum mekanizmanın basitleşmesini sağlamış ve gerektiğinden fazla bir çalışma alanı sunmuştur.



Şekil 2.16 Samsung firmasının Boston Limanı teklifi kren



Şekil 2.17 Tahrik Mekanizması

2.5 Yük salınım kontrolü

Bir halatın ucuna asılmış olan bir yük basit sarkaç şeklinde davranış gösterir. Sürtünmesiz ortamda yük dikey denge pozisyonundan açıldıkça diğer tarafta aynı mesafedeki noktaya kadar salınım yapar.

Yükün tekrar aynı noktaya gelebilmesi için geçen zaman sarkaç periyodu olarak adlandırılır. Periyot sadece halat uzunluğuna bağlıdır ve yük ağırlığından bağımsızdır. Gerçek hayatta rüzgar ve diğer sistem sürtünmeleri sebebiyle periyot yüke de bağımlı hale gelir.

Sarkaç sistemi mesnet noktasından (bu nokta konteyner kren sisteminde halatın arabaya bağlandığı noktadır ve bu noktanın hareketleri araba hareketleri tarafından meydana gelmektedir.) aniden durdurulsa da salınım devam eder. Eğer hareketi durduracak kuvvetli bir sürtünme yada başka bir etken yoksa uzun bir süre salınıma devam eder.

Oluşan bu salınım belirtildiği gibi halat uzunluğu arttıkça artar ve konteyner krenlerinde istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle bu salınımın giderilmesi için farklı sistemler geliştirilmiştir.

Kren kontrol sistemleri mekanik veya elektrikseldir. Mekanik sistemler yük salınımını önlemek amacıyla araba ve spreader de dahil olmak üzere halat sistemini kullanırlar. Mekanik sistemler rijit asma (suspension) sistemi ve mekanik salınım sönümleme sistemi olarak ikiye

ayrılırlar. Rijit asma sistemi yükün salınımını önlese de artan yükler ve halat boyları yüzünden yükselen tork bu sistemlerin kullanımını sınırlar.

Mekanik salınım sönümleme sistemleri; pasif, yarı aktif veya aktif olabilirler.

Pasif salınım kontrolü, halat sistemini, hidrolik hareket elemanları ve sönümleyiciler kullanarak yük salınımı sonucu oluşan enerjiyi yutarlar. Yarı aktif sistemler sönümleme etkisini arttırmak için harici bir enerji kaynağı kullanırlar. Aktif sistemler ise yükün salınım açısını algılayıcılar ile tespit ederek geri besleme yoluyla kontrol altında tutarlar. Bu sistemlerdeki esas sorun, yeter derecede ayarlanmamış sistemlerde veya konteyneri ağırlık merkezinin ekseninden kaçık olduğu durumlarda burulma (dönme) salınımlarına neden olmasıdır. Ayrıca başka bir sorun da farklı yük ağırlıkları için sönümleme zamanının değişmesidir ki, bu da operatörün konumu ayarlarken isabetli bir hareket yapmasını engeller. Elektriksel sistemler açık veya kapalı çevrim olabilirler. Bu sistemler bilgisayarlar yardımıyla zararlı yük salınımına neden olabilecek araba hızı ve ivmesini ölçerler. Açık çevrim

Çizelge 2.1 Mekanik salınım sönümleme sistemleri

	Pasif	Yarı-Aktif	Aktif
Harici bir enerji kaynağına gereksinim	Hayır	Evet	Evet
Operasyon Şekli	Yük salınımı esnasında enerjiyi ısıya dönüştürür.	Yükün salınımına direnç gösterir	Salınım açısını belli bir değerde tutar
Algılayıcılar	Yük kütlesi	Yük kütlesi	Salınım açısı
Kontrol Şekli	Bilgisayar kontrollü hidrolik valfler	Bilgisayar kontrollü hidrolik valfler	Salınım açısının geri beslemeli tespiti ile aktif kontrol
Etki	Düşük	Orta	Yüksek
Karmaşıklık	Düşük	Orta	Yüksek

sistemlerde kontrol komutları, matematik modellere dayanarak yükün nasıl bir salınım yapacağını öngörülmesi ile hesaplanır. Kapalı çevrim sistemlerde ise kontrol komutları, algılayıcılardan yararlanarak yükün salınım açısının geri besleme yapılması üzerine hesaplanır. Açık çevrim sistemler el kumandalı manuel salınım önleyici veya noktadan

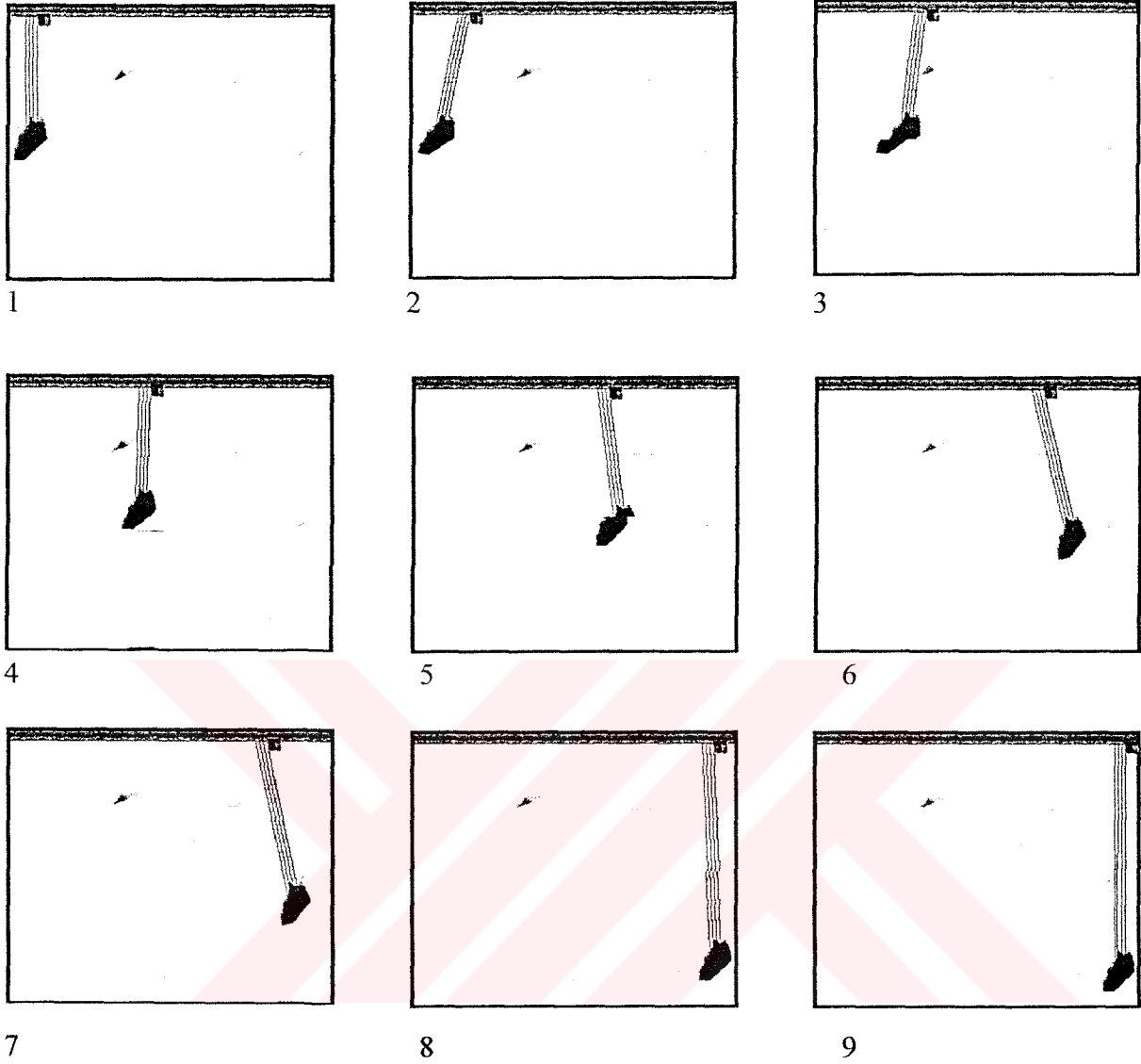
noktaya (point to point) salınım önleyici sistemler olarak ikiye ayrılır. Manuel salınım önleyici sistemler yükün yüksekliğini ve operatörün komutlarını ölçerek bir kontrol sırası oluştururlar. Bu şekilde salınım meydana gelmeden istenilen hıza ulaşılır. Bu sistem kullanılan matematik algoritmaların karmaşıklığına rağmen en basit salınım önleyici sistemdir. Başlangıçta mevcut olan salınım sönümlenemese de, operatörün direkt kontrolü mevcuttur.

Noktadan noktaya sistemler yük yüksekliği ve araba konumu parametrelerini kullanarak asılı yükü bilinen bir son noktaya hareket ettirirler. Hareket bir noktadan diğer bir noktaya önceden planlanmış bir yolun (yörünge) izlenmesi ile gerçekleşir.

Eğer manuel salınım kontrolü ve noktadan noktaya salınım kontrol yöntemleri birleştirilebilirse, kren operatörü otomatik veya manuel yolu istediği zaman seçebilecek, be da sisteme esneklik getirecek ve yapılabilecek uygulama sayısını arttıracaktır.

Kapalı çevrim sistemler başlangıç salınımını da, rüzgar gibi harici nedenlerden oluşan salınımları da sönümleyebilir. Bir rıhtım konteyner kreninde eksenden kaçık kaldırma ve rüzgar nedeniyle salınım kren otomasyonu için kabul edilemeyecek değerler ulaşır. Bu yüzden bir çok firma yükün salınım açısını temel alan ve salınımı arabanın ivmelenme değerlerini değiştirerek kontrol eden sistemler geliştirmişlerdir.

Bu sistemlerden biri, araba hareketinin uygun şekilde kontrol edilerek, arabanın kalkış hareketi ve frenleme hareketi esnasında oluşan ivmelenmelerin, salınım üzerindeki etkilerinin azaltılmasıdır. Bu metot bang-bang olarak bilinir ve arabanın önce istenen hızın yarısına kadar, yarım sarkaç periyodu sonra da istenen hıza kadar ivmelendirilmesi şeklinde uygulanır. Uygun şekilde yapılabilirse yük dikey pozisyonda salınımsız kalacaktır. Benzer şekilde arabanın frenlemesi esnasında da önce yarım hıza düşülür, yarım periyot sonra da durulursa salınım olmayacaktır.



Şekil 2.17 Araba ivmesi kullanılarak salınım kontrolü

Yük salınım açısının tespiti için arabanın motorları kullanılabilir. Bu ayrıca bir açı ölçümü yapılmasını gereksiz kılar. Bu sistemin hassas konum tespiti, küçük açılar kabiliyetine ve sıfır açısının hangisi olduğunu tespit edebilmesine bağlıdır.

Kontrol sistemi yönünden, bir rıhtım kreni en fazla tercih edilen konteyner işleme uygulamasıdır. Krenin spreaderi ± 25 mm hassasiyetle konumlandırması gerektiğinden, bir konteyneri otomatik olarak işlemek, hassas bir salınım açısı ölçümü ve kontrol sistemi gerektirir. Bu tür bir hassasiyet tam olarak otomasyon kullanan konteyner terminalleri içindir uygundur. Bu hassasiyeti sağlamak standart salınım önleme sistemlerinin yüksek performansına karşın, kaçık yüklemekten ve rüzgar etkisi gibi sebeplerden oluşan salınımları

yok etmek için salınım açısının ölçülerek kontrol edilmesi yoluna gidilir.

Salınım temel olarak bir sinüs dalgası olduğundan onu sönmöleyecek ivmeler oluşturabilmek için salınım genliği, frekansı ve faz sayısı tam olarak ölçülebilmelidir. Bunun için optik algılayıcı bir sistem kullanılabilir.

Gerçek ortamda konteyner salınım periyodu asılma yüksekliğine bağlı olarak 5 ila 9 saniye arasında değişir. Bu tip bir optik algılayıcı ile periyot başına 10-20 ölçüm yapılabilir. Bu da kontrol sistemi için yeterli bir değerdir.

Mekanik rijit dallanma kontrolü daha çok konteyner depolama ünitelerinde kullanılır. Geri beslemeli sistemler ise genellikle rıhtım konteyner krenlerinde kullanılır.

Eğer konum hassasiyetine biraz daha tolerans verilirse, ± 200 mm.lik bir hassasiyeti kabul edersek işlem çok daha kolaylaşır ve kullanılabilir teknoloji olanakları genişler. Operatör konteynerleri kolayca kavrama kollu spreaderler ile yakalayabilir. Bu tip bir konteyner işleme sistemi yakın zamanda tam otomatik konteyner işlemeye geçmeyecek limanlar için elverişli olabilir. ± 50 mm araba konum hassasiyeti ve ± 150 mm. salınım için bile konteyneri kavramak mümkün olabilmektedir. Bu da manuel işlemlerde hızı arttırır.

Daha iyi sonuçlar için salınım kontrolündeki en iyi elemanların bir araya getirilmesi gereklidir. Örnek olarak manuel kontrol, noktadan noktaya kontrol ve salınım açısı geri besleme kontrolü verimli bir şekilde birleştirilebilir.

Başka bir başarılı kombinasyon elektriksel açık çevrim kontrol ile aktif mekanik salınım sönmölemesi arasındadır. Mekanik salınım kontrolü ile ilgili en önemli problem, mekanizma araba ivmeleri sonucu oluşan salınıma karşı koyarken yüksek gerilmeler ve burulma (dönme) salınımları oluşturmasıdır. Bu sebeple kombinasyon içinde mekanik sönmöleme sistemlerini kaçık kaldırma ve rüzgar nedeniyle oluşan salınımları söndürmek amacıyla kullanmak daha uygundur.

Çizelge 2.2 Mekanik salınım kontrol yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları

Teknoloji	Avantajlar	Dezavantajlar
Rijit asma (rijit süspansiyon)	Basit operasyon Bütün salınımları önler	Karmaşık mekanizma Yapı üzerinde yüksek gerilmeler oluşturur Mekanik bakım gerektirir Mekanizmadaki geri tepmelerden dolayı ani keskin salınımlar Acil duruşlardan veya çarpışmalardan oluşan salınımlar kren yapısına zarar verebilir
Pasif sönümlenme	Görel olarak basit operasyon Değişik yükler için ayarlanabilir	Karmaşık yapı Devamlı bakım ve ayar gerektirir Yapı üzerindeki gerilmeleri arttırır Burulma salınımları oluşturabilir Isıya dönüşen enerjinin kaybı
Aktif sönümlenme	Otomatik olarak değişik yüklere adapte olur Hızlı ve isabetli operasyon Burulma salınımlarını önleyebilir	Karmaşık yapı ve operasyon Devamlı bakım ve ayar gerektirir Yapı üzerindeki gerilmeleri arttırır Burulma salınımları oluşturabilir Pahalıdır

Çizelge 2.3 Elektriksel salınım kontrol ve sönümleme sistemleri

	Manuel Salınım önleyici	Noktadan noktaya salınım önleyici	Kapalı çevrim kontrol
Ölçüler	Yük yüksekliği	Yük yüksekliği Araba pozisyonu	Yük yüksekliği Araba konumu Salınım açısı
Yük salınımı sönümlemesi	Hayır	Hayır	Evet
Operatör arabirimindeki değişiklikler	Gerek yok veya küçük	Karmaşık	Uygulamaya göre değişken
Teknik durumu	Hazır	Hazır	Prototip aşamasında
Uygulamalar	Bütün gantry krenler	Tekrarlanan genel işlerde Otomatik depolamada Hacimli malzemelerin işlenmesinde	Tam otomatik krenlerde Robotik krenlerde
Maliyet	Düşük	Orta	Yüksek

Çizelge 2.4 Elektriksel salınım kontrol sistemlerinin avantaj ve dezavantajları

Teknoloji	Avantajlar	Dezavantajlar
Manuel Salınım Önleyici	<p>Basit yapı</p> <p>Kolay ayarlanabilir</p> <p>Basit, standart sensörler kullanılır</p> <p>Düşük maliyet</p> <p>Hızlanma ve yavaşlama zamanları optimize edilebilir</p> <p>Motor torku ve kren ivmeleri optimize edilebilir</p> <p>Konforlu kren hareketleri</p> <p>Kren motorlarına ve yapısına gelen yükler ayarlanabilir</p>	<p>Başlangıç salınımını sönmüleyemez</p> <p>Rüzgardan veya başka harici nedenlerden dolayı oluşan salınımları karşılayamaz</p> <p>Son salınım oluşabilir (işlem bittikten sonra)</p> <p>Otomatik konumlandırma mümkün değil</p>
Açık çevrim Noktadan noktaya	<p>Basit, standart sensörler kullanılır</p> <p>Kontrol algoritması bilinen ve test edilmiştir</p> <p>Otomatik konumlandırma yapabilir</p> <p>Kren hareket zamanını optimize edebilir</p> <p>Konforlu kren hareketleri</p> <p>Kren motorlarına ve yapısına gelen yükler ayarlanabilir</p>	<p>Manuel kontrolde salınım giderme çalışmaz</p> <p>Başlangıç salınımını sönmüleyemez</p> <p>Rüzgardan veya başka harici nedenlerden dolayı oluşan salınımları karşılayamaz</p> <p>Son salınım oluşabilir</p>
Açı geri besleme sistemiyle kapalı çevrim kontrolü	<p>Başlangıç salınımını sönmüleyebilir</p> <p>Rüzgardan veya başka harici nedenlerden dolayı oluşan salınımları karşılayabilir</p> <p>Optimum yük konum hassasiyetine sahiptir</p> <p>Çarpışmaları ve diğer beklenmeyen yük hareketlerini algılayabilir</p>	<p>Düzensiz, salınımlı araba hızı gibi kren hareketlerine yol açabilir</p> <p>Özel sensörler ve hesaplama algoritmaları kullanılır</p> <p>Salınım açısı hassasiyeti ve sıfır açısının kalibrasyon problemleri</p> <p>Geri besleme sistemi dengesizleşerek salınımın artmasına yol açabilir</p> <p>Özel bakım gerektirir</p> <p>Pahalıdır</p>

Modern kren tasarımı elektronik kontrol sistemlerinin kullanılmasını da beraberinde getirmiştir. Yüksek verimlilik, yüksek güvenlik ölçütleri ve yapı ile bileşenler üzerindeki mekanik gerilmelerin azaltılması istekleri, daha gelişkin kren kontrol sistemlerinin kullanılması ihtiyacını doğurmuştur.

Bu durum, motorlar, salınım önleme sistemleri (anti-sway) gibi ilave bileşen ve fonksiyonların, verimli, güvenilir ve güvenli bir kren sistemi için, sistemin tümüne entegre edilmesi sonucunu doğurur.

Bu ihtiyaçlar, yükleri hızlı ve güvenilir olarak işleyebilen, aynı zamanda da konteyner hareketleri ve kren durumu hakkında devamlı olarak bilgi veren kren kontrol ve otomasyon sistemleri kullanımını gerektirir.

Bu durumda kren kontrol sistemlerindeki gelişmelerin nedenleri şunlardır:

- Kren güvenilirliği ve hazır olma durumu : Bu madde daha fazla donatım güvenilirliği, sorun giderme ve bakım ile kreni uzak bir yerden analiz etme imkanı kapsar.
- Kren performansı : Yüksek hızlar, büyük kaldırma yükseklikleri ve geliştirilmiş çevrim zamanları.
- Terminal yönetimi : Kren işlemlerinin genel liman planlaması ve yönetimiyle daha fazla iç içe olması.

2.6 Konteyner işlemlerinde gelişmiş robotik kren dizaynı

August Design firmasının geliştirmekte olduğu her türlü hava şartı için otomatik kargo transfer sistem (Automated All-weather Cargo Transfer System (AACTS) konsepti, robotik prensiplerinden yararlanarak hareketli platformlardan konteyner alıp yerleştirebilecek bir kren sistemini içermektedir.

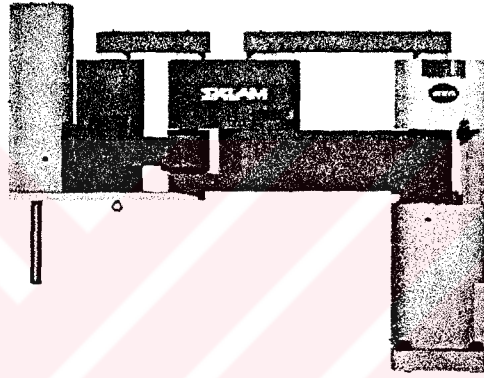
AACTS kreni prensip olarak büyük ölçekli bir scara robot, bir rijit kaldırma sistemi (vinç) ve 6 serbestlik dereceli bir spreader bardan oluşmaktadır. Hafif scara kolu yatayda rijit, ancak iki mafsalla yerden mafsallıdır. Bu noktalar etrafında dönüş yapabilmektedir. Rijit kaldırma elemanı spreaderin aşağı yukarı hareket etmesini sağlar ve kablolardan dolayı oluşan salınımı engeller. 6 serbestlik dereceli spreader barı spreaderin hedeflenen konteyneri takip etmesine izin verir. Tam otomasyon bu konseptin hedeflerinden biri olduğundan, spreaderin kavrama ve yerleştirme işleminde doğru pozisyona gelmesi için hareketli hedef bir kontrol sistemiyle otomatik olarak takip edilir. Otomatik kavrama ve yerleştirme kabiliyetine ek olarak sistem kontrol çevrimi içerisinde insan müdahalelerini de kabul eder.

AACTS kreni verimlilik konusunda da diğer krenlere göre bir hayli öndedir. Örnek olarak en çok 35 konteyner/saat limiti ile dizayn edilen ancak pratikte 25 konteyner/saat' lik bir çalışmanın normal kabul edilebileceği tipik bir konteyner krenine göre benzer şartlarda

çalışan 42 metrelik bir AACTS kreni yaklaşık olarak 75 konteyner/saat' lik bir performansa sahiptir. Eğer saatte bir fazladan işlem için kren başına senelik gelirlerde \$3,000,000' lık bir kazanç olacağı düşünülürse, üç tane AACTS krenine sahip olan bir terminalin saatteki işlem sayısının kren başına 25 ten 75 e çıkmasıyla senede \$450,000,000' lık bir gelir artış potansiyeline sahip olduğu görülür.

Bunlara ek olarak, AACTS kreni sistemin rijit olması ve salınım yapabilecek uzun kablolar bulunmaması nedeniyle başka avantajlara da sahiptir.

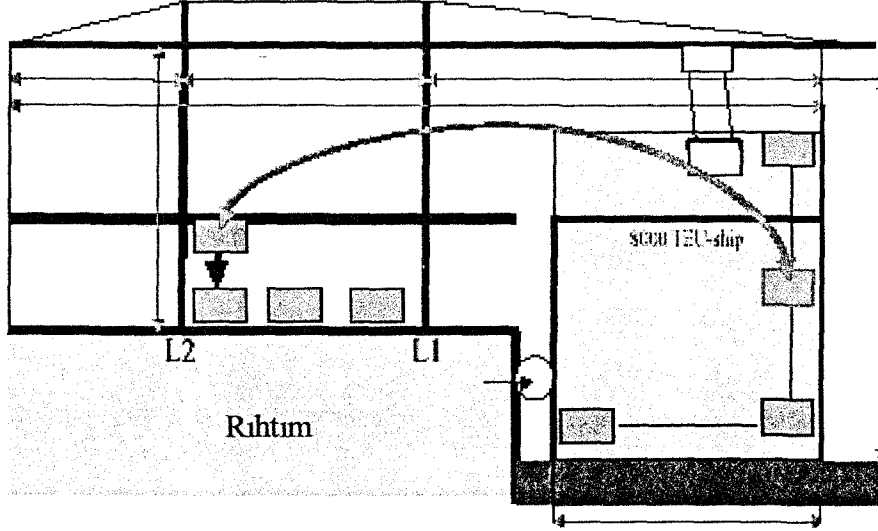
Sistemin temelini oluşturan scara robot prensibinin bir örneği aşağıda görülebilir. Salınımı önleyici özelliği olan kaldırma sistemi ise bir çeşit kılavuz mekanizması içinde aşağı yukarı hareket eden, ve scara robota benzer elemanın ucuna yerleştirilen bir vinç arabası olabilir.



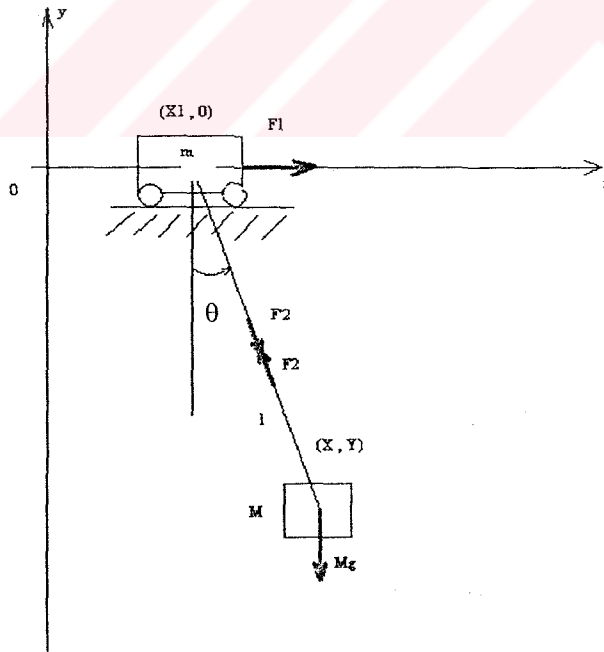
Resim 2.11 Scara Robot

3. MODELLEME

3.1 Sistemin fiziksel modeli



Şekil 3.1 Konteyner kreninde konteyner işlenmesi



Şekil 3.2 Fiziksel model

Şekilde kren bumu üzerinde yük taşıyan bir araba sistemi görülmektedir. Yük belli bir referans X_0, Y_0 pozisyonundan alınıp istenilen X_s, Y_s pozisyonuna götürülecektir. Bu esnada yük X ve Y koordinatlarının çizdiği bir yörünge izleyecektir. Sistem sürtünmesiz olarak kabul edilmiş rüzgar ve diğer dış etkiler göz ardı edilmiştir.

Sistem modelinin çıkartılmasındaki amaç, yük yörüngesini zaman optimal bir yörünge olarak hesaplayıp, bu esnada sistem kararlılığını sağlayacak ve iç dinamikleri uygun değerde tutabilecek bir kontrol sistemi geliştirmektir.

Sistem 3 serbestlik dereceli bir sistemdir. Kontrol edilmesi gereken değişkenler yükün X - Y pozisyonu ve açısal salınımıdır. 3 serbestlik derecesine rağmen sisteme sadece 2 giriş vardır.

Sistemde halat açısının kontrolü istenmeyen salınımları önlemekte kullanılabilir. Ayrıca açıyı değiştirecek dış etkiler de modellenerek sisteme eklenebilir.

Sistem denklemleri doğrusal olmayan terimler içerir ve sistemde giriş ve çıkışlar arasında çapraz bağlantılar mevcuttur. Bu nedenle sistem nonlineerdir.

Genel olarak sistem için, çok girişli-çok çıkışlı(MIMO) nonlinear sistem tanımı yapılabilir.

Simülasyon çalışmasında, kontrol parametrelerinin yanı sıra, kren dizayn hesaplarına teorik hesaplamalarla katılan ve yükün sebep olduğu yüklemelerin yükseltilmesinde kullanılan dinamik faktör ψ 'nin simülasyon yoluyla elde edilmesi de gerçekleştirilecektir.

3.2 Sistemin matematik modeli

Sistem denklemlerini Lagrange eşitliklerinden elde edebiliriz.

Sistemin kinetik enerjisi,

$$E_k = \frac{1}{2} m \dot{x}_1^2 + \frac{1}{2} M (\dot{x}^2 + \dot{y}^2) \quad (3.1)$$

potansiyel enerji,

$$E_p = Mg(L_0 - y) \quad (3.2)$$

Yük pozisyonu x ve y ' i araba pozisyonu, halat uzunluğu ve açısının fonksiyonu olarak yazarsak ve türevini alırsak,

$$\dot{x} = \dot{x}_1 + L \sin \theta \quad (3.3)$$

$$\dot{x} = \dot{x}_1 + \dot{L} \sin \theta + L \dot{\theta} \cos \theta \quad (3.4)$$

$$y = -L \cos \theta \quad (3.5)$$

$$\dot{y} = -\dot{L} \cos \theta + L \dot{\theta} \sin \theta \quad (3.6)$$

Lagrange tanımından kısmi türevleri alırsak,

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{L}} = M \left[(\dot{x}_1 + \dot{L} \sin \theta + L \dot{\theta} \cos \theta) \sin \theta - (L \dot{\theta} \sin \theta - \dot{L} \cos \theta) \cos \theta \right] \quad (3.7)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{L}} \right) = \frac{\partial}{\partial t} M \left[\dot{x}_1 \sin \theta + \dot{L} \sin^2 \theta + L \dot{\theta} \sin \theta \cos \theta - L \dot{\theta} \sin \theta \cos \theta + \dot{L} \cos^2 \theta \right] \quad (3.8)$$

$$= \frac{\partial}{\partial t} M (\dot{x}_1 \sin \theta + \dot{L}) = (\ddot{x} \sin \theta + \dot{x}_1 \dot{\theta} \cos \theta + \ddot{L}) M$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial L} = M \left[(\dot{x}_1 + \dot{L} \sin \theta + L \dot{\theta} \cos \theta) \dot{\theta} \cos \theta + (L \dot{\theta} \sin \theta - \dot{L} \cos \theta) \dot{\theta} \sin \theta \right] \quad (3.9)$$

$$= M (\dot{x}_1 \dot{\theta} \cos \theta + \dot{L} \dot{\theta} \sin \theta \cos \theta + L \dot{\theta}^2 \cos^2 \theta + L \dot{\theta}^2 \sin^2 \theta - \dot{L} \dot{\theta} \sin \theta \cos \theta)$$

$$= M (\dot{x}_1 \dot{\theta} \cos \theta + L \dot{\theta}^2)$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial L} = \frac{\partial}{\partial L} (Mg - MgL \cos \theta) = -Mg \cos \theta \quad (3.10)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{L}} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial L} + \frac{\partial E_p}{\partial L} = -F_2 \quad (3.11)$$

Buna göre F_2 kuvveti,

$$-F_2 = M (\ddot{x}_1 \sin \theta + \dot{x}_1 \dot{\theta} \cos \theta + \ddot{L} - \dot{x}_1 \dot{\theta} \cos \theta - L \dot{\theta}^2 + g \cos \theta) \quad (3.12)$$

Sistem tanımından \ddot{x}_1 için,

$$\ddot{x}_1 = \frac{F_2}{m} \sin \theta + \frac{F_1}{m} \quad (3.13)$$

yazarsak ve bunu 3.12 denklemini içine alıp sadeleştirirsek,

$$\frac{F_2}{m} \sin^2 \theta + \frac{F_1}{m} \sin \theta + \ddot{L} - L \dot{\theta}^2 - g \cos \theta + \frac{F_2}{M} = 0 \quad (3.14)$$

\ddot{L} halat ivmesini elde ederiz.

$$\ddot{L} = g \cos \theta + L \dot{\theta}^2 - \frac{F_1}{m} \sin \theta - \frac{F_2}{m} \sin^2 \theta - \frac{F_2}{M} \quad (3.15)$$

Yukarıdaki prosedürü θ için de uygularsak,

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}} = M \left[(\dot{x}_1 + \dot{L} \sin \theta + L \dot{\theta} \cos \theta) L \cos \theta + (L \dot{\theta} \sin \theta - \dot{L} \cos \theta) L \sin \theta \right] \quad (3.16)$$

$$= M \left[\dot{x}_1 L \cos \theta + L \dot{L} \sin \theta \cos \theta + L^2 \dot{\theta} \cos^2 \theta + L^2 \dot{\theta} \sin^2 \theta - L \dot{L} \sin \theta \cos \theta \right]$$

$$= M (\dot{x}_1 L \cos \theta + L^2 \dot{\theta})$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}} \right) = M (\ddot{x}_1 L \cos \theta + \dot{x}_1 \dot{L} \cos \theta - \dot{x}_1 L \dot{\theta} \sin \theta + 2L \dot{L} \dot{\theta} + L^2 \ddot{\theta}) \quad (3.17)$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \theta} = M (\dot{x}_1 \dot{L} \cos \theta - \dot{x}_1 L \dot{\theta}^2 \sin \theta) \quad (3.18)$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial \theta} = M g L \sin \theta \quad (3.19)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial \theta} + \frac{\partial E_p}{\partial \theta} = 0 \quad (3.20)$$

$$M (\ddot{x}_1 L \cos \theta + \dot{x}_1 \dot{L} \cos \theta - \dot{x}_1 L \dot{\theta} \sin \theta + 2L \dot{L} \dot{\theta} + L^2 \ddot{\theta} - \dot{x}_1 \dot{L} \cos \theta + \dot{x}_1 L \dot{\theta} \sin \theta + g L \sin \theta) = 0 \quad (3.21)$$

$$L \ddot{\theta} = -[2\dot{L} \dot{\theta} + g \sin \theta + \ddot{x}_1 \cos \theta] \quad (3.22)$$

$\ddot{\theta}$ açısal ivme,

$$\ddot{\theta} = -\frac{1}{L} \left(g \sin \theta + 2\dot{L} \dot{\theta} + \frac{F_2}{m} \sin \theta \cos \theta + \frac{F_1}{m} \cos \theta \right) \quad (3.23)$$

olur.

Buna göre sistem denklemleri,

$$\ddot{x}_1 = \frac{F_2}{m} \sin \theta + \frac{F_1}{m} \quad (3.13)$$

$$\ddot{L} = g \cos \theta + L \dot{\theta}^2 - \frac{F_1}{m} \sin \theta - \frac{F_2}{m} \sin^2 \theta - \frac{F_2}{M} \quad (3.15)$$

$$\ddot{\theta} = -\frac{1}{L} (g \sin \theta + 2\dot{L}\dot{\theta} + \frac{F_2}{m} \sin \theta \cos \theta + \frac{F_1}{m} \cos \theta) \quad (3.23)$$

yük pozisyonu ise,

$$x = x_1 + L \sin \theta \quad (3.3)$$

$$y = -L \cos \theta \quad (3.5)$$

olarak ifade edilebilir.

Sistemin durum denklemlerini bulmak istersek,

$$x_1 = x \quad x_2 = \dot{x} \quad x_3 = \theta \quad x_4 = \dot{\theta} \quad x_5 = L \quad x_6 = \dot{L}$$

$$y_1 = x \quad y_2 = y$$

$$u_1 = \frac{F_1}{m} \quad u_2 = \frac{F_2}{M} \quad \delta = \frac{M}{m}$$

elde ederiz.

Buna göre sistem modeli,

$$\dot{x}_1 = x_2$$

$$\dot{x}_2 = u_1 + \delta \sin x_3 u_2$$

$$\dot{x}_3 = x_4$$

$$\dot{x}_4 = -\frac{1}{x_5} (g \sin x_3 + 2x_4 x_6 + \cos x_3 u_1 + \delta \sin x_3 \cos x_3 u_2) \quad (3.24)$$

$$\dot{x}_5 = x_6$$

$$\dot{x}_6 = g \cos x_3 + x_4^2 x_5 - \sin x_3 u_1 - \delta \sin^2 x_3 u_2 - u_2$$

durum denklemleri şeklinde ve sistem çözümü de,

$$y_1 = x_1 + x_5 \sin x_3 \quad (3.25)$$

$$y_2 = -x_5 \cos x_3$$

şeklinde yazılabilir.

Sistem, modelden ve denklemlerden görüldüğü üzere non-lineerdir. Sistem çözümü için sayısal entegrasyon yöntemlerinden faydalanılacaktır. Bu amaçla Visual Basic içinde Runge-Kutta IV algoritmasını kullanan bir program yazılmış ancak simülasyonda, Matlab programının Simulink modülü kullanılmıştır.

Yukarıdaki sistem modeli, sistemde fren etkisi ve sürtünmeler olmadığı düşünülerek hazırlanmıştır. Eğer sistemde L halat uzunluğunun bir fren etkisinde sabit tutulduğunu ve halatın rijit olduğunu var sayarsak, o zaman sistem tek girişli, iki çıkışlı non-lineer sistem haline dönüşür. Bu koşulları sağlayacak durum denklemlerini bulmak için gene Lagrange Denklemleri'nden faydalanırsak;

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial \theta} + \frac{\partial E_p}{\partial \theta} = 0 \quad (3.20)$$

$$E_k = \frac{1}{2} m \dot{x}_1^2 + \frac{1}{2} M (\dot{x}^2 + \dot{y}^2) \quad (3.26)$$

$$E_p = Mg(L - y) \quad (3.27)$$

$$x = x_1 + L \sin \theta \quad (3.28)$$

$$\dot{x} = \dot{x}_1 + L \dot{\theta} \cos \theta \quad (3.29)$$

$$y = -L \cos \theta \quad (3.30)$$

$$\dot{y} = L \dot{\theta} \sin \theta \quad (3.31)$$

Lagrange tanımından kısmi türevleri alırsak,

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}} = M [\dot{x}_1 + L \cos \theta - L^2 \dot{\theta}] \quad (3.32)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}} \right) = M [\ddot{x}_1 L \cos \theta + \dot{x}_1 L \dot{\theta} \sin \theta + L^2 \ddot{\theta}] \quad (3.33)$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \theta} = M[-\dot{x}_1 L \dot{\theta} \sin \theta] \quad (3.34)$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial \theta} = MgL \sin \theta \quad (3.35)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial \theta} + \frac{\partial E_p}{\partial \theta} = 0 \quad (3.20)$$

$$\ddot{x}_1 L \cos \theta + L^2 \ddot{\theta} + gL \sin \theta = 0 \quad (3.36)$$

Sistem denklemlerinden biri;

$$\ddot{\theta} = -\frac{1}{L}(\ddot{x}_1 \cos \theta + g \sin \theta) \quad (3.37)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_1} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial x_1} + \frac{\partial E_p}{\partial x_1} = F_1 \quad (3.38)$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_1} = m\dot{x}_1 + M[(\dot{x}_1 + L\dot{\theta} \cos \theta)] \quad (3.39)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_1} \right) = m\ddot{x}_1 + M[\ddot{x}_1 + L\ddot{\theta} \cos \theta - L\dot{\theta}^2 \sin \theta] \quad (3.40)$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial x_1} = 0 \quad (3.41)$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial x_1} = 0 \quad (3.42)$$

$$\frac{M}{m} = d$$

diğer sistem denklemi de; (3.43)

$$\ddot{x}_1 = \frac{-L\ddot{\theta} \cos \theta + L\dot{\theta}^2 \sin \theta + \frac{F_1}{M}}{\left(1 + \frac{1}{d}\right)} \quad (3.44)$$

olarak bulunur. Bu denklemlerden durum denklemlerinin çıkartılmasıyla kren sisteminde yükün doğrusal hareketinin modellenmesi ve simülasyonu yapılabilir.

3.3 Dinamik yük dağılım faktörü

DIN15018' e göre kren üzerindeki toplam gerilme,

$$\sigma_T = \varphi \sigma_g + \psi \sigma_L + \sigma_R \quad (3.45)$$

burada σ_L kaldırılan yükten oluşan gerilmeler, ψ dinamik faktördür. Dinamik faktör kren hesaplarına deneysel yollardan elde edilmiş değerler olarak katılır. Krenler işletme şartlarına ve yük tekrar sayılarına göre farklı kaldırma gruplarına ayrılmıştır. Dinamik faktör ψ farklı kaldırma gruplarına göre Çizelge 3.1 de verilmiştir.

Çizelge 3.1 DIN 15018 Bölümü1' e göre ψ

Kaldırma Grubu	v_H kaldırma hızına göre dinamik faktör ψ	
	90 m/dak' ya kadar	90 m/dak.'dan sonra
H1	$1,1+0.0022* v_H$	1,3
H2	$1,2+0.0044* v_H$	1,6
H3	$1,3+0.0066* v_H$	1,9
H4	$1,4+0.0088* v_H$	2,2

Dinamik faktörü deneysel olarak simülasyon sonuçlarından tespit edebiliriz. Böylece simülasyon sistemimizin kaldırma grubu hakkında da bilgi verebilir.

Bunun için dinamik faktörü,

$$\psi = \frac{F_{max}}{F_0} \quad (3.46)$$

şeklinde tanımlarsak ψ dinamik faktörü elde edebiliriz.

Burada F_{max} , yük üzerindeki maksimum kuvvet, F_0 da Mg olarak alınabilir.

4. SİMÜLASYON ÇALIŞMASI

Sistemin simülasyonu, üçüncü bölümde elde edilen durum denklemlerinin Matlab kullanılarak bilgisayarda çözülmesi ile gerçekleştirilmiştir. Entegrasyon hem m-file olarak hem de Simulink modülünde yaptırılmıştır. Durum ve sistem değişkenlerinin simülasyon zamanı süresince değişimleri Simulink modülünde grafik olarak çizdirilmiştir. Ek A' da program metni, Ek B' de Simulink diyagramı ve bu diyagramın s-function versiyonu, Ek C' de ise entegrasyon işleminin MS Excel macrosu olarak düzenlenmiş bir versiyonu mevcuttur.

Simülasyonun amaçları:

1. Sistem değişkenlerinin tespiti; yük pozisyonunun ve açısının tespiti için gerekli olan değişkenler araba konumu, halat boyu ve açısıdır. Bunlar durum denklemlerinin integrasyonu yoluyla bulunabilir.
2. Dinamik faktörün bulunması; araba konumu elde edildikten sonra x ve y nin 2.türevleri sonucu bulunan ivmeleri bileşke kuvvet F_{max} 'ın bulunmasında kullanılabilir.
3. Sistemin açık çevrim simülasyonu; basamak cevaba verilecek tepki, kaldırma ve yürütme hareketlerinin simülasyonu.
4. Simülasyon içinde kullanılacak kontrolcü ile kapalı çevrim uygulayarak, Yük pozisyonu ve sallanma açısının istenen değerlere ulaştırılması, bu esnada yük pozisyonu için zaman optimal yörünge tespiti ve bu yörünge izlenmesi.
5. Lineerleştirme imkanlarının gözden geçirilmesi, mümkünse lineer sistemin simülasyona sokulması.

4.1 Sistemin açık çevrim cevabı

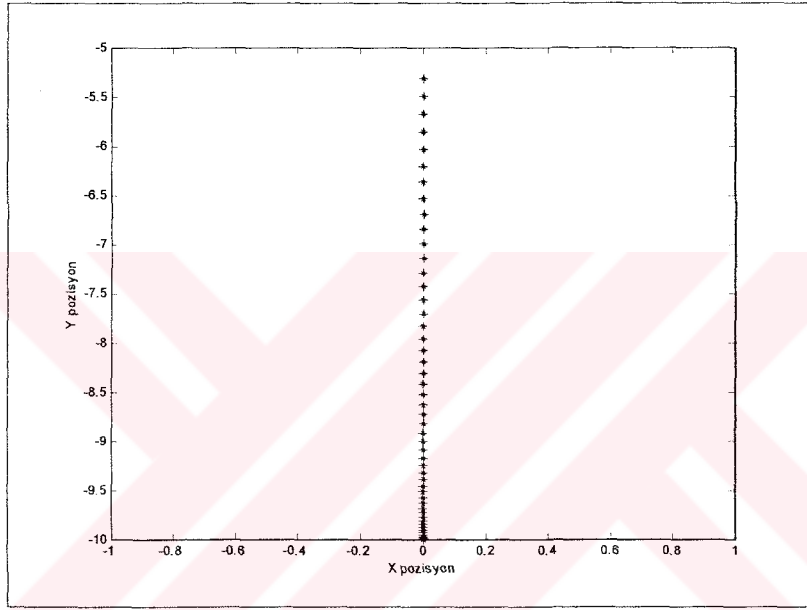
4.1.1 Yük kaldırma durumu

4.1.1.1 Sabit ivme ile yük kaldırma

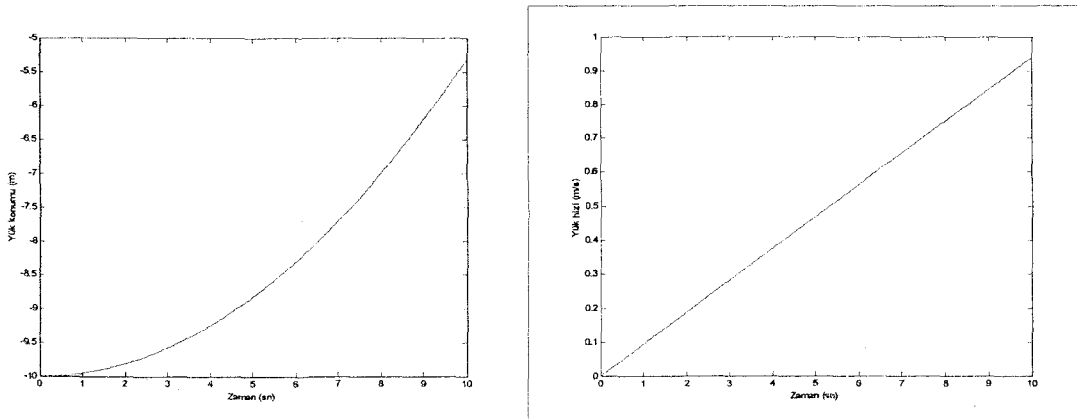
Giriş parametreleri;

$$g=9.81 \text{ m/s}^2 ; m=8000 \text{ kg}; M=32000 \text{ kg}; F_1=0; F_2=3000 \text{ N}$$

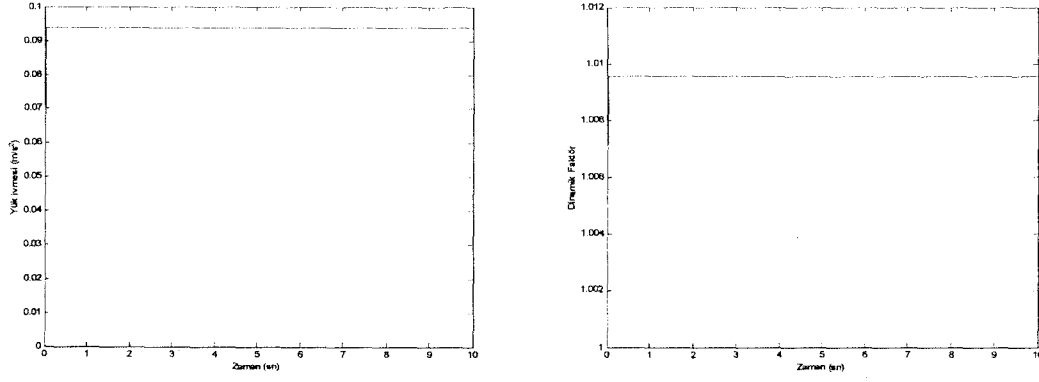
F_2 kuvveti $t=0$ anından itibaren simülasyon zamanı süresince sabittir.



Şekil 4.1 Yük kaldırma için yükün X-Y değişim grafiği



Şekil 4.2 a) Yük konumu-zaman grafiği b) Yük hızı-zaman grafiği



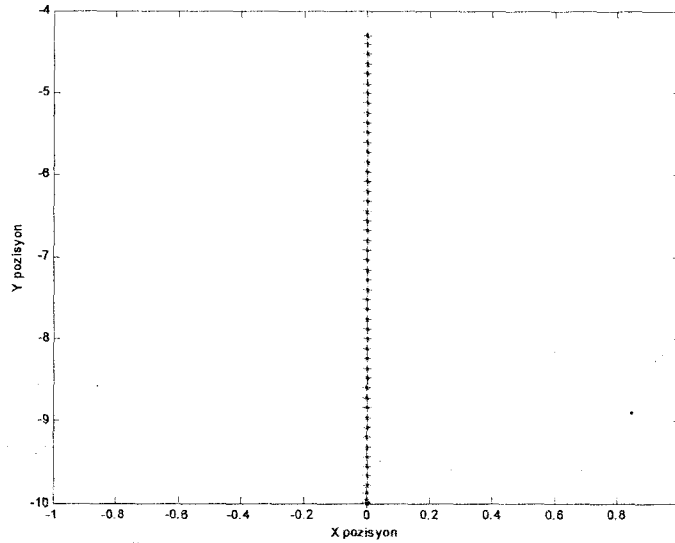
Şekil 4.3 a) Yük ivmesi-zaman grafiği b) Dinamik faktörün zamanla değişimi

4.1.1.2 Sabit hız ile yük kaldırma

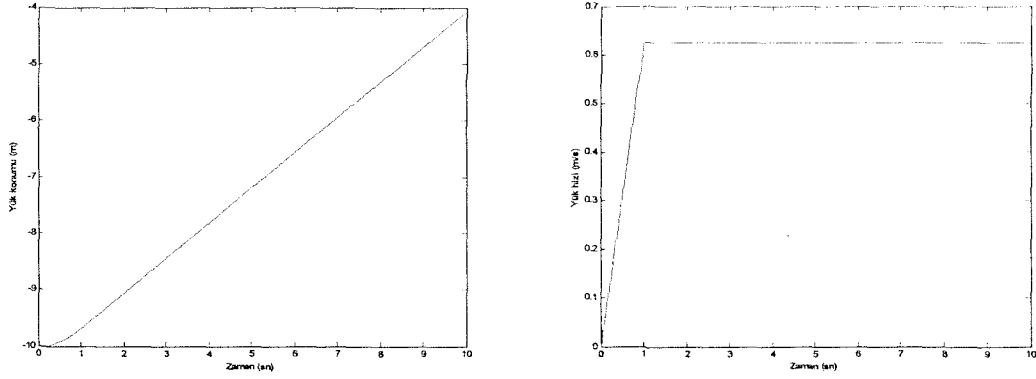
Giriş parametreleri;

$$g=9.81 \text{ m/s}^2 ; m=8000 \text{ kg}; M=32000 \text{ kg}; F_1=0$$

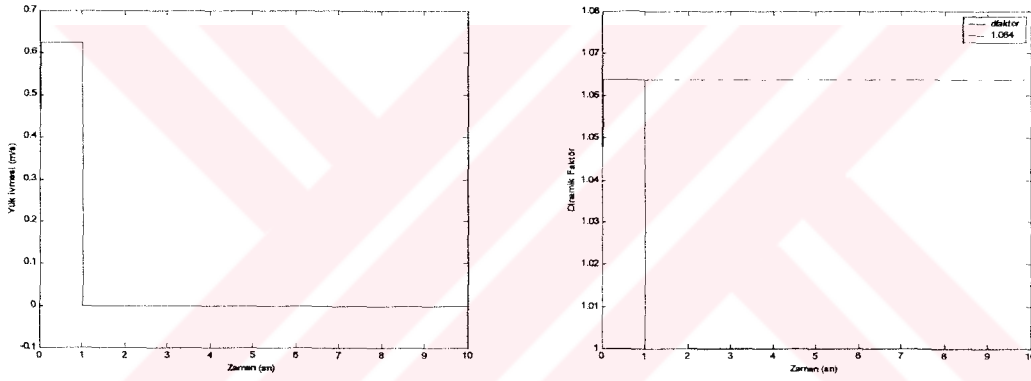
F_2 kaldırma kuvveti, simülasyonun ilk saniyesi boyunca 20000 N' luk bir itki vermekte ve birinci saniyeden itibaren sıfırlanmaktadır. Sürtünmesiz ortamda yükün verilen ivme ile sabit hızda hareket ettiği düşünülmüştür. Yerçekimi ivmesi F_2 kuvvetinin yarattığı ivmeye dahil değildir. Sisteme ayrıca ilave edilmiştir. Buna göre çıkış değerleri;



Şekil 4.4 Sabit hızla yük kaldırma için yükün X-Y değişim grafiği



Şekil 4.5 Sabit hızla yük kaldırma için: a) Yük konumu-zaman grafiği b) Yük hızı-zaman grafiği



Şekil 4.6 Sabit hızla yük kaldırma için: a) Yük ivmesi-zaman grafiği b) Dinamik faktörün zamanla değişimi

4.1.2 Sistemin doğrusal iletim açık çevrim cevabı

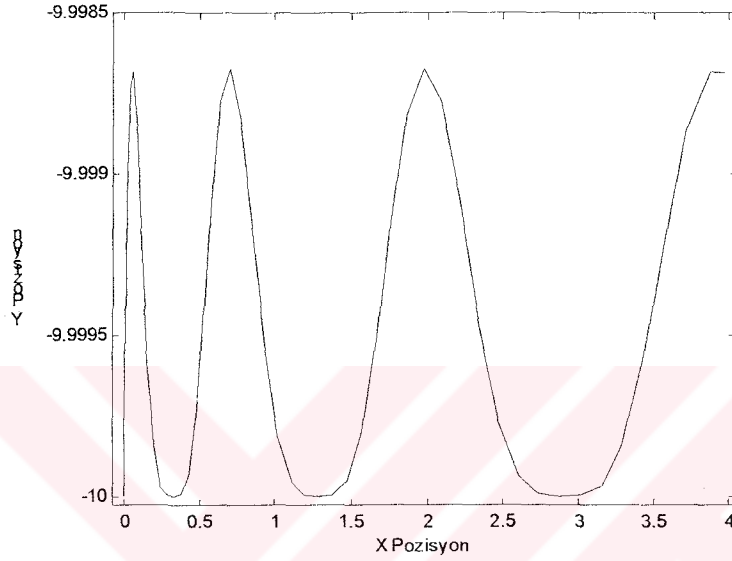
Sistemin doğrusal iletim simülasyonunda 3.37 ve 3.44 numaralı denklemlerden elde edilen durum denklemleri kullanılmıştır. Halat boyu sabittir. Sürtünmeler ve halat uzaması ihmal edilmiştir. Yük indirme-boşaltma işleminin aşamalarından biri olan doğrusal iletim boyunca esas amaç yüksek iletim hızlarında düşük salınım açıları elde etmektir.

4.1.2.1 Sabit ivme ile

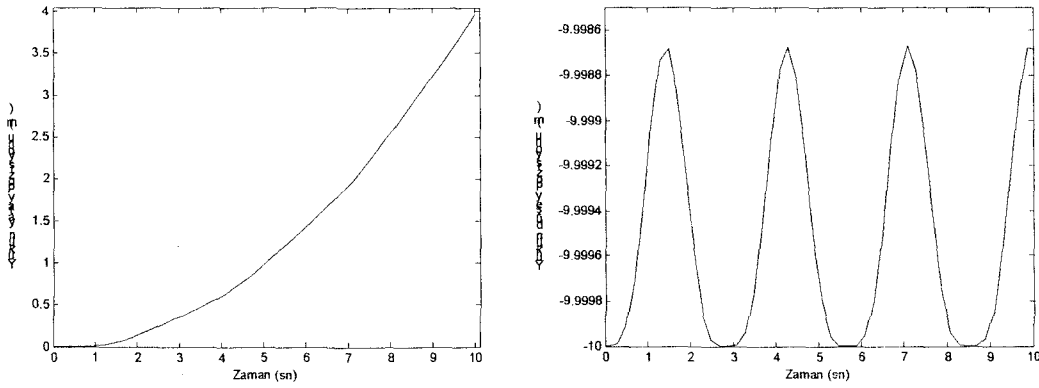
Giriş parametreleri;

$$g=9.81 \text{ m/s}^2 ; m=8000 \text{ kg}; M=32000 \text{ kg}; F_I=3200 \text{ N}; L=10 \text{ m}$$

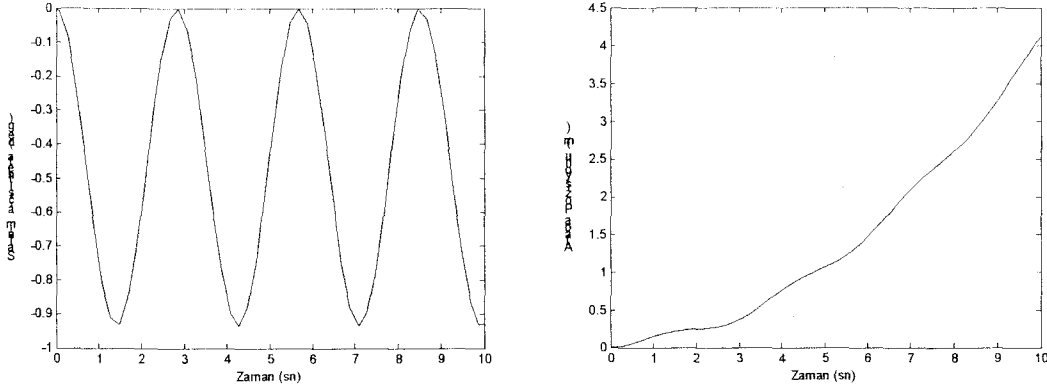
F_I kuvveti $t=0$ anından itibaren simülasyon zamanı süresince sabittir. Sürtünmeler ve halat uzaması ihmal edilmiştir.



Şekil 4.7 Sabit ivme ile doğrusal iletim için yükün X-Y değişim grafiği



Şekil 4.7 Sabit ivmeli doğrusal hareket için: a) Yükünün yatay pozisyonu-zaman grafiği b) Yükün düşey pozisyonu-zaman grafiği



Şekil 4.8 Sabit ivmeyle doğrusal hareket için: a) Salınım açısı-zaman grafiği b) Araba pozisyonu -zaman grafiği

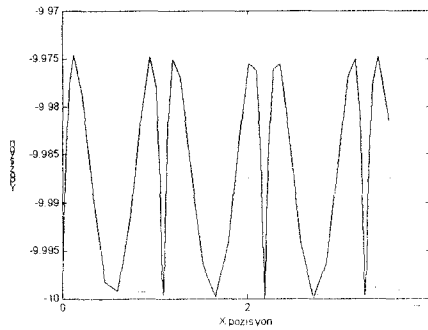
Doğrusal harekette yük, y ekseninde, salınım açısı nedeniyle bir hareket yapmaktadır. Bu nedenle yükün hareket yörüngesi Şekil 4.6 da görüldüğü gibi olur. Salınım açısı, arabanın x ekseninin pozitif yönünde hareket ettiği düşünülürse Şekil 4.8a da görüldüğü gibi sıfır ile negatif bir denge noktası arasında değişir. Sistemin non-lineer etkisinden ve frenleme yapabilecek bir etkinin olmamasından dolayı sıfıncı saniyede basamak giriş olarak kabul edilebilecek $F_1=3200$ sabit kuvveti karşısında sistemin çıkış parametreleri sonsuza gider.

4.1.2.2 Sabit hız ile

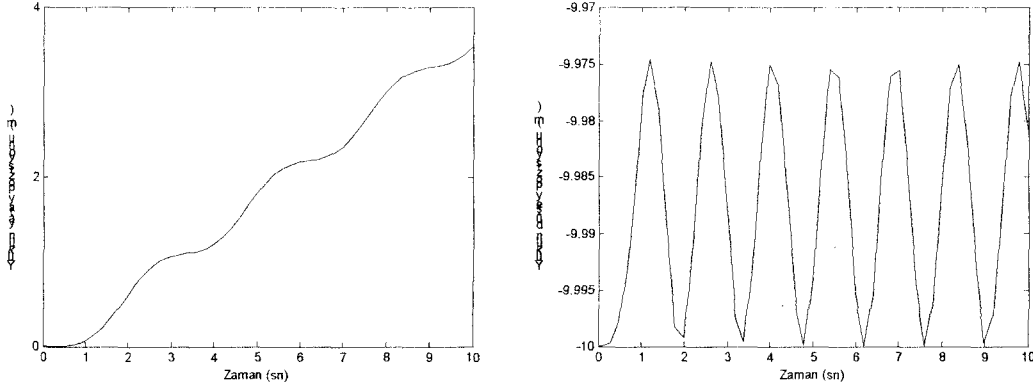
Giriş parametreleri;

$$g=9.81 \text{ m/s}^2 ; m=8000 \text{ kg}; M=32000 \text{ kg}; L=10$$

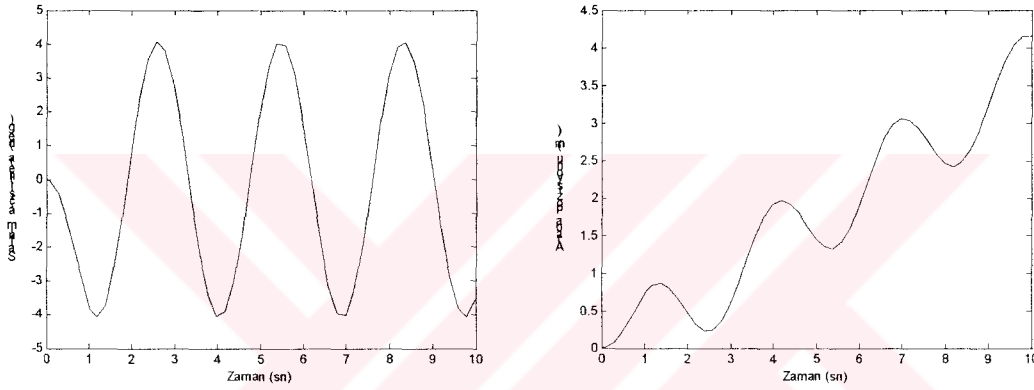
F_1 kuvveti $t=0$ anından $t=1$ anına kadar 16000N luk bir değerde tutulmuş ve bu sayede sisteme bu süreler arasında belli bir sabit hıza ulaşana kadar bir ivme verilmiştir. $t=1$ anından itibaren F_1 kuvveti sıfırlanmıştır. Sürtünmeler ve halat uzaması ihmal edilmiştir.



Şekil 4.9 Sabit hız ile doğrusal iletim için yükün X-Y değişim grafiği



Şekil 4.7 Sabit hızda doğrusal hareket için: a) Yükünün yatay pozisyonu-zaman grafiği b) Yükün düşey pozisyonu-zaman grafiği



Şekil 4.10 Sabit hızla doğrusal hareket için: a) Salınım açısı-zaman grafiği b) Araba pozisyonu -zaman grafiği

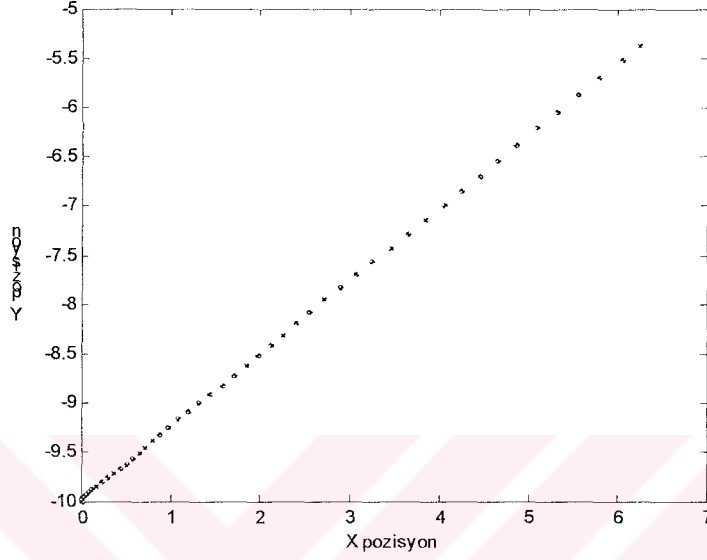
Şekillerden görüleceği gibi ilk ivmelenmenin ardından, yük, ivmenin salınım açısını getirdiği negatif denge noktasından aynı değerde pozitif denge noktasına sarkaç hareketi yaparak hareket ediyor.

4.1.3 Genel sistemin açık çevrim cevabı

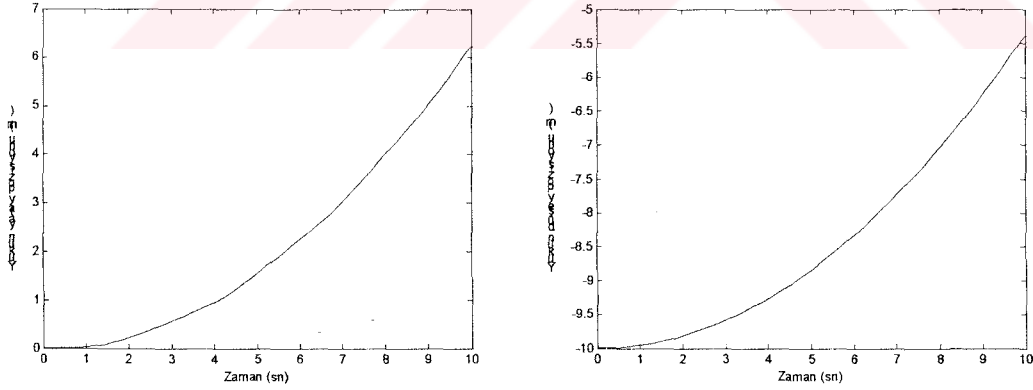
3.24 denklem takımındaki durum denklemleri ile tanımlanan sistemin açık çevrim cevabı incelenmiştir. Sistem iki girişli (F_1 ve F_2 kuvvetleri) ve üç çıkışlı (θ , x_I , L) non-lineer bir sistemdir. F_1 ve F_2 kuvvetlerinin belirli değerlerine karşılık elde edilen θ , x_I ve L değişkenleri ile yük pozisyonu hesaplanabilir. Sistemde halatı tutacak fren olmadığı için Mg değerinde F_2 kuvvetine ekleme yapmak gerekir. Açık çevrim cevabın bulunmasında kullanılan giriş parametreleri;

$g=9.81 \text{ m/s}^2$; $m=8000 \text{ kg}$; $M=32000 \text{ kg}$; $F_1=5000 \text{ N}$; $F_2=3000 \text{ N}$ ($32000\text{kg}\cdot 9.81 \text{ m/s}^2$ eklenecektir.)

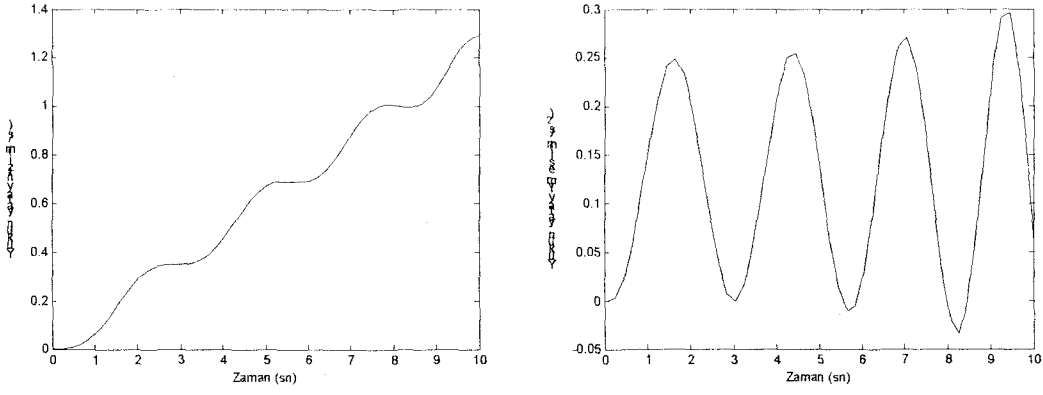
Ayrıca giriş kuvvetlerinin dinamik yük faktörü üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla, $F_1=5000 \text{ N}$; $F_2=5000 \text{ N}$ ve $F_1=3000 \text{ N}$; $F_2=5000 \text{ N}$ olarak alındığı iki farklı hesaplama da yapılmıştır. Bu hesaplamalarla ilgili grafikler Şekil 4.16 ile Şekil 4.17 de görülebilir.



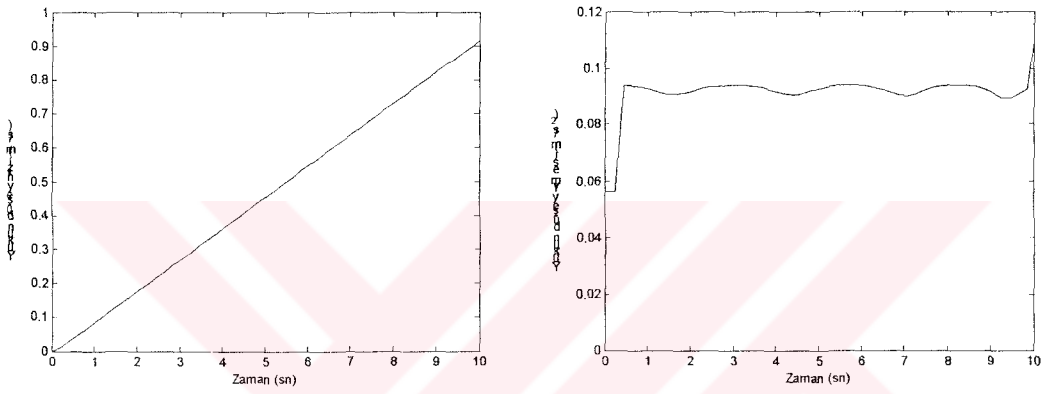
Şekil 4.11 Yükün x-y pozisyonu



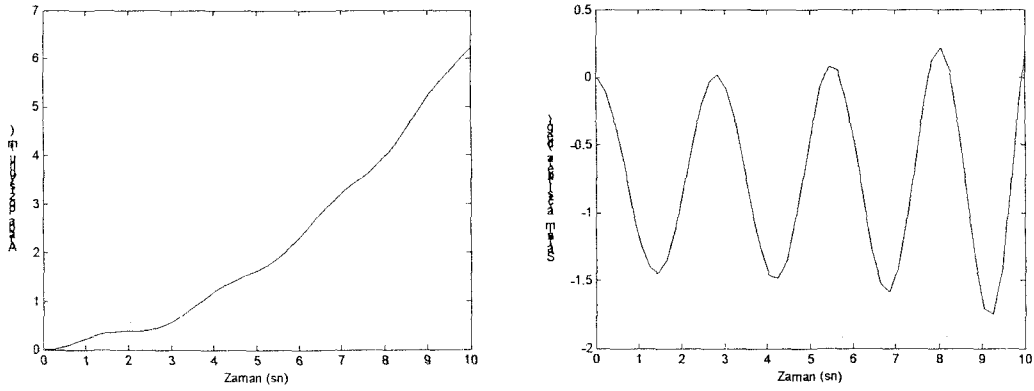
Şekil 4.12 a)Yükün zamana göre yatay pozisyonu b) Yükün zamana göre düşey pozisyonu



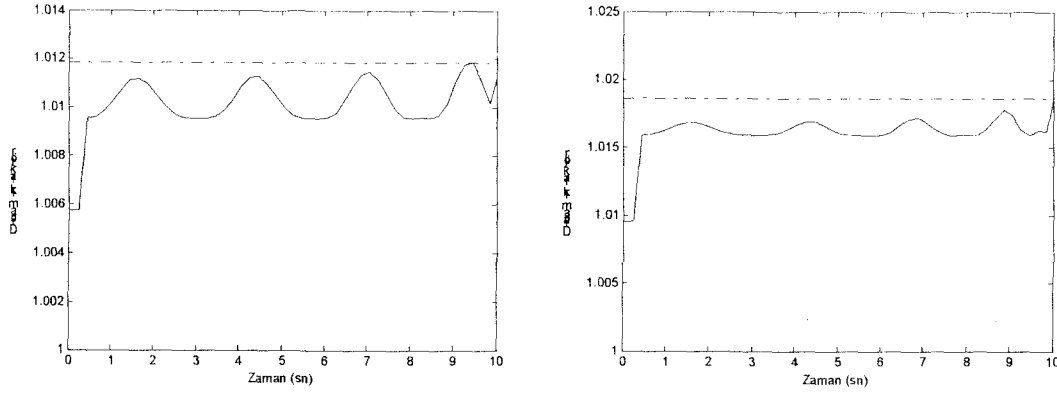
Şekil 4.13 a) Yükün yatay hızı-zaman grafiği b) Yükün yatay ivmesi zaman grafiği



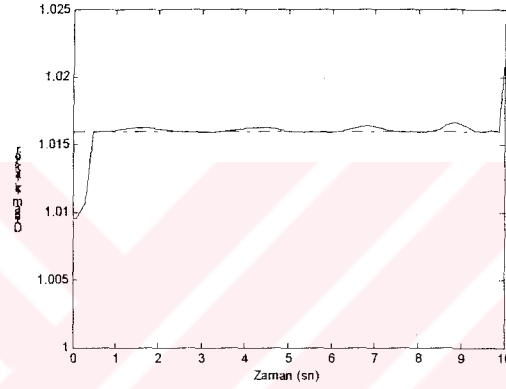
Şekil 4.14 a) Yükün düşey hızı-zaman grafiği b) Yükün düşey ivmesi-zaman grafiği



Şekil 4.15 a) Araba pozisyonu-zaman grafiği b) Salınım açısı-zaman grafiği



Şekil 4.16 a) Dinamik faktör-zaman grafiği ($F_1=5000$ N $F_2=3000$ N) b) Dinamik faktör-zaman grafiği ($F_1=5000$ N $F_2=5000$ N)



Şekil 4.17 a) Dinamik faktör-zaman grafiği ($F_1=3000$ N $F_2=5000$ N)

F_1 ve F_2 kuvvetlerinin beraber uygulanması ile birlikte yük, hem kaldırılmakta hem de yatay pozisyonda hareket ettirilmektedir. Açık çevrimde kontrol operatörde olacağından, operatör giriş kuvvetleri ile zaman içinde oynayarak istenilen pozisyonu sağlayabilir. Ayrıca bu simülasyon yardımı ile belirli giriş büyüklükleri için sistemin nasıl davranacağı tespit edilip ona göre yörünge hesapları da yapılabilir.

Dinamik faktör krenin H3 kaldırma grubunda olduğu düşünülürse maksimum kaldırma hızı $v_H = 0.9$ m/s için,

$$1,3 + 0,0066 * v_H \quad (3.47)$$

denkleminde,

$$\psi = 1,305$$

olması gerekir.

Ancak simülasyonda bulunan maksimum değer

$$\psi = 1,012$$

dir.

Bulunan sonuçlara göre dinamik faktör sadece kaldırma kuvvetinden değil, aynı zamanda araba yürütme kuvvetiyle de değişmektedir.

4.2 Sistemin kapalı çevrim kontrolü

Kapalı çevrim kontrolde amaç yükü referans noktasından istenilen noktaya belirli bir yörüngede getirmek ve bu hareket sırasında ve, veya sonunda yük salınım açısını sıfıra yaklaştırmaktır. Yörünge hesabının kontrol algoritmasının inisiyatiline bırakılması sistemde kabul edilemeyecek hızlar ve ivmelerin oluşmasına neden olabilir. Bunu önlemek için sistem giriş değerlerini sisteme uygun pratik değerlerle sınırlamak veya uygun kontrolcü dizaynı yapabilecek bir araca ihtiyaç vardır. Bunların her ikisi de kullanılabilir. Örnek olarak yük ivmesinin g seviyelerine çıkması mümkün değildir. Ama sınırlama yapılmazsa kontrolcü bir an evvel istenilen değerlere ulaşabilmek için bu tip değerlere ulaşabilecek giriş değerleri üretebilir.

Kontrol algoritmasının sistem çalışırken yani kontrol işlemi devam ederken sisteme etkiyebilecek bozucu kuvvetleri dikkate alması gerekebilir. Bunlar gerçek sistemlerde hassas bir şekilde ölçülür ve kontrol hesaplarına katılır. Örneğin rüzgar etkisi ile ya da kaçık kaldırma, yükleme sonucu oluşabilecek yük salınımları modern bir kontrol algoritması tarafından önlenebilmelidir.

Bu şartlar altında sistem için kullanılacak en uygun kontrol sisteminin MPC (Model Based Predictive Control) olduğu düşüncesindeyim. Bu kontrol sisteminin özellikle yörünge hesabı için Neural Networks optimizasyon yöntemleri ile birlikte kullanımı ile oldukça hassas kontrol algoritmaları tanımlamak mümkün olabilir. Tek başına kullanıldığında non-lineer sistemler ile çalışabilen yapısı sayesinde MPC yeterli hassaslıkta bir kontrol algoritması oluşturabilir. MPC ile elde ettiğim sonuçlar tam olarak tatmin edici olmadığından tezimde yer veremiyorum. Ancak özellikle Internet üzerindeki araştırmaların sonucu çok benzer sistemlerin MPC ile problemsiz bir şekilde kontrol edilebildiğini gördüm. Genel kanı da bu tip bir sistemin en uygun bu algoritma ile kontrol edilebileceğiydi. MPC ile daha detaylı bilgi

isteyenlerin Matlab içindeki MPC Toolbox yardım dosyalarını okumalarını öneririm.

Kapalı çevrim kontrol olarak elde edebildiğim tek tatmin edici sonuç, yükün doğrusal hareketi esnasında L halat uzunluğunun fren etkisinde sabit tutulduğunu düşünerek, $x1$ araba konumu ve θ salınım açısının istenilen değerlere PD kontrol yardımı ile ulaştırılması oldu.

4.2.1 Doğrusal yük taşıma hareketinin PD kontrolü

Başlangıç parametreleri;

$$g=9.81 \text{ m/s}^2 ; m=8000 \text{ kg}; M=32000 \text{ kg}; L=10; \theta = 0.01 \text{ rad}$$

Kontrol algoritmasından ;

30 sn içinde,

$$- x1=10 \text{ m}$$

$$- \theta = 0$$

değerlerine ulaşılması isteniyor.

Sistem modeli 3.37 ve 3.44 non-lineer denklemlerinden elde edilmiştir.

4.2.1.1 Kontrol parametrelerinin bulunması

Sistemde araba konumu ve salınım açısı için ayrı ayrı PD kontrol uygulanmıştır. Bu nedenle PD kontrol parametrelerinin ayrı ayrı belirlenmesi gerekmektedir. Kontrol parametrelerinin belirlenmesi Matlab içindeki NPC toolkit yardımıyla yapılmıştır. Bu araç kontrol etmek istediğiniz değişkenler için geçerli kontrol parametrelerini belli sınır değerler içinde ki, bu sınır değerleri grafiksel olarak belirleyebiliyoruz, optimize ederek istenen sonuç değerleri için uygun kontrol parametrelerini hesaplar. Buna göre bu aracın kullanılmasıyla elde ettiğim kontrol parametreleri;

Araba konumu kontrolü için;

$$K_{p1}=0.1745; K_{v1}=1.5909$$

Salınım açısı kontrolü için;

$$K_p = -19.6621; K_v = -28.3910$$

Ayrıca sistemin tek girişi olan F_1 kuvveti minimum -16000 N , maksimum 16000 N olacak şekilde kısıtlanmıştır.

Sistemin blok diyagramı Ek D de görülebilir.

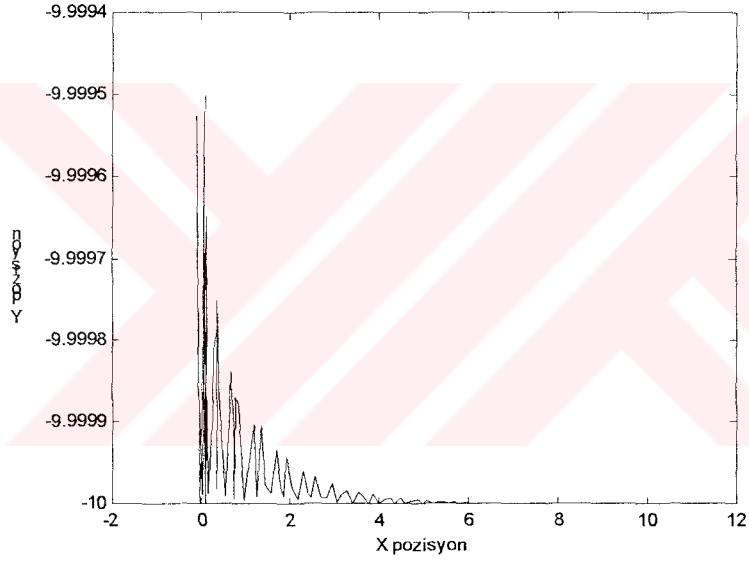
PD kontrol tanımı;

$$e = y_{ref} - y$$

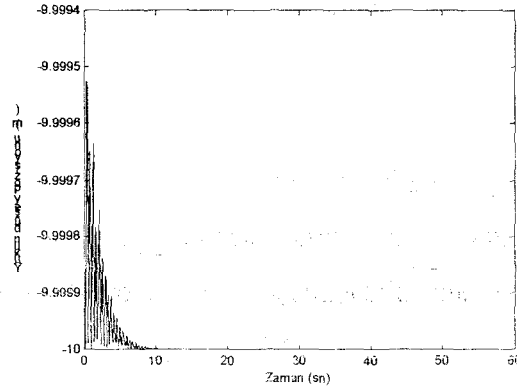
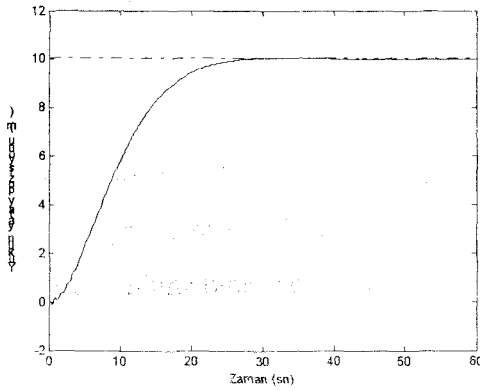
$$u = K_p e - K_v \dot{y}$$

olarak alınmıştır.

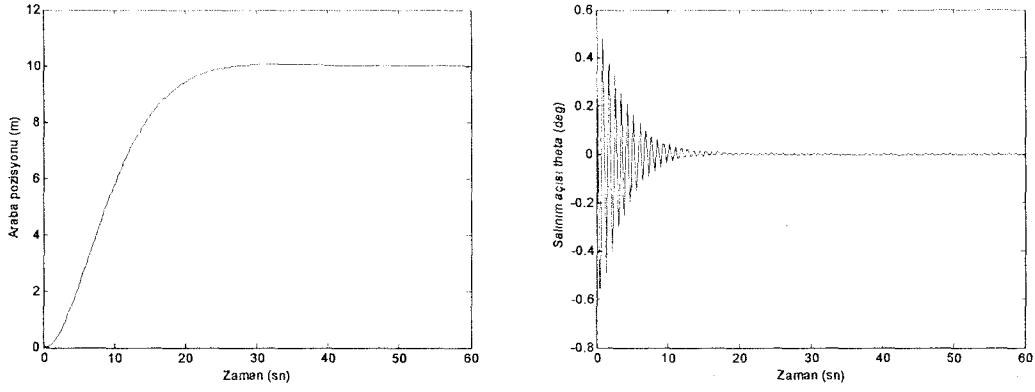
Yukarıdaki koşullar altında elde edilen sonuçlar;



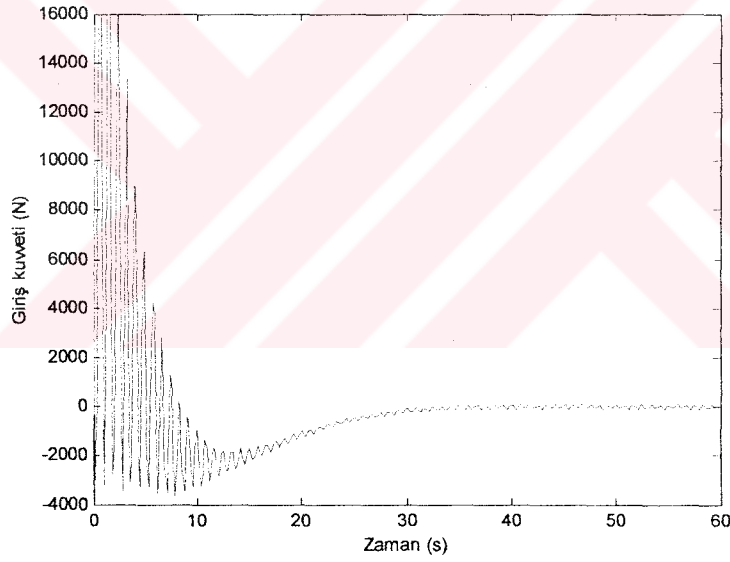
Şekil 4.18 Kapalı çevrim doğrusal iletim yükün x-y pozisyonu



Şekil 4.19 a) Yükün yatay pozisyonu-zaman b) Yükün düşey pozisyonu-zaman grafiği



Şekil 4.20 a) Araba pozisyonu-zaman b) Salınım açısı-zaman grafiği

Şekil 4.21 Zamana göre uygulana F_1 giriş kuvveti

Şekillerden de görüleceği gibi yük yatay pozisyonda açının da etkisi ile bir miktar salınımlı ilerlemekte ancak simülasyon sonuna doğru salınım açısı sıfıra yaklaştığı zaman o da kaybolmaktadır. Başlangıçtaki yük salınımı 30 sn içinde sönümlenmiş ve araba istenen 10 m konumuna getirilmiştir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada konteyner krenlerindeki gelişmeler incelenmiş ve bir konteyner kreninin yükleme sisteminin dinamik davranışı modellenerek , simülasyon çalışması yapılmıştır.

Sisteme çift giriş olduğundan sistem, sürtünmeler ve dirençler ihmal edilmesine rağmen non-lineer bir yapıdadır. Bu nedenle sistem durum denklemleri sayısal entegrasyonla non-lineer olarak çözülmüş ve bulunan sonuçlara göre sisteme açık çevrim uygulanmıştır. Açık çevrim sonucu non-lineer yapının getirdiği etkilerden dolayı çıkış değerleri sonsuza gitmektedir. Bu nedenle sisteme istenilen değerlere ulaşmak için kontrol uygulamak gerekir. Uygun kontrol algoritması MPC(Model Predictive Control) olarak tespit edilmiş ancak sağlıklı değer alınamamıştır. Çalışmanın devamını getirmek isteyenlerin bu kontrol algoritması üzerinde durmalarında fayda olabilir.

Konteyner krenlerinde yük salınımının mümkün olduğunca az olması istenir. Sistem simülasyonunda yükün hareketini başlangıç ve bitiş noktaları ile birlikte salınım miktarı da kontrol edilebilir.

Hem yük salınımını hem de yük pozisyonunu kapalı çevrim kontrol edebilmek için, genel sistemden biraz daha basit olarak halat boyunun fren etkisinde sabit tutulduğu, zamana göre değişmediği varsayılmış, böylece sistemden bir giriş ve bir çıkış eksilmiştir. Elde edilen yeni sistem PD kontrol ile kontrol edilmiş ve istenilen sonuç değerlerine istenilen zamanda ulaşılmıştır.

Sistemde non-lineer terimler fazla olduğu için lineerleştirme işlemleri sonucunda benzer sistemler elde edilememiştir.

Sistemle ilgili bütün çalışma koşullarına kontrol çözümleri geliştirememiş olsam da bu çalışmanın bu alanda yapılabilecek diğer çalışmalara yardımcı olmasını dilerim.

KAYNAKLAR

Container Dergisi Mayıs-Aralık 1997 Sayıları.

Fördertechnik, Springer VERLAG, 1997.

Suner, F. (1981)“Kaldırma ve İletme Makinaları Cilt I-II-III” ,Y.T.U. Yayınları

Ogata, K. (1993), “Solving Control Engineering Problems with MATLAB”, Prentice Hall International Editions.

İnternet’ten elde edilen dökümanlara ait adresler

<http://www.jwdliftech.com> (pdf formatında dosyalar)

<http://www.harborc.com/containe.htm>

<http://www.august-design.com>

<http://pages.prodigy.com/AUGUST/>

<http://pages.prodigy.com/AUGUST/sms.htm>

<http://www.digitranhq.com/newweb/digitran.html>

<http://www.bromma.com>

<http://seaoc.org>

<http://csd.newcastle.edu.au/control//index.html>

<http://www.engin.umich.edu/group/ctm/about.html>

<http://www.southampton.ac.uk/~xzhang/imj195/matlab/tutindex.html>

<http://www-unix.mcs.anl.gov/otc/Guide/faq/nonlinear-programming-faq.html>

<http://www.mathworks.com/company/digest/dec98/nonlinear.shtml>

EKLER

- Ek A Simülasyon programı m-file
Ek B Simülasyonun simulink diyagramı
Ek C Simülasyon programı MS Excel makrosu olarak
Ek D Simülasyonun doğrusal iletim kapalı çevrim blok diyagramı



Ek A Simülasyon programı m-file

```
function araba
```

```
%options = odeset('OutputFcn',@odetest);
```

```
[t,x]=ode45(@f,[0 5],[0 0 0 0 10 0]);
```

```
figure;
```

```
plot(t,x);
```

```
function dxdt = f(t,x);
```

```
a=1;
```

```
b=10;
```

```
g=10;
```

```
d=2;
```

```
y(1)=x(1)+x(5)*sin(x(3))
```

```
y(2)=-x(5)*cos(x(3))
```

```
x(1);
```

```
x(2);
```

```
x(3);
```

```
x(4);
```

```
x(5);
```

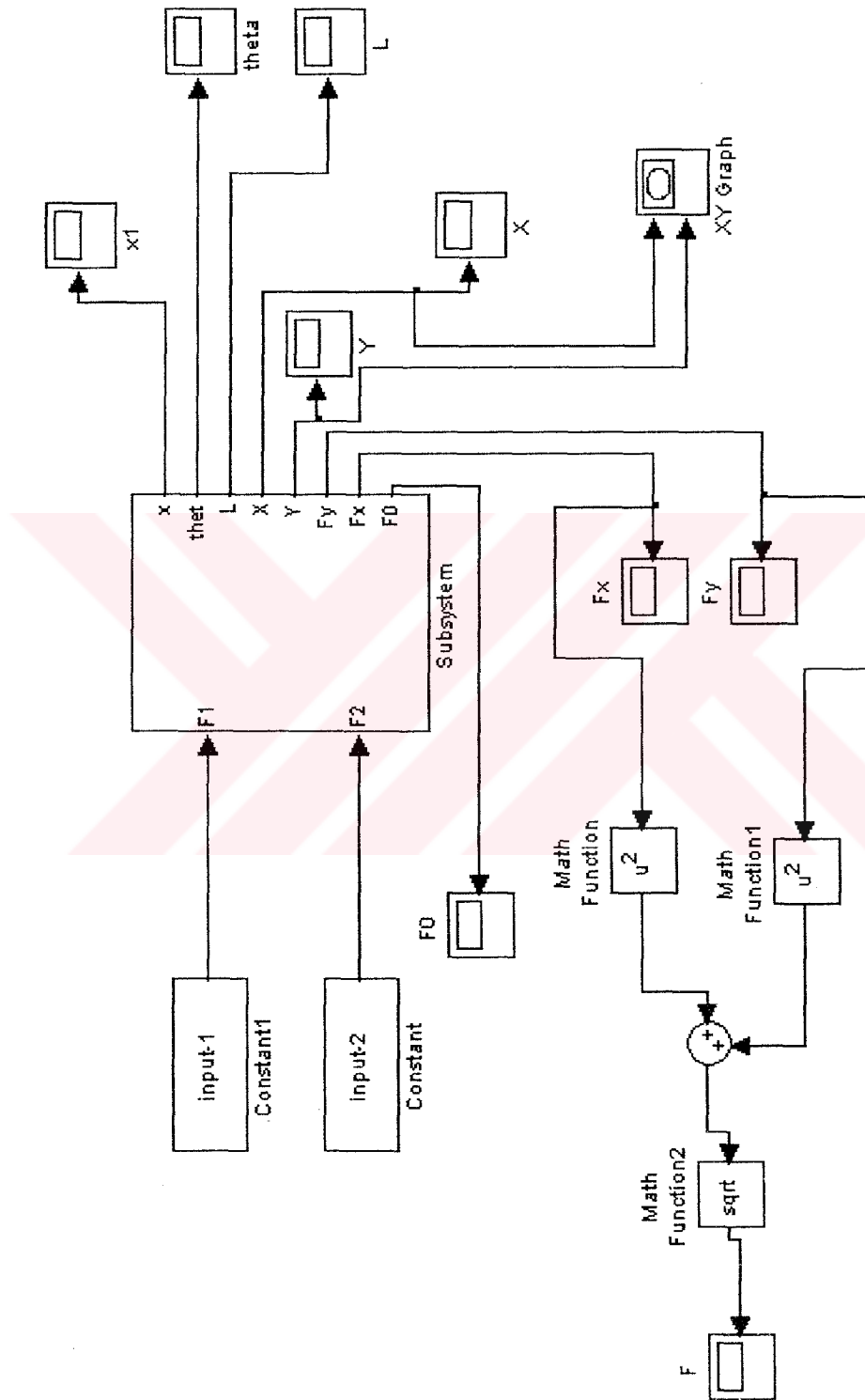
```
x(6);
```

```
dxdt=[x(2);(a+d*sin(x(3))*b);x(4);-
```

```
((1/x(5))*(g*sin(x(3))+2*x(4)*x(6)+cos(x(3))*a+d*sin(x(3))*cos(x(3))*b));x(6);g*cos(x(3))+
```

```
((x(4))^2)*x(5)-sin(x(3))*a-d*((sin(x(3)))^2)*b-b];
```

Ek B Simülasyonun simulink diyagramı



Şekil Ek B.1 Simulink blok diyagramı

Ek C Simülasyon programı MS Excel macrosu olarak

Dim k(4, 6)

Dim xk(6)

Dim X(6)

Dim dx(6)

Dim Y(2)

Dim u(2)

Sub rkutta()

h = 0.1

u(1) = 1: u(2) = 10

X(1) = 0: X(2) = 0: X(3) = 0: X(4) = 0: X(5) = 10: X(6) = 0

g = 9.81: d = 2

ActiveWorkbook.Worksheets(1).Activate

Range("a2").Activate

For t = 0 To 50 Step h

dx(1) = X(2)

dx(2) = u(1) + Sin(X(3)) * u(2)

dx(3) = X(4)

dx(4) = -(1 / X(5)) * (g * Sin(X(3)) + 2 * X(4) * X(6) + u(1) * Cos(X(3)) + d * u(2) *

$$\text{Sin}(X(3)) * \text{Cos}(X(3))$$

$$dx(5) = X(6)$$

$$dx(6) = g * \text{Cos}(X(3)) + X(5) * (X(4) ^ 2) - u(1) * \text{Sin}(X(3)) - d * u(2) * (\text{Sin}(X(3))) ^ 2 - u(2)$$

ActiveCell.Value = X(1)

ActiveCell.Offset(0, 1).Activate

ActiveCell.Value = X(2)

ActiveCell.Offset(0, 1).Activate

ActiveCell.Value = X(3)

ActiveCell.Offset(0, 1).Activate

ActiveCell.Value = X(4)

ActiveCell.Offset(0, 1).Activate

ActiveCell.Value = X(5)

ActiveCell.Offset(0, 1).Activate

ActiveCell.Value = X(6)

For i = 1 To 6

 xk(i) = X(i)

 k(1, i) = dx(i)

 X(i) = xk(i) + (h / 2) * k(1, i)

Next

For i = 1 To 6

$k(2, i) = dx(i)$

$X(i) = xk(i) + (h / 2) * k(2, i)$

Next

For i = 1 To 6

$k(3, i) = dx(i)$

$X(i) = xk(i) + h * k(3, i)$

Next

For i = 1 To 6

$k(4, i) = dx(i)$

$X(i) = xk(i) + (h / 6) * (k(1, i) + 2 * k(2, i) + 2 * k(3, i) + k(4, i))$

Next

$Y(1) = X(1) + X(5) * \text{Sin}(X(3))$

$Y(2) = -X(5) * \text{Cos}(X(3))$

ActiveCell.Offset(0, 1).Activate

ActiveCell.Value = Y(1)

ActiveCell.Offset(0, 1).Activate

ActiveCell.Value = Y(2)

ActiveCell.Offset(1, -7).Activate

Next t

End Sub

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	20.09.1976	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1988-1994	İstanbul Lisesi
Lisans	1994-1998	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1998-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, Konstrüksiyon Programı

Çalıştığı kurum

2001-Devam ediyor Menzolit-Fibron A.Ş.

