

T.C.
BİLECİK ŐEHY EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GEZER KÖPRÜLÜ TAŞIMA SİSTEMLERİNDE MEKANİK SALINIMLARIN
ENERJİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SÜLEYMAN MELİH AKSOY

TEZ DANIŐMANI

DR.ÖĞR. ÜYESİ EMRAH DOKUR

İKİNCİ TEZ DANIŐMANI

PROF. DR. MEHMET KURBAN

BİLECİK, 2021

10408098

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GEZER KÖPRÜLÜ TAŞIMA SİSTEMLERİNDE MEKANİK SALINIMLARIN
ENERJİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SÜLEYMAN MELİH AKSOY

TEZ DANIŐMANI

DR.ÖĞR. ÜYESİ EMRAH DOKUR

İKİNCİ TEZ DANIŐMANI

PROF. DR. MEHMET KURBAN

BİLECİK, 2021

10408098

BEYAN

“Gezer Köprülü Taşıma Sistemlerinde Mekanik Salınımların Enerji Açısından Değerlendirilmesi ve Optimizasyonu” adlı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel ahlak kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırmalar Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte beyan edilmelidir.	
DESTEK ALINMIŞTIR	DESTEK ALINMAMIŞTIR
Destek alındı ise;	
Destekleyen Kurum:	
Desteğin Türü	Proje Numarası
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)	
2- TÜBİTAK	
Diğer;	

Süleyman Melih AKSOY

Tarih

.....

İmza

.....

ÖN SÖZ

Çalışmanın gerçekleştirilmesinde yardımlarını ve hoşgörüsünü esirgemeyen, kıymetli zaman ve bilgilerini fazlasıyla paylaşan, bu süreç boyunca kattıkları bilgilerden dolayı değerli danışmanlarım Dr. Öğr. Üyesi Emrah DOKUR ve Prof. Dr. Mehmet KURBAN' a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Savunma sınavında ve projenin sonlanmasında ki değerli katkıları adına sayın jüri üyelerine teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Çalışmamız boyunca bizlere kapılarını açan, vinç ve ekipmanlarını kullanmamıza imkan sağlayan, yardımlarını bizlerde esirgemeyen değerli Cesan Elektrikli Vinç Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ne, çalışma arkadaşlarıma, Salih Yavuz ve Ömer Sandıkçı'ya teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

Son olarak çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan ve beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştirerek getiren bu hayattaki en büyük şansım olan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Süleyman Melih AKSOY

2021

ÖZET

GEZER KÖPRÜLÜ TAŞIMA SİSTEMLERİNDE MEKANİK SALINIMLARIN ENERJİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU

Endüstriyel teknolojide oluşan hızlı büyüme, üretimde kullanılan mevcut ekipman ve elemanların yeni teknolojiye uyum sağlayacak şekilde düzenlenmesini ve oluşturulmasını zorunlu kılmaktadır. Gerçekleştirilecek düzenleme, mevcut sistemlerin yerine yeni bir yapının kurulması şeklinde olabileceği gibi mevcut sistem üzerinde iyileştirmelere yapılarak da oluşturulabilir. Fabrikalardaki üretim hatları, yüklerin taşınması ve inşaat sektörü gibi sanayinin pek çok alanında kullanılan gezer köprülü vinçlerin de teknolojinin izin verdiği derecede revizyonları, maliyetleri düşürmesi, kolay bakım, kurulum ve süreklilik gibi avantajları da beraberinde getirmektedir.

Gezer köprülü vinç, yatay hareketleri neticesinde taşımakta olduğu yükün üzerinde salınımına sebep olur. Yüz üzerinde oluşan bu salınım, gezer köprülü vincin taşıma verimliliğini azaltır ve iş kazalarının artmasına yol açabilir. Bu sebeplerden dolayı, vinçlerde oluşabilecek salınımın azaltılması ya da bastırılması problemini ortaya çıkarır. Bu problemin çözümüne yönelik araştırmalar birçok farklı yaklaşım önerilmektedir. Literatürde bu sistemlere yönelik araştırmalar her iki çıkışı aynı anda kontrol etmek şeklinde verilmektedir. Sistemin başlangıç ve duruş zamanlarında gerçekleşecek salınımın ve buna bağlı konum sapmasının azaltarak yükün merkez konumundan kalması şeklinde gerçekleştirilebilir.

Bu tez çalışmasında, gezer köprülü vinçlerdeki yük salınımının bastırılması ile oluşturulan optimizasyon yaklaşımı ve enerji probleminin çözümüne yönelik PLC uygulaması gerçekleştirilmiştir. Önerilen salınım engelleme yaklaşımı ile hem enerji verimliliği açısından hemde sistemin güvenilir ve kararlı bir şekilde sağlanması deneysel olarak da gözlemlenmiştir. Elde edilen tüm bulgular endüstriyel bir uygulama platformunda gerçekleştirilmiştir. Optimal parametreler belirlenerek oluşturulan salınım engelleme yaklaşımı için farklı durumlarda analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Önerilen yaklaşımın farklı platformlar içinde revize edilerek kullanılabilmesi öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Salınım Önleme, Kontrol Sistemleri, PLC Kontrol, Optimizasyon ve Enerji

ABSTRACT

ENERGY ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF ANTI-SWAY CONTROL IN OVERHEAD TRAVELLING CRANES

The rapid growth in industrial technology necessitates the arrangement and creation of existing equipment and elements used in production to adapt to new technology. The arrangement to be made can be in the form of installing a completely new system instead of the system used, or it can be performed by updating the existing system. Overhead cranes, which are used in many areas of industry such as production lines in factories, freight transport and construction sector, also bring advantages such as revisions, lowering costs, easy maintenance, installation and continuity to the extent allowed by technology.

As a result of its movement, the crane causes oscillation on the load it carries. This oscillation in the crane reduces transport efficiency. This situation creates the problem of suppressing load sway in cranes. Studies on the solution of this problem are available in the literature and crane control is handled as a solution to the pendulum problem.

The crane system is an example of an incomplete drive system as the two exits (angle, position) must be controlled by one input (moment). In the literature, solutions for systems with incomplete drive are given as controlling both outputs at the same time. It can be achieved by reducing the oscillation that will occur during the start and stop times of the system and the position deviation associated with it, and the load remains from the center position.

In this thesis, a PLC application will be implemented to solve the optimization and energy problem that will occur by suppressing the load swing in overhead cranes.

Key Words: Anti-Sway, Kontrol System, PLC Control, Optimization and Energy

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖN SÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. KONTROL SİSTEMLERİ ve TANIMLARI	8
3.1. Kontrol Sistem Tanımları.....	8
3.2. Kontrol Sistemleri	8
3.2.1. Açık Çevrim Kontrol Sistemleri	8
3.2.2. Kapalı Çevrim Kontrol Sistemleri	9
4. PID KONTROL SİSTEMLERİ.....	10
4.1. PID Kontrol	10
4.1.1. PID Kontrol Yapıları	11
4.2. Ziegler-Nichols Metodu	13
5. MATEMATİKSEL MODELLEME	16
5.1. Lagrangian Dinamikleri	16
5.2. Transfer Fonksiyonu	20
6. ENDÜSTRİYEL HABERLEŞME PROTOKOLLERİ	21
6.1. Veri Aktarma Yönetimleri	22
6.1.1. Paralel Haberleşme	22
6.1.2. Seri Haberleşme.....	22
6.2. Ağ Topolojileri.....	23
6.2.1. Doğrusal Hat (BUS) Topolojisi.....	24
6.2.2. Halka (Ring) Topolojisi.....	24
6.2.3. Yıldız (Star) Topolojisi.....	25
6.3. Kapalı Sistem Haberleşme Protokolleri.....	26
6.4. Açık Sistem Haberleşme Protokolleri	26

6.4.1. Fieldbus Protokolü	26
6.4.2. Profibus Protokolü	27
6.4.3. Modbus Protokolü	27
6.4.4. Canbus Protokolü.....	28
7.GEZER KÖPRÜLÜ VİNÇ SİSTEMLERİ VE MODELLERİ	30
7.1. Mekanik Sistemler	30
7.2. Elektrik Sistemleri	31
7.2.1. Elektrik Motorları	31
7.2.2. Kumanda Panosu	33
7.2.3. Uzaktan ve Kablolü Kumanda Modülü	34
7.2.4. Festoon Bağlantı Kabloları	34
7.2.5. Güvenlik Ekipmanları	35
7.3. Gezer Köprülü Vinç Modelleri	35
7.3.1. Tek Kiriş Gezer Köprüşü Vinç	35
7.3.2. Çift Kiriş Gezer Köprülü Vinç.....	36
7.3.3. Portal Gezer Köprülü Vinç.....	36
8. YÜK SALINIMININ MODELLENMESİ VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ	36
8.1. Salınım Engelleme Modellerinin Sınıflandırılması	40
8.2. Salınım Engelleme: Yükün Sallanmasını Kontrol Etme	41
8.3. Salınım Engelleme Sisteminin Genel Prensibi	43
8.4. Salınım Kontrol Mekanizması	45
8.5. Deneyin Gerçekleştirilmesi	45
9.SONUÇLAR	70
KAYNAKÇA	71

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 4.1. Ziegler ve Nichols Basamak Yöntemine Göre PID Parametrelerinin Belirlemek.	15
Tablo 6.1. Haberleşme Protokollerinin Pazar Payı ve Uygulama Alanları	21

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. Portal Vinç Modeli	5
Şekil 2.2. Döner Vinç Modeli	5
Şekil 2.3. Bomlu Vinç Modeli	6
Şekil 3.1. Açık Çevrim Kontrol Sistemi	8
Şekil 3.2. Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi	9
Şekil 4.1. PID Denetleyici Oransal, İntegral ve Türevsel Yapısı	10
Şekil 4.2. Oransal+İntegral+Türevsel Kontrol Tepkime Eğrisi	11
Şekil 4.3. Paralel Yapıdaki PID Kontrolör	11
Şekil 4.4. Seri Yapıdaki PID Kontrolör	12
Şekil 4.5. PID Kontrolör ile Elde Edilen Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi	13
Şekil 4.6. Açık Çevrim Kontrol Sisteminin Basamak Yöntemine Göre Cevapları	14
Şekil 5.1. Gezer Köprülü Vinç Sistemin Şematik Gösterimi	16
Şekil 5.2. Kaskat Halde Transfer Fonksiyonu Gösterimi	20
Şekil 6.1. Paralel Haberleşme Yapısı	22
Şekil 6.2. Seri Haberleşme Yapısı	23
Şekil 6.3. Doğrusal Bus Topolojisi	24
Şekil 6.4. Halka (Ring) Bus Topolojisi	25
Şekil 6.5. Yıldız (Star) Bus Topolojisi	25
Şekil 6.6. Fieldbus Protokolü	26
Şekil 6.7. Profibus Protokolü	27
Şekil 6.8. Modbus Protokolü	28
Şekil 6.9. Canbus Protokolü	29
Şekil 7.1. Gezer Köprülü Vinç Sistemlerinin Tanımları.....	30
Şekil 7.2. Elektrik Motorlarının Sınıflandırılması	31
Şekil 7.3. (A) Senkron Motor (B) Asenkron Motor	32
Şekil 7.4. Asenkron Motor Kısımları.....	32
Şekil 7.5. Gezer Köprülü Vinç Kumanda Panosu	33
Şekil 7.6. (A) Uzaktan Kumanda Modeli (B) Kablolu Kumanda Modeli	34
Şekil 7.7. (A) Festoon Bağlantı Kabloları Korniş Sistem (B) Festoon Bağlantı Kabloları NPI Sistem (C) Festoon Bağlantı Kabloları Enerji Zinciri	34
Şekil 7.8. Gezer Köprülü Vinçlerde Kullanılan Güvenlik Ekipmaları	35

Şekil 7.9. Tek Kiriş Gezer Köprülü Vinç	35
Şekil 7.10. Çift Kiriş Gezer Köprülü Vinç	36
Şekil 7.11. Gezer Köprülü Portal Vinç	37
Şekil 8.1. (A) Sistemin Uygulandığı Vinç (B) Sistemin Uygulandığı Vincin Matlab Modeli	38
Şekil 8.2. Salınımın Bir Döngüdeki Davranışı	40
Şekil 8.3. Yükün ve Kancanın Başlangıç Durumları	41
Şekil 8.4. Yükün ve Kancanın Hareket Durumu	42
Şekil 8.5. Salınım Durumunda Yükün Yüzeye Göre Konum ve Açısı.....	42
Şekil 8.6. Hareketin Başlangıcından Bitiş Anına Göre Salınım Açısı	43
Şekil 8.7. Salınım Varken ve Yokken Vincin Hız Grafiği	44
Şekil 8.8. Salınım Önleme Aktif Durumunda Açılı ve Hız Eğrileri	44
Şekil 8.9. Halat Boyunun Hesaplanması.....	46
Şekil 8.10. Açık Çevrim Salınım Önleme Sistemi Bloğu	47
Şekil 8.11. Salınım Önleme Sayısal Değerlerin Girildiği Blok	47
Şekil 8.12. Vincin Çalışması İçin Operatör Tarafından Aktarılan Bilgilerin Toplandığı Blok	48
Şekil 8.13. Halat Boyunun Hesaplandığı Blok	48
Şekil 8.14. Araba Salınım Önleme Blok Şeması	49
Şekil 8.15. Köprü Salınım Önleme Blok Şeması	49
Şekil 8.16. Salınım Önleme Sayısal Değerlerinin Etkili Olduğu Tanımlar	50
Şekil 8.17. Sistemde Kullanılan Kontrolör (PLC) Modeli ve Bağlantıları	50
Şekil 8.18. Sistemde Kullanılan Sürücü Modelleri ve Haberleşme Bağlantıları	51
Şekil 8.19. Sistemde Kullanılan Enkoder ve Haberleşme Bağlantıları	51
Şekil 8.20. Sistemde Kullanılan Kaldırma Sürücü Parametreleri	52
Şekil 8.21. Sistemde Kullanılan Yürütme Sürücü Parametreleri	53
Şekil 8.22. Salınım Engelleme Sistemi Pasif İken Bulunan Değerler (A) Sistemin Olması Gereken Çıkış Devri (B) Sistemin Gerçekte Verdiği Çıkış Devri (C) Sistemin Çıkış Akım Değeri.....	54
Şekil 8.23. Salınım Engelleme Pasifken Akım Değişimlerine Göre 7 Farklı Bölgesi	55
Şekil 8.24. Salınım Engelleme Pasifken Akım Değişimlerine Göre 2. Bölge	56
Şekil 8.25. Salınım Engelleme Pasifken Akım Değişimlerine Göre 3. Bölge	56
Şekil 8.26. Salınım Engelleme Pasifken Akım Değişimlerine Göre 4. Bölge	57
Şekil 8.27. Salınım Engelleme Pasifken Akım Değişimlerine Göre 5. Bölge	58
Şekil 8.28. Salınım Engelleme Pasifken Akım Değişimlerine Göre 7. Bölge.....	58

Şekil 8.29. Salınım Engelleme Sistemi Aktif İken Değerlerin İncelenmesi	59
Şekil 8.30. Salınım Engelleme Aktifken Akım Değişimlerine Göre 7 Farklı Bölgesi	60
Şekil 8.31. Salınım Engelleme Aktifken Akım Değişimlerine Göre 2. Bölge	61
Şekil 8.32. Salınım Engelleme Aktifken Akım Değişimlerine Göre 3. Bölge	61
Şekil 8.33. Salınım Engelleme Aktifken Akım Değişimlerine Göre 4. Bölge	62
Şekil 8.34. Salınım Engelleme Aktifken Akım Değişimlerine Göre 5. Bölge	63
Şekil 8.35. Salınım Engelleme Aktifken Akım Değişimlerine Göre 6. Bölge	63
Şekil 8.36. Salınım Engelleme Aktifken Akım Değişimlerine Göre 7. Bölge	64
Şekil 8.37. Hızlanma Sırasında Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması (A) Salınım Önleme Aktifken (B) Salınım Önleme Pasifken	65
Şekil 8.38. Yavaşlama Sırasında Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması (A) Salınım Önleme Aktifken (B) Salınım Önleme Pasifken	66
Şekil 8.39. Salınım Önleme Sisteminde Kullanılan Değerler	67
Şekil 8.40. Max. İvmelenme Değeri 17'deki Akım Değerleri	67
Şekil 8.41. İvmelenme Değerleri Küçültüldüğündeki Enerji Değerleri.....	68
Şekil 8.42. Salınım Önleme Sistemi Pasifken Konum Kayma Değerleri	69
Şekil 8.43. Salınım Önleme Sistemi Aktif ve Duruş İvlenme Değeri 25 Konum Kayma Değerler.....	69
Şekil 8.44. Salınım Önleme Sistemi Aktif ve Duruş İvlenme Değeri 35 Konum Kayma Değerler.....	69

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

W	: Watt
t	: Zaman
I	: Akım
V	: Gerilim
Mt	: Metre
P	: Aktif güç
θ	: Açı
Hz	: Hertz
A	: Amper
PID	: Proportional–Integral–Derivative Controller, Oransal-İntegral-Türevsel Denetleyici
PI	: Proportional-Integral Controller, Oransal-İntegral Kontrolör
PD	: Proportional-Derivative Controller, Orantılı Türev Kontrolör
P	: Proportional, Oransal
I	: Integral, İntegral
D	: Derivative, Türev
K_p	: Proportional Gain, Oransal Kazancı
K_i	: Integral Gain, İntegral Kazancı
K_d	: Derivative Gain, Türev Kazancı
ISE	: Hatanın karesi integral
ZV	: Gerçek zamanlı şekillendirici
L	: Ölü zaman
T	: Baskın sistem zaman sabiti
θ	: Normalize edilmiş ölü zaman
T_t	: Salınım süresi
L_l	: Tambur ile yük merkezi arasındaki mesafe
Q_x	: Sarkaç tarafından oluşturulan açının
g	: Yerçekimi ivmesi
RTU	: Remote terminal unit
CanBUS	: Control area network, kontrol alan ağı veriyolu

Profibus	: Process field bus PA-Process Automation
Profibus-DP	: Process field bus dezentrale peripherie, Merkezi olmayan çevresel birimler
Profibus-PA	: Process field bus process automation, proses otomasyonu
Profibus-	: Process field bus fieldbus message specification,
FMS	: Saha veriyolu mesaj tanımlaması : Federation Europenne de la Manutention,
FEM	: Kaldırma makinelerinin sınıflandırılması : Deutsches Institut für Normung,
DIN	Makine Tekniği için Genel Norm Komitesi : VDI-Guidelines,
VDI	Alman Mühendisler Birliği Kuralları
V_{motor}	: Motor çıkış hızı
R_{tekerlek}	: Tekerlek çapı
A_{rpm}	: Redüktör çıkış devri

1. GİRİŞ

Hızla gelişen ve her gün farklı boyutlar kazanan teknolojik çalışmalar neticesinde, endüstriyel sistemlerde daha hassas ve hızlı çalışan işlemler yapılabilen ve daha kaliteli ürünler elde edilebilmektedir. Günümüzde mikroişlemciyle yapılan bütün uygulamaların yerini mikrodenetleyici tabanlı sistemler ile yapılan uygulamalar almıştır. Bu, hem uygulamayı kolaylaştırmış hem de maliyeti oldukça düşürmüştür.

Yapı sektöründe ve taşımacılıkta vinçlerin kullanım alanları gittikçe artmaktadır. Bu ihtiyaçla beraber üretilen vinçler normalinden büyük boyutlarda ve hızlarda olmaktadır. Bu sebepten dolayı vinçlerin net bir biçimde kontrol edilmelerini ve daha güvenli çalışmaya uygun durumlara getirilmeleri gerektirmektedir. Yaygın olarak kullanılan alanları ağır ve tehlikeli yüklerin taşınması için gemilerde, fabrikalarda, nükleer santrallerde ve yüksek binaların inşaatlarıdır. Vinçlerin çalışma şekilleri yükü bir yerden başka diğer bir yere en kısa sürede ve yüksek kayıplar olmadan taşıyabilmektir (Yılmaz, 2014: 1). Vinç üretimini yapan firmalar, vinçlerinin mümkün olduğunca yapılarının hafif olmasını ve hızlı hareket edebilmelerini talep ederler. Bu taleplerin temel sebepleri ise taşımacılık maliyetlerinin düşürebilmek ve operasyon güvenliğini sağlayabilmektir.

Döner vinçler ve köprülü vinçler sabit taşıma işlemi yapan yerlerde kullanılır. Köprülü vinçler yaygın olarak taşımacılık endüstrisinde, maden ocaklarında, demir çelik fabrikalarında ve montaj hatlarında kullanılmaktadırlar. Döner vinçler çoğunlukla yapı inşaat sektöründe kullanılmaktadırlar. Teleskobik vinçler genellikle inşaat alanları, silo kurulumları, fabrikalar, gemi yükleme gibi kaldırma kapasitesinin yüksek olduğu yerlerde kullanılmaktadırlar.

Vinçler çalışmaları boyunca dinamik yüklerin etkisi altında kalırlar. Bu dinamik yükler yükün salınımından ve dış etkilere bağlı kaynaklanmaktadır (Yılmaz, 2014: 1). Dış etkenler; genellikle rüzgârdan, yükün tam olarak halat merkezinden kaldırılmamasından ve gemilerde kullanılan vinçler için deniz hareketlerinden oluşmaktadır. İç etkenler ise taşınan yükün ve sistemin uzuvlarının hareketleri sonucunda doğan kütlelerin atalet momenti sebebiyle oluşmaktadır. Etkiler çoğunlukla kararsız yapıdadırlar. Vinç ve yükün üzerinde titreşim oluşmasına sebep olurlar. Etkiler sonucu oluşan bu titreşimler eğer baskılanamaz veya kontrol altına alınamaz ise maddi ve yaralanmalı iş kazalarına sebep olabileceği ve çalışma verimini de yüksek oranda düşürebilir. Dinamik yük etkilerinin olabildiğince düşürülmesi ve bu etkilerin vinçlerin tasarım hesaplarına dahil edilmesi çok önemli bir husustur. Dinamik

yüklerin oluşturduğu bu etkiyi azaltabilmek için vinç operatörleri taşıma işlemini sırasında hareketlerini olabildiğince yavaş yapmaları gerekmektedir. Genel bir yük taşınması uygulamasında vinçlerde oluşan salınımı önlemek için vinci kullanan operatörün inisiyatifi ile oluşan salınım yönünün tersine doğru kısa süreli ivmelenme hareketi yaparak manuel olarak salınımın azaltılması sağlanabilir. Bu durum ise vinci kullanan operatörlerin sürekli stres, baskı ve yüksek konsantrasyon altında çalışmasını zorunlu kılmaktadır. Bu durum yoğun çalışma süresi ile birleştiğinde oluşan insan kaynaklı hatalara bağlı üretim, malzeme ve zaman kayıplarına artmasına sebep olmaktadır (Yılmaz, 2014: 2). Operatör inisiyatifinden alınması gerektiğini düşünen mühendisler için bu durum, yük salınım kontrolü olarak bilinir ve mühendislerin üzerinde çok çalışma yaptığı ve yapmaya devam ettiği konu olarak ilgi çekmektedir. Bu alanda birçok farklı kontrol mekanizması geliştirilerek, farklı yöntemleri içinde barındıran birçok denetleyici önerilmiştir. Bu denetleyicilerin çoğunda göze çarpan en önemli özellik ön bir sensör bilgisi olmadan çalışma kapasitesinde yükler taşınırken salınım açısını minimize ederek konum kontrolü yapabilmesine olanak sağlanmasıdır. Bu durumda sistemin kullanıldığı vinçlerde büyük bir çalışma ve güvenlik avantajı olarak bilinmektedir. Bu kontrolü sağlayan denetleyiciler arasında PID (Proportional Integral Derivative) denetleyiciler dikkat çekmektedir.

Bu tez çalışmasında; sektörde yer alan bir vinç firmasında kullanılan bir çift kiriş gezer köprülü vinç modeli üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yükü bir halat vasıtası ile kaldıran gezer köprülü vinç üzerinden salınım kontrolü yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar gerçek bir sistem üzerinden deneysel olarak sağlanmıştır. Sistemin katı modellenmesi için de üç boyutlu modelleme programı olan SolidWorks kullanılmıştır. Sistemin dinamik modeli, sistemin kontrollü ve kontrolsüz davranışlarını görmek amacıyla kontrolcü devrede ve devrede değil iken deneyler yapılmıştır. Literatür taraması sonucunda incelenen çalışmalar neticesinde bu çalışmanın farklılıkları sensör, kamera gibi geri beslemeye ihtiyaç duymayan bir sistem olmasıdır. Çalışmada tambur arkasına yerleştirilen encoder yardımıyla, kancaya bağlı yükün yükseklik konum bilgileri alınıp PLC (Programmable Logic Controller) kontrol üzerinden kontrollü bir biçimde yükün taşınması işlemi sağlanmıştır. Yükün bir noktadan başka bir noktaya taşınmasında, enerji kapasitesinden (güç olarak) çok fazla bir kayıp yaşanmadan işlemin tamamlanması diğer bir farklılığıdır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bir gezer köprülü vinç sisteminin modellenmesi ve kontrolü için birçok araştırmacı çalışma yapmış ve salınım kontrolü üzerinde daha çok durmuşlardır. Çalışmalarını iki grupta toplanabilir;

- Açık çevrim kontrol
- Kapalı Çevrim kontrol

Açık çevrim; uygulaması daha basittir fakat rüzgar, sarsıntı gibi dış etkenlerden kaynaklanan salınım hareketini durdurmaz ancak alçak geçiren filtre ve giriş şekillendirme metotları gibi yöntemler ile salınım hareketini başlamadan durdurma üzerine araştırma yapılmıştır.

Kapalı çevrim; açık çevrim kontrolün aksine salınım hareketini eklenen sensörler, kameralar veya programlanan işlemciler yardımıyla salınım hareketini engellenebilirken, dış etkenlerden dolayı oluşabilecek salınım hareketinde bastırılmasına olanak sağlamaktadır.

Bunun için geliştirilen denetleyicilerde oluşturulan en temel nitelik; harekete başlamadan önceden bir ön bilgiye sahip değilken geniş bir aralıktaki yükleri taşıırken salınımı en aza indirerek pozisyon kontrolünü elde edebilmektir.

Uçuk (2009) çalışmasında bulanık (fuzzy) denetleyici ve klasik (PD, PID) denetleyiciler kullanarak, bir köprülü vincin salınımını minimum seviyeye indirerek kontrolünü sağlamak amacıyla tasarlamıştır. Denetim sistemlerini, klasik denetleyicileri ve bulanık denetleyicileri açıklamıştır. Daha sonra sistemin hareket denklemleri elde etmiştir. Vincin bulanık mantık kontrolü için sistem Matlab Simulink yazılımı yardımıyla modellemiştir. Doğrusal olmayan hareket denklemleri, doğrusallaştırıldıktan sonra klasik kontrol (PD ve PID) tasarımında kullanılması için transfer fonksiyonu bulmuştur. Bu denetleyiciler sisteme uygulanarak konum-zaman ve salınım-zaman grafikleri elde edilmiş ve denetleyiciler karşılaştırılmıştır.

Yağsan (2005) gezer köprülü vincin konum ve salınım kontrolünü sağlamak amacı ile olarak Ziegler- Nichols metodu ile PID kazanç katsayılarını (K_p , K_d ve K_i) bulmaya çalışmış ve simülasyon yapmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre genetik algoritma kullanarak PID katsayılarının optimizasyonunu yapmış burada, ISE (hatanın karesinin integrali) kriterini referans alarak, minimum karesel hatanın integral değerinin, üst limit ve yerleşme süresini minimum yapmasını beklemiştir. İki yöntemi karşılaştırarak genetik algoritmaların, sistemin tam olarak bilinmediği ve parametrik belirsizliğin yüksek olduğu sistemlerde PID

kontrolörlere göre çok daha iyi sonuç verdiği, ele alınan sistemin belirsizliği çok yüksek olmasa da genetik algoritmaların daha verimli bir kontrol sağladığı sonucunu elde etmiştir.

Sağırılı, Azeloğlu, Büyüksahin (2009) yapmış oldukları çalışmada gezer köprülü vinçler için “Bond Graph” yöntemini kullanarak doğrusal olmayan bir dinamik model geliştirmiştir. Araştırmalarında, gezer köprülü vinçlerin üç temel hareketini incelemekte köprü, araba ve yükün atalet etkilerine dikkate alınarak, mekanik sürtünmeleri model üzerine dahil etmişler, halatın esneme durumları ele alınarak, halat boyunun değişimine bağlı olarak halatın elastikiyetinin değişimi de modellerinde dikkat almışlardır. Çalışmada önce tüm vinç sisteminin kinematik denklemleri oluşturulmuş, ardından kinematik denklemler yardımıyla sistemin dinamik modeli elde edilmiştir. Oluşturulan matematik modeller ile sistemin simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Simülasyon çalışmalarında, sistemin dinamik davranışlarının gözlenmesi yoluyla, tasarım ve kontrol çalışmalarına temel yapılara etki edecek parametrelerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Simülasyon sonuçları, oluşturulan modelin sistemin dinamik davranışlarını etkili bir şekilde ortaya koyduğunu göstermekte olup gezer köprülü vinçlerin daha ekonomik olarak tasarlanabilmesi ve kontrolünün daha uygun olarak sağlanabilmesi için gerçekçi bir yaklaşım sunmaktadır.

Büyüksahin (2010) Araştırmalarında görüntü işleme tabanlı yük salınım kontrolü üzerine çalışmalar yapmıştır. Lagrange metodu kullanılarak gezer köprülü vincin araba ekseninin matematiksel modeli çıkarılmış ve Simulink programında modellenmiştir. Köprülü vinç fiziksel modeli yapılmıştır. Yapılan modelde servo motorlar kullanılarak hareketleri gerçekleştirmiştir, motorlar üzerinde her bir turu on bine bölerek geri besleme yapan optik kodlayıcılar yerleştirmiştir. Bu optik kodlayıcılar yardımı ile, yapılan deneylerde gezer köprülü vinç hareketlerinin geri beslemesi çok hassas bir şekilde alınabilmesine olanak sağlamıştır.

Karasu (2013) Çalışmasında görüntü işleme ile gezer köprülü vinçlerde yükün salınım incelenmesini ve giriş değişkenlerinin değerlerinin oluşturulmasını incelemiştir. Görüntü işlemede yaygın olarak kullanılan plaka tanıma metodu ile vincin konum bilgilerinin zamana göre elde etmiştir. Elde edilen verileri matematiksel analizini ve eğri uydurma metodu ile giriş parametrelerini bulmuşlardır. Giriş parametrelerine göre ZV (gerçek zamanlı şekillendirici) tasarımında kullanarak yükün ataletine göre salınımı azaltmayı başartmışlardır.

Abdel-Rahman (2001) genel anlamda vinçler bir kaldırma mekanizmasından ve onu yürütecek destek mekanizmalarından oluşmaktadır. Kanca ve palanga sistemi taşıyıcı

mekanizmasına asıl kısmınıdır. Taşıyıcı mekanizma, vincin çalışması esnasında yükün herhangi bir engele çarpmasını önlemek için bir çalışma alanına kurulur. Vinçler temel olarak serbestlik derecesine göre sınıflandırılabilir. Şekil 2.1.' de, gezer köprülü vinç taşıma yolu ve taşıyıcı köprüden meydana gelmektedir. Bazı köprülü vinçlerde bu taşıma köprüsü gezdiği raya göre dönebilen köprü olarakta üretilebilir. Bu kurulumda yükü yatayda iki farklı doğrultuda yer değiştirebilmesine olanak verir. Fabrika, mermer ocakları gibi yerlerde yükün taşınması amacıyla kullanılırlar. Şekil 2.2.' deki döner vinç düşeyde sabitlenmiştir. Bu yatayda iki farklı hareket yapmasına ve sabitlenen noktada dönme hareketi yapmasına izin verir. Bu tip vinçler daha çok inşaatlarda montaj amacıyla kullanılmaktadır. Şekil 2.3' deki bomlu vinç bir noktada sabitlenmiştir. Bu vinçlerin iki hareketi vardır: sabitlendiği noktada dönme hareketi ve bomun yerleşiminden doğan hareketlerdir. Bu vinçler ise daha çok limanlarda gemilere yükleme ve boşaltma amacıyla hizmet etmektedir.



Şekil 2.1. Portal vinç modeli

Kaynak: (Abdel-Rahman, 2001: 864)



Şekil 2.2. Döner vinç modeli

Kaynak: (Abdel-Rahman, 2001: 864)



Şekil 2.3. Bomlu vinç modeli

Kaynak: (Abdel-Rahman, 2001: 865)

Sakawa ve Sano (1997), gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarında lineer olmayan bir köprülü vinç modeli oluşturmak ve kontrol etmek istemişlerdir. Oluşturdukları model ile köprülü vincin kontrolünü lineer dayanıklı denetleyeci tasarlayarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada oluşturulan köprülü vinç üzerinden düzlemsel hareketleri gerçekleştiren dinamik yük modeli yardımıyla simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

Özdeş (2011) gezer köprülü vinç sisteminin hareketinin gerçekleştiği operatör kumandasını ve kontrolünü endüstriyel bir denetleyici birimi yardımıyla oluşturmuştur. Çalışmasında klasik kontrol yöntemlerinden farklı olarak, kontrol işleminin otomat ile sürüldüğü bir kontrol sistemi kullanılmıştır. Yük salınımını kontrol edebilmek ve sönümlemek için PID kontrol sistemi kullanılmıştır. PID kontrol için gerekli parametrelerin bulunması ve hesaplanmasında sistemin ayrık kontrol modelinden yararlanılmıştır. Model üzerinden çıkarılan parametreler ile PLC'de üzerinden çalıştırılan fonksiyonlar şeklinde oluşturmuştur. Bu sayede endüstriyel otomasyon uygulamalarında, bu fonksiyonlar kullanılarak gezer köprülü vinçlerin salınım kontrolüne ilişkin PID parametreleri hesaplanarak hızlı bir şekilde kontrol sistemi devreye alınabilmesine olanak sağlamaktadır.

Özkahraman (2011) çalışmasında döner vincin matematiksel modellenmesi ve yük salınımlarının kontrolünü araştırmıştır. Çalışmada önce döner vinçler hakkında genel bilgiler verilmiş, matematiksel model oluşturulma metotlarından bahsedilmiş ve yük salınım kontrolü hakkında yapılan çalışmalar genel olarak gözden geçirilmiştir. Ayrıca test düzeneği hazırlayarak bir matematiksel model oluşturulmuş ve oluşturulan bu matematiksel model kullanılarak bir bulanık mantıklı kontrolör tasarlanmıştır.

Liu vd. (2005) iki serbestlik dereceli köprülü vincin pozisyon ve salınım kontrolünü sağlamak için uyarlamalı değisken tip bir bulanık mantık tabanlı denetleyici üzerinde bir prototip düzeneği kurmuşlardır. Kurdukları bu prototipte vincin hareketini bir servo motor ile gerçekleştirip yük titresimlerini sensör vasıtasıyla ölçmüşlerdir. Deneyler sonucunda kontrol kuralları tasarımının pozisyon ve titresim kontrolünü garanti edeceğini ve yaptıkları denetim sisteminin kararlılığının ve performansının yüksek olduğunu ifade etmişlerdir.

Ahmad vd. (2011) döner vinçlerde yük salınımı ve vincin modellenmesinde Euler ve Lagrange metodunu kullanmıştır. Döner hareket ve oluşturduğu salınım için yan yana yerleştirilmiş PD denetleyiciler ile bulanık mantık tabanlı denetleyicileri birlikte kullanmıştır. İki kontrol metodunun birlikte kullanılmasının klasik denetleyicinin yalnız oluşturduğu etkiye nazaran daha hızlı cevap verdiğini belirlemiştir.

3. KONTROL SİSTEMLERİ VE TANIMLARI

3.1 Kontrol Sistem Tanımları

Sistem: Birbirleri ile etkileşimleri doğrudan veya dolaylı olarak, belirlenen bir işlem için bir araya toplanmış elemanlar topluluğudur.

Denetim: İşlem üzerinde çalışan birimin kontrolü amacıyla geliştirilen devrelerdir.

Giriş ve Çıkış: Sisteme dahil olabilen, işlenebilen işaretler veya büyüklüklere verilen isimdir. Sistem dışına aktarılan, işlem yapılmış işaretler veya büyüklükler olarak tanımlanır (Karasu, 2013: 5).

3.2 Kontrol Sistemleri

Kendisini ya da başka bir mekanizmayı kontrol etmek, yönlendirmek veya kumanda etmek üzere insan gücüne gerek kalmadan işleminin sürekliliği için gerekli elemanların tümüdür. Çağımızda el emeği, seri üretimden pahalı bir üretim haline gelmesi ile birlikte otomasyon sistemleri ile üretim daha ekonomik, hızlı, ve standardı önceden belirtilen ölçülerde üretim yapılabilmesine imkan sağlanabilmektedir (Karasu, 2013: 5).

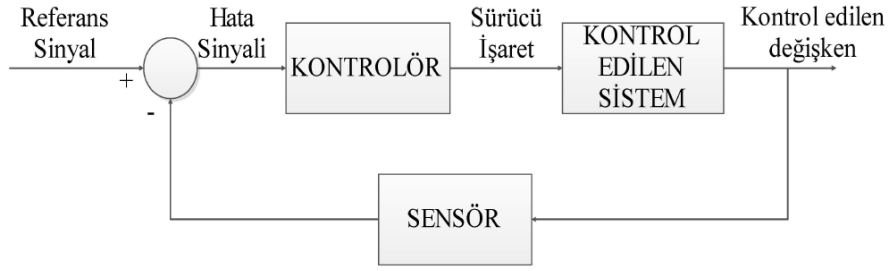
3.2.1 Açık Çevrim Kontrol Sistemleri



Şekil 3.1. Açık çevrim kontrol sistemi

Açık çevrim kontrol sisteminde, sisteminin kontrolünü sağlayan kontrolcünün sistem çıkış değerlerinden etkilenmediği, sadece sisteme giren giriş referans sinyal değerine göre kontrol işleminin yapıldığı sistemler olarak tanımlanır. Çıkış değerlerinin, giriş değerleri üzerinde hiçbir etkisi bulunmamaktadır. Çıkış, girişin bir fonksiyonudur. Çok fazla hassasiyet gerektirmeyen sistemlerde kullanılan bir kontrol sistemidir. Sistem üzerine etki edebilecek bozucu faktörler yalnızca insan kontrolü ile algılanabilir. Bu sistemde verilen giriş referans değeri kontrol bloğu tarafından alınır ve oransal bir kontrol işareti üretir. Bu işaret kontrol edilen sisteme verildiğinde sistem giriş değişkenini süreç içerisine alır ve istenilen çıkış işaretini verir (Yunus, 2018: 5; Çakır, 2017: 8).

3.2.2 Kapalı Çevrim Kontrol Sistemleri



Şekil 3.2. Kapalı çevrim kontrol sistemi

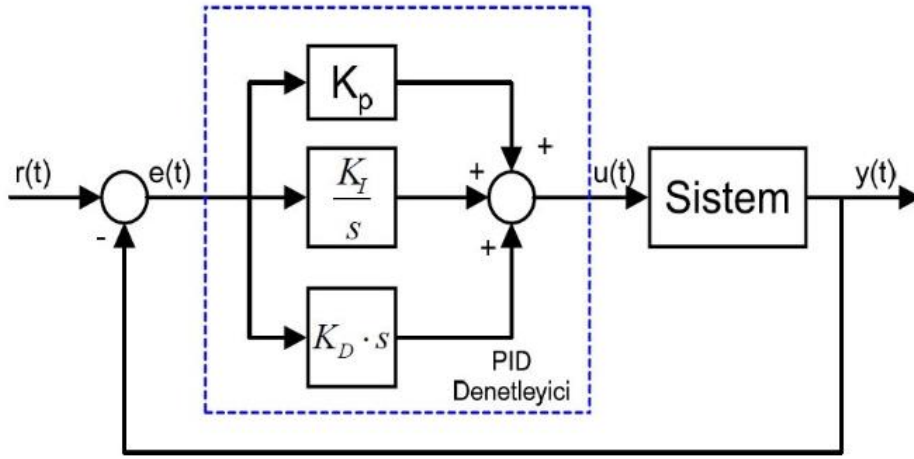
Kapalı çevrim kontrol sisteminde çıkış değeri, giriş değeri ile geri besleme değeri toplamının bir fonksiyonudur. Çıkış, sadece girişin bir fonksiyonu değildir. Çıkıştan alınan bir geri besleme sinyali ile giriş her zaman kontrol altına alınmaktadır. Diğer bir deyişle bu tip sistemlerde çıkış girişi denetleyebilmektedir, geri besleme işlemi vardır (Çakır, 2017: 11). Çıkış değişkeni çıkışa koyulan bir sensör yardımıyla ölçülerek, giriş üzerine geri beslendikten sonra referans bir giriş değeri elde edilir.

4. PID KONTROL SİSTEMLERİ

4.1 PID Kontrol

PID kontrolörleri, endüstriyel otomasyon ve üretim hat kontrolü için geniş bir uygulama alanında kullanılırlar. Endüstriyel otomasyon sektörünün operasyonlarının yaklaşık %95'i PID kontrolörleri ile proses kontrolünü sağlamaktadır. Şekil 4.1'de PID kontrolörün yapısını gösterilmektedir. PID'nin açılımına bakacak olursak;

- P (Proportional) Oransal
- I (Integral) İntegral
- D (Derivative) Türevsel



Şekil 4.1. PID denetleyicinin oransal, integral ve türevsel yapısı

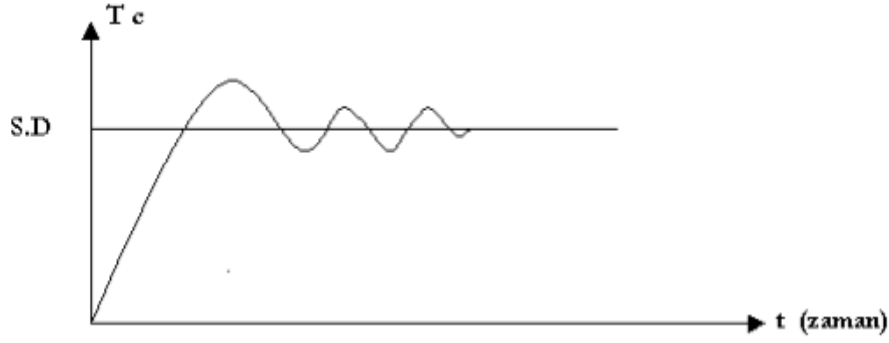
Denetim çeşitleri içerisinde denetleyiciler P oransal, I integral, D türev olarak tanımlanır. Bu çeşitler aralarında birleşerek PI denetleyici, PD denetleyici ve PID denetleyici gibi farklı yapıda denetleyicileri oluşturulabilir.

Bir fonksiyonun integralinin Laplace versiyonu fonksiyonu, "1/s" çarpacak şekilde, türevin Laplace versiyonu fonksiyonun fonksiyonu "s" ile çarpacak şekilde yazılır K_p , K_i ve K_d kazançları ile de fonksiyonu s domenindeki transfer fonksiyonlarının yazılışları;

$$U(s) = (K_p + K_i/s + K_d \cdot s) \cdot E(s) \quad (4.1)$$

$$C(s) = U(s) / E(s) = K_p + K_i/s + K_d \cdot s \quad (4.2)$$

PID kontrolün transfer fonksiyonu olarak tanımlanır.



Şekil 4.2. Oransal + integral + türevsel kontrol tepkime eğrisi

4.1.1 PID Kontrolör Yapıları

PID kontrolörün temelde iki farklı yapısı vardır.

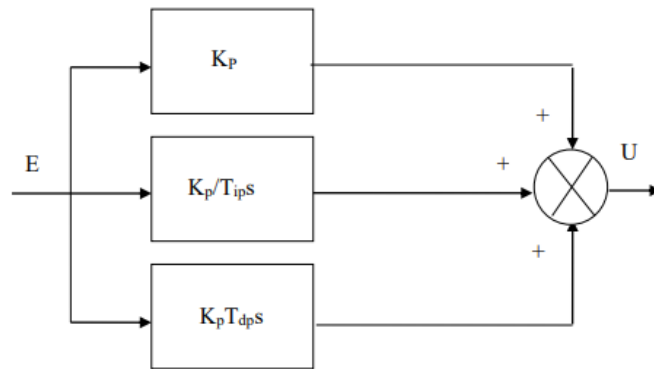
- Paralel Yapı
- Seri Yapı

Paralel Yapı

Paralel yapıdaki PID denklemini (4.3)'deki ifade edilebilir.

$$u(t) = K_p [e(t) + 1/T_{ip} \int e(t) dt + T_{dp} de(t)/dt] \quad (4.3)$$

Bu kontrol yapısına ideal yapı olarak adlandırılmaktadır. Şekil 4.3'de paralel yapıdaki PID kontrolörün blok şeması görülmektedir (Develi, 2004: 12).



Şekil 4.3. Paralel yapıdaki PID kontrolör

Genel yapı itibarı ile paralel yapıdaki kontrolör P, I ve D denetleyicileri birbirlerinden ayrık ve paralel şekilde bağlıdır. Sistemlerde son yıllara kadar çok yaygın tercih edilen bir yapı değildir. Pnömatik kontrolör için gerekli olan analog yükseltilici maliyetlerinin yüksek olması ve bu formun oldukça zor gerçekleştirilmesi bunun başlıca nedenleridir. Teknolojinin

gelişmesi ile bilgisayar destekli çözümlerin gelişmesi ile paralel PID kontrolörler yaygınlaşmıştır (Develi, 2004).

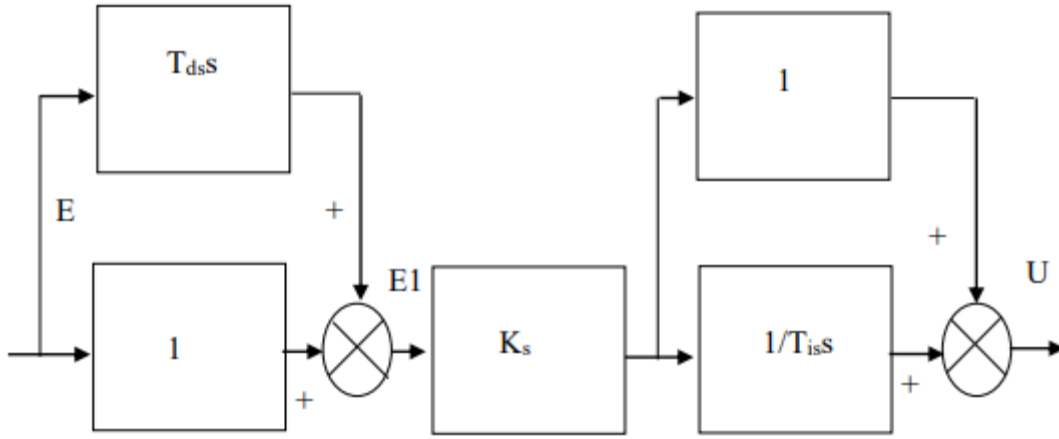
Seri Yapı

Endüstriyel kontrol uygulamalarında en sık kullanılan PID kontrolör yapısıdır. Aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir:

$$e_1 = e + T_{ds} \frac{de}{dt} \quad (4.4)$$

$$u = K_s (e_1 + 1/T_{is} \text{ integral } e_1 dt) \quad (4.5)$$

Şekil 4.4.' de seri yapıdaki PID kontrolörün blok şeması görülmektedir.



Şekil 4.4. Seri yapıdaki PID kontrolör

Seri yapıdaki D ve I denetleyicileri paralel yapıda olduğu gibi birbirlerinden bağımsız değildirler. Kontrolör birbirlerine seri bağlı PD ve PI denetleyici yapılarından meydana gelmektedir. Paralel ve seri yapıdaki kontrolörler önce etkileşimli ve sonra etkileşimsiz olarak da değerlendirilir. Etkileşimli yapı gerçekleşmesi sadece tek yükseltici kullanımı ile olabilir. Maliyeti düşürmek amacıyla kontrol uygulamalarında bu form kullanılırdı (Develi, 2004: 13). Eski uygulamalara uyum sağlayabilmek amacıyla günümüzde bazı üretici firmalar etkileşimli form algoritmaları üretmektedirler.

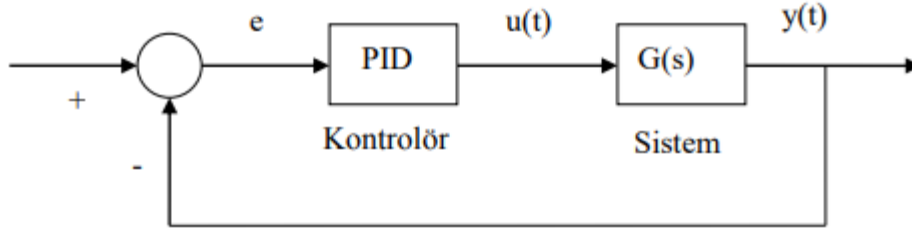
Paralel ve Seri Yapılar Arasındaki İlişki

İki farklı yapıdaki PID denetleyicinin parametreleri arasındaki bağlantı basitçe elde edilebilir. Seri yapıdaki parametre değerleri biliniyorsa bir sınırlama olmadan paralel yapı parametreleri üretilebilir. Ancak paralel yapıdaki kontrolörün parametre değerleri biliniyor olsa bile seri yapı parametrelerini elde etmek her zaman mümkün olmayabilir (Develi, 2004: 14).

4.2 Ziegler Nichols Yöntemi

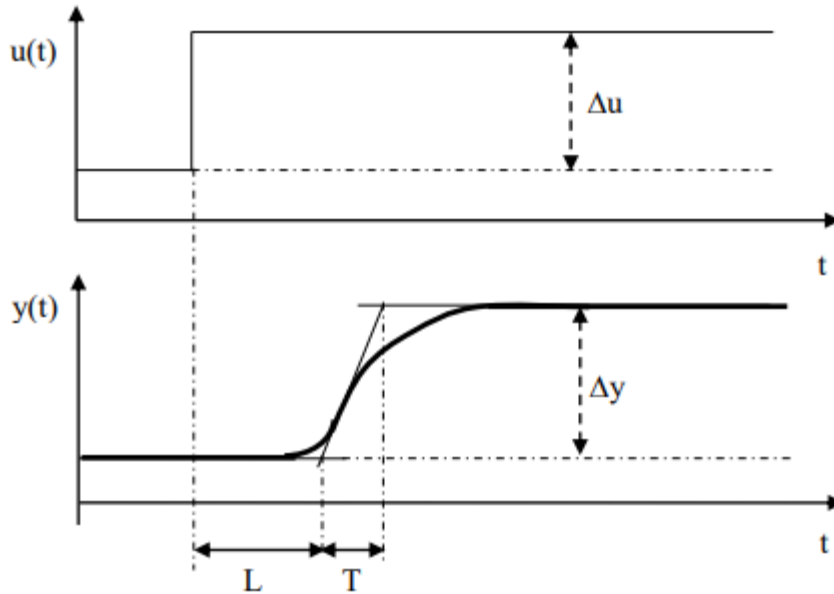
Problemlerin modellenmesinde bazı sistemlerin transfer fonksiyonunun oluşturulmasındaki zorluk, tasarımcıların en uygun kontrolör katsayı değerlerinin belirlenebilmesinde deneysel yollarla oluşturulabilmesine yönlendirmiştir. Bu değerlerin belirlenmesinde en yaygın kullanılan method Ziegler ve Nichols yöntemidir. Bu iki isim 1942 yılında PID kontrolörünü belirleyebilmenin klasik iki yolunu ortaya koymuşlardır. Bu iki tür uygulamalarda halen özgün yapıda ya da basit değişikliklerle yaygın şekilde kullanılmaktadır. Şekil 4.5.' de PID kontrolör ile kontrol edilen kapalı çevrim bir sistem gösterilmektedir.

Denetleyici sistem parametlerinin belirlenmesi için Ziegler ve Nichols yönteminin açık çevrim basamak yanıtı değerleri ile belirlenir (Develi, 2004: 15).



Şekil 4.5. PID kontrolör ile elde edilen kapalı çevrim kontrol sistemi

Şekil 4.6.' da açık çevrimli bir kontrol sisteminin basamak yanıtı gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Açık çevrim kontrol sisteminin basamak yöntemine göre cevapları

Burada Δu basamağı sisteme uygulanarak, $y(t)$ ve $u(t)$ yanıtları alınmıştır.

1) Sistem basamak yanıtında eğimin en büyük olduğu nokta bulunur ve bu noktadan geçen teğet çizilir.

2) Bu teğetin basamak giriş öncesi ve sonrasındaki sistem çıkış değerlerini kestiği noktalar bulunur.

3) Bu iki değer okunarak;

L: Ölü zamanı ve

T: Baskın sistem zaman sabiti yaklaşık olarak elde edilir.

Basamak girişin başlaması ile sistem yanıtının elde edilmesine kadar geçen süre ölü zaman olarak tanımlanır. Ziegler ve Nichols methodu yardımıyla bulunan bu ölü zaman genellikle gerçekte oluşan ölü zamandan biraz daha fazladır. Bu fazlalığın sebebi daha basit ve düşük kademeli modelin, yüksek kademeli model yerine kullanılmasıdır. Bir başka ifade ile ölü zaman ve birden fazla zaman sabitinden oluşan gerçek sistem, T (zaman sabiti) ve L (ölü zaman) ile açıklanmaya çalışılır.

4) Sistemin statik kazancı olan K_P sistemin $y(t)$ çıkışındaki Δy değişim değeri ile $u(t)$ işaretinin Δu değişimi oranından elde edilir.

$$K_P = \Delta y / \Delta u \quad (4.6)$$

Ziegler ve Nichols'ün basamak yanıtı yönteminde elde edilen L, T ve K_P parametreleri ile kontrolör parametrelerinin belirlenmesine zıt düşer. Değerlerin belirlendiği tablonun sadeleştirilmesi için ölü zaman değerinin zaman sabitine olan oranı θ tanımlanır.

$$\theta = L / T \quad (4.7)$$

θ normalize edilmiş ölü zaman değeri olarak tanımlanır. Sistem yapısına göre belirlenen bu parametrelerden sonra Ziegler ve Nichols'un araştırmaları sonrasında oluşturduğu tablo 4.1.'deki kontrol sistem parametrelerine ulaşılır.

Tablo 4.1. Ziegler ve Nichols basamak yöntemine göre PID parametrelerinin belirlemek

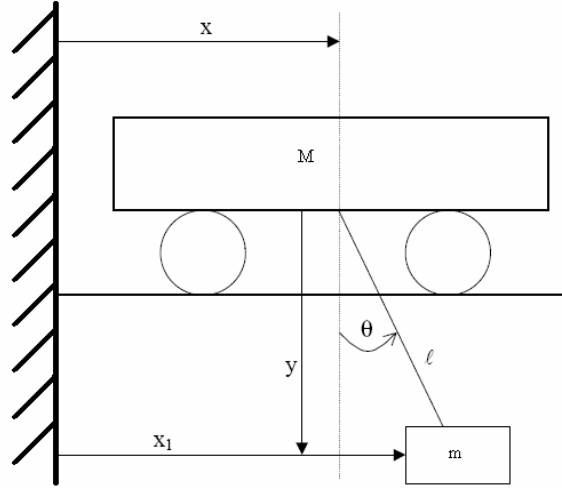
Kontrolör	K	T _i	T _d
P	$\frac{1}{K_p\theta}$	-	-
PI	$\frac{0.9}{K_p\theta}$	3L	-
PID (paralel)	$\frac{1.2}{K_p\theta}$	2L	L/2
PID (seri)	$\frac{0.6}{K_p\theta}$	L	L

Tablo 4.1.'e göre sistemin kazancı ile kontrolör kazancı ters orantılı olduğu sonucu elde edilir. Bunun açıklaması kullanılan prosesin yüksek kazanç değeri varsa kontrolör bunu dengede tutabilmek için düşük kazançlı olmalıdır. Uygulamanın θ değeri uzun ise kontrol edilmesi zor bir proses ve sistem koşullarına bağlı olarak daha düşük bir kontrolör kazancı tercih edilmelidir. Türev ve integral zaman sabitleri sistemin ölü zamanı ile doğru orantılıdır. Ziegler ve Nichols basamak yanıtı methodunun en büyük avantajı sistem girişine sadece basamak girişi verilmesinin yeterli olmasıdır. Yük değişim değerlerine ve deney sırasında girişe uygulanan frekans değişimlere hassas olmasıdır methodun dezavantajı olarak gösterilebilir.

5. MATEMATİKSEL MODELLEME

Bir sistemi oluşturan elemanlar, elemanların birbirleri ile nasıl bağlı olduğu, her bir elemana ilişkin denklemler sistemin matematiksel modelini oluşturur. Bilinen fizik, kimya vb. kanunlar kullanılarak sistem içerisindeki işaretlerin birbiri ile ilişkileri matematiksel olarak ifade edilir (Yağsan, 2005: 5).

5.1 Lagrangian Dinamikleri



Şekil 5.1. Gezer köprülü vinç sistemin şematik gösterimi

Şekil 5.1.' de basit bir gezer köprülü vinç sisteminin genel diyagramı gösterilmiştir. Burada araba ağırlığı M , sarkaç ağırlığı m olarak adlandırılmış; kullanılan ipin ağırlıksız ve rijit olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca sistem sürtünmesiz kabul edildiğinden sürtünme bileşenleri modelde gösterilmemiştir.

x : arabanın yatay pozisyonu (m)

x_1 : sarkacın yatay pozisyonu (m)

y : Sarkacın dikey pozisyonu (m)

θ : salınım açısı (rd)

l : Sarkaç ipi uzunluğu (m)

İki serbestlik derecesine sahip olan bu sistemlerin, Lagrangian dinamiklerinden yararlanarak modeli elde edilebilir. Lagrangian eşitlikleri hareket denklemlerini, sürtünmeli ve de sürtünmesi ihmal edilmiş sistemler için elde etmemizi sağlar. Sürtünmesiz yaklaşımda sistemin enerji kaybının olmadığı kabul edilir. Lagrangian eşitliklerini kullanarak bir sistemin

dinamiklerinin elde edilmesi gerekli matematiksel eşitlikler ile, aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

Kinetik ve potansiyel enerji denklemlerinden;

$$L = T - U = E_k - E_p \quad (5.1)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \left(\frac{\partial L}{\partial q_i} \right) + \left(\frac{\partial D}{\partial \dot{q}_i} \right) = F_i \quad (5.2)$$

L: Kinetik ve potansiyel enerjiden oluşan Lagrangian sistemi

T: Sistemin toplam kinetik enerjisi (EK)

U: Sistemin toplam potansiyel enerjisi (EP)

D: Sürtünmede kaybolan enerji

Fi: q serbestlik derecesinde oluşan net kuvvet

i: x(t) ve q(t) serbestlik dereceleri (number of degrees of freedom)

qi : genelleştirilmiş koordinat setleri ; i=1,2,3....n

Lagrangian fonksiyonu oluşturmak için toplam kinetik enerjiden sistemin toplam potansiyel enerjisinin çıkartılması gerekmektedir.

Kinetik Enerji Modeli;

Arabanın Kinetik Enerjisi:

$$T_1 = \frac{1}{2} M \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 = \frac{1}{2} M (\dot{x})^2 \quad (5.3)$$

Sarkaç Yükünün Kinetik Enerjisi

$$T_2 = \frac{1}{2} m (\dot{x}^2 + \dot{y}^2) \quad (5.4)$$

Burada;

$$x_1 = x + l \sin \theta, y = l \cos \theta \quad (5.5)$$

$$\dot{x}_1 = \dot{x} + l \dot{\theta} \cos \theta, \dot{y} = -l \dot{\theta} \sin \theta \quad (5.6)$$

araba + sarkaç kinetik enerjisi toplamı

$$E_k = T_1 + T_2 = \frac{1}{2} M (\dot{x})^2 + \frac{1}{2} m [(\dot{x} + l \dot{\theta} \cos \theta)^2 + (-l \dot{\theta} \sin \theta)^2] \quad (5.7)$$

olarak bulunur. Buradan:

$$T = E_k = \frac{1}{2} (M+m) \dot{x}^2 + m \dot{x} l \dot{\theta} \cos\theta + \frac{1}{2} m [(l\dot{\theta})^2 (\cos^2\theta + \sin^2\theta)] \quad (5.8)$$

elde edilir.

Potansiyel Enerji Modeli

Araba sadece yatay eksen üzerinde hareketini yaptığı için, sistemin potansiyel enerjisi sadece sarkaç açısından kaynaklanmaktadır.

$$U = E_p = mgl - mgl \cos\theta \quad (5.9)$$

Lagrangien Denklemi

Bulunan enerji denklemleri Lagrangian eşitliğinde yerlerine yazarak denklem elde edilir.

$$L = T - U = \frac{1}{2} (M+m) \dot{x}^2 + m \dot{x} l \dot{\theta} \cos\theta + \frac{1}{2} m [(l\dot{\theta})^2 (\cos^2\theta + \sin^2\theta)] - mgl (1 - \cos\theta) \quad (5.10)$$

Sistem üzerinde sadece bir adet araba ve salınım dinamiklerine etki eden dış kuvvet vardır. Bu kuvvet yatay ekseninde hareket kazandıran F_x kuvvettidir. Sürtünme kayıpları ihmal edildiğinden $D=0$ alınmıştır.

Buna göre denklem 5.2'de aşağıdaki eşitliği alacaktır:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dL}{dx} \right) - \left(\frac{dL}{dx} \right) = F \quad (5.11)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dL}{d\dot{\theta}} \right) - \left(\frac{dL}{d\theta} \right) = F \quad \theta=0 \quad (5.12)$$

olarak yazılabilir.

$$q(t) = \theta(t)$$

Serbestlik Derecesi için Lagrange Denklemi

$$\frac{dL}{d\dot{\theta}} = ml^2\dot{\theta} + m l \dot{x} \cos\theta \quad (5.13)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dL}{d\dot{\theta}} \right) = -ml^2\ddot{\theta} + m l \ddot{x} \cos\theta - m l \dot{x} \dot{\theta} \sin\theta \quad (5.14)$$

$$\frac{dL}{d\theta} = -m l \dot{x} \dot{\theta} \sin\theta - m l g \sin\theta \quad (5.15)$$

Lagrange denkleminde yerine yerleştirildiğinde:

$$l^2\ddot{\theta} + \ddot{x} \cos\theta + g \sin\theta = 0 \quad \text{elde edilir.} \quad (5.16)$$

q(t)= x(t) Serbestlik Derecesi için Lagrange Denklemi :

Arabaya uygulanan kuvvet $F_x = F(t)$;

$$\frac{dL}{d\dot{x}} = (M+m) \dot{x} + m l \dot{\theta} \cos\theta \quad (5.17)$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{dL}{d\dot{x}}\right) = (M+m) \ddot{x} + m l \ddot{\theta} \cos\theta - m l \dot{\theta} \sin\theta \quad (5.18)$$

$$\frac{dL}{dx} = 0 \quad (5.19)$$

Lagrange denkleminde yerine yerleştirildiğinde :

$$(M+m) \ddot{x} + ml\ddot{\theta} \cos\theta - ml(\dot{\theta})^2 \sin\theta = F(t) \text{ elde edilir.} \quad (5.20)$$

(5.20) denkleminde elde edilen model non-lineer dir. Sistem üzerinde daha fazla çalışma yapmadan önce sistemin lineerleştirilmesi gerekmektedir. Sarkacın denge noktası θ_0 etrafında küçük bir değişim gösterdiğini kabul edelim. Yeni değerine θ adını verelim:

$$\theta = \theta_0 + \varepsilon \quad (5.21)$$

$$\dot{\theta} = \dot{\varepsilon} \quad (5.22)$$

Taylor Serisi açılımından, θ 'nın herhangi bir fonksiyonunun birinci derece yaklaşımı

$$f(\theta) \approx f(\theta_0) + \varepsilon \left. \frac{df}{d\theta} \right|_{\theta_0} \quad (5.23)$$

olup, aynı zamanda daha büyük dereceli terimler ihmal edildiğinden

$$\dot{\varepsilon}^2 \approx 0 \quad (5.24)$$

$$\varepsilon^2 \approx 0, \theta = 0 \text{ için ;}$$

$$\cos\theta \approx \cos(0) + \theta [-\sin(0)]=1$$

$$\sin\theta \approx \sin(0) + [\cos(0)]=\theta \quad (5.25)$$

yazılabilir.

Bulunan denklemleri Lagrange eşitliğinde yerine koyarak ;

$$\begin{aligned} (M+m) \ddot{x} + m l \ddot{\theta} &= F(t) \\ \ddot{x} + l \ddot{\theta} + g \theta &= 0 \end{aligned} \quad \} \text{ Lineer diferansiyel denklemi elde edilir.} \quad (5.26)$$

Bu diferansiyel denklem düzenlenirse;

$$\ddot{\theta}(t) = -g \frac{(M+m)}{Ml} \theta(t) - \frac{1}{Ml} F(t)$$

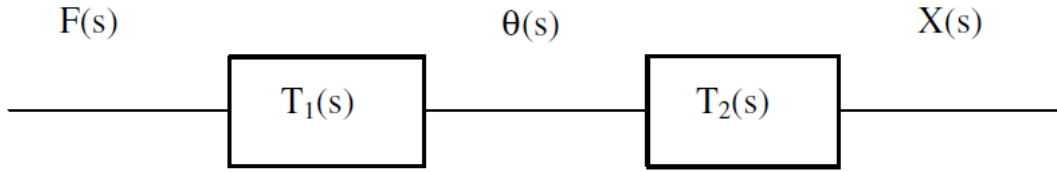
$$\ddot{x}(t) = g \frac{m}{M} \theta(t) + \frac{1}{M} F(t) \text{ olarak bulunur.} \quad (5.27)$$

5.2 Transfer Fonksiyonu

Diferansiyel denklemlerden, $\theta(t)$ nin $F(t)$ ile; $x(t)$ nin ise hem $\theta(t)$ hem de $F(t)$ ile bağlantılı olduğunu görülmektedir.

Bu yapıyı kaskat bağlı iki transfer fonksiyonu ile göstermek mümkündür. Şekil 5.2.'de kaskat bağlı transfer fonksiyonu gösterilmiştir.

$$T_1 = \frac{\theta(s)}{F(s)} \text{ ve } T_2 = \frac{X(s)}{\theta(s)} \text{ olarak alındığında ;} \quad (5.28)$$



Şekil 5.2. Kaskat halde transfer fonksiyonu gösterimi

(5.27) denkleminin Laplace Transformu alındığında;

$$s^2 \theta(s) + g \frac{(M+m)}{Ml} \theta(s) = - \frac{(1)}{Ml} F(s), \quad s^2 X(s) = g \frac{m}{M} \theta(s) + \frac{1}{M} F(s) \quad (5.29)$$

Buradan;

$$T_1(s) = \frac{\theta(s)}{F(s)} = \frac{-1}{Mls^2 + g(M+m)} \quad (5.30)$$

$$T_2(s) = \frac{X(s)}{\theta(s)} = - \frac{g + ls^2}{s^2} \quad (5.31)$$

elde edilerek oluşturulabilir.

6. ENDÜSTRİYEL HABERLEŞME PROTOKOLLERİ

Endüstri ve sanayileşme ile birlikte kullanılan makineler ve robotlar her geçen gün büyümekte, gelişmekte ve üretimde daha çok yer almaya başlamışlardır. Dolayısıyla sistemin kontrol cihazları ile üretim makineleri arasındaki iletişim gitgide zorlaşmakta ve karmaşık yapılar olmaya başlamıştır. Endüstride haberleşme probleminin çözümü belirli standartlar koyulmuştur. Koyulan bu standartlara endüstriyel haberleşme protokolleri olarak isimlendirilir.

Günümüzde sıklıkla kullanılan elektronik, otomasyon ve kontrol sistemlerinde kullanılan valf, aktüatör, sensör, röle gibi kontrol ekipmanların kendi durum ve yapıları ile ilgili olarak kendi aralarında, denetleyici modüller ile iletişim halindedirler. Böylelikle bilgi akışı sürekli hale gelerek sistem üzerinden verileri alma, işleme, analizi etme ve verileri yedekleme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Protokol olarak isimlendirilen bu yapı, bilgi alışverişini ve veri formatlarının düzenlenmektedir (URL, 1: 3).

Birbileri ile bağlantılı çalışma sağlamak için bilgisayarlar veya RTU 'ların (Remote Terminal Unit) aynı haberleşme protokolünü kullanmaları zorunludur. Otomasyon kontrol sistemlerinde veri iletişimini tek bir ağ modeli üzerinden yapmak isteyen şirketlerin tercih edebileceği çok az seçenekleri vardır. DeviceNet, CANBus (Control Area Network), ProfiBus (Process Field), ControlNet gibi protokol seçenekleri vardır. Her bir üretici ihtiyaçları doğrultusunda oluşturduğu protokoller ile bu pazarı oluşturmuşlardır. Tablo 6.1.' de protokolleri ve sponsorları görülmektedir.

Tablo 6.1. Haberleşme protokollerinin pazar payı ve uygulama alanları

İletişim Protokolü	Pazar Payı	Uygulama Alanları	Sponsorları
Canbus	25%	Otomotiv, proses	CIA, OVDA, Bosch
Profibus	26%	Proses kontrol	Siemens, ABB
LON	6%	Bina otomasyonu	Echelon, ABB
Ethernet	50%	Fabrika içi veri yolu	Bütün şirketler
Interbus	7%	Üretim	Phoenix Contact
Fieldbus	7%	Kimya endüstrisi	Fisher-Rosemount
ASI	9%	Bina otomasyonu	Siemens
Modbus	22%	Noktalar arası	Birçok şirket
ControlNet	14%	Fabrika içi veri yolu	Rockwell

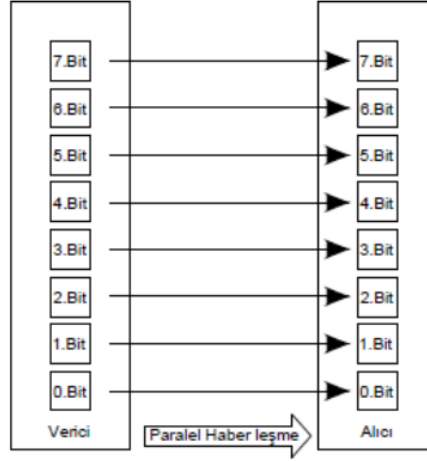
6.1. Veri Aktarma Yöntemleri

Veri aktarımları için iki seçenek mevcuttur. Gönderilecek olan sinyaller seri ya da paralel olarak aktarılır.

- Paralel Haberleşme
- Seri Haberleşme

6.1.1. Paralel Haberleşme

Alıcı ve verici kısımlarında 8 adet karşılıklı bağlantı noktası yer almaktadır. Paralel yapıdaki haberleşme ile 8 BIT / 1 BYTE büyüklüğünde bir veri transferi yapılabilir. Şekil 6.1.' de paralel yapıda haberleşme gerçekleştiren sistem gösterilmektedir.

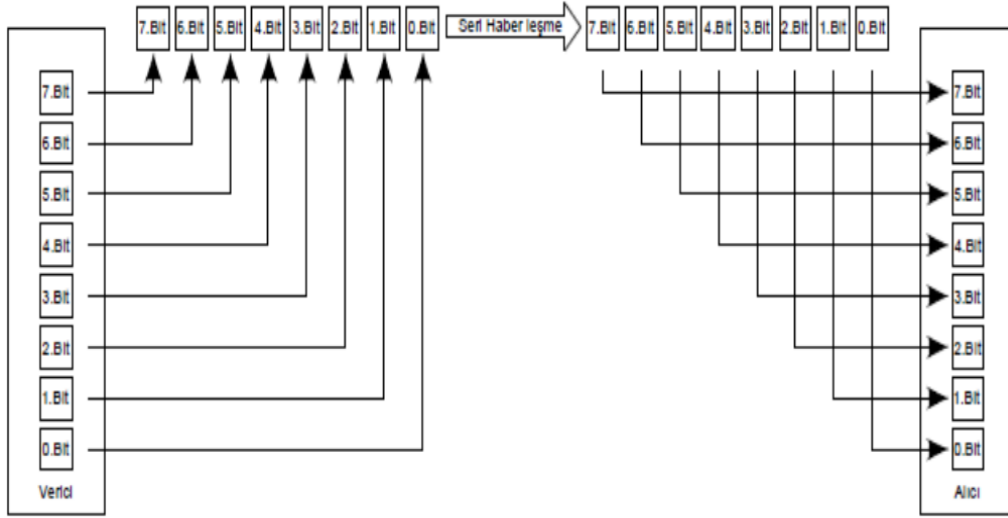


Şekil 6.1. Paralel haberleşme yapısı

6.1.2. Seri Haberleşme

Seri haberleşmede aktarılabilecek bilgiler paralel olarak üretilir. Üretilen bu bilgi paralel haberleşmedekinin aksine tek bir veri hattı olacak şekilde modellenerek veriler iletilir. Seri haberleşmede hedeflenen, tek bir hat üzerinden iletilmek istenen bilginin kodlanarak iletilebilecek modele dönüştürülmesidir. Yapılan bu işleme seri-paralel veri dönüşümü olarak isimlendirilir. Bu dönüşüm ve iletim işleminin hızı aktarılabilecek olan verinin gönderim hızını belirler. Şekil 6.2.' de seri yapıdaki haberleşme sistemi gösterilmektedir. Seri haberleşme alt yapısında birden fazla kablonun kullanımının önüne geçilir. Seri haberleşmede veri aktarımı kodlama ve kod çözme esasıyla, verici ve alıcı konumundaki cihazların aynı ortak dili konuşarak anlaşmasıdır (URL, 1: 15). Verinin modellenmesi, iletilmesi, çözümlenmesi ve kontrolünün gerçekleştirilmesi belirli bir zaman gerektirir. İlk görüşte bu durum seri haberleşmenin paralel haberleşme hızına göre daha yavaş görünmesinden dolayı dezavantaj

olarak kabul edilebilir. Söz konusu olan bu gecikme, kullanılan hat sisteminin modeline ve ekipmanların sayısına doğrudan bağlı olmakla beraber milisaniye mertebesinde (0.1-2ms) olması sebebiyle bu gecikme ihmal edilebilir. Seri haberleşme mimarilerine Profibus, CANBus, Interbus, Ethernet, ControlNet, Modbus haberleşme protokolleri verilebilecek örneklerdir.



Şekil 6.2. Seri haberleşme yapısı

6.2. Ağ Topolojileri

Ağı kuran elemanların birbirleri ile bağlanma modelleri, kullanılacak cihazlar, veri kabloları, iletim protokolünün belirlenmesi ve bu protokolün ağ yapısına uygulanabilirliğine topoloji adı verilmektedir.

Topoloji kısaca RTU'ların ve bilgisayarların birbirleri ile nasıl bağlandıklarını ve iletişim kurduklarını tanımlar. Topolojinin anlaşılmasının en basit yolu iki ve bağımsız kısımlara ayırarak incelenmesidir.

- Fiziksel Topoloji
- Mantıksal Topoloji

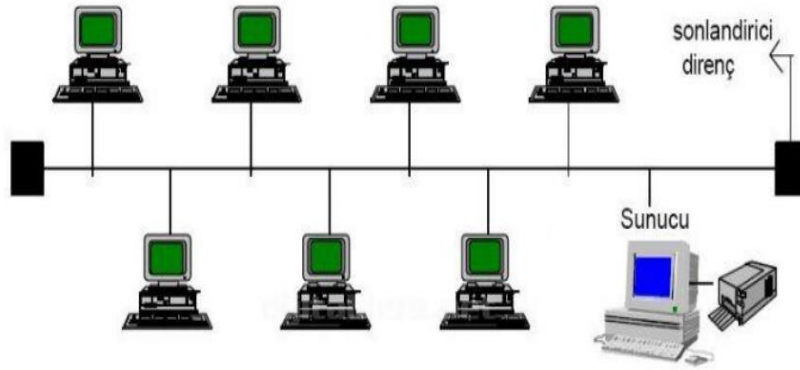
Fiziksel topoloji, RTU ve bir grup bilgisayara arasında kurulu olan bir ağ yapısıdır. Bunun anlamı veri kablolarının bilgisayar ile RTU 'lar arasında birbirlerine fiziksel olarak nasıl dolaştığı ve bağlandığı gibi fiziksel olarak görülebilen kısmını belirlemesidir.

Mantıksal topoloji fiziksel topolojideki gibi kabloların dolaşım ve bağlantı şekillerinden bağımsız olarak ağ yapısının veriyi nasıl aktardıklarını açıklamaktadır.

Fiziksel olarak ayrılmış olan ağ topolojileri aşağıdaki gibidir.

6.2.1. Doğrusal Hat (Bus) Topolojisi

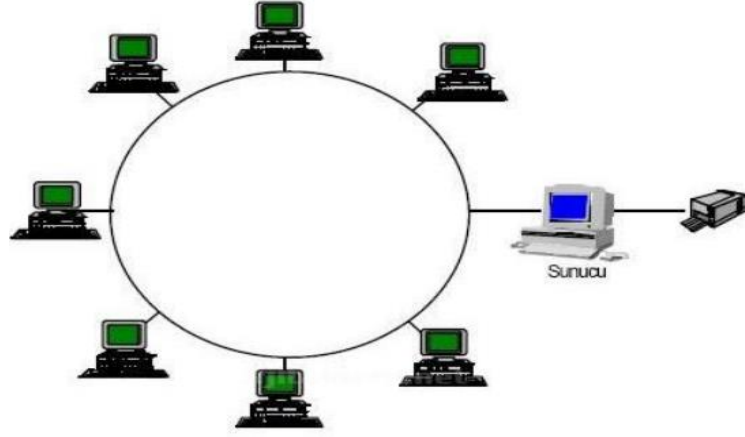
RTU'ların ve bilgisayarın aynı hat üzerinden tek kablo ile sisteme bağlandıkları yapıdır. İletimi yapılan sinyaller bütün istasyonlara paylaşılır. Bu sayede her bir istasyon gelen sinyalin adresini inceler ve sadece kendisi için iletilen sinyali ayırarak işler. Hat üzerinde kullanılan kablonun başlangıç ve bitiş uçlarına hattın düzgün bir şekilde sonlandırılabilmesi için direnç sonlandırıcılar takılır. Bu topoloji hem fiziksel hemde mantıksal olarak varlığını günümüzde halen sürdürmektedir. Kurulumu basit ve kolaydır. Bu sistemin en büyük dezavantajı hattın bağlantısının sağlayan kablonun bir kısmında oluşabilecek bir kopuk sonucu tüm sistemi çökertmesidir. Canbus, Profibus, Ethernet ve AS-I gibi iletişim protokolleri bu yapıya örnektir. Şekil 6.3.' de doğrusal hat topolojisine örnek gösterilmektedir.



Şekil 6.3. Doğrusal bus topolojisi

6.2.2. Halka (Ring) Topoloji

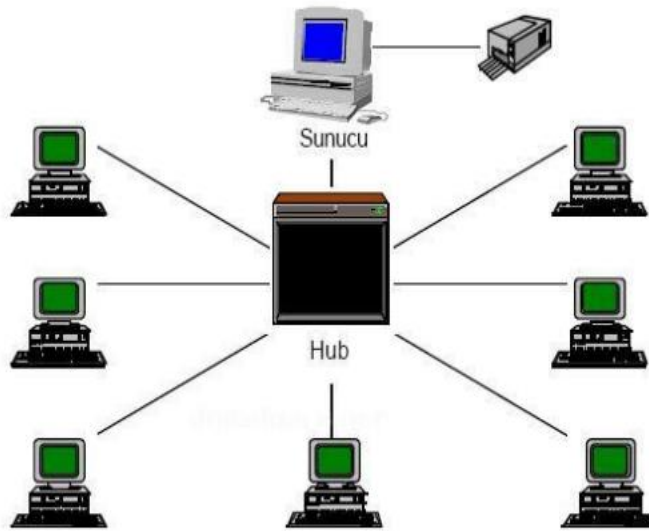
Sistemde kullanılan ekipmanlar sisteme direk ya da aktarma kablolarının yardımıyla halkaya bağlıdır. Bütün sinyaller bir ekipmandan diğerine aktarılır. Token adı verilen bu sinyal tek tek tüm bilgisayar ve RTU 'lara uğradığı için Ring / Halka terimi buradan gelmektedir (URL, 1: 11). Hat üzerinden gelen sinyal her bir bileşen tarafından alınır, kendisi ile ilgili sinyali işler, kendisine ait olmayan sinyaller ile birlikte güçlendirerek hatta geri verir. Hat üzerindeki herhangi bir bileşene veri iki ayrı yol üzerinden iletimi sağlandığı için, bileşenlerden biri arızalansa ya da hat üzerindeki bağlantı kablosunda kopukluk meydana gelse bile haberleşme kesilmez. Ring topolojisi kapalı bir döngü yapısındadır. Her bir sinyal her bileşende güçlendiği için sinyal kalitesinde zayıflama olmaz. Sistemin dezavantajı olarak karmaşık ve pahalı olması gösterilebilir. Bu topolojiye interbus iletişim protokolü bir örnektir. Şekil 6.4.' de ring topolojisi gösterilmektedir.



Şekil 6.4. Halka (ring) bus topolojisi

6.2.3 Yıldız (Star) Topoloji

Günümüzde en sık ve yaygın olarak kullanılan fiziksel ağ topolojidir. Her bilgisayar ve RTU 'dan çıkan bir kablo merkezdeki bir kutuya (hub) girer (URL, 1: 12). Sistemin tercih edilmesinin en büyük sebebi hat üzerindeki bir kabloda oluşabilecek problemin yine o kabloya bağlı bileşen ya da bileşenleri etkilemesidir. Bununla beraber ağın yönetilmesi ve hatanın tespiti kolay olmasında diğer avantajlarıdır. Sisteme bileşen eklemek ya da çıkarmak oldukça kolaydır. Yıldız topolojisine Ethernet ve As-Interface protokolleri örnek olarak gösterilebilir. Şekil 6.5.' de yıldız topolojisi gösterilmektedir.



Şekil 6.5. Yıldız (star) bus topolojisi

6.3. Kapalı Sistem Haberleşme Protokolleri

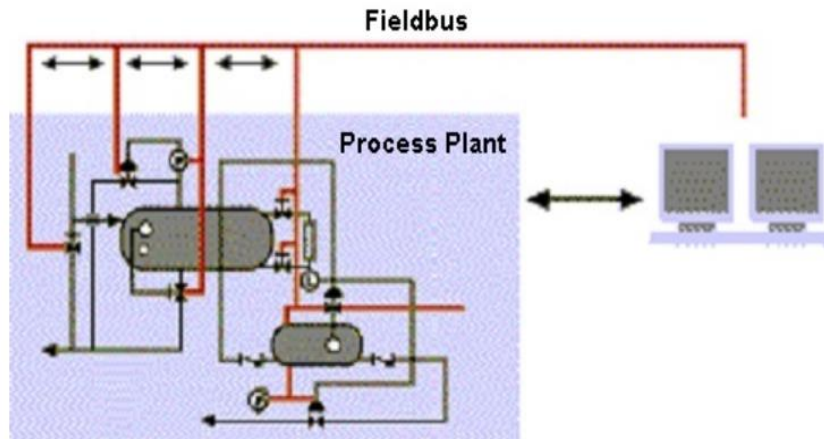
Bir amaca ve hizmete uygun olarak üretilen ya da geliştirilen ürünlerin sadece kendileri aralarında haberleşme bağlantısının yapıldığı ve ürünleri üreten firmaya özgü olan haberleşme protokolleridir.

6.4. Açık Sistem Haberleşme Protokolleri

Üretici firmadan bağımsız olarak, aynı görevi yapabilen ürünler arasında haberleşme bağlantısının yapabilmek için geliştirilen haberleşme protokolüdür. Bu protokolle sayesinde farklı firmaların tasarladığı ürünlerin birbirleri arasında bağlantı kurabilirler. Açık sistem haberleşme protokolleri aşağıdaki şekilde ayrılmaktadır;

6.4.1. Fieldbus Protokolü

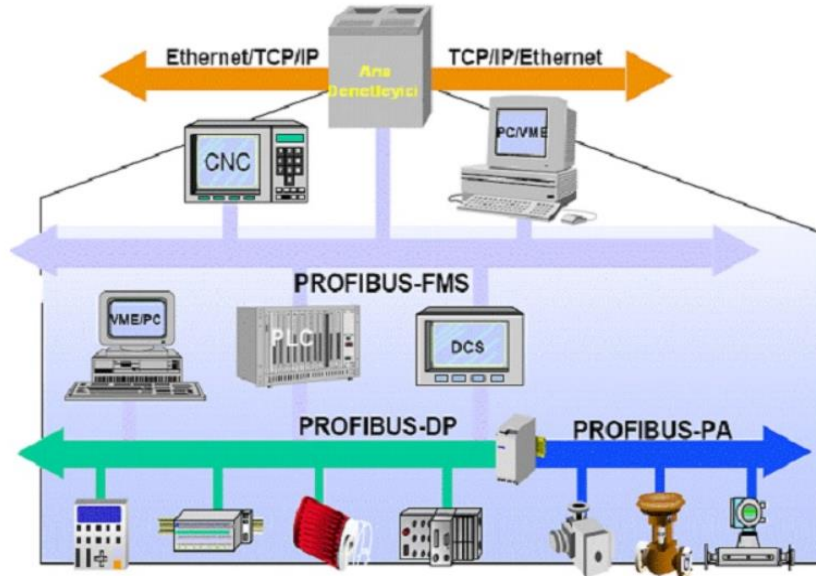
Fieldbus saha veya alan veriyolu olarak tanımlanan bu protokolle bilgisayar ve otomasyon kontrol ürünlerinden oluşan alan ağıdır. Günümüzde sıklıkla tercih edilen PLC ya da kontrolörün ve sahada montajlı bulunan sensörler ile aktüatörler arasında bağlantının yapılabilmesi için tasarlanmış bir endüstriyel ağ yapısıdır. Fieldbus protokolü kendi kendisinin kontrol test edebilme yeteneğine ve aynı zamanda yüksek güvenilirlik, çözünürlüklü ve ölçme özelliklerine sahiptir. Farklı yapılarda ve birimlerde saha ekipmanlarının olmasından kaynaklı çok ciddi yaygın bir pazar payına sahip haberleşme protokolüdür. Şekil 6.6.' da Fieldbus protokolü gösterilmektedir. Sistemler üzerinde kurulabilecek döngülerle yardımıyla PLC sistemlerini birbirleri aralarında haberleştirebilir. Bununla beraber bu döngüler sayesinde sistem kullanılan ekipmanlar arasında bir arızanın gerçekleşmesi durumunda arızanın konumunu gösterebilir.



Şekil 6.6. Fieldbus protokolü

6.4.2. Profibus Protokolü

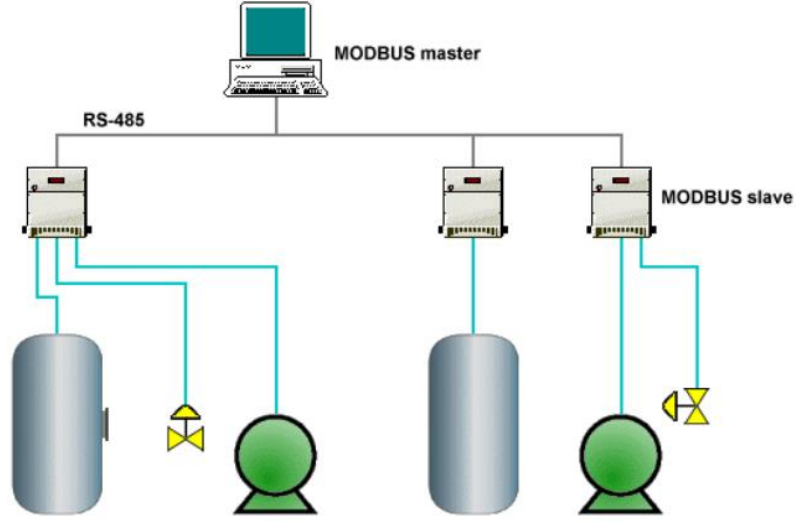
Binaların ve üretim hatlarının otomasyonu konusunda üreticiden bağımsız olarak geniş bir uygulamaya alanına izin bir ağ standardıdır (URL, 1: 5). Farklı üretici elemanları arasında kendisine özgü bir arabirime ihtiyaç duymadan elemanlar arasında haberleşmeyi gerçekleştiren Profibus üreticiden bağımsız açık saha protokolüdür. Veri transferini hızlı bir biçimde sağlar. Bu sayede otomasyon sistemlerinde yüksek hız ve anlık veri iletimi gerektiren önemli uygulamalarda yaygın olarak tercih edilirler. Geniş kapsamlı tesislerin üretim ve proses kontrolü için tasarlanmıştır. Şekil 6.7.' de profibus yapılarının çeşitli kullanım alanları ve modelleri gösterilmektedir. Sistem üzerinde bağlı kontrol ekipmanlarının değiştirilebilmesi mümkündür. Veri transferi optik iletkenler ya da 2 damarlı blendajlı kablolar ile veri transferi sağlanmaktadır. Kullanım alanına ve tipine göre, 3 farklı haberleşme protokolleri (DP-PA-FMS) sunar.



Şekil 6.7. Profibus protokolü

6.4.3. Modbus Protokolü

MODICON firması tarafından seri haberleşmenin kullanıldığı PLC'ler arası ortaya çıkarılan bir haberleşme protokolüdür. Güçlü ve basit yapısı neticesinde endüstride en çok tercih edilen protokoldür. Şekil 6.8.' de modbus protokolünün endüstride kullanımını gösterilmektedir. Farklı üretim ve proses cihazları arasındaki haberleşmenin sağlanabilmesine imkan sağlarlar. Bunun getirdiği avantaj ile birlikte verilerin bir cihazdan alınıp tek bir merkezde toplanabildiği ağ sistemidir. Açık çevrim bir ağ protokolüdür. Kullanıcılar bir ücret ödmeden kullanabilir.



Şekil 6.8. Modbus protokolü

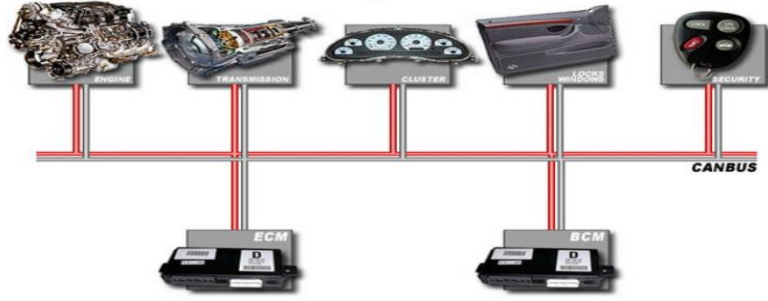
Modbus protokolü, proseslerde kullanılan cihazları izlemek, kontrol etmek ve programlamak için de kullanılabilir. Modbus ağında 1 Master ile birlikte 247 Slave cihaz bulunabilir (URL, 1). Master olarak atanan kontrol birimi, Slave olarak tanımlanan cihazlardan aldığı veriler neticesinde bilgileri işleyerek yine Slave cihazları yönetebilir ve veri yazılmasını sağlayabilir. RS232 ve RS485 seri haberleşme standartlarının kullanıldığı bu protokolda kısa mesafeler için RS232, uzak mesafeler için RS485 tercih edilmektedir. Veriler 0 ve 1 şeklinde oluşan bitler halinde taşınır. Diğer avantajlarından biri ise bağımsız proses elemanlarını birbirleriyle iletişimini sağlamak için veya sistemin kurulu olduğu alan içerisindeki üretim cihazlarını uzaktan bilgisayar ile kontrol edebilmek için kullanılabilir. Sadece bilgisayar ve PLC kontrolörlerinde değil gelişmiş yapıdaki sensörlerde de kullanılmaktadır.

Kullanılacak sistemde de PLC ve motor kontrol tahrik üniteleri arasında Modbus haberleşme kullanılmıştır. Sistemde hem modicon firmasının PLC modülü hemde desteklediği ağ protokü olmasından dolayı tercih edilmiştir.

6.4.4. Canbus Protokolü

Robert Bosch tarafından geliştirilen, CanBus (Controller Area Network Bus/Kontrol Alan Ağı Veriyolu) protokolü, birden çok iletim kablosu kullanımı yerine tek bir kablo sayesinde veri transferinin gerçekleşmesini amaçlamıştır (URL, 1: 8). Otomotiv sektöründe çok yaygın kullanılmaktadır. Endüstriyel kontrol uygulamalarında yüksek güvenilirliğinde dolayı tercih edilse de en çok otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Uygulamada en fazla 1Mbit/sn'lik iletim hızına sahip olabilirler. Multimaster olarak tanımlana verilen tüm

üniteler, hattına veri yollamada eşit önceliğe sahipliği bu protokolde mevcuttur. Bu durumdan kaynaklık oluşan dezavantaj üniter aynı anda veri transferi yapmaya çalışırsa veriler arasında karmaşa yaşanır. Bunun önlebilmesi için de sistemi kontrol eden ana birim tüm sistemdeki üniteri takip eder ve üniterin hattının boş olduğu zamanı yakalamaya çalışır. Hattın boş gören ünite ana birime verisini gönderir. Şekil 6.9.' da Canbus protokolü kullanımı gösterilmektedir.



Şekil 6.9. Canbus protokolü

Bunlarında dışında DeviceNet Protokolü, AS-i Protokolü, INTERBUS Protokolü, HART Protokolü gibi haberleşme protokolleri mevcuttur.

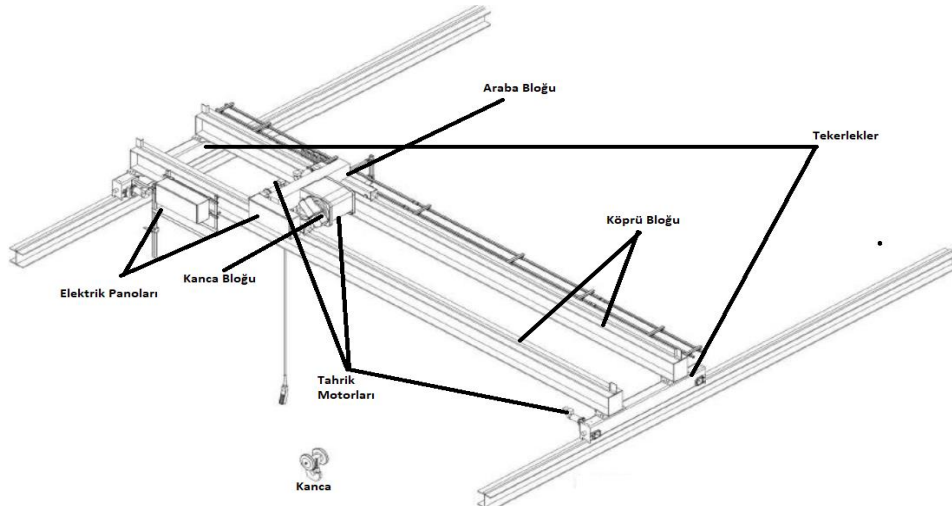
7. GEZER KÖPRÜLÜ VİNÇ SİSTEMLERİ VE MODELLERİ

Elle veya basit araçlarla hareket ettirilmesi ve kaldırılması mümkün olmayan malzemeleri kaldırma, başka bir tarafa aktarma, yer değiştirme, malzemeleri yükleme, boşaltma işlerinde kullanılan makinelere vinç adı verilir (URL, 2).

Gezer köprülü vinç genel yapısı itibari ile mekanik ve elektrik olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Sistemin çalışması için kontrol bölümü bulunmaktadır. Kontrol bölümü çok farklı yapılardan meydana gelse de, temel olarak bütün kontrol sistemleri aynı görevi yapmaktadır. Çeşitli algılayıcılardan aldıkları verileri işleyerek, tahrik motorlarının kontrolünü yapmaktadır.

7.1. Mekanik Sistemler

Gezer köprülü vinç sisteminin mekanik elemanları; köprü ve tekerlek, araba bloğu ve kanca olarak iki ana parçadan oluşmaktadır. Şekil 7.1.' de örnek bir gezer köprülü vincin sistemleri görülmektedir. Köprülü vinç sistemi, kanca ve makara bloğunu askıda kalmasını sağlar. Genellikle bina kolon ya da direkleri üzerine döşenmiş raylar üzerinde lineer hareketi gerçekleştirmek için tekerlekleri bulunur. Kontrol sisteminden gelen bilgiler doğrultusunda tekerleklere bağlı olan motorları tahrik ederek ileri-geri hareketi sağlanmaktadır. Araba bloğu üzerinde sağa-sola hareketi gerçekleştirmek için tahrik motorları ve tekerlekler, yukarı-aşağı hareketi gerçekleştirmek için ise kanca, kanca hareketini sağlamak için tambur ile arasındaki halatlar ve tamburun kontrolü için tahrik motoru bulunmaktadır. Farklı yapı ve şekillerde bulunsalarda genel olarak gezer köprülü vinç sistemlerinin temeli bu bileşenlerden oluşmaktadır.



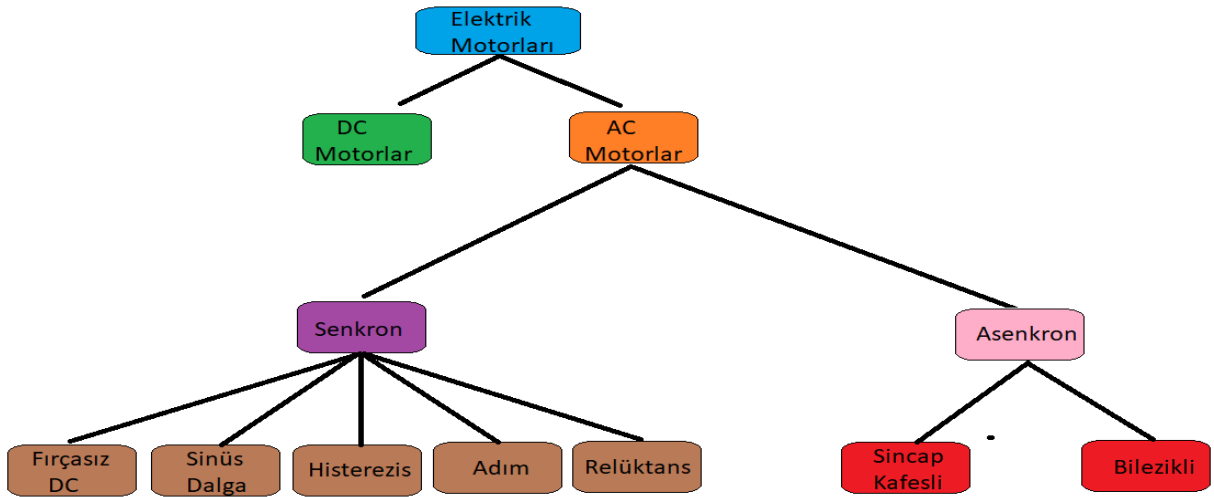
Şekil 7.1. Gezer köprülü vinç sistemlerinin tanımları

7.2. Elektrik Sistemleri

Gezer köprülü vinç sisteminin elektrik elemanları; elektrik motorları, kumanda panoları, festoon bağlantı kabloları, güvenlik ekipmanları ve uzaktan ya da kablolu kumanda modülü olmak üzere 5 kısımda incelenebilir.

7.2.1. Elektrik Motoru

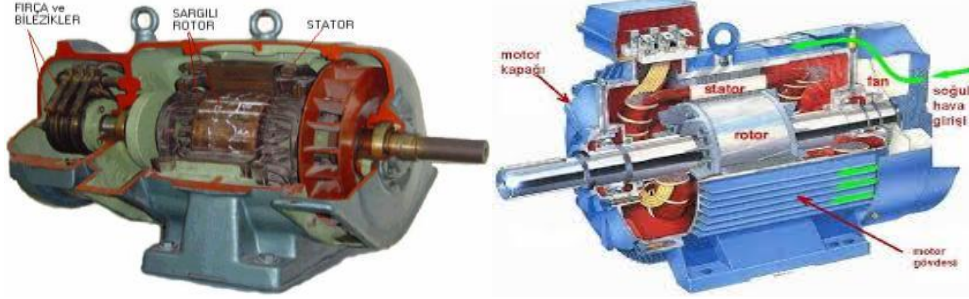
Elektrik motorları; elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren makine olarak adlandırılır. Vinçleri hareketinde alternatif akım motorları tercih edilmektedir. Vincin yapım aşamasındaki en önemli kısımlarından biri uygun değerdeki motorların seçimidir. Motor seçimleri yapılırken, ihtiyaç olması halinde tam yük momentin %15-20 fazlasına karşılık verebilecek güçte olmasına dikkat edilmelidir (Özdeş, 2011: 4). Bunun nedeni redüktör ve sürtünmeden kaynaklanabilecek kayıpların ele alınmasıdır. Motorların seçiminde dikkat edilmesi gerek başka unsurlar ise montaj şekli, dış etkenlere karşı koruma sınıfı ve soğutma şekilleridir. Şekil 7.2.' de elektrik motorlarının çeşitleri gösterilmektedir.



Şekil 7.2. Elektrik motorlarının sınıflandırılması

Gezer köprülü vinç uygulamalarında genellikle asenkron motorlar kullanılmaktadır. Asenkron motorlar, senkron motorlardan farklı olarak stator ve rotorların dönme hızının sabit olmayışından dolayı bu ismi almıştır. Endüstriyel sistemlerde, robot sistemlerinde, takım tezgâhlarının ayarlamasında ve ölçme işlemlerinde, ev aletlerinde, konumlandırma sistemlerinde ve büro makineleri oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. AC motorların kontrolü farklı metodlar kullanılarak yapılmaktadır. Asenkron motorlarda uyarma akımı manyetik indüksiyon yoluyla doğrudan alan sargılarına uygulanmaktadır. Bu yüzden asenkron motorlara indüksiyon motor da denilmektedir. Asenkron motorların en önemli özelliği dışarıdan herhangi bir uyarım akımına ihtiyaç duymamasıdır. Asenkron motorlarda startor

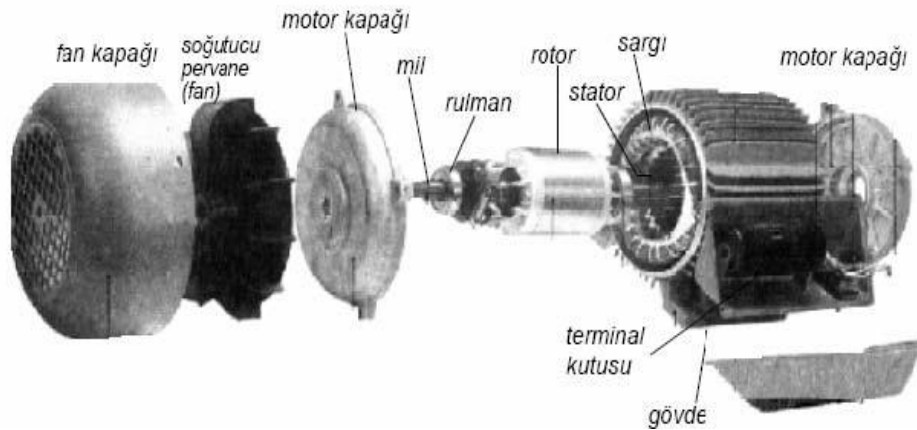
sargıları stator oluklarına ve rotor sargılarında rotor oluklarına yerleştirilir. Rotor gerilimi (rotor akımını ve rotor manyetik alanını üreten) fiziksel kablo bağlantısı olmaksızın rotor sargılarında indüklediğinden asenkron motor olarak adlandırılmışlardır. Asenkron makinalar generatör olarak da kullanılmaktadırlar. Şekil 7.3.' de senkron ve asenkron motorlar görülmektedir.



Şekil 7.3. (a) Senkron Motor

(b) Asenkron Motor

Asenkron motorlar Şekil 7.4.' de verilen şekildeki gibi şu kısımlardan oluşmaktadır:



Şekil 7.4. Asenkron motor kısımları

Faz sayılarına göre tek fazlı ve üç fazlı olarak asenkron motorlar gruplandırılabilir. Tek fazlı asenkron motorlar tek fazlı bir şebekeden beslenmeleri ve yapısal olarak dayanıklı olmaları sebebiyle küçük güçlü uygulamalar için yaygın olarak tercih edilen elektrik motorlarıdır (Bodur, 2010: 85). Üç fazlı asenkron motor ise stator sargılarına üç fazlı alternatif bir gerilim uygulandığında stator sargılarında döner bir manyetik alan meydana gelmesinden dolayı oluşan momentten rotorun dönmesidir. Daha çok büyük güçteki uygulamalar için tercih edilmektedir.

Tek fazlı asenkron motorlar yapılarına göre;

- Yardımcı sargılı asenkron motorlar
- Direnç yol vermeli
- Kondansatör yol vermeli
- Daimî kondansatörlü motor
- Kalkış kondansatörlü motor

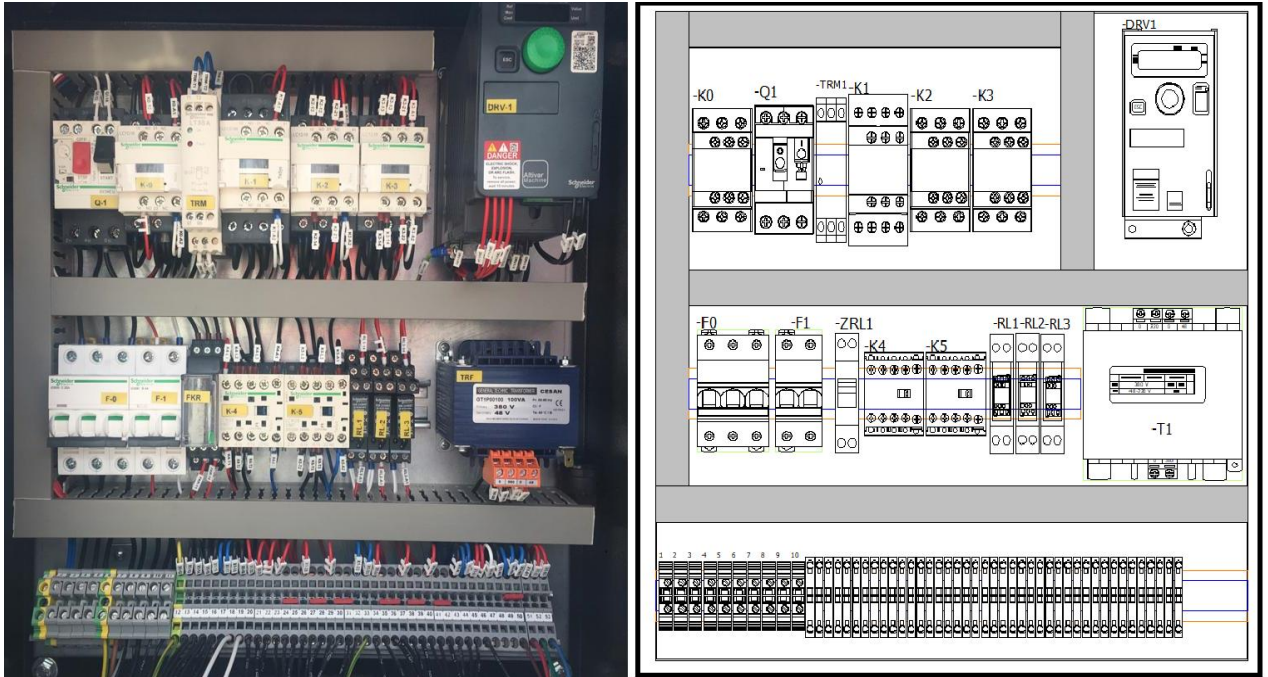
Üç fazlı asenkron motorlar yapılarına göre;

- Kısa devre rotorlu (Sincap Kafesli) motor
- Rotoru sargılı (Bilezikli) motor

Gezer köprülü vinç sistemlerinde sincap kafesli asenkron motorlar kullanılmaktadır.

7.2.2. Kumanda Panosu

Kumanda panosu; sigorta, kontaktör, aşırı akım rölesi, kaçak akım rölesi, faz koruma rölesi, zaman rölesi, termistör, PLC, hız kontrol cihazı, haberleşme modülleri gibi vincin çalışma özelliklerine göre şekillenen elektrik malzemelerinin yerleştirildiği dolaptır. Vincin güvenli şekilde çalışması ve durması için gerekli devre elemanlarının çoğu bu pano içerisinde. Şekil 7.5.' de örnek bir kumanda dolabı gösterilmektedir.



Şekil 7.5. Gezer köprülü vinç kumanda panosu

7.2.3.Uzaktan ve Kablolu Kumanda Modülü

Uzaktan ya da kablolu kumanda modülü, bir vincin ihtiyaç duyduğu her türlü hareketi gerçekleştirebilmek için tasarlanmış, üzerinde buton, anahtar, joystick kol gibi elemanların bulunduğu parçadır. Kablolu kumanda modülü; kumanda, askı halatlı elektrik kablosu ile elektrik panosuna bağlanır. Kablosuz kumanda modülü alıcı ve verici olmak üzere iki kısımdan oluşur. Verici kısmı operatörün vincin hareketi için kullandığı butonlu kısım olurken, alıcı kısmı ise elektronik devre kartlarından oluşmakta olup, butonlardan radyo frekansları yardımıyla gönderilen bilgileri toplayıp vinci devre eden kısımdır. Şekil 7.6.' da kablolu ve uzaktan kumanda modelleri görülmektedir.

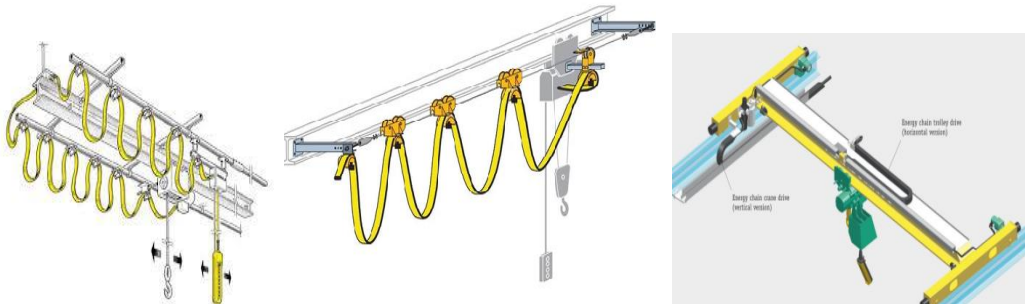


Şekil 7.6. (a) Uzaktan kumanda modeli

(b) Kablolu kumanda modeli

7.2.4. Festoon Bağlantı Kabloları

Gezer köprülü vinç sistemi ile araba grubu arasındaki elektriksel bağlantının sağlandığı elektrik kablolarının olduğu kısımdır. Korniş sistem, NPI sistem, enerji zinciri gibi farklı yapılarda olsa da genel olarak hepsi aynı amaca hizmet etmektedir. Şekil 7.7.' de örnek sistemleri gösterilmektedir.



Şekil 7.7. Festoon bağlantı kabloları

(a) Korniş sistem

(b) NPI sistem

(c) Enerji zinciri

7.2.5. Güvenlik Ekipmanları

Gezer köprülü vinç sisteminde köprünün, araba grubunun ve kaldırma ekipmanlarının fiziksel konumlarına göre güvenli şekilde durdurulduğu kısımdır. Burada köprü ve araba grubunun kullanılan yolun sınırlarında yavaşlaması ve durması için limit siviçler, kancanın en alt ve en üst kısımlarda durma için turlu siviç, aşırı yüklenme durumunda halat kopmasını engellemek için loadcell sistem, aynı alanda çalışan vinçler için çarpışma engelleme sistemi, kancaya bağlı halatın zarar görmesini engellemek için açılı sensörleri, vincin çalışır konumunda çevredekileri uyarması için sesli ve ışıklı ikaz cihazları gibi çeşitli güvenlik ekipmanları kullanılmaktadır. Şekil 7.8.' de örnek güvenlik ekipmanlarını gösterilmektedir.



Şekil 7.8. Gezer köprülü vinçlerde kullanılan güvenlik ekipmanları

7.3. Gezer Köprülü Vinç Modelleri

7.3.1. Tek Kiriş Gezer Köprülü Vinç

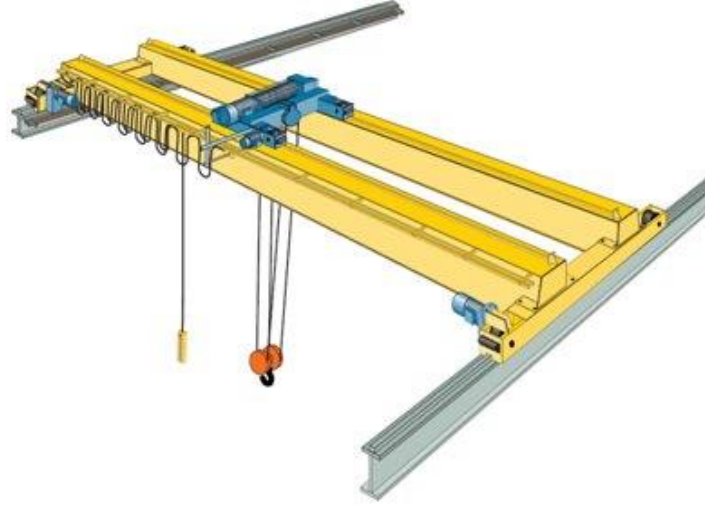
Tek kirişli vinçler, vinç arabası iki başlığa bağlı olan tek bir kirişe altan asılarak, ileri geri hareket etmesi sağlanır (URL, 3). Şekil 7.9.' da tek kiriş gezer köprülü vinç modeli gösterilmektedir. Tek kirişli gezer köprülü vinç sistemleri köprü açıklığının az olduğu yerlerde, alçak tavan mesafelerinde tercih edilir. Taşıma ve istifleme için hafif, ekonomik ve güvenilir çözümler sunar. Bina üzerine etki eden temel yükler daha azdır.



Şekil 7.9. Tek kiriş gezer köprülü vinç

7.3.2. Çift Kiriş Gezer Köprülü Vinç

Ağır tonajlı yüklerin emniyetli bir şekilde kaldırılması ve taşınması için uygundur. Gezer Köprülü Vinçlerde, kaldırma gurubunun kirişler üzerinde olması sayesinde maksimum kaldırma yüksekliği kolaylıkla sağlanabilir. Şekil 7.10.' da çift kiriş gezer köprülü vinç modeli gösterilmiştir. Vinç uygulamaları için özel olarak üretilen motor ve redüktör gurupları ile yumuşak kalkış ve duruşlar, darbesiz çalışma ve uzun ömür sağlanmıştır. Köprülerinin tasarımlarında FEM, DIN, VDI normlarına uygunluk temel kriterdir. Aynı köprü üzerinde birden fazla kaldırma gurubu kullanılabildiği gibi, vinç köprülerinin altına monoray kaldırma gurubu adapte edilerek farklı çözümler uygulanabilir (URL, 3).



Şekil 7.10. Çift kiriş gezer köprülü vinç

7.3.3. Portal Gezer Köprülü Vinç

Portal vinçler herhangi bir bina yapısı olmadan kullanılabilen zemine yerleştirilmiş raylar üzerinde hareket edebilen tek veya çift kiriş olarak imal edilebilen vinç türüdür. Şekil 7.11.' de gezer köprülü portal vinç modeli gösterilmektedir. Açık sahada demir stok alanları, mermerciler, taşımalık stok alanları, açık alan çelik yapı imalatçıları, açık alan prefabrik yapı elemanları imalatı, orman ürünleri stok sahaları, limanlar, gemi inşa, tersaneler gibi birçok dış saha kullanım alanı bulunmaktadır.



Şekil 7.11. Gezer köprülü portal vinç

8. YÜK SALINIMININ MODELLENMESİ VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen modeller gerçek gezer köprülü vinç sistemi üzerinde deneysel uygulanmıştır. Endüstriyel ortamda gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda gezer köprülü vincin kaldırma bloğunda kanca yerine kepçe bulunmaktadır. Sistemde otomatik pozisyonlama olduğu için salınımdan dolayı konumda sapma ve salınım yapmaması için uygulanmıştır. Normal gezer köprülü vinç kaldırma bloğu kanca yerine kepçe kullanılmasından dolayı mekanik değişiklik olan halat donanım sayısının bire bir olması hareket esnasında sistemin daha fazla salınım yapmasına neden olmaktadır. Test için kullanılan gezer köprülü vincin gerçeği ve SolidWorks tasarlanan modeli şekil 8.1.' de gösterilmiştir.



Şekil 8.1. Sistemin uygulandığı vinç ve SolidWorks modeli

Yük taşıma insan faaliyetlerinde temel bir işlemdir. Nesnelerin taşınması ve hareket ettirilmesi sanayi sektöründeki herkes için günlük faaliyetlerin bir parçasıdır.

Üretim ve dağıtım sektörlerinde bu işlem genellikle operatörler tarafından kullanılan köprü vinç gibi elleçleme ekipmanı ile yapılır ve yük taşıma genellikle üretim döngüsünün %20'sini oluşturur.

Bu anlamda yük taşıma sıklıkla üretim döngüsünün tutarlılığını belirler. Döngünün parçalanmasının sınırlı tutulması için bu işlemlerin şu özelliklere sahip olması kritik öneme sahiptir:

- mümkün olduğunca kısa,
- mümkün olduğunca tutarlı.

Bu, yük salınımını kontrol eden bir cihaz olmadan mümkün değildir. Hareketli kule vinç veya köprü vinç ile yük, tutma cihazına kablolarla asılır ve bir sarkaç cihaz haline gelir.

Gezer köprülü vincin yatay hareketlerinde standart olarak kalkış ve duruş anlarında lineer rampalı hareket kullanıldığından hızlanma veya yavaşlama zamanlarında yükte oluşan atalet momentinden kaynaklı salınımlar meydana gelir. Sisteme ilk hareketin verildiği anda veya hızlanma esnasında önce araba ya da köprü hareketine başlayacak ardından yük sonradan gelmeye başlayacaktır. Aynı durum duruş sırasında veya yavaşlamaya geçildiğinde önce araba ya da köprü hızını azaltacak, yük sonradan yavaşlayacaktır. Bundan dolayı halatlar ile vince asılı olarak hareket ettirilen yükte sarkaç gibi salınım oluşacaktır (Piriou, 2010: 1).

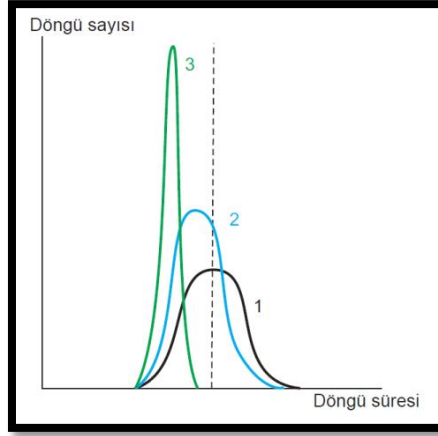
Gerçekleşen hareketlerden dolayı oluşan salınım sonucu gezer köprülü vinçte kontrol ve pozisyonlama sorunları meydana gelir. Yük üzerinde özel olarak tasarlanmış bir ekipman kullanmadan bu salınımı durdurabilmek için sahadaki çalışanların yükü elleriyle tutularak durdurulmaya çalışılır veya yükteki salınım yönüne karşı vinç üzerinde ters yönde tepki hareketi uygulayarak salınımı azaltılabilir. Fakat oldukça tehlikeli olan bu işlemler çalışan ve ekipman güvenliğini tehlikeye sokar ve operasyon sürelerinde kayıplara sebep olur.

Şekil 8.2.' de aynı döngüyü benzer zamanda yapabilen bir operatör tarafından kontrol edilen gezer köprülü vinç ile yapılan deney gözlemlenmiş ve analiz sonucunda elde edilen çevrim uzunlukları, Gauss eğrisine aktarılmıştır (Piriou, 2010: 2).

1. Operatör tarafından gerçekleştirilen standart bir yük taşıma işleminde çoğu yük ortalama zamanlarda istenilen yerlere taşınabilmiş, salınlı ya da salınımsız operasyon süreleri ortalama kabul edilen eğrinin her iki tarafına eşit olarak dağılmıştır.

2. Aynı test, operatör tarafından salınım engelleme sistemi aktif durumdayken tekrar taşıma işlemi yapıldığında salınımsız operasyon adeti ve taşıma süresi azalarak, gezer köprülü vinç hareketlerinin daha yüksek hızda ve performansta gerçekleştirecektir.

3. Gezer köprülü vinç hareketini operatörden bağımsız olarak otomatik olarak gerçekleştirildiğinde ise çok daha kısa zamanlarda ve salınımı iyice azalmış olarak sonuçlanacaktır.



Şekil 8.2. Salınımın bir döngüdeki davranışı

Salınım engelleme fonksiyonun sağladığı avantajlar şöyle sıralanabilir:

- Daha fazla güvenlik daha az kaza riski içerir,
- Operatörün sorumluluğu azalır, sadece taşıyacağı yüke konsantre olur,
- Yük ve makineyi koruyarak daha az bakım gerektirir,
- Düşük çevrim süresi (%25 e kadar) ile operasyon zamanından kazandırır ve özellikle otomatik makinelerde düşük enerji maliyeti sağlar (Piriou, 2010: 2).

8.1. Salınım Engelleme Modellerinin Sınıflandırılması

Salınım engelleme sistemleri üç kategoridedir:

1. Pasif sistemler: salınmasını engellemek için yüke kablolar takılır.

2. Görüntü işleme sistemine bağlı kamera ile salınım açısının ölçüldüğü aktif kapalı devre sistemler.

3. İlave sensör olmadan mevcut olan bilgilerin alındığı aktif açık devre sistemler.

İlk sistemde mekanik karmaşıklık ve kalıcı bakım söz konusudur. İkincisi için yüksek maliyetli yardımcı sistemler ve olay bazında ayarlama gereklidir. Üçüncüsü açık ara en basit ve uygulaması en kolay sistemdir.

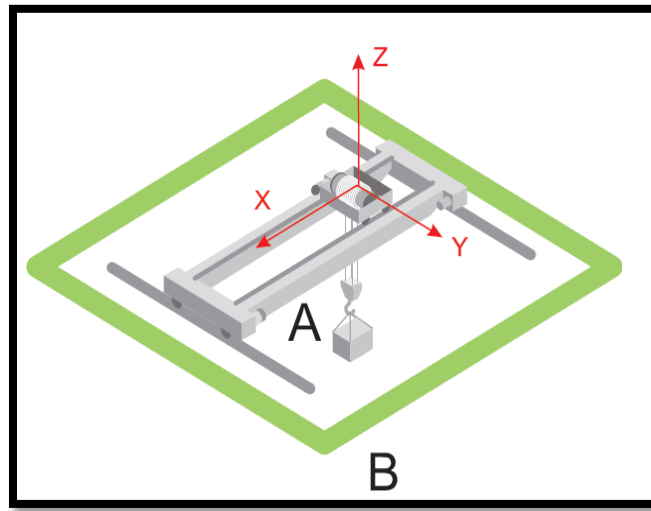
Sistemde kullanılan salınım engelleme sistemi son kategoridedir. Ekipman değişikliği gerektirmeyen güçlü, ekonomik ve bakım ihtiyacı olmayan bir çözüm sağlar.

Bu yaklaşımın özgünlüğü, hız kontrol cihazı veya harici mantık denetleyicide dahili belirteç yardımıyla geçerli salınım ölçülmeden çalışmasıdır. Temel ilke, salınım engelleme kontrolörünün ivmeyi (kademeli hız profili) ölçmesi ve kaldırma ekipmanının yük salınımı

olmadan verilen ivmeye ulaşmasının sağlanmasıdır. Fiziksel sistemin geçerli durumunu belirlemenin bir yolu bulunmadığından doğru çalışması için ilk salınım ve rüzgar gibi dış etkenlerin bulunmaması gereklidir. Aktif açık devre salınım engelleme sisteminin kurulumu, kapalı devre sisteme göre mali açıdan avantajlıdır.

8.2. Salınım Engelleme: Yükün Sallanmasını Kontrol Etme

Şekil 8.3.' de yükün bir ya da daha fazla çelik kabloyla, normal koşullarda vargel ile tutma aracı arasındaki dönüş kasnakları üzerinde ileriye - geriye hareket eden bir araç üzerinde askıda bulunduğu bir kaldırma cihazı gösterilmiştir. Yükün (A) noktasından yerleştirileceği (B) noktasına X ve Y eksenlerinde taşınması gereklidir.



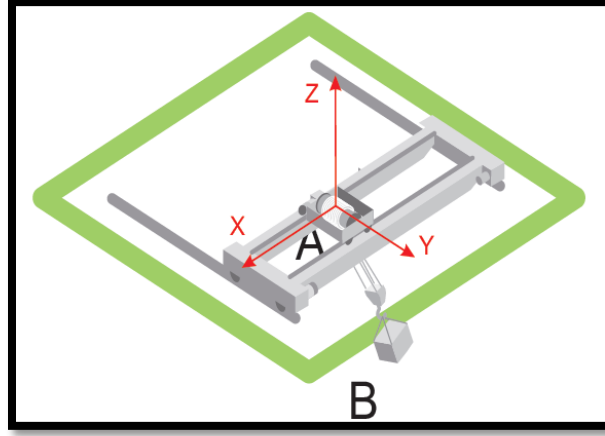
Şekil 8.3. Yükün ve kancanın başlangıç durumları

Şekil 8.4.' de yükün bir taraftan yerçekimi ivmesine, diğer taraftan aracın yatay ivmesine maruz kaldığı görülmektedir. Bu sebeple kanca pozisyonu sadeleştirilmiş formüle göre sarkaç hareketine ve salınımına tabidir:

$$T_t = 2\pi \sqrt{L_1/g}$$

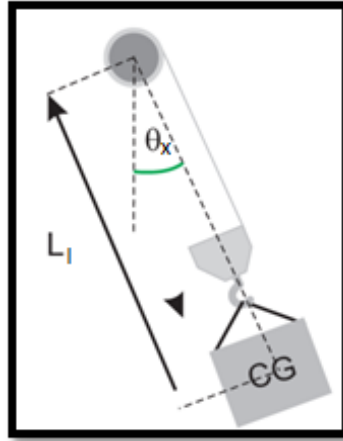
Bu formülde:

- T_t , salınım süresidir,
- g , yerçekimi ivmesidir,
- L_1 , kaldırma cihazının kaldırma kasnağı ile yük, kanca cihazı ve kabloyu içeren ağırlık merkezi arasındaki mesafedir.



Şekil 8.4. Yükün ve kancanın hareket durumu

Dikkat edilmelidir ki oluşturulan süre ve sarkaç açısı yükün kütlesinden etkilenmez. Diğer taraftan, salınım süresini belirleyen etken ağırlık merkezinin konumudur. Aracın konumu, yük ağırlık merkezi konumu (L_1) ve dikey eksen ile sarkaç tarafından oluşturulan açının (θ_x zaman fonksiyonu) bilinmesi halinde yükün konumu her zaman tam olarak tanımlanabilir (Piriou, 2010: 5). Şekil 8.5.' de yükün salınım durumunda yüzeye göre konum ve açısı gösterilmektedir.

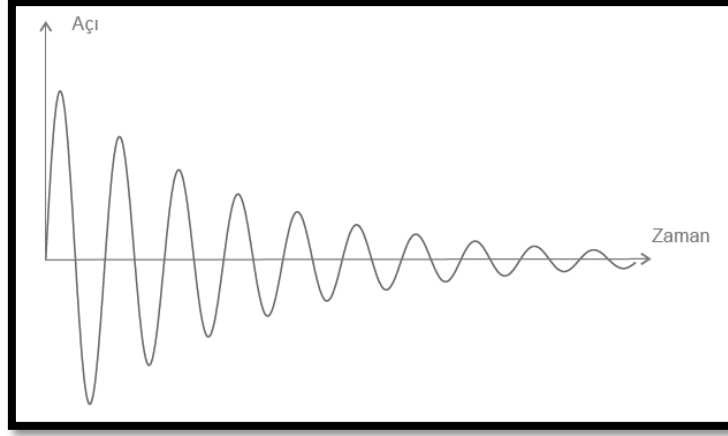


Şekil 8.5. Salınım durumunda yükün yüzeye göre konum ve açısı

Operatörün yükü doğru şekilde yerleştirebilmesi için sarkaç salınımı mümkün olduğunca zayıf olmalıdır.

$$\text{İdeal olarak: } \theta_x = 0, d\theta_x/dt = 0$$

Şekil 8.6.' da yükün yaklaşık olarak son uç sinüsoid olan açısı gösterilmiştir.



Şekil 8.6. Hareketin başlangıcından bitiş anına göre salınım açısı

8.3. Salınım Engelleme Sisteminin Genel Prensibi

Sert hareketlerin engellenmesi için değişken hız kontrol cihazının ivme optimizasyonu etkisine sahip bir kademeli hız ayarı sistemi bulunmalıdır. Bu hız ayarları birçok uygulamaya uyacak şekilde zaman ve şekil (doğrusal, S eğrisi vs.) bilgisinde yapılabilir.

Şekil 8.7.' de salınım engelleme sistemiyle ve sistem olmadan değişken hız kontrol cihazı yokuşları verilmiştir. Hız ayarında yokuşu (siyah, doğrusal) otomatik olarak ayarlanamaz ve bu nedenle salınım kontrolü operatöre bırakılır.

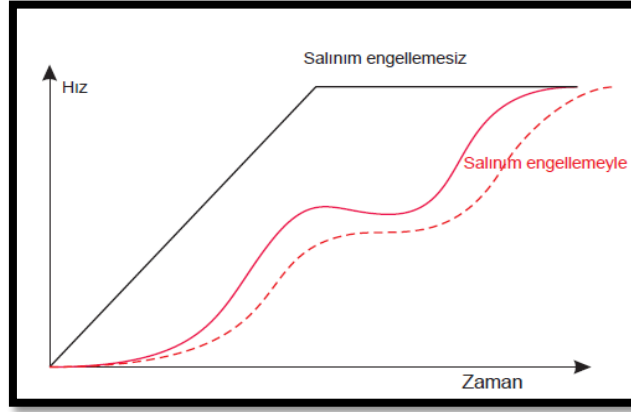
Gerçekleştirilen sistemin en önemli özelliği, salınım sırasında bir ölçüm gerçekleşmeden sistem içerisinde bulunan hız kontrol elemanı ve lojik kontrolör yardımıyla çalışmasıdır.

Prensip, salınım engelleme sistemi, PLC gerekli ivmeyi hesaplayarak ve hız kontrol elemanına aktararak yükün salınımsız şekilde taşınması için gereken hızı değerini sağlar. Bu yapı aynı zamanda araba ve köprü yürütme hareketinde aktif olarak çalışabilir.

Açık çevrim çalışan salınım engelleme sistemlerinde gerçek fiziksel salınım durumunu belirlemek mümkün değildir. Kapalı çevrim salınım engelleme sistemi aksine, açık çevrim salınım engelleme sistemi dışarıdan etki edebilecek rüzgâr, yükün tam dikeyden kaldırılmaması gibi bir işlemler sonucunda oluşacak salınımı engelleme gibi bir yeteneği yoktur. Sistem sağladığı hız profili neticesinde köprü veya arabanın hareketinden dolayı yük üzerinde oluşabilecek salınımı başlamadan engellenmesini amaçlar.

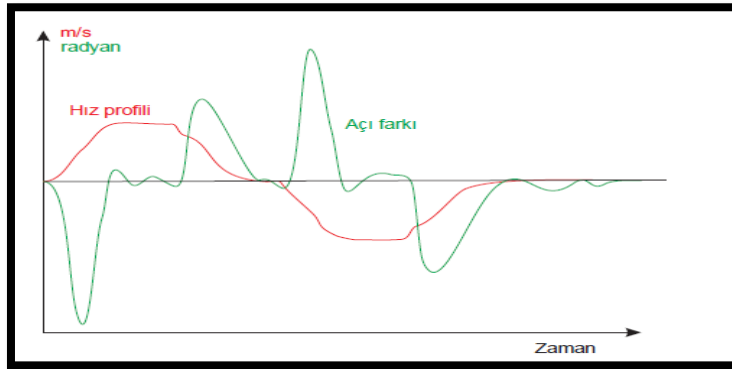
Kapalı çevrim salınım engelleme sistemindeki gibi sensörlü, kameralı gibi karmaşık bir yapı ile karşılaştığımızda açık çevrim salınım engelleme sistemi tartışılmaz bir ekonomik avantaja sahiptir.

Sistem sarkaç prensibine göre çalıştığından salınımın oluşmasını etkileyen değişken tek faktör yükün bağlı olduğu halat boyudur. Halat boyu bilgisi encoder yardımıyla ile sürekli olarak ölçülerek salınım engelleme sistemi etkisi buna göre düzenlenir.



Şekil 8.7. Salınım varken ve yokken vincin hız grafiği

Salınım engelleme fonksiyonu (kırmızı hız / zaman grafiği) her hareketin hızlanma ya da yavaşlama profilini tahmini yük konumuna göre gerçek zamanlı olarak ayarlayarak operatöre yardımcı olur. Bu şemada yalnızca iki profil verilmiştir ancak uygulamada sonsuz sayıda profil alınabilir. Şekil 8.8.' de kırmızı eğri salınım engelleme fonksiyonu tarafından oluşturulan hız profilini, yeşil eğri ise yük ve dikey arasındaki açı farkını ifade eder.



Şekil 8.8. Salınım önleme aktif durumunda açı ve hız eğrileri

Konum tahmin aracı her hareket için 40 ms'de bir (tipik değer) örnekleme prosedürü gerçekleştirir. Hız stabil hale geldikten sonra cihaz tarafından ilk açı farkının kontrol edildiğini görülebilir.

Hızdaki her değişiklik kaçınılmaz olarak bu dengeyi bozar ancak hız profili hızla farkı kontrol eder. Hareketin sonunda ayarlanabilir bir süre, yükün durdurulmasını ve en iyi koşullarda bekletilmesini sağlar.

8.4. Salınımın Kontrol Mekanizması

Deneyimli bir operatörün düzeltici işlemleri olmadan stabil denge durumuna dönmesi birkaç saniye sürebilir. Yük salınımı yalnızca köprü vinç doğrusal hareketinde (x hareketi) veya araç hareket ettiğinde (y hareketi) gerçekleşir. Yükün z eksenini takip ederek kaldırılması salınım oluşturmaz.

Salınım engelleme ilkesi, her zaman denklemi çözen bir yük konumu tahmin aracı kullanılmasını temel alır:

$$\theta_x = \theta_0 \cos\sqrt{L_1/g}$$

ve dikey ile araç arasındaki farkı belirler. Bu denklemde L_1 uzunluğunun ağırlık merkezi konumunu içerdiğine dikkat edilmelidir. Salınım engelleme cihazı şu bilgileri kullanır:

- İki yatay eksenin geçiş hızı, yani köprü vinç hızı(dx/dt) ve araç hızı (dy/dt),
- Aynı eksenlerin hızlanma ve yavaşlama hızları (d.x/dt. ve d.y/dt.),
- Kablo uzunluğu,
- Ağırlık merkezinin konumu.

Ağırlık merkezi konumu değişkendir ve operatörün taşınması gereken yükün geometrisine bağlıdır. Yük salınımı, geçişi ve vargel hareketlerini hız kurallarını kullanarak sürekli ayarlayan bir değişken hız kontrol cihazı tarafından kontrol edilir. Parametrelere (hız, ivme, gerekiyorsa sensörden motora bağlanmış kablonun uzunluğu) doğrudan değişken hız kontrol cihazından veya harici bağlantılı ekipman (örneğin ek kutusuyla kablo uzunluğu) kullanılarak ulaşılabilir.

8.5. Deneyin Gerçekleştirilmesi

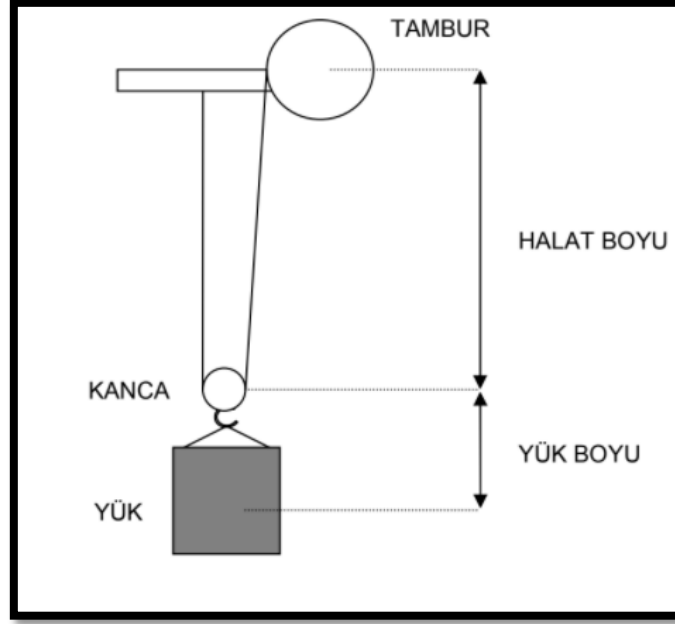
Sistemde günümüzde yaygın olarak kullanılan PLC üzerine programlama yapılarak salınım engellenmiştir. Salınım önleme sisteminde doğru performans gösterebilmesi için sisteme aktarılması gereken önemli iki parametre yürüyüş hızları ve halat boyudur. Eğer yürüyüş hızı olduğundan farklı bir değer girilirse salınım engelleme yeteri kadar performans göstermeyebilir. Aynı şekilde halat boyu bilgisi doğru bir şekilde alınamazsa sistemde salınımlar oluşacaktır. M hesaplanması $V_{motor} = (R_{tekerlek} \times \pi \times A_{rpm})$ ile bulunabilir.

Burada;

- V_{motor} , motor hızı,
- $R_{tekerlek}$, tekerlek çapı,

• A_{rpm} , redüktör çıkış devrini ifade etmektedir.

Halat boyu ise Şekil 8.9.' da gösterildiği gibi tambur merkezinden yükün merkezine olan mesafe kabul edilir.



Şekil 8.9. Halat boyunun hesaplanması

Burada dikkat edilmesi gereken nokta limit anahtarı ile ayarlı olan en üst noktanın referans kabul edilmesi ve değişken halat boyuna bu sabit değer eklenmesidir.

İlgili bilgiler toplandıktan sonra salınım engelleme (antisway) menüsü içindeki parametre ayarları yapılmıştır. İlk aşamada vinç ile ilgili kendi özelindeki bilgiler girilmiş, salınım önleme ile ilgili diğer sayısal değerler için daha önceki test değerleri ya da devreye alma sırasında uygun değerler kullanılmıştır.

Yapılacak uygulama genel olarak 3 farklı bloğun birleşmesi ile salınım önleme sistemi elde edilmiş olur.

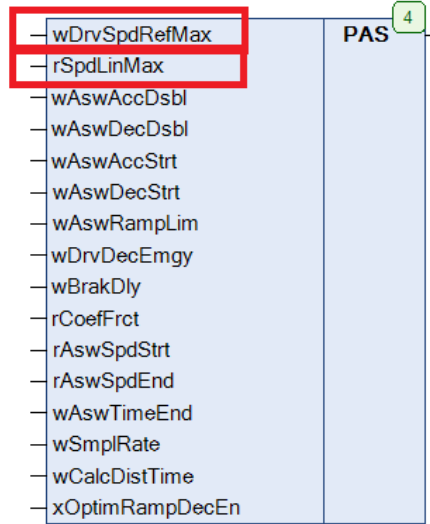
1. Açık çevrim salınım önleme bloğu,
2. Salınım önleme sayısal değerlerin girildiği blok,
3. Vincin çalışması için dışarıdan aktarılan bilgilerin aktarıldığı bloktur.

Şekil 8.10.' da açık çevrim salınım önleme blok diyagramını ve açıklamaları gösterilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken kısım kırmızı ile belirtilen halat boyunun girildiği kısımdır.

AntiSwayOpenLoop_2		FUNCTION_BLOCK AntiSwayOpenLoop_2			
Ad	Tür	Devralındığı yer	Adres	Başlangıç	Açıklama
i_xEn	BOOL			FALSE	Enables the Anti sway function
i_xInit	BOOL			FALSE	Initialization of FB internal parameters
i_xDrvFwd	BOOL			FALSE	Forward direction command
i_xDrvRev	BOOL			FALSE	Reverse direction command
i_wDrvSpdRef	WORD			0	Speed reference [rpm]
i_xLsFwdStop	BOOL			FALSE	State of normally closed forward stop limit switch
i_xLsRevStop	BOOL			FALSE	State of normally closed reverse stop limit switch
i_xLsFwdSlow	BOOL			FALSE	State of normally closed forward slow limit switch
i_xLsRevSlow	BOOL			FALSE	State of normally closed reverse slow limit switch
i_xBrakFbck	BOOL			FALSE	Feedback from a motor brake, TRUE when brake is open
i_rCbleLenActl	REAL			0.0	Actual cable lenght [m]
i_stPAS	PAS				Configuration parameters structure
q_xEn	BOOL			FALSE	Function block enabled
q_xAswActv	BOOL			FALSE	Activity of antisway correction
q_xDrvFwd	BOOL			FALSE	Forward movement command
q_xDrvRev	BOOL			FALSE	Reverse movement command
q_wAswSpdRef	WORD			0	Unsigned speed reference for the Drive [rpm]
q_iAswSpdRef	INT			0	Signed speed reference for the Drive [rpm]
q_xBrakCtrl	BOOL				Brake control output
q_rDistStop	REAL				Calculated stop distance [m]
q_wStat	WORD			0	Contains information about DFB instance status: Bit0 : Co
q_wAlrmId	WORD			0	Contains information about actual alarm: Bit0 : Error in co
q_xAlrm	BOOL			FALSE	TRUE when alarm is present

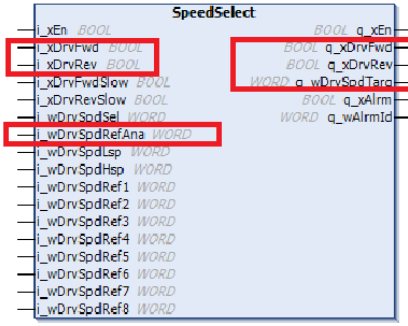
Şekil 8.10. Açık çevrim salınım önleme sistemi bloğu

Şekil 8.11.' de salınım önleme sayısal değerlerin girildiği blok diyagramı gösterilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken kısım kırmızı ile belirtilen motor hızının girildiği kısımdır.



Şekil 8.11. Salınım önleme sayısal değerlerin girildiği blok

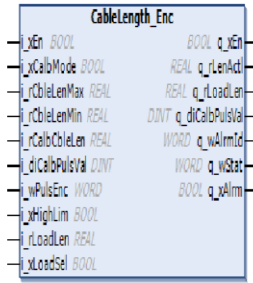
Şekil 8.12.' de vincin çalışması için dışarıdan aktarılan bilgilerin aktarıldığı blok gösterilmektedir. . Burada dikkat edilmesi gereken kısım kırmızı ile belirtilen ileri ya da geri yön hareketi ve bu hareketin hız değeridir.



Ad	Tür	Devralındığı yer	Adres	Başlangıç	Açıklama
i_xEn	BOOL				Enables or disables the FB
i_xDrvFwd	BOOL				Forward command to the drive
i_xDrvRev	BOOL				Reverse command to the drive
i_xDrvFwdSlow	BOOL				Forward Slow Command
i_xDrvRevSlow	BOOL				Reverse Slow Command
i_wDrvSpdSel	WORD			1	Drive speed selection from the user
i_wDrvSpdRefAna	WORD				Scaled analog input in Rpm
i_wDrvSpdLsp	WORD				Drive low speed (LSP)in RPM
i_wDrvSpdHsp	WORD				Drive high speed (HSP)in RPM
i_wDrvSpdRef1	WORD				Drive pre-select speed 1 in Rpm
i_wDrvSpdRef2	WORD				Drive pre-select speed 2 in Rpm
i_wDrvSpdRef3	WORD				Drive pre-select speed 3 in Rpm
i_wDrvSpdRef4	WORD				Drive pre-select speed 4 in Rpm
i_wDrvSpdRef5	WORD				Drive pre-select speed 5 in Rpm
i_wDrvSpdRef6	WORD				Drive pre-select speed 6 in Rpm
i_wDrvSpdRef7	WORD				Drive pre-select speed 7 in Rpm
i_wDrvSpdRef8	WORD				Drive pre-select speed 8 in Rpm
q_xEn	BOOL				Function Block Enabled
q_xDrvFwd	BOOL				Drive forward run command
q_xDrvRev	BOOL				Drive reverse run command
q_wDrvSpdTarg	WORD				Drive target speed in RPM
q_xAlrm	BOOL				Alarm detection Indicator
q_wAlrmId	WORD				Detected Alarm identification

Şekil 8.12. Vincin çalışması için operatör tarafından aktarılan bilgilerin toplandığı blok

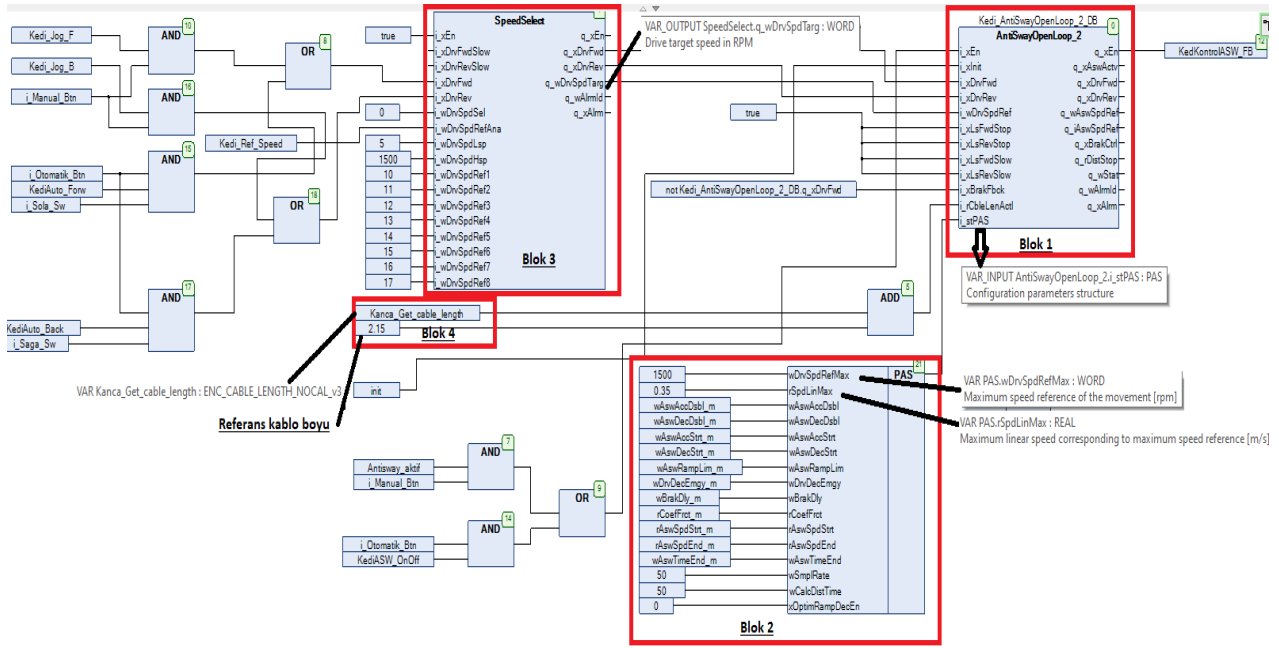
Başta da belirtildiği gibi bu üç blok birleştirilerek salınım önlenmeye çalışılır. Bunun için ilk olarak kablo boyu ve motor hız değerleri girilerek işlenir. Vinç üzerindeki değerler paylaşılmıştır. Kablo boyunun hesaplandığı blok şekil 8.13.' de gösterilmiştir. Boyun hesaplanması için referans sabit değer, değişen kısmın bulunması için halatın sarıldığı tambur çapı, redüktör oranı, encoder puls sayısı gibi bilgiler girilerek hesaplaması sağlanır.



Ad	Tür	Devralındığı yer	Adres	Başlangıç	Açıklama
i_xEn	BOOL				True the input are used, false the input are with the original value before True.
i_xCableMode	BOOL				True calibration mode selected.False End of calibration mode, we take the value from Encoder Calibration parameter i_rCableCbleLen
i_rCableLenMax	REAL		5.0		Length in meters, of cable when it is at the floor
i_rCableLenMin	REAL		0.5		Length in meters, of cable when it is at the top position
i_rCableCbleLen	REAL		5.0		For scaling how many total pulses we have, and this parameter is in meters, entered at the end of calibration movement
i_dCablePulsVal	DINT		0		Number of pulses that have been saved externally (in front of the nbr of meters done during calibration), in view to be restored at moment that "
i_wPulsEnc	WORD		0		Coming from Encoder (value read from drive)
i_highLim	BOOL				Top sensor of the hoisting, NC Contact mandatory
i_rLoadLen	REAL				Additional Load Length
i_xLoadSel	BOOL				Input selection load present
q_xEn	BOOL				Function block enabled
q_rLenAct	REAL				Actual Length
q_rLoadLen	REAL				Additional.Length
q_dCablePulsVal	DINT				Number of pulses that have been saved externally (in front of the nbr of meters done during calibration), in view to be restored at moment that "
q_wAlrmId	WORD				alarm register
q_wStat	WORD				Bit0Alarm Consistency Bit1Notused Bit2CalibrationFailed Bit3Cable Min > Cable Max Bit4OverflowPUAccumulation
q_xAlrm	BOOL				An alarm is on

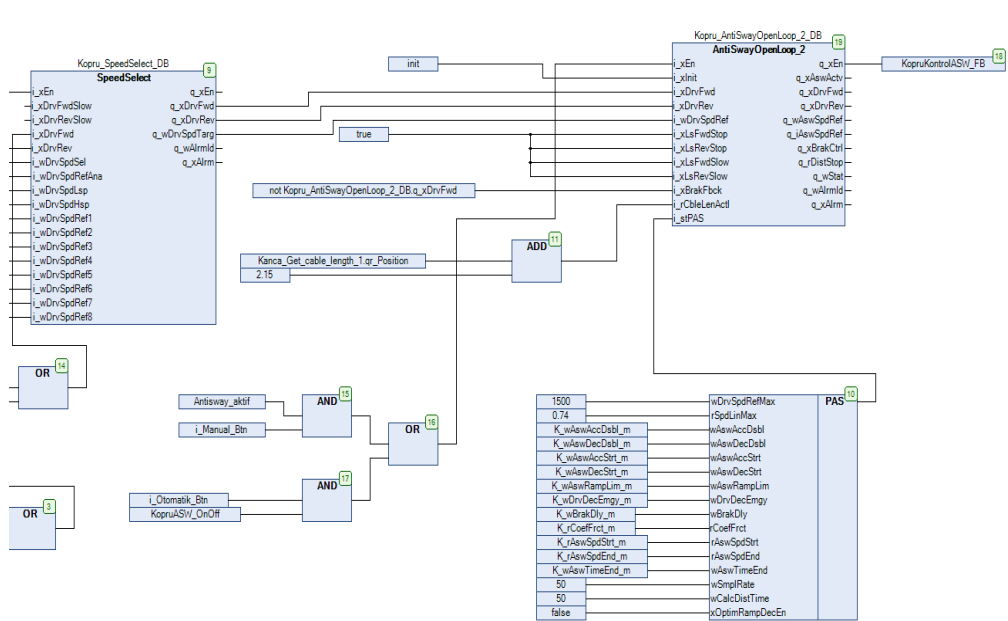
Şekil 8.13. Halat boyunun hesaplandığı blok

Şekil 8.14. ' de araba hareketi için kullanılan blokların ve değerleri gösterilmektedir.



Şekil 8.14. Araba salınım önleme blok şeması

Burada referans kablo boyu 2.15, değişken kablo boyunun hesaplandığı (blok 4), motor hızı 0.35 m/s, max motor rpm değeri (blok 2) ve operatör tarafından aktarılan vinç hızı (blok 3) açık çevrim salınım kontrol bloğuna (blok 1) aktarılarak işlenmekte ve uygun sonuç arabayı yürütecek motora aktarılmaktadır. Bu blok diyagramının aynısı köprülü hareketi içinde şekil 8.15.' de gösterilmektedir.



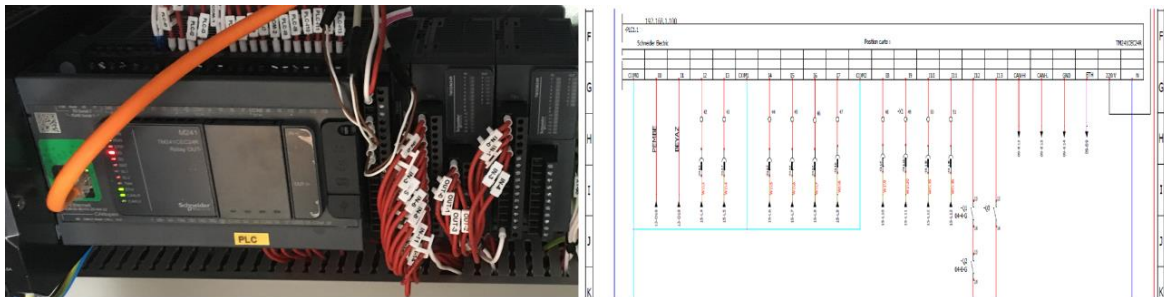
Şekil 8.15. Köprü salınım önleme blok şeması

Her iki denetleyici için değerler girildikten sonra test aşamasına geçilmiştir. Salınım önleme sayısal değerlerin girildiği blok üzerinden test sırasında uygun değerler atanarak yük üzerindeki salınım alınmaya çalışılır. Blok 2 üzerinde kısımların açıklamaları ve görevleri şekil 8.16.' deki gibidir. Bunlar içerisinde hızlanma ve yavaşlama süreleri ile frenleme süresi salınım için etkili parametrelerdir. Burada dikkat edilmesi gereken kısım motorları kontrol eden hız sürücülerinde tanımlanan hızlanma, yavaşlama ve fren sürelerinden bağımsız olarak salınım için ikincil bu değerlerin onlara etki etmesidir.

wDrvSpdRefMax	RAS 10	Max motor rpm
rSpdLinMax		Max motor hızı m/s
wAswAccDsbl		
wAswDecDsbl		
wAswAccStrt		Hızlanma süresi (s)
wAswDecStrt		Yavaşlama süresi (s)
wAswRampLim		
wDrvDecEmgy		
wBrakDly		Frenleme süresi (s)
rCoefFrct		
rAswSpdStrt		
rAswSpdEnd		Döngü başına durması
wAswTimeEnd		mesafesinin
wSmplRate		hesaplanması için
wCalcDistTime		ayrılan süre (s)
xOptimRampDecEn		

Şekil 8.16. Salınım önleme sayısal değerlerinin etkili olduğu tanımlar

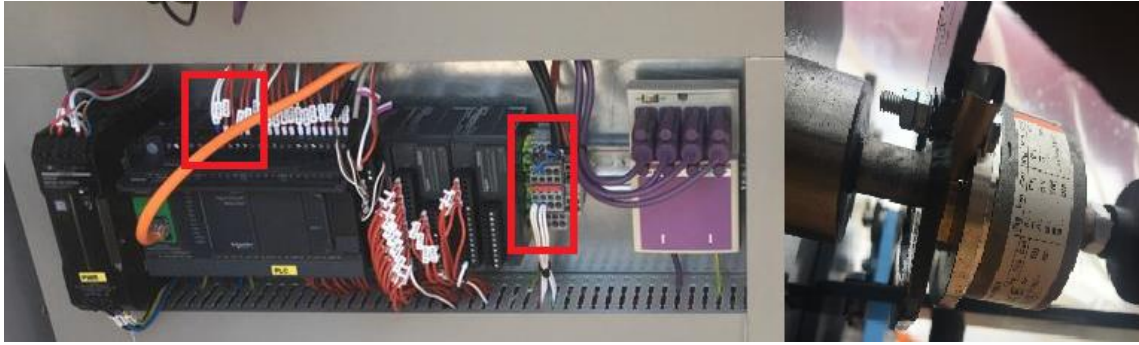
Kontrolör için gerekli değerler girildikten sonra motor sürücülerini için parametre ayarları ve PLC, enkoder, motor sürücü bağlantıları yapılır. Kontrolör için Schneider TM241 PLC modeli kullanılmıştır. Motor sürücü olarak ATV320 ve ATV340 modelleri kullanılmıştır, enkoder olarakda 24V DC, 1024 Puls kullanılmıştır. Sürücü ve PLC arasında haberleşme protokollerinden CAN OPEN ve Ethernet IP kullanılmıştır. Şekil 8.17.' da PLC, 8.18.' de sürücü, 8.19.' de enkoder ve haberleşme bağlantılarını görebilirsiniz.



Şekil 8.17. Sistemde kullanılan kontrolör (PLC) modeli ve bağlantıları



Şekil 8.18. Sistemde kullanılan sürücü modelleri ve haberleşme bağlantıları



Şekil 8.19. Sistemde kullanılan enkoder ve haberleşme bağlantıları

Gerekli bağlantılar yapıldıktan sonra ilk önce sistemi nominal durumda çalıştırabilmek için sistemde kullanılan sürücü parametreleri haberleşme protokollerine göre ve sistemde kullanılan asenkron motorlara göre uygun ayarlamalar salınım engelleme sistemi yokmuş gibi ayarlanmıştır. Şekil 8.20. ve 8.21.' de kaldırma ve yürütme sürücü parametre değerlerini gösterilmiştir. Burada yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla işaretli ayarlanan parametreler için,

Motor kW değeri (NPR), motor nominal akım değeri (NCR), hızlanma rampası (ACC), gecikme rampası (DEC), yavaş hız frekans değeri (LSP), yüksek hız frekans değeri (HSP), fren bırakma zamanı (BRT), fren tutma zamanı (BET), yeniden başlama süresi(TTR), haberleşme protokolü (FR1) ve haberleşme IP adresleri ayarlanmıştır. Burada dikkat edilmesi gerekenler motor kW, akım, hızlanma ve yavaşlama rampasıdır. Belirtilen bu değerler sistemin salınım engellemesine, gücün hesaplanabilmesi için gerekli olmaktadır. Diğer değerler ise yardımcı olarak sistemi stabil kalması için kullanılacaktır.

Code	Long Label	Current Value	Default Value	Min Value	Max Value	Logical address
BFR	Motor Standard	50Hz motor frequency	50Hz motor frequency			3015
NPR	Nominal motor power	30 kW	30 kW	5.5 kW	37 kW	9613
UNS	Nominal motor voltage	400 V	400 V	200 V	500 V	9601
NCR	Nominal motor current	55 A	55 A	11.5 A	83 A	9603
FRS	Nominal motor frequency	50 Hz	50 Hz	10 Hz	599 Hz	9602
NSP	Nominal motor speed	1460 rpm	1460 rpm	0 rpm	65535 rpm	9604
COS	Motor 1 Cosinus Phi	0.85	0.85	0.5	1	9606
TCC	2/3-wire control	2-wire control	2-wire control			11101
TFR	Max frequency	60 Hz	60 Hz	10 Hz	500 Hz	3103
STUN	Tune selection	Measure	Default			9617
ITH	Motor Thermal current	55 A	55 A	9.2 A	83 A	9622
ACC	Acceleration ramp time	5 s	3 s	0 s	999.9 s	9001
DEC	Deceleration ramp time	3 s	3 s	0 s	999.9 s	9002
LSP	Low speed	0 Hz	0 Hz	0 Hz	45 Hz	3105
HSP	High speed	45 Hz	50 Hz	0 Hz	60 Hz	3104

Code	Long Label	Current Value	Default Value	Min Value	Max Value	Logical address
BLC	Brake assignment	No	No			10001
BST	Motion type selection	Hoisting motion	Hoisting motion			10008
BCI	Brake contact input	Not assigned	Not assigned			10009
FBCI	Brake feedback filter	100 ms	100 ms	0 ms	5000 ms	10025
BRI	Brake relay feedback	Not assigned	Not assigned			10052
FBRI	Brake relay feedback filter	100 ms	100 ms	0 ms	1000 ms	10053
BIP	Brake release pulse	Brake impulse Fwd	Brake impulse Fwd			10007
IBR	Brake Release current	41.7 A	55 A	0 A	50.6 A	10006
IRD	Rev. brake release curr.	0 A	0 A	0 A	50.6 A	10011
BRT	Brake release time	0.5 s	0.5 s	0 s	5 s	10004
BIR	Brake release frequency	Nominal value	Nominal value	-0.1 Hz	10 Hz	10012
BEN	Brake engage frequency	Auto	Auto	-0.1 Hz	10 Hz	10003
BECD	Brake engage at 0 speed	No	No	-0.1 s	30 s	10014
TBE	Brake engage delay	0 s	0 s	0 s	5 s	10010
BET	Brake engage time	0.5 s	0.5 s	0 s	5 s	10005
SDC1	Auto DC injection level 1	43 A	43 A	0 A	67.6 A	10403
BED	Brake engage at reversal	No	No			10020
JDC	Jump at reversal	Nominal value	Nominal value	-0.1 Hz	10 Hz	10013
TTR	Time to restart	1 s	0 s	0 s	15 s	10022
BRH0	BRH b0	False	False			
BRH1	BRH b1	False	False			
BRH2	BRH b2	False	False			
BRH3	BRH b3	False	False			
BRH4	BRH b4	False	False			
BRH6	BRH b6	False	False			
BRR	Current ramp time	0 s	0 s	0 s	5 s	10015
BFTD	BRH_b4 frequency threshold detection	5 Hz	5 Hz	0 Hz	10 Hz	10051
HSD	High speed hoisting	Inactive	Inactive			12301

Code	Long Label	Current Value	Default Value	Min Value	Max Value	Logical address
FR1	Configuration reference frequency 1	Embedded Ethernet	A1 Analog input			8413
FR1B	Configuration ref. 1B	Not configured	Not configured			8415
RCB	Select switching (1 to 1B)	Reference frequency channel 1	Reference frequency channel 1			8412
RIN	Reverse direction disable	No	No			3108
CHCF	Control mode configuration	Combined channel mode	Combined channel mode			8401
CCS	Command switching	Command channel 1	Command channel 1			8421
CD1	Command channel 1 assign	Terminal block	Terminal block			8423

— IP Address

Device name:

IP assignment mode: Select the IP address assignment method

IP address: . . .

Subnet mask: . . .

Gateway address: . . .

Rate setting: Rate and data setting

Rate setting: Rate and data setting

Storm protection:

Swap word order:

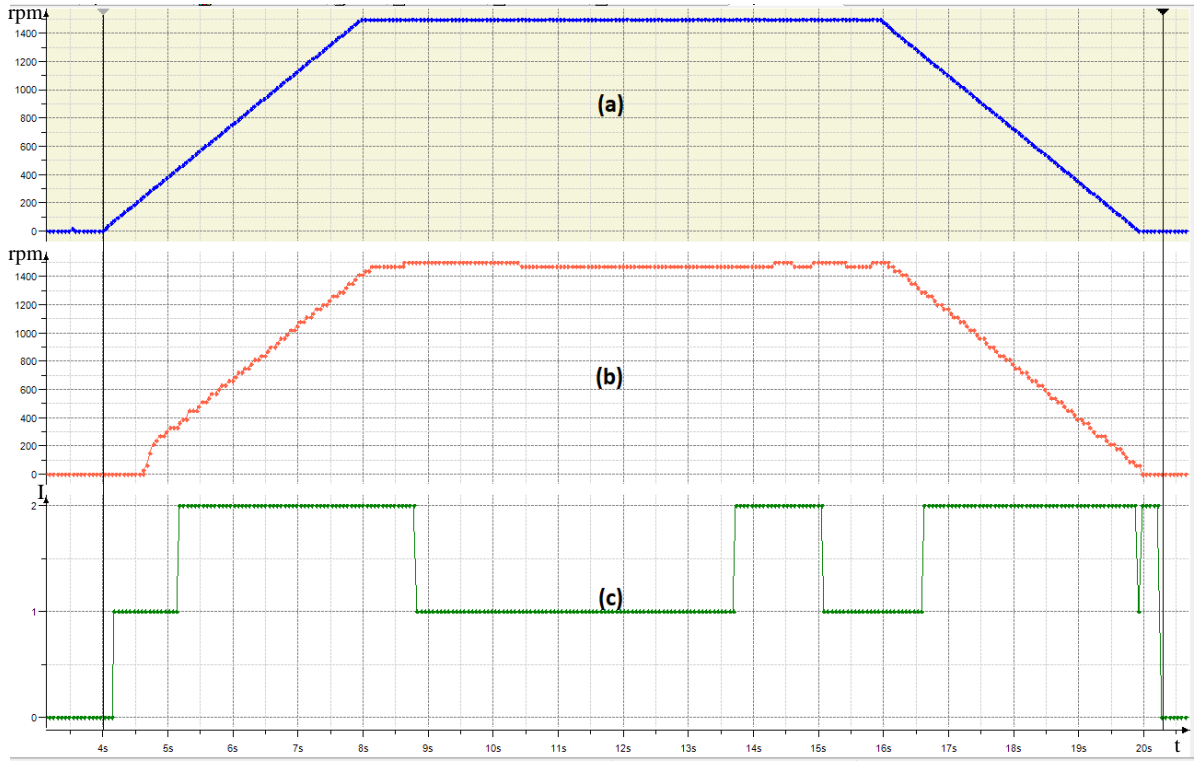
Şekil 8.20. Sistemde kullanılan kaldırma sürücü parametreleri

Code	Long Label	Conf0	Default Value	Min Value	Max Value	Logical address
LAC	Level of access control	Standard	Standard			3006
▼ SIMPLY START						
TCC	2 / 3 wire control	2 wire	2 wire			11101
CFG	Macro config selection	Hoisting	Start/Stop			3052
BFR	Std. motor frequency	50Hz IEC	50Hz IEC			3015
IPL	Stop type - IIP phase loss	Freewheel	Freewheel			7002
IPR	Rated motor power	1.5 kW	1.5 kW	0.18 kW	3 kW	9613
UNS	Nominal motor voltage	380 V	400 V	200 V	480 V	9601
NCR	Nominal motor current	3.5 A	3.5 A	1 A	6.1 A	9603
FRS	Nominal motor frequency	50 Hz	50 Hz	10 Hz	800 Hz	9602
NSP	Nominal motor speed	1430 rpm	1420 rpm	0 rpm	65535 rpm	9604
TFR	Max. output frequency	60 Hz	60 Hz	10 Hz	500 Hz	3103
STUN	Tune selection	Measure	Default			9617
ITH	Motor thermal current	3.5 A	3.5 A	0.8 A	6.1 A	9622
ACC	Acceleration ramp time	4 s	3 s	0 s	999.9 s	9001
DEC	Deceleration ramp time	4 s	3 s	0 s	999.9 s	9002
.SP	Low speed	12.5 Hz	0 Hz	0 Hz	50 Hz	3105
HSP	High Speed	50 Hz	50 Hz	12.5 Hz	60 Hz	3104
BLC	Brake logic assignment	R2	R2			10001
BST	Motion type selection	Traveling	Hoisting			10008
BCI	Brake contact input	NO	NO			10009
BIP	Brake release pulse	No	No			10007
IBR	Brake release current	0 A	0 A	0 A	5.5 A	10006
IRD	Rev. brake release curr.	0 A	0 A	0 A	5.5 A	10011
BRT	Brake release time	0.3 s	0 s	0 s	5 s	10004
BIR	Brake release frequency	0 Hz	0 Hz	0 Hz	0 Hz	10012
BEN	Brake engage frequency	AUTO	AUTO	AUTO	10 Hz	10003
TBE	Brake engage delay	0 s	0 s	0 s	5 s	10010
BET	Brake engage time	0.2 s	0 s	0 s	5 s	10005
SDC1	Auto DC injection level 1	2.8 A	2.8 A	0 A	4.9 A	10403
BED	Brake engage at reversal	No	No			10020
JDC	Jump at reversal	0 Hz	0 Hz	0 Hz	0 Hz	10013
TTR	Time to restart	0 s	0 s	0 s	15 s	10022
FR1	Configuration reference 1	CANopen	A1			8413
RIN	Reverse direction inhibit	No	No			3108
PST	STOP key priority	Yes	Yes			64002
CHCF	Channel mode config.	Not separ.	Not separ.			8401
▼ CANopen						
ADCO	Drive CANopen address	3	OFF	OFF	127	6051
BDCC	CANopen baudrate	125 kbps	250 kbps			6053
ERCO	Error code CANopen	0	0	0	5	6056

Şekil 8.21. Sistemde kullanılan yürütme sürücü parametreleri

Her üç sürücü içinde ayar yapıldıktan sonra sistem devreye alması için gerekli tüm ön çalışmalar tamamlanmıştır. Yapılan tüm işlemlerin sonrasında gezer köprülü sistem üzerinde deneyler yaparak çıkış değerleri alınmıştır. Burada önemli olacak kısım PLC'ye tanımlanan acc, dec gibi rampa değerlerinin sürücü içinde tanımlanan acc, dec rampa değerleri bir biri üzerindeki etkisine göre sistemin salınımı bastırmaya çalışması olacaktır.

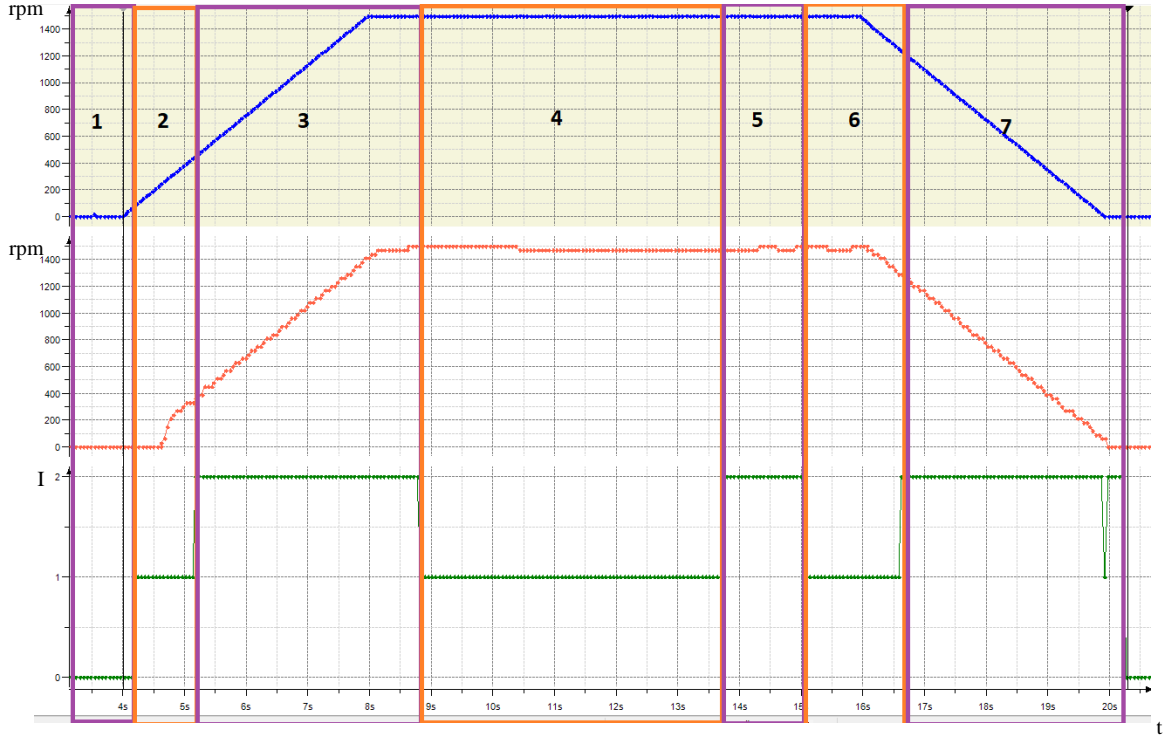
Şekil 8.22.' de salınım önleme sistemi kapalı iken gezer köprülü vinç sisteminin çıkış değerleri gösterilmiştir. A grafiğinde sistemin olması gereken çıkış devri, Şekil 8.22 (b)'de gerçekte verdiği çıkış devri, Şekil 8.22 (c)'de sistemin çıkış akım değerleri gösterilmektedir.



Şekil 8.22. Salınım engelleme sistemi pasif iken bulunan değerler (a) Sistemin olması gereken çıkış devri (b) Sistemin gerçekte verdiği çıkış devri (c) Sistemin çıkış akım değeri

Gezer köprülü vinç sisteminde sağ ve sol hareketini gerçekleştiren araba hareketinin 20 sn boyunca çıkış değerleri şekilde gösterildiği gibidir. Mavi ile çizilen grafik sistemin kayıpsız olarak sağlayacağı çıkış devir değeridir. Turuncu ile çizilen grafik ise sistemin gerçekte sağladığı çıkış deviridir. Yeşil olarak çizilen ise sistemin bu süre boyunca çekeceği akım değeridir. Önümüzde birkaç grafikte bu 20 sn'lik süreyi bölümler halinde akım değeri üzerinden enerji sarfiyatını ve salınım optimizasyonu ele alınmıştır. Turuncu ve mavi grafiklerden çıkartılacak sonuç gezer köprülü vinç operatör tarafından kullanılmaya başlandığı anda ayarlanan hızlanma rampalanma (acc) değeri kadar geçen sürede motor max devrine ulaşacaktır. Operatör elini butondan çektikden sonra yavaşlama rampalanma (dec) değeri kadar geçen sürede sıfır devire gelecektir.

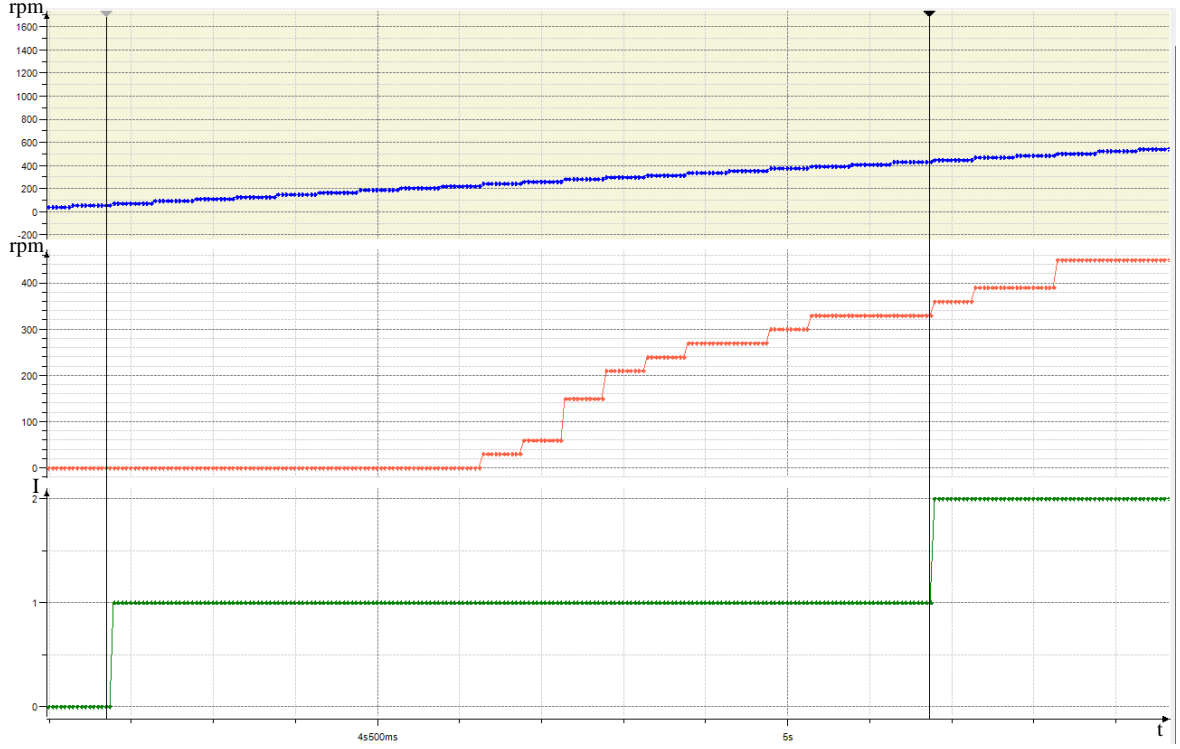
Bu süre boyunca akım değişim farklılığına göre 7 bölgeye ayrılmıştır. Şekil 8.23.' de bu bölgelerdeki akım değerleri aşağıda belirtilmiştir:



Şekil 8.23. Salınım engelleme pasifken akım değişimlerine göre 7 farklı bölgesi

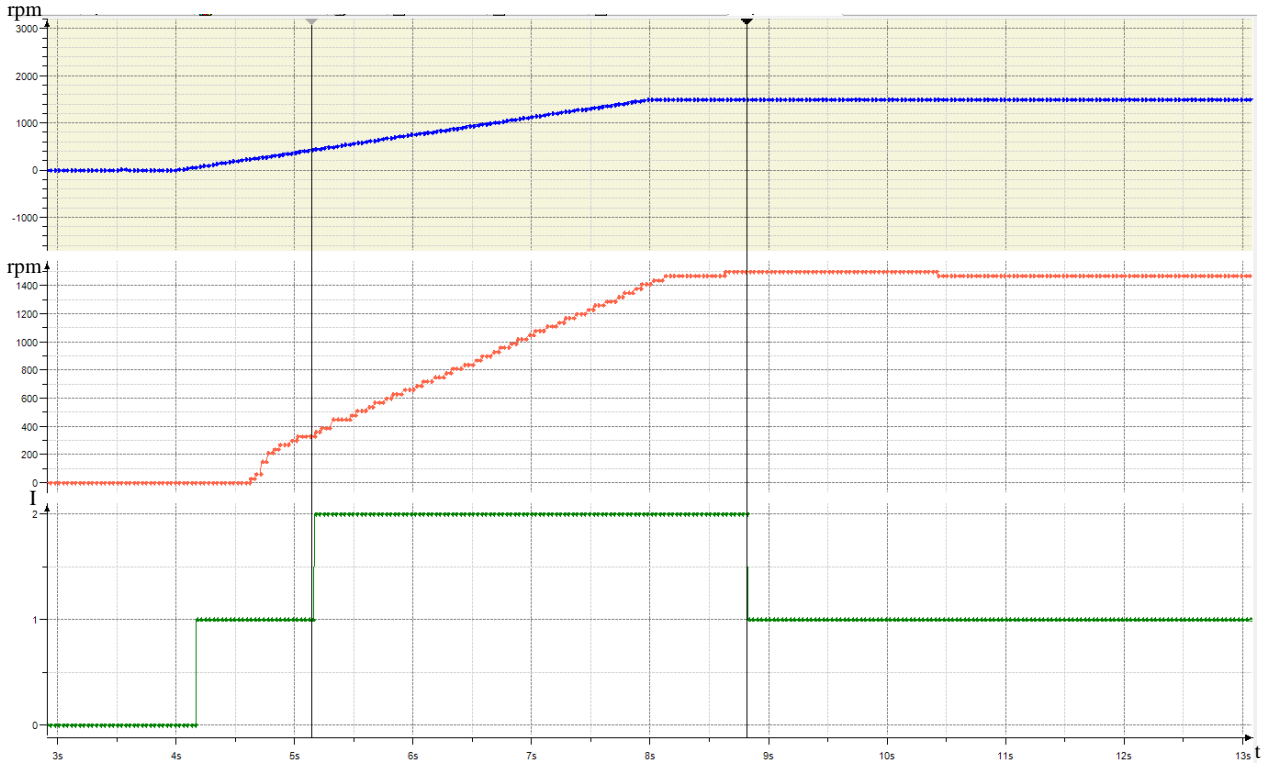
1.Bölge 0-4 sn arasındır. Gezer köprülü vinç henüz kullanılmaya başlanmamıştır akım değeri “0”dır.

2.Bölgede operatör hareketine 4s200ms hareketine başlamış ve 5s200ms 1 sn boyunca motor sıfır devirden 330 devire ulaşmış ve “1” amper akım çekmiştir. Şekil 8.24.’ de 2. bölge akım değeri gösterilmiştir.



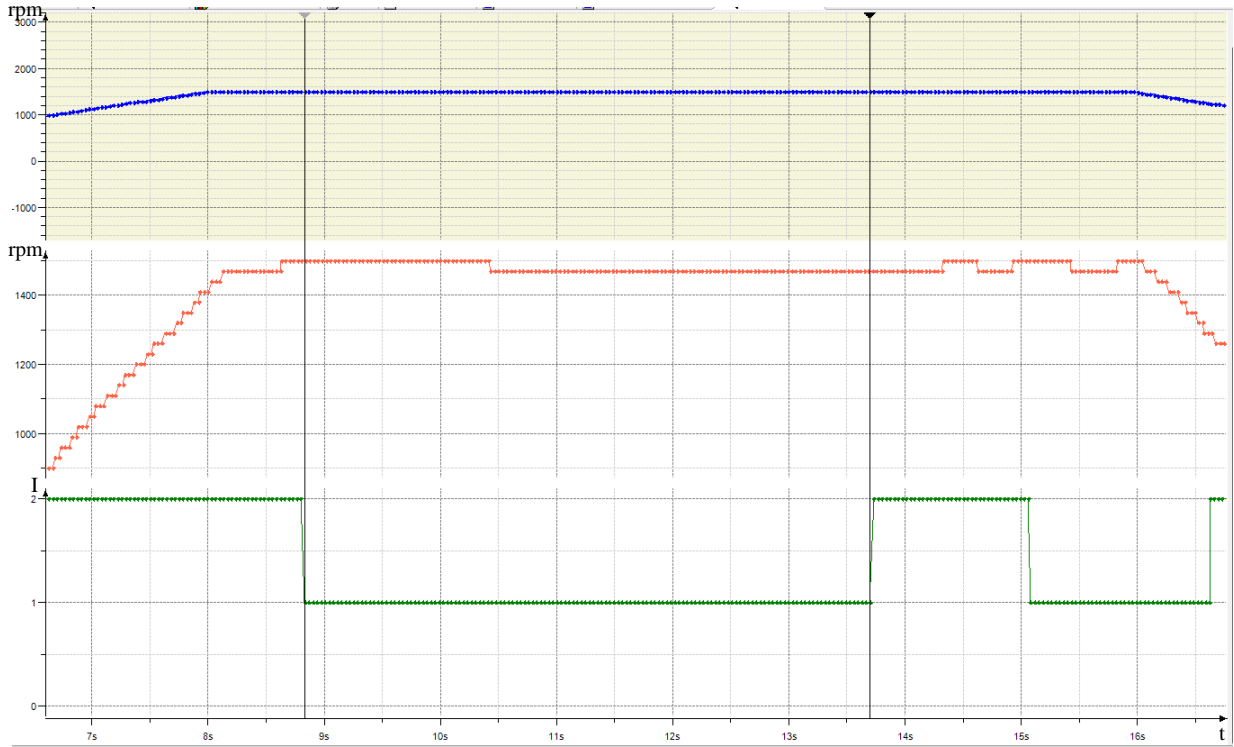
Şekil 8.24. Salınım engelleme pasifken akım değişimlerine göre 2. bölge

3.Bölgede operatör hareketine hızlanarak devam etmiştir. 5s200ms den 8s800ms kadar motor tam devrine 1500 devire ulaşmıştır. Bu süre boyunca 2A akım çekmiştir. Şekil 8.25.' de 3. bölge akım değeri gösterilmiştir.



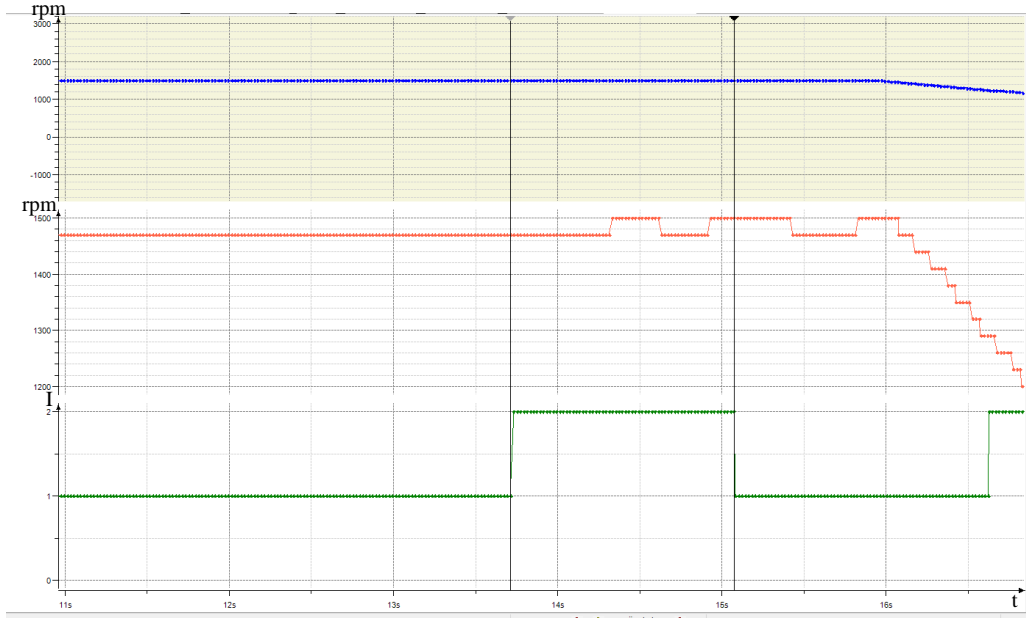
Şekil 8.25. Salınım engelleme pasifken akım değişimlerine göre 3. bölge

4.Bölgede tam yüke ulaşan motor demaraj ve kalkış yüklenmelerinden kurtularak kararlı hale gelmiştir. 8s800ms'den 13s700 ms'ye kadar geçen süre boyunca 1470 devirde hareketine devam etmiş ve 1A akım çekmiştir. Şekil 8.26.' de 4. bölge akım değeri gösterilmiştir.



Şekil 8.26. Salınım engelleme pasifken akım değişimlerine göre 4. bölge

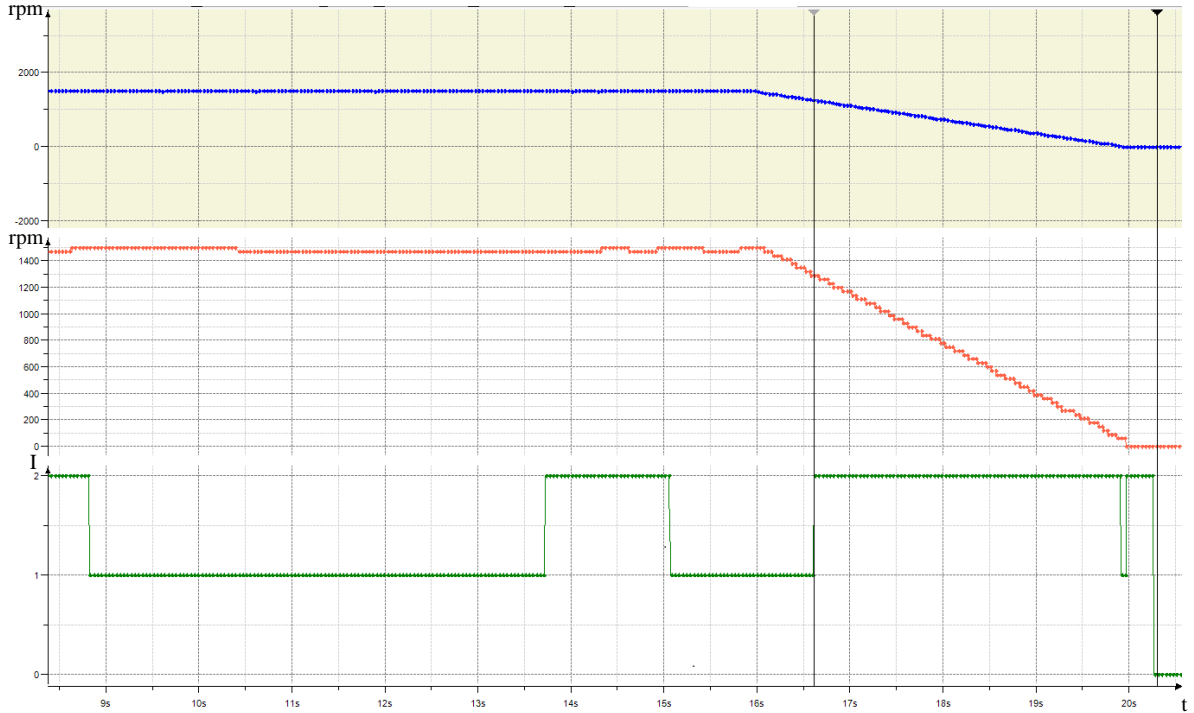
5.Bölgede 13s700ms – 15s700ms arasında hareketine devam eden araba ve yükü dışarıdan bozucu etkilere maruz kalmış ve asenkron motor zorlanmıştır. Bu sebeplerden dolayı tekrardan 2A akım çekmiş ve devrini koruyarak hareketine devam etmiştir. Fakat birden fazla test ve sonuçlar değerlendirildiğinde normalde olması gereken yavaşlama anına kadar bu değerin 1A olarak devam etmesidir ve kıyaslama yapabilmek için bu değeri 1A olarak kabul edilmiştir. Şekil 8.27.' de 5. bölge akım değeri gösterilmiştir.



Şekil 8.27. Salınım engelleme pasifken akım değişimlerine göre 5. bölge

6. Bölgede tekrar stabil duruma gelen vinç 15s700ms- 16s700ms arasında 1470 devir, 1A olarak hareketine devam etmiştir.

7. Bölgede 16s700ms-20s200ms arasında operatör hareketini sonlandırmış gezer köprülü vinç görevini tamamlamıştır. Yavaşlama rampası süresi kadar zamanda yavaşlayarak 0 devire gelmiştir. Bu sürede yükü konumunda tutabilmek için motor 2A akım çekmiştir. Şekil 8.28.' da 7. bölge akım değeri gösterilmiştir.



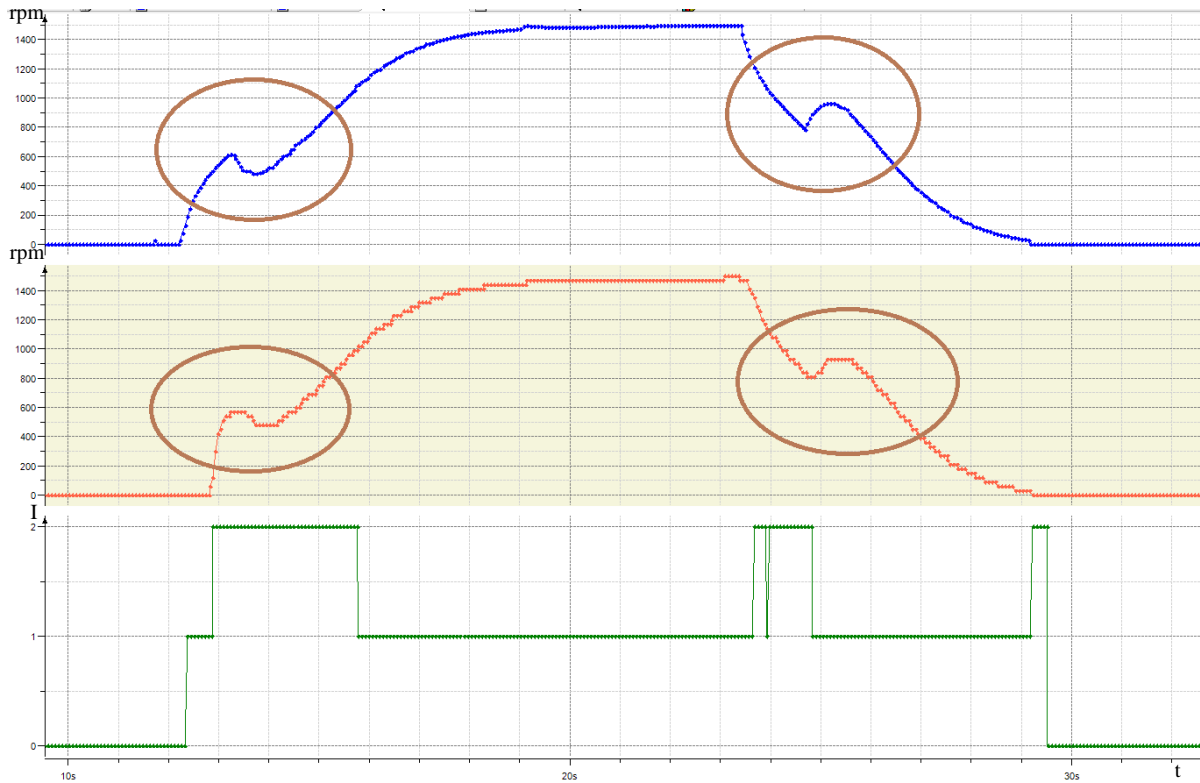
Şekil 8.28. Salınım engelleme pasifken akım değişimlerine göre 7. bölge

7 farklı bölgede 20 saniye sürede çekilen akım değerlerini ve sürlerini sırası ile:

- 0-4s200ms 0 A,
- 4s200ms-5s200ms 1 A,
- 5s200ms-8s700ms 2 A,
- 8s700ms-13s700ms 1 A,
- 13s700ms- 15s700ms 2 A, fakat kayıplar düşünülerek 1 A alınmıştır.
- 15s700ms-16s700ms 1 A,
- 16s700ms-20s200ms 2 A'dir.

16 sürenin 9 saniyesi boyunca 1A, 7 saniyesi boyunca 2A akım kullanmıştır.

Aynı gezer köprülü vinç sistemi üzerinden salınım önleme sistemi devrede iken inceleyecek olursak Şekil 8.29.' de gösterilmiştir.



Şekil 8.29. Salınım engelleme sistemi aktif iken değerlerin incelenmesi

Salınım engelleme sistemi aktif edildikten sonra ilk olarak motora uygulanan frekans ile orantılı olan motor çıkış devir değeri grafiklerinde sistem kapalı haldeki hızlanma ve yavaşlama anlarından doğrusal olmaktan çıkarak parabolik bir değer almıştır. Bunun anlamı şudur;

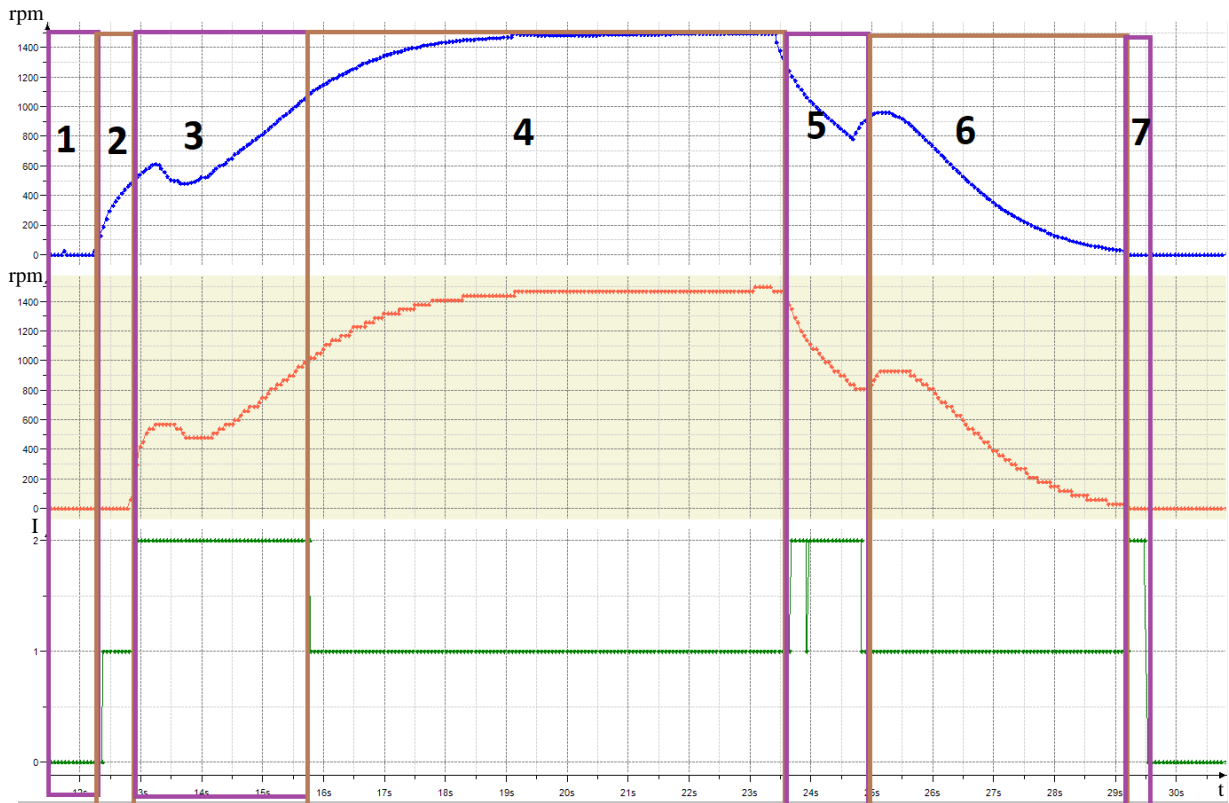
I.Vinç hareketine başladıktan sonra atalet ile yük vincin merkezinden bir miktar geride kalacaktır.

II.Vinç belirli bir hıza geldikten sonra çok kısa bir süre yavaşlayıp tekrar hızlanacaktır. Bu sayede yükü merkeze gelmesi sağlanacak ve hareketine bu şekilde devam edecektir.

III.Aynı durum yavaşlama esnasında oluşacaktır. Sabit hızda giderken aniden yavaşlamaya başlayacak olan sistemdeki yük sabit hızla gitmeye devam etmek istemesinden dolayı vincin önünde gitmeye çalışacaktır.

IV.Bu esnada tersi olarak kısa bir süre hızlanıp tekrar yavaşlayarak yükü tekrar merkeze getirerek salınımı bastırmaya çalışacaktır.

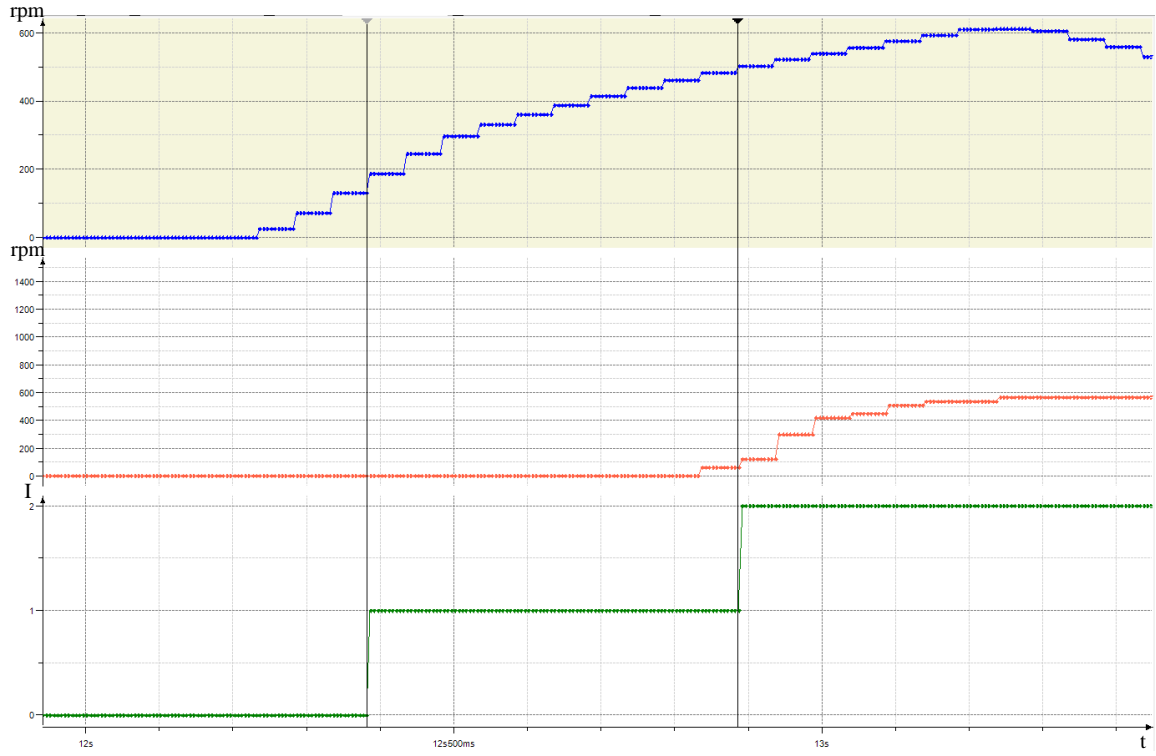
Bu süre zarfından akım değişimlerini bölge bölge şekil 8.30. 'de salınım engelleme aktifken akım değerleri gösterilmektedir.



Şekil 8.30. Salınım engelleme aktifken akım değişimlerine göre 7 farklı bölgesi

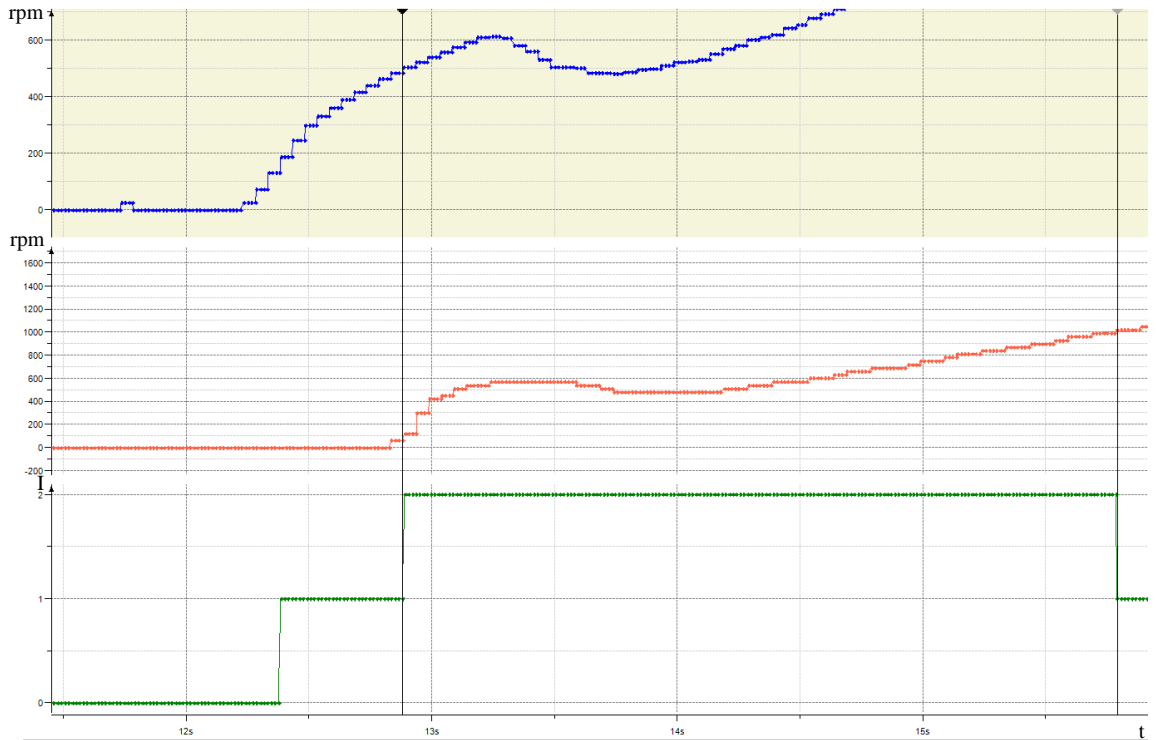
1.Bölgede henüz harekete başlamamış 0-12sn geçmiştir.

2.Bölgede motor yaklaşık 60 devire çıkmıştır. 12s400ms-12s900ms boyunca 1A akım çekmiştir. Şekil 8.31.' da 2. bölgede akım değeri gösterilmiştir.



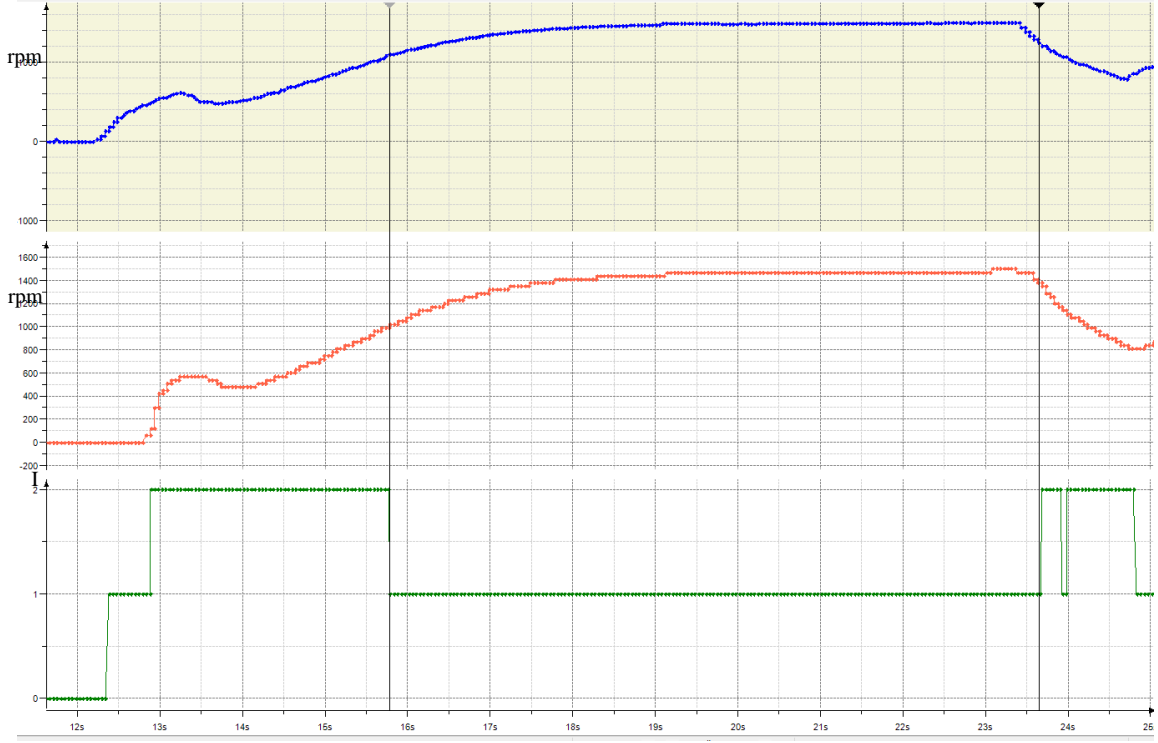
Şekil 8.31. Salınım engelleme aktifken akım değişimlerine göre 2. bölge

3.Bölgede motor 1000 devire ulaşmış ve 12s900ms-15s900ms boyunca 2A çekmiş ve tam yüke ulaşmadan demarajdan kurtararak stabil olmasını sağlamıştır. Şekil 8.32.' da 3. bölge akım değeri gösterilmiştir.



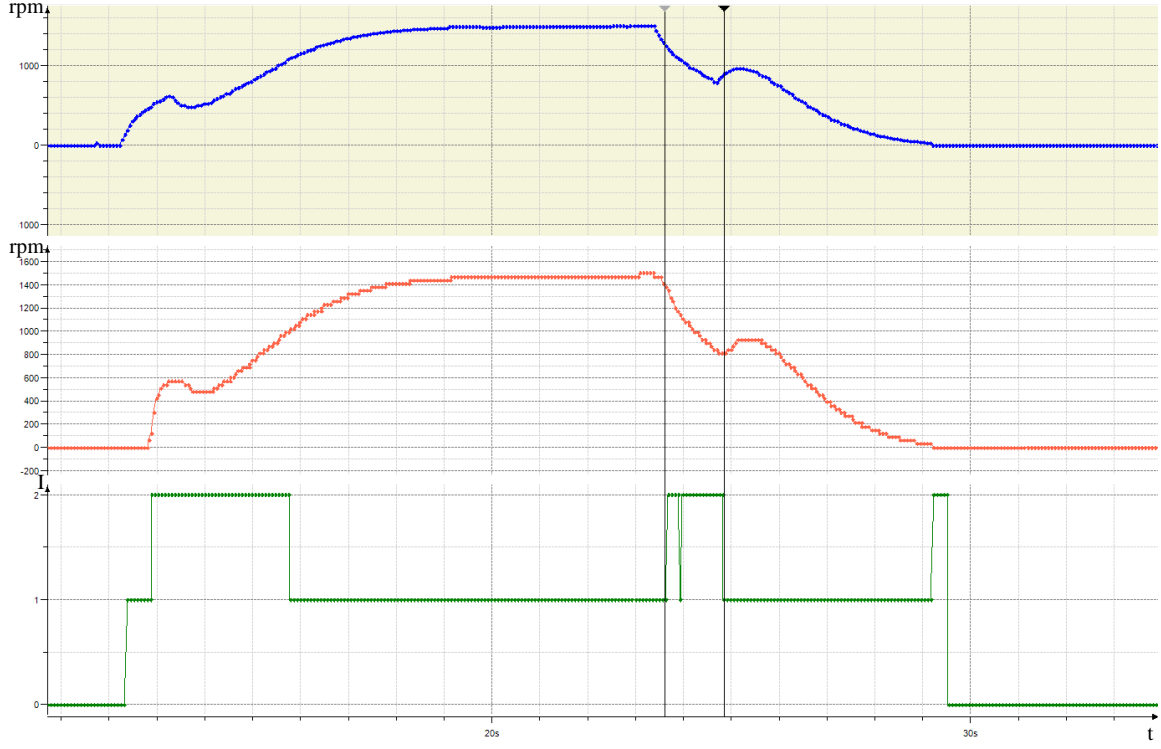
Şekil 8.32. Salınım engelleme aktifken akım değişimlerine göre 3. bölge

4.Bölgede motor nominal devrine ulaşarak hareketine devam etmiştir. 15s900ms-23s700ms boyunca 1A akım çekmiştir. Şekil 8.33.' de 4. bölge akım değeri gösterilmiştir.



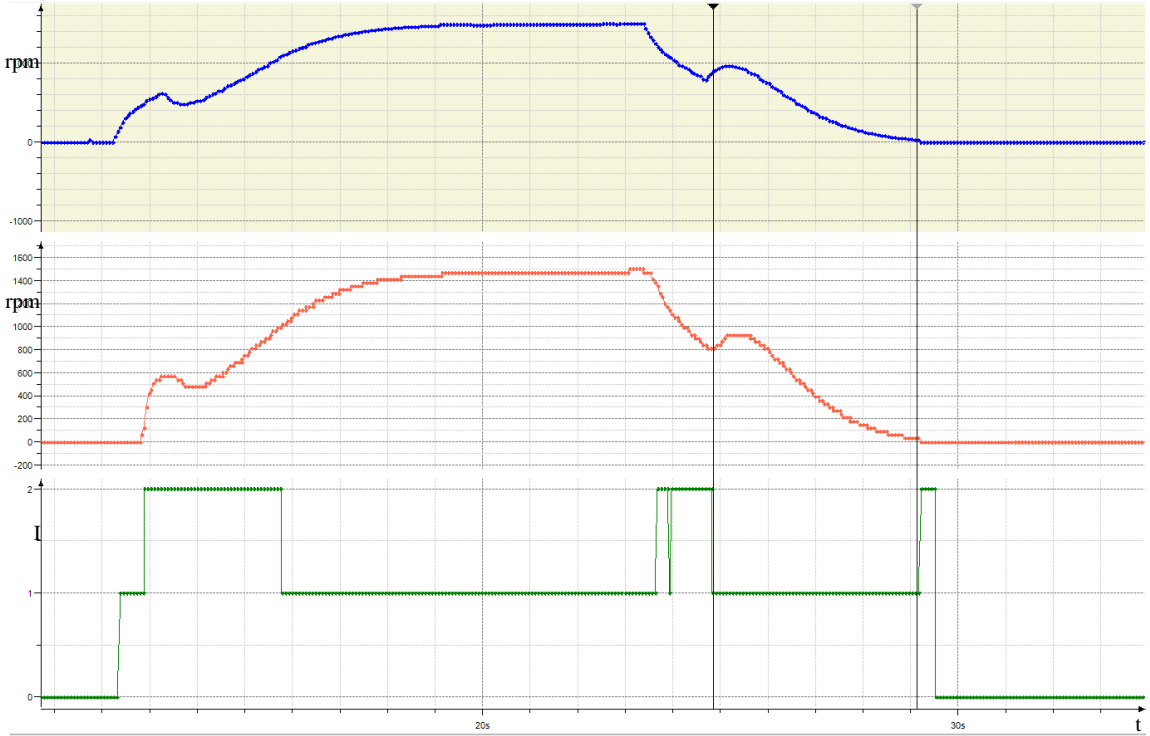
Şekil 8.33. Salınım engelleme aktifken akım değişimlerine göre 4. bölge

5.Bölgede motor yavaşlama başlamış motor 800 devirlere gelmiştir. Motor yükü tutabilmek için 23s700ms-24s900ms boyunca 2A amper akım çekmiştir. Şekil 8.34.' de 5. bölge akım değeri gösterilmiştir.



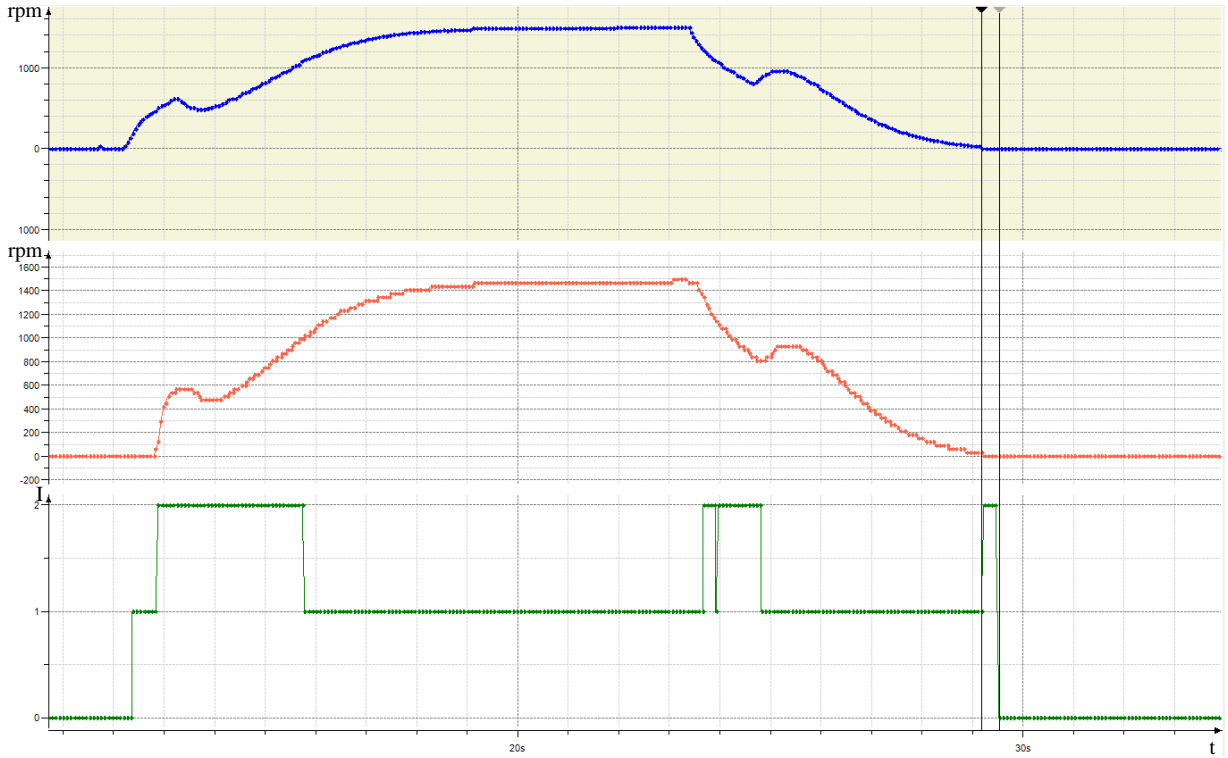
Şekil 8.34. Salınım engelleme aktifken akım değişimlerine göre 5. bölge

6. Bölgede motor yavaşlama devam etmiş 30 devirlere kadar gelmiştir. 24s900ms-29s200ms boyunca 1A akım çekmiştir. Şekil 8.35'te 6. bölge akım değeri gösterilmiştir.



Şekil 8.35. Salınım engelleme aktifken akım değişimlerine göre 6. bölge

7.Bölgede motor 0 devire gelerek durmuştur. Motor yükü tutabilmek 29s200ms-29s500ms süresince 2A akım çekmiş ve hareketini tamamlamıştır. Şekil 8.36.' de 7. bölge akım değeri gösterilmiştir.



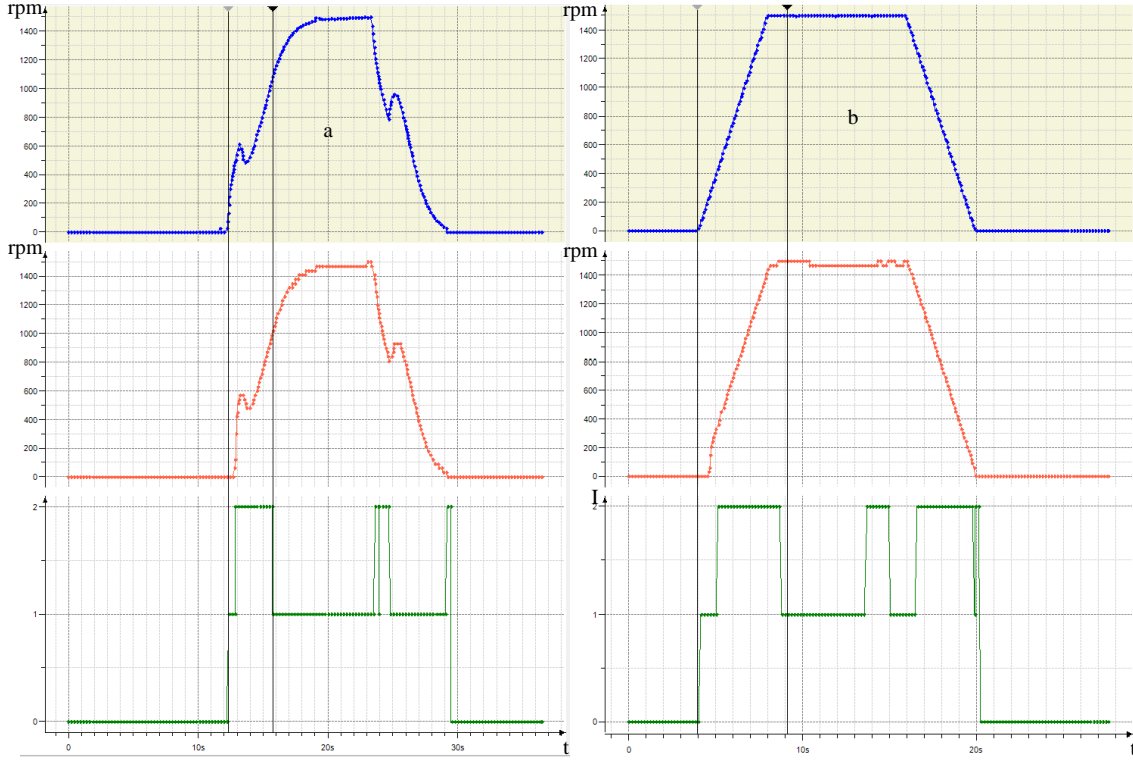
Şekil 8.36. Salınım engelleme aktifken akım değişimlerine göre 7. bölge

7.farklı bölgede 17 saniye sürede çekilen akım değerlerini ve sürlerini sırası ile yazarsak;

- 0-12sn 0 A,
- 12s400ms-12s900ms 1 A,
- 12s900ms-15s900ms 2 A,
- 15s900ms-23s700ms 1 A,
- 23s700ms-24s900ms 2 A,
- 24s900ms- 29s200ms 1 A,
- 29s200ms- 29s500ms 2 A.

Toplanacak olursa 17 sürenin 12,5 sn boyunca 1A, 4,5 sn boyunca 2A akım kullanmıştır.

Sistemleri karşılaştırabilmesi için şekil 8.37.a.' da salınım önleme aktifken ve şekil 8.37.b.' de salınım önleme pasifken durumları gösterilmektedir.

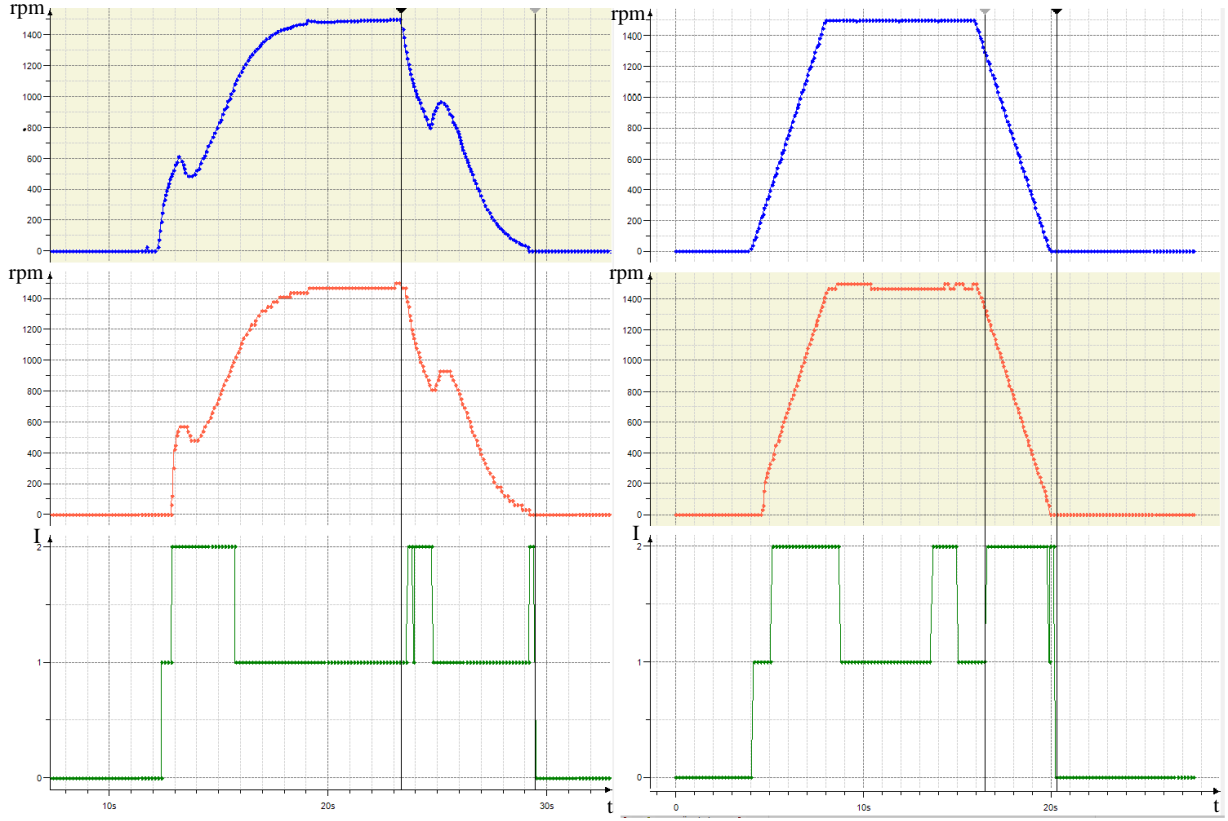


Şekil 8.37. Hızlanma sırasında elde edilen sonuçların karşılaştırılması

(a) Salınım önleme aktifken (b) Salınım önleme pasifken

Şekil 8.37. a'daki grafik salınım önleme sistemi aktif iken şekil 8.37. b'deki grafik ise salınım önleme sistemi pasif iken elde edilmiş değerlerdir. Sistemler üzerinde işaretli bölgelere dikkat edilecek olursa salınım önleme sistemi pasifken nominal akım değerine kadar geçen süre salınım önleme sistemi aktif olduğunda bu değere kadar geçen süreden 2 saniye daha uzundur. Bununla birlikte motor tam devrine gelmeden, çok fazla demaraj görmeden nominal akım değerine gelmesinden dolayı bakım, onarım maliyetlerine doğrudan etki edecektir.

Aynı şekilde yavaşlama süresi boyunca sisteme salınımdan dolayı oluşacak mekanik zorlanma ile oluşacak kayıplar azaltılarak daha az enerji harcamasında etkili olduğu Şekil 8.38. (a).’ da salınım önleme aktifken ve 8.38.(b)’ de salınım önleme sistemi pasif durumu gösterilmektedir.



Şekil 8.38. Yavaşlama sırasında elde edilen sonuçların karşılaştırılması

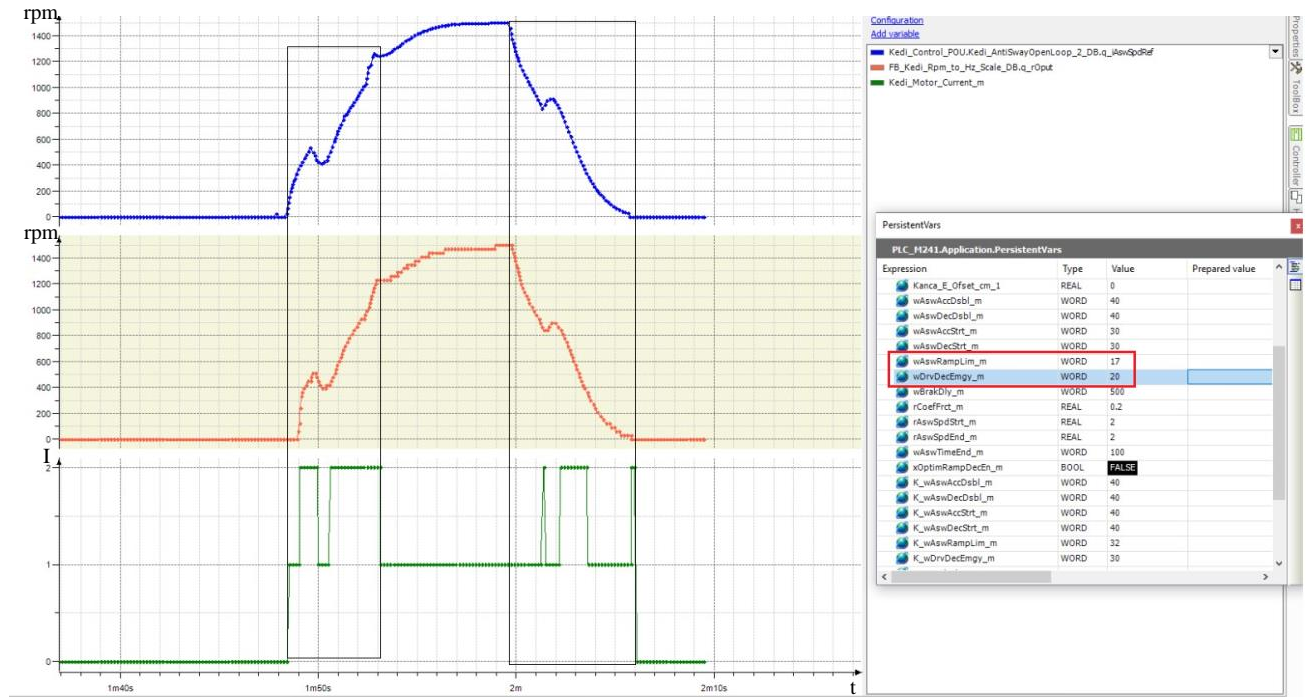
(a) Salınım önleme aktifken (b) Salınım önleme pasifken

Gezer köprülü vinç sistemlerinde 20 saniyelik bir periyot yükün sağ ve sol yatay hareketini tamamlaması için yeterli bir süredir. Bu süre artsada azalsada nominal devrine geldikten sonra aynı enerjiyi harcayacaktır. Burada önemli olan başlangıç ve bitiş zamanlarındaki akım-zaman ilişkisidir. Salınım önleme sistemi pasif ve aktifken bu değerlerin değişimi şekil 8.38’de ki gibidir. Önerilen yöntemden alınan sonuçlar ile yaklaşımın enerji verimliliğine katkısı açıkça görülebilmektedir. Önerilen yaklaşımda kullanılan parametre değerleri şekil 8.39.’de sunulmuştur.

PLC_M241.Application.PersistentVars		
Expression	Type	Value
Kanca_E_Offset_cm_1	REAL	0
wAswAccDsbl_m	WORD	40
wAswDecDsbl_m	WORD	40
wAswAccStrt_m	WORD	30
wAswDecStrt_m	WORD	30
wAswRampLim_m	WORD	25
wDrvDecEmgy_m	WORD	25
wBrakDly_m	WORD	500
rCofFrct_m	REAL	0.2
rAswSpdStrt_m	REAL	2
rAswSpdEnd_m	REAL	2
wAswTimeEnd_m	WORD	100
xOptimRampDecEn_m	BOOL	FALSE
K_wAswAccDsbl_m	WORD	40
K_wAswDecDsbl_m	WORD	40
K_wAswAccStrt_m	WORD	40
K_wAswDecStrt_m	WORD	40
K_wAswRampLim_m	WORD	32
K_wDrvDecEmgy_m	WORD	30

Şekil 8.39. Salınım önleme sisteminde kullanılan değerler

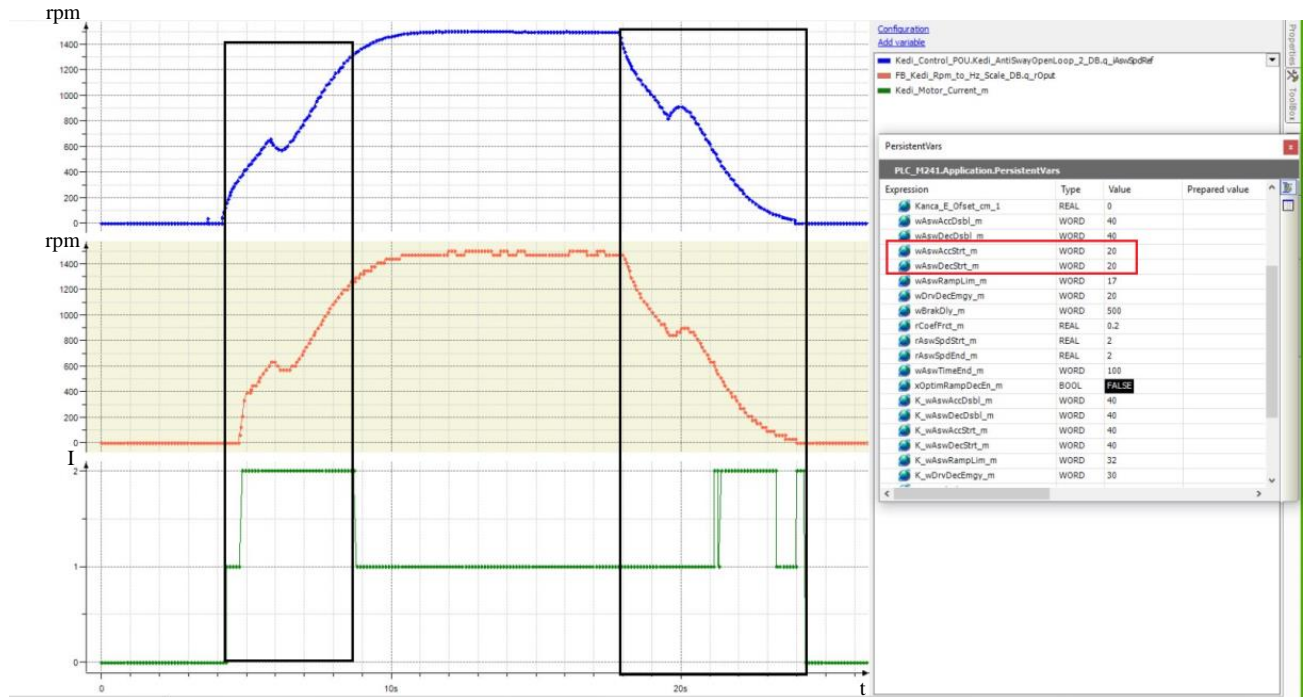
Farklı parametre değerleri için elde edilecek sonuçlar incelenirse, Şekil 8.40.' de wAswRampLim_m değeri izin verilen max hızlanma değeri 25' den 17'ye düşürüldüğünde oluşacak yeni grafik elde edilmiştir.



Şekil 8.40. Max. ivmelenme değeri 17'deki akım değerleri

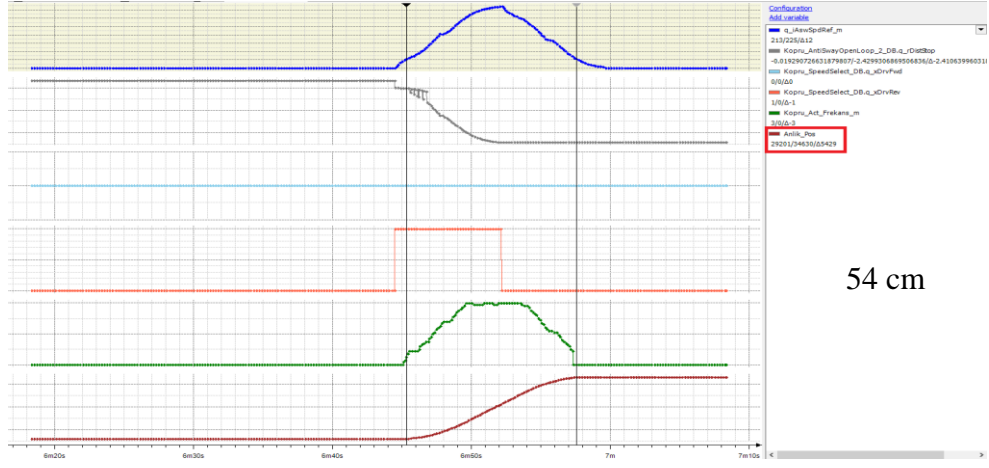
Değerin küçültülmesi sonucunda 5sn'de nominal akım değerine gelmiş ve 1200 rpm'de stabil olmuştur. 6 sn'de ise yavaşlayarak durmuştur. Geçen bu sürede yaklaşık 3 sn 2A çekmiştir. İlk baştaki değerler hatırlatılacak olursa 3,5 sn'de nominal akım değerine ulaşmış ve 1000 rpm'e kadar çıkmıştır. Duruş esnasında ise 6 sn'sürede yavaşlayarak durmuş ve 1,5 sn 2A çekmiştir. Bununla birlikte bu süre 25 sn'de iken önce 2A çekmiş sonra stabil olmuşken 17'ye düşürülmesinden önce 1A amper çekmeye devam etmiş ve sonradan 2A çıkmıştır.

Aynı değerlerde antisway hızlanma ve yavaşlama süreleri kısaltıldığında ise 4,5 sn'de nominal akım değerinde 1300 rpm ulaşmıştır. Yavaşlama esnasında ise 6,5 sn'de durmuş ve bunun 2,5 sn'de 2A çekmiştir. Fakat değerler düşürüldükçe turuncu grafiğin mavi grafikten farklılık olmaya başlamış yani salınım artmaya başlamıştır. Şekil 8.41.' de oluşan grafik gösterilmektedir.



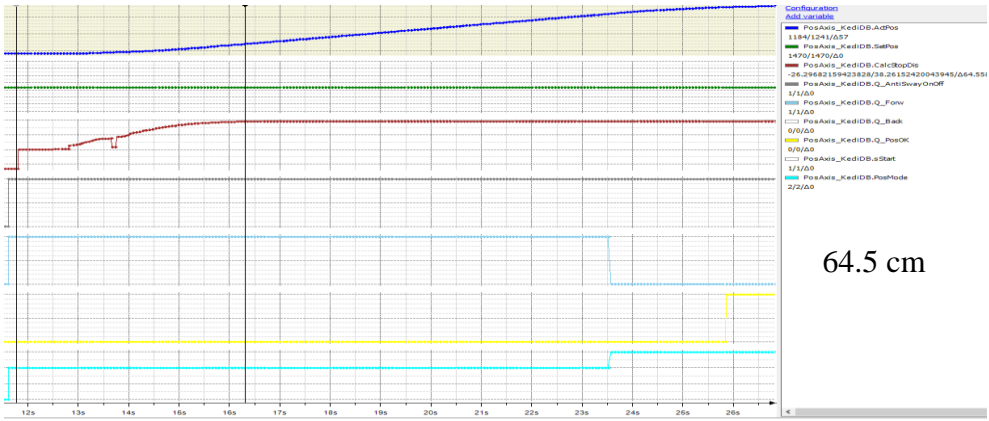
Şekil 8.41. İvmelenme değerleri küçültüldüğündeki enerji değerleri

Başlangıç değerinden rampalanma süreleri arttırılır ise daha az akım çekecek fakat konum olarak durması gereken yerden biraz daha uzak konumda durduğu gözlemlenmiştir. Optimizasyon için daha iyi sonuçlar oluşturmasına rağmen istenilen konumdan uzaklaşmasından dolayı zamanda kayıplar yaşanmaya başlanmıştır. Şekil 8.42.' de salınım engelleme sistemi kapalıyken konum değeri, şekil 8.43.' de salınım engelleme sistemi aktif ve duruş ivlenme değeri 25'len konum değeri, şekil 8.44.' de salınım engelleme sistemi aktif ve duruş ivlenme değeri 35'len konum değeri gösterilmektedir.



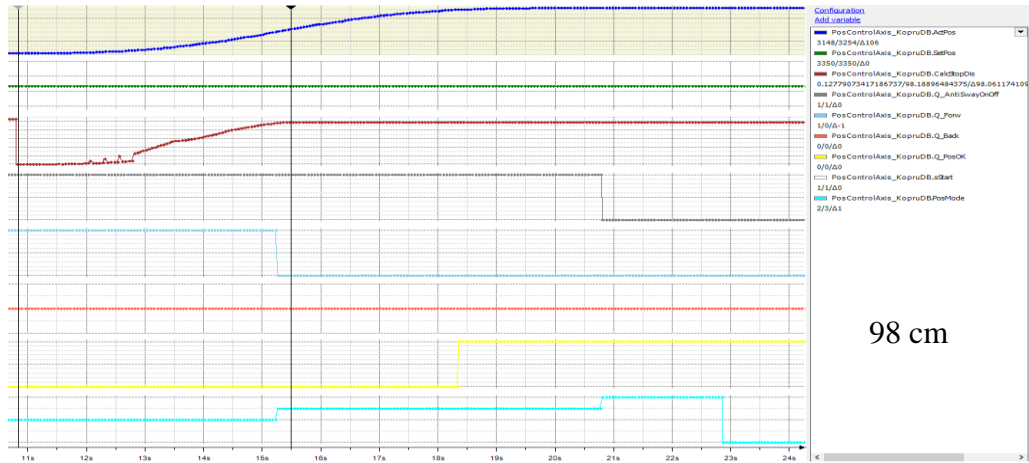
54 cm

Şekil 8.42. Salınım önleme sistemi pasifken konum kayma değerleri



64.5 cm

Şekil 8.43. Salınım önleme sistemi aktif ve duruş ivlenme değeri 25 konum kayma değerleri



98 cm

Şekil 8.44. Salınım önleme sistemi aktif ve duruş ivlenme değeri 35 konum kayma değerleri

Sistemin mekanik ağırlığı, taşıyacağı ortalama yük değeri, bir çevrimlik periyodu ile yukarıda anlatılan parametreler değiştirilerek sistem için en uygun optimizasyon değerleri ampirik olarak da bulunabilir.

9. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada, gerçek bir gezer köprülü vinç sistemi üzerinde açık çevrim kontrol sistemi kullanarak salınım önleme sistemi ile optimizasyon ve enerji açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Sistemin başlama ve duruş anlarından anlık sağladığı katkılar ile gezer köprülü vincin daha güvenilir şekilde, daha kısa operasyon süresi ile enerji tüketimini azalttığı gösterilmiştir.

Araba hareketinin bir operasyon süresinde (16 sn) salınım engelleme sistemi aktif ve pasif olarak harcanan güç Wh cinsinden salınım engelleme aktifken 1,78 Wh ve salınım engelleme pasifken 2,04 Wh olduğu gözlemlenmiştir. 16 sn'lik bir periyotta harcanan enerji 0,27 W fazladır. Bir vincin günlük 10 saat çalıştığı ve saatte 20 kez çevrim yaptığı kabul edilirse 54 W'lık enerjinin daha az kullanılmış olduğu söylenebilir. Bu tez çalışmasındaki amaç sadece enerji verimliliği açısından avantaj elde etme değil bunun yanında önerilen yöntem ile sistemin güvenilir ve kararlı bir şekilde çalışmasını da sağlayabilmektedir.

Bu çalışmada kullanılan salınım önleme sistemi başka sistemlerin kendi verileri, vincin ağırlığı, çalışacağı maksimum kaldırma yüksekliği, ortalama taşıyacağı yük değeri gibi bilgiler ile birçok sistemde kullanılabilir ve geliştirilebilir. Açık çevrim olarak çalıştığı için sadece yatay yürütme hız değerleri ile kaldırılan yükün yüksekliğine bakılarak salınım engellenmiştir fakat bununla birlikte değişken olan kaldırılan yük değeri ve kancanın merkez konumundaki kontrolü için gerekli sensörler eklenerek sistemin daha güvenilir ve verimli olması sağlanabilir.

KAYNAKÇA

- Yılmaz, U.**, Mobil Hidrolik Teleskobik Vinçlerin Yük Salınım Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Abdel-Rahman, E. M., Nayfeh, A. H., & Masoud, Z. N.** 2001. Dynamics and Control of Cranes: A Review, Journal of Vibration and Control, 9:863-890, Sage Publications.
- Özkahraman, İ.**, 2011. Döner Vinçlerin Yük Salınımının Bulanık Mantık Yöntemiyle Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Sakawa, Y. & Sano, H.** 1997. Nonlinear Model and Linear Robust Control of Overhead Travelling Cranes, Department of Intelligent Mechanics, Kinki University Uchita, Naganu, Wakayama 649-64, Japan
- Develi, H.**, 2004. Ziegler Nichols Yöntemi ve Mıgo Yaklaşımı, 10-15. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İSTANBUL. [5]
- Sağırılı, A., Azeloğlu, C.O. & Büyükşahin, U.** 2009. Köprülü Krenlerin Nonlineer Modelinin Bond Graph Yöntemiyle Oluşturulması ve Dinamik Davranışlarının İncelenmesi, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı 2009, TOK2009, 13–16.10.2009, YTU, İstanbul.
- Liu, D., Yi, J., Zhao, D., & Wang, W.**, 2005. Adaptive sliding mode fuzzy control for a two-dimensional overhead crane, Mechatronics, 15: 505–522.
- Yağsan, O.** 2005. Bir Operatörsüz Vinç için PID ve Genetik Algoritma Temelli Minimum Salımlı Konum Kontrolü, 5-7. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. [6]
- Uçuk, S.**, 2009. Bir Vinçteki Yük Salınımının Bulanık Mantık Tabanlı Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Büyükşahin, U.**, 2010. Köprülü Vinçlerde Yük Salınımlarının Görüntü İşleme Tabanlı Kontrolü, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karasu, S.**, 2013. Vinç Sistemlerinde Görüntü İşleme Tekniği ile Salınım İncelenmesi ve Giriş Şekillendirici Denetimi, 5. Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Ahmad, M., Saelal, M., Zawawi, M., & Ismail, R.**, 2011. Classical Angular Tracking and Intelligent Anti-Sway Control for Rotary Crane System", Proceedings of the IEEE İn-

- ternational Conference on Electrical, Control and Computer Engineering, Malaysia-2011, 82-87.
- Özdeş, O.**, 2011. Gezer Köprülü Vinçlerde Yük Salınımlarının Bastırılması ve PLC’de Gerçeklenmesi, 4-8. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yunus, E.**, 2018. <https://www.muhendisbeyinler.net/kontrol-sistemi-nedir>
- Çakır, O.**, 2017. <https://ktuee.files.wordpress.com/2017/12/otomatik-kontrol-sistemleri.pdf>, 8-14. Mersin
- URL,1.**,<http://ee.tek.firat.edu.tr/sites/ee.tek.firat.edu.tr/files/11End%C3%BCstriyel%20Haberle%C5%9Fme%20Protokolleri.pdf> , 3-18.
- URL, 2.**, <http://www.cesan.com/>
- Bodur, O. 2010.**, Elektrik Motorları AC Motor ve Sürücüleri Emo Yayını NO : EK /2010/2 https://www.emo.org.tr/ekler/c0cac8b259c5a9a_ek.pdf
- URL,3.**,<https://www.vincser.com/>
- Piriou, J.**, 2010. Anti-sway: Controlling The Swaying Of The Load, 1-11.