

**TEKSTİL MAKİNELERİNDE ÇÖZGÜ SALMA VE
KUMAŞ SARMA SİSTEMLERİ İÇİN SENSÖRSÜZ
GERGİNLİK VE HIZ KONTROL SİSTEMLERİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

İsmail BAYRAKTAR



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEKSTİL MAKİNELERİNDE ÇÖZGÜ SALMA VE KUMAŞ SARMA
SİSTEMLERİ İÇİN SENSÖRSÜZ GERGİNLİK VE HIZ KONTROL
SİSTEMLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

İsmail BAYRAKTAR
0000-0001-6344-8476

Prof. Dr. Recep EREN
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2023
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

İsmail Bayraktar tarafından hazırlanan “ Tekstil makinelerinde çözgü salma ve kumaş sarma sistemleri için sensörsüz gerginlik ve hız kontrol sistemlerinin geliştirilmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Teknolojisi Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof.Dr.Recep EREN

- | | | |
|-----------------|--|------|
| Başkan : | Prof. Dr. Recep EREN
0000-0001-9389-0281
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Tekstil Teknolojisi Anabilim Dalı | İmza |
| Üye : | Prof. Dr. Mehmet TOPALBEKİROĞLU
0000-0003-4345-8815
Gaziantep Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Tekstil Teknolojisi Anabilim Dalı | İmza |
| Üye : | Prof. Dr. Yıldray TURHAN
0000-0002-4547-9882
Pamukkale Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Tekstil Teknolojisi Anabilim Dalı | İmza |
| Üye : | Doç.Dr.Gülcan SÜLE
0000-0002-6014-0625
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Tekstil Teknolojisi Anabilim Dalı | İmza |
| Üye : | Dr. Öğretim Üyesi Gürsel ŞEFKAT
0000-0002-5286-0195
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Makine Teorisi ve Dinamiği Anabilim Dalı | İmza |

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü
27/032023

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

23/02/2023

İsmail Bayraktar

ÖZET

Doktora Tezi

TEKSTİL MAKİNELERİNDE ÇÖZGÜ SALMA VE KUMAŞ SARMA SİSTEMLERİ İÇİN SENSÖRSÜZ GERGINLIK VE HIZ KONTROL SİSTEMLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ **İsmail BAYRAKTAR**

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Teknolojisi Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr.Recep EREN

Bu doktora tezinde tekstil makine ve proseslerinde kullanılmakta olan geri beslemeli gerginlik ve hız kontrol sistemleri yerine sensörsüz gerginlik kontrol sistemleri ve açık döngü hız kontrol sistemlerinin kullanım olanakları araştırılmaktadır. Hedeflenen sonuçlara ulaşabilmek için 2 adet çözgü levendinden oluşan bir çözgü besleme ve sarma sistem prototipi tasarlanarak imal edilmiştir. Hem asenkron hem de servo motorun sensörsüz gerginlik kontrol sisteminde performanslarının araştırılabilmesi için leventlerden biri asenkron motor diğeri ise servo motor tarafından tahrik edilmektedir. Sensörsüz kontrol sistem performansını analiz etmek için 2 adet yük hücresi kullanılmıştır. Levent çaplarının lazer sensörler yerine daha düşük maliyetli bir sistemle belirlenmesi için çözgü uzunluğunu ölçen bir artımlı mil kodlayıcı (enkoder) ile levent devirlerini ölçen birer indüktif algılayıcı kullanılmış ve elde edilen sinyallerden levent çapları hesaplanmıştır. Karşılaştırma amaçlı olarak her bir levent çapı ayrıca lazer sensörlerle ölçülmüştür. Tüm sistem 2 adet USB arabirim kartı üzerinden bir dizüstü bilgisayara bağlanmış ve geliştirilen LabVIEW programı yazılımıyla kontrol algoritmaları çalıştırılarak performans testleri gerçekleştirilmiştir. 8 adet analog ve 3 adet dijital giriş sinyalleri bilgisayar tarafından okunurken 2 adet analog çıkış sinyali ile asenkron motor ve servo motorların tahriki gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde geri beslemesiz vektör kontrol yaklaşımını kullanan asenkron motor tahrikinin sensörsüz gerginlik kontrolü için uygun sonuçlar üretmediği, servo motor tahrikinin ise gerginliği %5 tolerans sınırları içinde kontrol edebileceği gösterilmiştir. Ayrıca lazer sensörü kullanmadan çözgü uzunluğu ve levent devir sayılarının ölçümü ile levent çaplarının %5'ten daha düşük bir hassasiyetle belirlenebileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kumaş sarma, çözgü salma, gerginlik kontrolü, hız kontrolü, sensörsüz gerginlik kontrolü

2023, viii + 108 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

**DEVELOPMENT OF SENSORLESS TENSION AND SPEED CONTROL SYSTEMS
FOR TAKE UP AND LET OFF SYSTEMS OF TEXTILE MACHINES**

İsmail BAYRAKTAR

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Textile Technology

Supervisor: Prof.Dr.Recep EREN

In this Phd thesis, the possibility of using sensorless tension control and open loop speed control systems are investigated to replace widely used feedback tension and speed control systems in textile machines and processes. A prototype set up consisting of winding and unwinding units with their warp beams were designed and manufactured to be able to reach the project goals. One of the beams was driven by an induction motor and the other by a servo motor to determine the performance of both motors in sensorless tension control sytem. A tension measuring unit including 2 load cells were added to the system to record and analyse the sensorless tension control system performance. Beam diameters were measured by laser sensors and also an encoder for measuring warp length and two inductive sensors for measuring beam revolutions were included to determine beam diameters by calculation method. All the control and sensor signals in the system were interfaced to a laptop computer via 2 USB data acquisition cards. A software was developed in LabVIEW program to execute control algorithms and collect data to analyse the performance of sensorless tension control system. 8 analog inputs and 3 digital inputs were continuously read and recorded by the computer and 2 analog output signals were produced to control the induction and servo motors. Analysing the recorded tension data showed that induction motor vector drive without feedback sensor produces no good result for sensorless tension control but tension can be controlled within %5 tolerans limits by a servo motor.

Keywords: Fabric take up, warp take up, tension control, speed control, sensorless speed control, sensorless tension control

2023, viii + 108 pages.

TEŞEKKÜR

Tez konusunun seçimi ve ęalıřmamın her aşamasında yakın ilgi ve desteğini gördüğüm; deneylerin yönlendirilmesi ve sonuçlandırılmasında büyük emeği geçen tez danışmanım sayın Prof. Dr. Recep EREN'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Tezin tüm sürecinde yanımda olan desteklerini esirgemeyen sevgili arkadaşlarım İbrahim GEZGİN ve Mohamad Yazan SADOON'a, ęizimlerde yardımını esirgemeyen sevgili kızım İrem BAYRAKTAR'a çok teşekkür ederim.

Hayatımın en güzel yıllarında yanımda olan ve yanımda olmaya devam eden eşim Özlem Baş BAYRAKTAR'a, bugünlere gelmemde emeği geçen rahmetli babam Mehmet Ali BAYRAKTAR'a ve çok yakın zamanda kaybettiğim sevgili annem Fatma BAYRAKTAR'a sonsuz teşekkür ederim.

İsmail BAYRAKTAR
23/02/2023

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
2.1. Tekstil Makinelerinin Sarma ve Salma Sistemlerinde Kullanılan Kontrol Yaklaşımları.....	2
2.2. Geri Beslemeli Otomatik Kontrol Sistemi Esasları.....	8
2.3. Gerginlik Kontrol Sistemlerinde Yaygın Olarak Kullanılan Tahrik Sistemleri.....	13
2.3.1. Servo motorlar.....	14
2.3.2. Asenkron (indüksiyon) motorlar.....	19
2.4. Sensörsüz Gerginlik Kontrol Sistemi Üzerine Yapılan Çalışmaların Özetleri.....	28
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	44
3.1. Materyal.....	44
3.2. Yöntem.....	53
3.2.1. Mekanik tasarım.....	53
3.2.2. Gerginlik sınırlayıcı tasarımı ve analizi.....	61
3.2.3. Gerginlik sınırlayıcısı imalatı ve sisteme monte edilmesi.....	69
3.2.4. Elektronik tasarım.....	71
3.2.5. Yazılım geliştirilmesi.....	75
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	81
4.1. Sensörsüz Gerginlik Kontrol Sistemi Performans Çalışmaları.....	80
4.2. Sarım Esnasında Levent Çapının Matematiksel Olarak Hesaplanarak Açık Döngü Hız Kontrol Sisteminde Kullanılması.....	95
5. SONUÇ.....	100
KAYNAKLAR.....	103
ÖZGEÇMİŞ.....	109

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

M_m	Elektrik akımı tarafından kontrol edilen manyetik frenleme momenti
K_i	İntegral etki katsayısı
K_p	Oransal etki katsayısı
e	Rotor üzerindeki herbir iletkende indüklenen gerilim
l	Rotor üzerindeki iletkenin manyetik alan tarafından kesilen uzunluğu
B	Statorda üretilen manyetik alan yoğunluğu
T	Toplam gerginlik
K_d	Türev etki katsayısı
r	Yarıçap

Kısaltmalar

Açıklama

AC	Alternatif akım
DC	Doğru akım
kgm^2	Kilogram metre kare
kW	Kilo Watt
N	Newton
PID	(Proportional Integral Derivative) oransal-integral-türevsel denetleyici
PI	(Proportional Integral) oransal-integral denetleyici

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Tekstil ve benzer endüstrilerde kullanılan çözgü, kumaş veya kağıt besleme besleme ve sarma sistem tipleri	3
Şekil 2.2.	Manyetik frenli açık döngü gerginlik kontrol sistemi.....	4
Şekil 2.3.	Manyetik frenli geri beslemeli gerginlik kontrol sistemi.....	6
Şekil 2.4.	Motor tahrikli silindirli geri beslemeli gerginlik kontrol sistemi.....	7
Şekil 2.5.	Bir geri beslemeli kontrol sisteminin blok diyagram gösterimi.....	10
Şekil 2.6.	Dokuma makinelerinde çözgü salma sistemine ait geri beslemeli gerginlik kontrol sisteminin basitleştirilmiş blok diyagramı	11
Şekil 2.7.	PID kontrol organının temel bileşenleri ve kontrol sinyalinin elde edilmesi.....	12
Şekil 2.8.	Üç fazlı fırçasız bir servo motorun basitleştirilmiş kesit görünüşü...	15
Şekil 2.9.	Fırçasız doğru akım motorunun basit devre şeması	17
Şekil 2.10.	Servo motora ait kontrol sistemi	18
Şekil 2.11.	Bir servo motor ile sürücü ve kontrol devresi	19
Şekil 2.12.	Sincap kafesli rotor yapısı.....	20
Şekil 2.13.	Asenkron motorlarda döner manyetik alanın oluşumu	21
Şekil 2.14.	Döner manyetik alanın rotor iletkenlerini kesmesi	22
Şekil 2.15.	Rotor iletkenlerinde dolaşan akım yönleri	23
Şekil 2.16.	Rotor üzerindeki iletkenlere motor prensibine göre kuvvetlerin etki Etmesi.....	24
Şekil 2.17.	Asenkron motor tork-hız eğrileri	26
Şekil 2.18.	Asenkron motorun rotor devre parametrelerinin stator tarafına yansıtıldığı eşdeğer devresi.....	27
Şekil 2.19.	Tahrik ve kontrol sistemi yapısı ve düzeneği	32
Şekil 2.20.	Beş motorlu şerit transfer ve sarım sistemi	36
Şekil 2.21.	Üç motorlu şerit besleme ve sarım sistemi deneysel düzeneği	37
Şekil 2.22.	Şerit besleme ve sarım düzeneği	38
Şekil 2.23.	Tülbent sarma ve besleme sistemi	41
Şekil 3.1.	Tasarlanan prototip ünitenin şematik görünüşü	44
Şekil 3.2.	Sensörsüz gerginlik kontrolü ve açık döngü hız kontrol sistemine ait detaylı şematik görünüş.....	45
Şekil 3.3.	Servo motor ve sürücüsü	48
Şekil 3.4.	AC motor ve sürücüsü	49
Şekil 3.5.	Sarım hızı ve uzunluğunun ölçümünde kullanılan artımlı mil kodlayıcı	50
Şekil 3.6.	Levent çapları ölçmede kullanılan lazer sensör	51
Şekil 3.7.	Gerginlik ölçümünde kullanılan yük hücresi ve kuvvetlendirici devresi	52
Şekil 3.8.	Prototip AUTOCAD tasarımı yandan görünüşü	53
Şekil 3.9.	Servo motor tahrikli leventlerin takıldığı ünite	54
Şekil 3.10.	Yay ile baskı kuvveti uygulamasına ait mekanik tasarımı	55
Şekil 3.11.	Leventin sarım ünitesini takılmış hali ve lazer sensörün durumu....	56
Şekil 3.12.	İpliğin geçtiği silindirler ve yük hücrelerinin konumu	57
Şekil 3.13.	Silindire etkileyen gerginliklerin oluşturduğu bileşke kuvvet	57
Şekil 3.14.	Gerginlik ölçme silindirinde etkileyen bileşke gerginlik kuvveti ile yük hücrelerine etkileyen yatak kuvvetleri.....	58
Şekil 3.15.	Artımlı mil kodlayıcı (enkoder) konumu	59

Şekil 3.16.	Asenkron motor tarafından tahrik edilen leventlerin devir sayılarını ölçen sensör tasarımları.....	60
Şekil 3.17.	İmalatı yapıp çözümlenen prototip üniteye ait fotoğraf görüntüleri	61
Şekil 3.18.	Gerginlik sınırlayıcısının en alt ölü konumu	63
Şekil 3.19.	Gerginlik sınırlayıcısının θ açısı kadar döndüğü hareketli konum	64
Şekil 3.20.	θ açısına bağlı olarak A ve B noktaları arasındaki çözümlenen uzunluğunun değişimi.....	64
Şekil 3.21.	Gerginlik ve ağırlık kuvvetinin gerginlik sınırlayıcı kola uyguladığı momentler.....	66
Şekil 3.22.	Ağırlık ve gerginlik kuvvetlerine ait momentlerin θ açısına göre değişimi (Gerginlik:100N)	67
Şekil 3.23.	Ağırlık ve gerginlik kuvvetlerine ait momentlerin θ açısına göre değişimi (Gerginlik:200N)	68
Şekil 3.24.	Ağırlık ve gerginlik kuvvetlerine ait momentlerin θ açısına göre değişimi (Gerginlik:300N)	69
Şekil 3.25.	Gerginlik sınırlayıcı tasarıma ait yandan görünüşü	70
Şekil 3.26.	Gerginlik sınırlayıcısının prototip ünite üzerindeki görünümü	70
Şekil 3.27.	Analog sinyallerin filtrelenmesinde kullanılan RC devresi	72
Şekil 3.28.	Dijital sinyallerin filtrelenmesinde kullanılan elektronik devreler.....	73
Şekil 3.29.	Analog ve dijital sinyallerin gürültü içeren ve filtrelenmiş durumları	73
Şekil 3.30.	National Instrument USB 6001 kartı	74
Şekil 3.31.	Bilgisayar ile sistem arasında veri alış verişi için kullanılan Advantech USB 4750 kartı.....	75
Şekil 3.32.	LabVIEW kontrol yazılımı	77
Şekil 3.33.	Gerginlik kontrol sistemi yazılımı	78
Şekil 3.34.	Tork kontrolünü esas alan sensörsüz gerginlik kontrolü yapan yazılım (servomotor tork kontrol modunda çalışıyor)	79
Şekil 3.35.	Tork kontrolünü esas alan sensörsüz gerginlik kontrolü yapan yazılım (AC motor tork kontrol modunda çalışıyor).....	79
Şekil 4.1.	AC motor boşta çalışmada tork-hız eğrisi (saat ibrelerinin tersi yönü)	81
Şekil 4.2.	AC motor boşta çalışmada güç-hız eğrisi (saat ibreleri tersi yönünde)	82
Şekil 4.3.	Servo motor boşta çalışmada tork-hız eğrisi (saat ibreleri tersi yönünde).....	82
Şekil 4.4.	AC motor boşta çalışmada tork-hız eğrisi (saat ibreleri yönü).....	83
Şekil 4.5.	AC motor boşta çalışmada güç-hız eğrisi (saat ibreleri yönü).....	83
Şekil 4.6.	Servo motor boşta çalışmada tork-hız eğrisi (saat ibreleri yönü).....	84
Şekil 4.7.	100 N istenen gerginlikle çalışmada dolu leventten boş levende kadar çözümlenen gerginliği değişimi.....	85
Şekil 4.8.	250 N gerginlikle çalışmada sarım çapına göre çözümlenen gerginliği değişimi	86
Şekil 4.9.	Servo motor leventinden AC motor leventine sarımda servo motor leventi moment dengesi.....	87
Şekil 4.10.	Kayıplara karşılık moment hesaba katılarak gerçekleştirilen tork kontrolünde gerginliğin veri sayısına (veya levent çapına) göre değişimi.....	88
Şekil 4.11.	100 N istenen gerginlikle çalışmada boş leventten dolu levende kadar çözümlenen gerginliği değişimi.....	89

Şekil 4.12.	250 N istenen gerginlikle çalışmada boş leventten dolu levende kadar çözgü gerginliği değişimi.....	90
Şekil 4.13.	AC motor levendinden servo motor levendine sarımda servo motor levendi moment dengesi.....	90
Şekil 4.14.	Kayıplara karşılık moment hesaba katılarak gerçekleştirilen tork kontrolünde gerginliğin veri sayısına (veya levent çapına) göre değişimi- 25 m/dak	91
Şekil 4.15.	Kayıplara karşılık moment hesaba katılarak gerçekleştirilen tork kontrolünde gerginliğin veri sayısına (veya levent çapına) göre değişimi- 25 m/dak	92
Şekil 4.16.	Levent çapına bağlı olarak çözgü gerginliği değişimi (50 m/dak-AC tork kontrol).....	94
Şekil 4.17.	Levent çapına bağlı olarak çözgü gerginliği değişimi (100 m/dak-AC tork kontrol).....	94
Şekil 4.18.	Kayıp tork ilave edildiğinde çözgü gerginliğinin levent çapına göre değişimi.....	95
Şekil 4.19.	Ölçülen ve hesaplanan sarım çapı eğrileri (servo motor levendine sarım).....	97
Şekil 4.20.	Ölçülen ve hesaplanan sarım çapı eğrileri (AC motor levendine sarım).....	98

1. GİRİŞ

Tekstil ve benzer endüstrilerde (örneğin kağıt endüstrisi) kumaş veya iplikler levent olarak isimlendirilen silindirler üzerine büyük çaplarda sarılır veya büyük çaplardan boşaltılır. Bu işlem esnasında, sarım hızının ve gerginliğin genellikle sabit olması arzu edilir. İşlem esnasında çaplar değişiklik gösterdiğinden gerek hız gerekse gerginlik kontrol sistemleri oluşturulurken, hız ve gerginlik ölçüm amaçlı sensörlerin kullanımı yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Ölçülen ve istenen değerler arasındaki farka göre çalışan geri beslemeli gerginlik ve hız kontrol sistemleri endüstride hakim olarak kullanılmaya gelmektedir.

Günümüzdeki teknolojik gelişmeler değişik türde tahrik sistemlerini daha hassas ve akıllı hale getirmiş bulunmaktadır. Tahrik sistemlerinde yaygın olarak kullanılan servo motorlar ve AC (asen kron) motorlar, ilgili sürücü devreleri ile birlikte tork veya güç kontrolüne olanak sağlayıp gerginlik kontrolü amaçlı da kullanılma potansiyeli oluşturmaktadır. Bu durumda yukarıda açıklanan sistemlerde kullanılan gerginlik kontrol sistemlerinin gerginlik ölçme sensörü kullanılmadan oluşturulması olanaklı hale gelmektedir.

Bu doktora tez çalışmasında tekstil (benzeri olarak kağıt ve çelik) endüstrisinde yaygın olarak kullanılan kumaş veya çözümlü sarma ve besleme sistemleri için sensörsüz gerginlik kontrol sistemi tasarlanarak asen kron ve servo motorların sensörsüz gerginlik kontrol sistemindeki performanslarının araştırılması hedeflenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

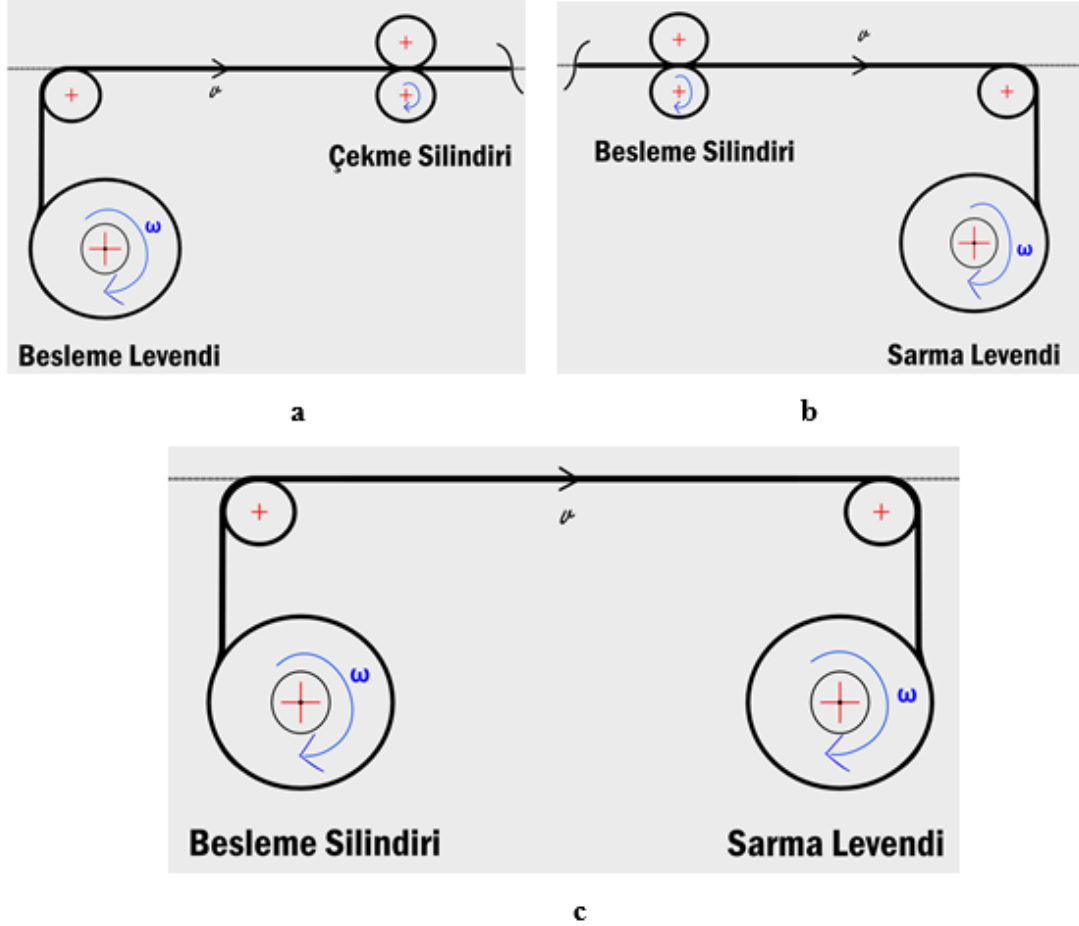
2.1. Tekstil Makinelerinin Sarma ve Salma Sistemlerinde Kullanılan Kontrol Yaklaşımları

Tekstil ve benzer endüstrilerdeki silindir veya leventlere sarma ve besleme sistemleri genel olarak incelendiğinde şekil 2.1’de görüldüğü gibi üç farklı tipte değerlendirilebilir. Şekil 2.1.a’da görülen sistemde çözü, kumaş veya kağıt sabit çaplı silindirler tarafından ayarlanan bir hızda çekilmekte olup levent veya silindirden boşalan kumaş, çözü veya kağıdın sarım çapı işlem esnasında azalmaktadır. Böyle bir sistemde istenen sağım hızı (teğetsel hız), çekme silindirlerinin hızı ayarlanarak belirlenmekte ve çekme silindirinin çapı sabit olduğundan işlem esnasında herhangi bir kontrol sistemi oluşturmadan açısız hız başlangıçta belirlenerek sabit tutulabilmektedir. Ancak gerginlik kontrolünün sağlanabilmesi için değişmekte olan sarım çapına karşılık levent veya sarım silindirinin açısız hızının gerginlik istenen değerde tutulacak şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu işlem endüstriyel uygulamalarda gerginliğin sürekli olarak ölçülüp istenen değere karşılaştırıldıktan sonra aradaki farka göre levent açısız hızının ayarlanması esasına göre yapılmaktadır.

Şekil 2.1.b iplik veya kumaşların gördükleri işlemlerden sonra çoğunlukla sabit hızla beslenip işlem esnasında çapı sürekli artan bir levent veya silindire sarılmasını göstermektedir. Burada sarım hızı (teğetsel hız), besleme silindirlerinin açısız hızını ayarlayarak ve bunu işlem boyunca sabit tutarak elde edilmektedir. Ancak sarım esnasında levent veya silindir çapı artış göstereceğinden, istenen gerginlikte sarım için leventin açısız hız değişimini esas alan bir gerginlik kontrol sistemi kullanmak gerekmektedir. Endüstriyel uygulamada bu sistem için gerginlik kontrolü, besleme silindirleri ile sarım silindiri (veya leventi) arasında gerginliğin ölçülüp geri beslemeli kontrol sistemi oluşturulması ile yapılmaktadır.

Şekil 2.1.c’de ise bir kumaş silindiri veya leventinden diğerine aktarma ve sarım sistemi görülmektedir. Bu sistemde hem çözü veya kumaşın beslendiği silindir hem de sarım yapılan silindir çapları işlem esnasında sürekli olarak değişim göstermektedir. Bu durumda, teğetsel hız ve gerginliği kontrol edebilmek için hem hız kontrol sistemi hem de geri beslemeli gerginlik kontrol sistemi oluşturulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin sarma silindirinin artan çapına bağlı olarak açısız hızını azaltarak teğetsel hız

kontrol edilir. Besleme silindirinin açsal hızını çapındaki azalmaya bağlı olarak ayarlayarak gerginlik kontrolü yapmak endüstriyel sistemlerde uygulanan bir kontrol yaklaşımı olarak göze çarpmaktadır.



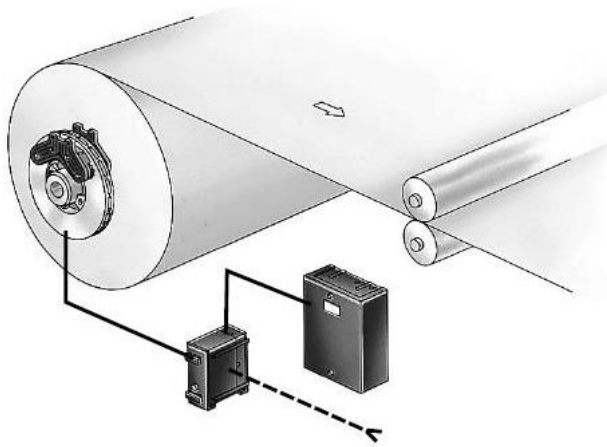
Şekil 2.1 Tekstil ve benzer endüstrilerde kullanılan çözü, kumaş veya kağıt besleme ve sarma sistem tipleri. a) Besleme levendinin çalışması. b) Sarma levendinin çalışması c) Besleme ve sarma levendinin birlikte çalışması

Tekstil makinelerinde çözü veya kumaş salma ünitelerinde uygulanan bir gerginlik kontrol yaklaşımı şekil 2.2’de görülmektedir. Bu yaklaşımda çözü veya kumaş, ayarlanan teğetsel hızda ön taraftaki sabit çaplı silindirler arasından çekilmektedir. Salınan kumaş veya çözü miktarına bağlı olarak silindir çapı sürekli olarak azalma göstermektedir. Şekildeki sistemde çözü veya kumaş tabakasının uyguladığı gerginlik ile silindir tahrik edilerek döndürülmekte, istenen gerginlik ise manyetik frenleme ünitesi tarafından uygulanan ters yöndeki frenleme momenti tarafından belirlenmektedir. Manyetik frenleme ünitesi, manyetik kuvvetin oluşturduğu sürtünme ile harekete ters

yönde moment oluşturacağı gibi manyetik tozlu (powder brake) fren kullanılarak doğrudan silindir miline ters yönde moment te oluşturabilmektedir. Bu durumda silindir dönüş yönüne zıt yönde etkiyen manyetik momentin değeri, fren sargılarına uygulanan akım ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Silindirin dönüşü esnasında ortaya çıkan sürtünme momentleri ve kullanılması durumunda hareket iletim sistemindeki dişli kayıpları ihmal edilirse, manyetik frenleme momenti ile toplam çözümlü veya kumaş gerginliği aşağıdaki formülle ifade edilebilir.

$$T = M_m/r \quad (2.1)$$

Bu denklemde T toplam çözümlü veya kumaş gerginliği (N), M_m elektrik akımı tarafından kontrol edilen manyetik frenleme momenti (Nm) ve r silindir yarıçapıdır (m).

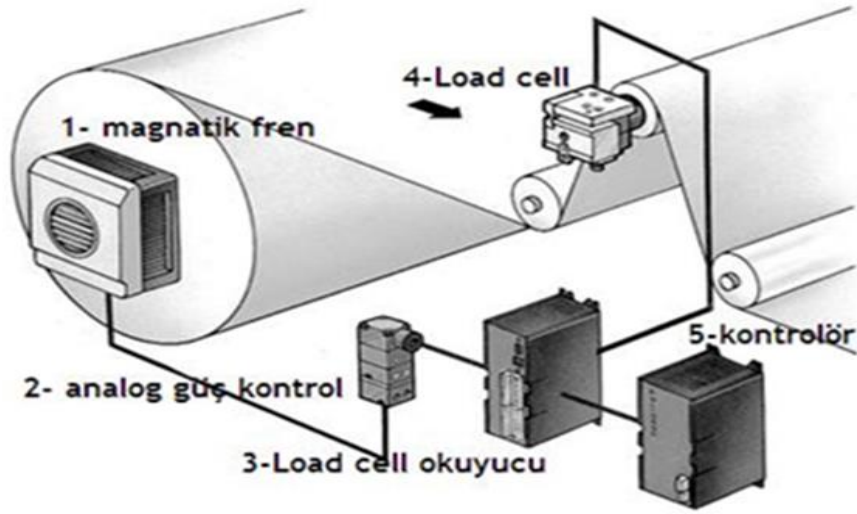


Şekil 2.2. Manyetik frenli açık döngü gerginlik kontrol sistemi
(http://www.inverter-plc.net/otomasyon/tansiyon_kontrol.htm,2021)

Bu yöntemle gerginlik kontrolünde, istenilen kontrol hassasiyetine bağlı olarak farklı tasarımlar oluşturmak ve uygulamak mümkündür. Şekil 2.2'deki yaklaşım açık döngü gerginlik kontrol yaklaşımı olup gerginlik ölçümü gerçekleştirilmemektedir. Frenleme momenti, yaklaşık olarak belirlenen kayıp torkun istenen gerginlikten hesaplanan torka ilave edilmesiyle belirlenir. Çaptaki değişime bağlı olarak frenleme momenti belirli zaman aralıklarıyla hesaplanarak manyetik frenleme ünitesinin akım değeri hesaplanır ve kontrolü gerçekleştirilir. Bu yaklaşım sarım çapındaki değişime bağlı olarak gerginlikte

meydana gelecek sapmaları önlemeye çalışmakla birlikte gerginlik ölçümü gerçekleştirilmediği için ancak yaklaşık bir gerginlik kontrolü yapma potansiyeline sahiptir. Hassas bir gerginlik kontrolü için gerginlik ölçme ve manyetik fren sisteminin kullanıldığı yaklaşım şekil 2.3'te görülmektedir.

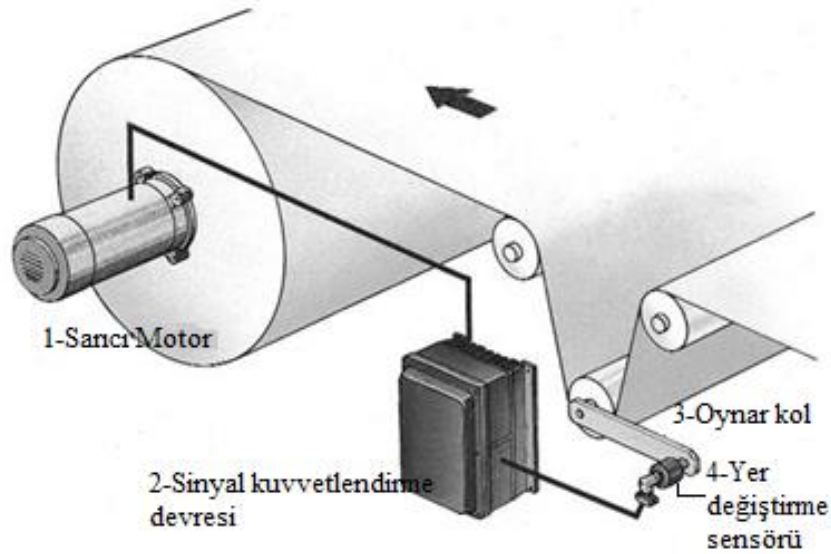
Şekil 2.3'te çözümlü veya kumaş tabakası kendi eksenleri etrafında serbestçe dönebilen 3 adet silindir etrafından dolanarak hareket etmektedir. Bu durumda, orta üst konumda yerleşik olan silindirin etrafından çözümlü veya kumaşın dolanma açısı besleme silindiri çapı değişse de aynı kalmaktadır. Orta silindirin iki taraftan yataklanmasında yatak tipi yük hücreleri kullanılmakta ve bu şekilde gerginlik ölçümü gerçekleştirilmektedir. Geri beslemeli kontrol sistemi yaklaşımına göre ölçülen gerginlik istenilen gerginlik ile karşılaştırılmakta ve aradaki farka göre akım kontrolü yapılarak manyetik frenin frenleme momenti ayarlanmaktadır. Bu işlem silindir boşalınca kadar tüm çap boyunca devam etmekte ve çaptan bağımsız olarak gerginliğin işlem boyunca aynı kalması sağlanmaktadır. Geri beslemeli gerginlik kontrol sisteminde kontrol organı olarak PID kullanılıp katsayıları ayarlanarak hassas bir kontrol işlemi gerçekleştirmek mümkündür. Manyetik fren olarak sürtünme ile frenleme momenti oluşturan disk tipi frenler veya manyetik tozlu frenler kullanılabilir. Her iki fren tipi de manyetik esasa göre çalışmakta olup frenleme momenti manyetik fren sargılarından geçen akım tarafından belirlenmektedir. Endüstride pnömatik pistonlarla kontrol edilen bant tipi frenleme tertibatları da kullanılmaktadır. Bu durumda pnömatik basınç ayarıyla frenleme miktarı, dolayısıyla gerginlik kontrolü yapılmaktadır.



Şekil 2.3. Manyetik frenli geri beslemeli gerginlik kontrol sistemi
(http://www.inverter-plc.net/otomasyon/tansiyon_kontrol.html,2021)

Manyetik frenli sistemler çözü veya kumaşın hareketine ters yönde frenleme momenti uygulayarak gerginlik kontrolü sağladığından tek yönlü çalışmaya uygun sistemlerdir. Ancak endüstride gerektiğinde ters yönde de hareket gerektiren uygulamalar bulunmaktadır. Böyle durumlarda manyetik frenler yerine değişik motor tiplerinin kullanılabilceği tahrik sistemleri uygulamada yer bulmaktadır. Günümüzde bu amaç için sürücü üniteli (inverter) AC motorlar ve servo motorlar yaygın olarak kullanılan tahrik sistemleridir. Şekil 2.4 böyle bir gerginlik kontrol sistemini göstermektedir. Bu sistemde gerginlik, çözü veya kumaş tabakası tarafından sebep olunan orta silindire ait yukarı aşağı hareketinin bir yer değiştirme sensörü kullanılarak algılanmasıyla ölçülmektedir. Gerginliğin artması durumunda silindir yukarı yönlü hareket edip kolun saat ibreleri yönünde dönmesine sebep olurken azalması durumunda silindir aşağı yönde hareket ederek kolun saat ibrelerinin tersi yönünde dönmesini sağlamaktadır. Bu açısal yer değiştirme, artımlı mil kodlayıcı (enkoder) veya yer değiştirme sensörü (indüktif algılayıcı) ile ölçülmektedir. İstenen bir gerginlik sağlandığı sürece, silindir konumunu değiştirmeyecek olup kontrol sistemi motorun aynı hızla dönmeye devam etmesini sağlayacaktır. Gerginliğin artıp kolu saat ibreleri yönünde dönmesi ve bu açısal hareketin sensörle algılanmasından sonra istenen sinyalden sapmaya bağlı olarak motor açısal hızı artırılarak gerginliğin istenilen seviyeye gelişi sağlanmaktadır. Gerginliğin azalması durumunda ise ters yöndeki kol hareketi ve istenen sinyalden negatif sapma, motor açısal

hızını azaltarak gerginliğin istenen seviyeye yükseltilmesini sağlamaktadır. Bu geri beslemeli gerginlik kontrol sisteminde kontrol organı olarak PID kullanımı yaygın bir uygulamadır. Endüstrideki birçok uygulamada gerginlik ölçümünde yük hücresi kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Yük hücresi ile gerginlik ölçümü için de şekil 2.4'te açıklandığı gibi üç silindirli sistem kullanılmakta ancak silindirler sadece dönme hareketi yapmakta ve gerginliğin orta silindire uyguladığı baskı, yük hücreleri tarafından gerginlik sinyaline dönüştürülmektedir. Besleme veya sarma silindirlerinin tahrikinde motor kullanılması, kumaş veya çözümlü sarmada silindir dönüş yönüyle aynı yönde ve salmada dönüş yönüne zıt yönde tahrik momenti üreterek gerginlik kontrolü gerçekleştirmeye olanak sağlamaktadır. Ayrıca silindirlerin tahrikinde AC motor ve sürücü ünitesi (inverter) yerine servo motor kullanılması daha hassas bir gerginlik kontrolü oluşturmakta ve kontrol sisteminin cevap hızının artmasını sağlamaktadır. Ancak bu durum servo motorun yüksek maliyetinden dolayı kontrol sistem maliyetini arttırdığından hassas kontrol gereken durumlarda kullanılmalıdır.



Şekil 2.4. Motor tahrikli silindirli geri beslemeli gerginlik kontrol sistemi (http://www.inverter-plc.net/otomasyon/tansiyon_kontrol.html,2021)

Yukarıda açıklanan kontrol sistem yaklaşımları haricinde özellikle elastikiyeti daha yüksek olan çözü ve kumaşların silindirden salınması durumunda çekme ve salma silindirlerinin teğetsel hızları arasındaki farkları kontrol ederek gerginlik kontrolü oluşturmakta mümkündür. Ancak bu durum daha ziyade sabit çaplı silindir sistemleri arasında kumaş veya çözü sevk edilirken pratik olmakta ve kullanılmaktadır.

Bu kontrol yaklaşımları kumaş veya çözü salma sistemleri içindir. Kumaş veya çözü sarma sistemlerinde gerginlik kontrolü benzer şekilde gerginlik ölçülerek geri beslemeli kontrol sistemi ile yapılmakta olup sarma silindirinin tahrikinde çoğunlukla AC motor veya servo motorlar kullanılmaktadır. Endüstride gerginlik sensörü kullanmadan motor tork karakteristiğini kullanarak gerginlik kontrolü gerçekleştirmek olanaklı olsa da tekstil sektöründe yaygın bir uygulama değildir. Ancak kağıt ve çelik sektörleriyle bant veya şerit sarma sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.2.Geri Beslemeli Otomatik Kontrol Sistemi Esasları

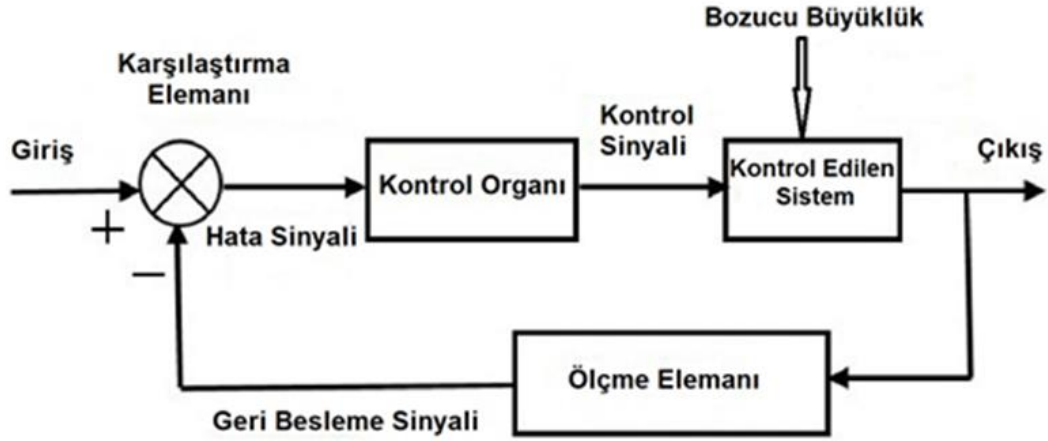
Geri beslemeli otomatik kontrol sistemleri özellikle günümüzde üretilen tekstil makinelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Artan üretim hızlarında bozucu büyüklüklerin etkisine rağmen kontrol edilen parametrenin istenen sınırlar içinde tutulabilmesi bu tür sistemlerin kullanımını zorunlu hale getirmektedir. Ancak geri beslemeli otomatik kontrol sistemlerinin oluşturulmasında ölçme sistemi ve ilave kontrol sistemleri bileşenlerinin kullanımı sistem maliyetinde artışa sebep olmaktadır. Sağlanan kontrol hassasiyetiyle ürün kalitesindeki artış bu maliyetin karşılanmasını sağlamaktadır.

Şekil 2.5 geri beslemeli bir kontrol sistemine ait blok diyagramı göstermektedir. Geri beslemeli otomatik kontrol sistemlerinin kullanılmasının esas sebebi, sistemlerde ortaya çıkan bozucu büyüklüklerin varlığı ve bu bozucu büyüklüklerin gerginlik, sıcaklık, hız, tork ve basınç gibi kontrol edilen parametrelerin istenen değerinde sapmaya sebep olmasıdır. Bozucu büyüklüklerin kontrol edilen parametrede sebep olduğu sapmanın giderilmesi üç farklı işlem adımıyla gerçekleştirilir. Aşağıda belirtilen bu üç işlem adımı geri beslemeli bir otomatik kontrol sisteminin temelini oluşturmaktadır.

- Kontrol edilen parametrenin ölçülmesi
- Ölçülen kontrol parametresinin istenen değerle karşılaştırılması

- İstenen ve ölçülen değerler arasında meydana gelen sapmaya göre düzeltme etkisinin oluşturulması ve uygulanması

Bir geri beslemeli kontrol sisteminin çalışması aşağıda gösterilen blok diyagramı ile açıklanabilir. Blok diyagramında dikdörtgen kutular içerisinde geri beslemeli kontrol sisteminin temel üniteleri veya bileşenleri gösterilirken, kutular arasındaki oklu çizgiler temel üniteler arasındaki sinyal dolaşımını göstermektedir. ‘Giriş’ ile kontrol edilen parametrenin istenen değeri veya bu değere karşılık gelen sinyal temsil edilmektedir. ‘Kontrol edilen sistem’, isminin de ifade ettiği gibi kontrol işleminin gerçekleştirildiği sistemi veya ortamı temsil etmektedir. ‘Çıkış’, kontrol edilen parametrenin herhangi bir andaki gerçek değerini temsil etmektedir. ‘Ölçme elemanı’, kontrol edilen parametreyi sürekli olarak ölçen bir sensör veya algılayıcıdır. ‘Karşılaştırma elemanı’ ise kontrol edilen parametrenin istenen ve ölçülen (gerçekleşen) değerleri arasındaki farkı alan ünitelerdir. Günümüzde dijital elemanların kullanıldığı kontrol sistemlerinde, mikroişlemci ile fark alma işlemi gerçekleştirilerek karşılaştırma elemanı oluşturulmaktadır. Daha önce kullanılan analog sistemlerde ise karşılaştırma işlemi, işlemsel kuvvetlendiriciler ile gerçekleştirilmekteydi. Mekanik, pnömatik ve hidrolik olarak kontrol edilen sistemlerde karşılaştırma elemanı da mekanik, pnömatik ve hidrolik elemanlardan oluşmaktadır. Kontrol organı, bir geri beslemeli kontrol sisteminin kalbi olarak isimlendirilebilmekte olup kontrol sistemi performansı üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Çok değişik şekillerde lineer ve lineer olmayan yapılarda tasarlanıp uygulanabilmektedir. En yaygın olarak kullanılan ve katsayılarının uygun seçilmesiyle en uygun performansın elde edilebileceği kontrol organı PID (orantı + integral + türev) olup orantı, integral ve türev etkilerin katsayılarla belirlenen katkılarının toplamı ile ifade edilmektedir.

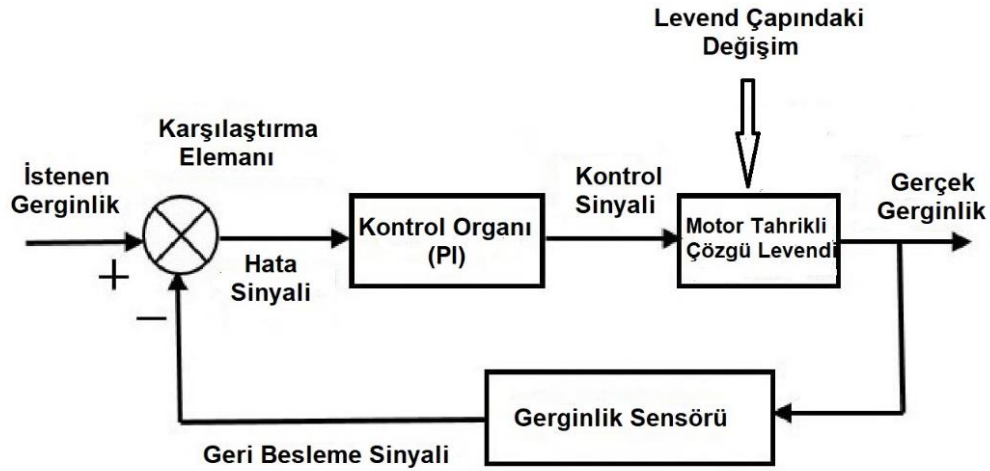


Şekil 2.5. Bir geri beslemeli kontrol sisteminin blok diyagram gösterimi

‘Hata sinyali’, kontrol edilen parametrenin istenen ve ölçülen değerleri arasındaki farktır. ‘Kontrol sinyali’ ise hata sinyali üzerinde kontrol organı tarafından uygulanan işlemler sonucu elde edilen sinyal olup kontrol edilen sisteme uygulanarak düzeltme işleminin yapılmasına sebep olmaktadır. Geri beslemeli kontrol sinyali, sensör tarafından ölçülen ve sensörden elde edilen çıkış sinyalidir. ‘Bozucu büyüklük’ geri beslemeli kontrol sistemi kullanmanın temel sebebi olup işlem esnasında kontrol edilen parametreyi sürekli olarak istenen değerden saptırmaya çalışır. Örneğin bir laboratuvar sıcaklık kontrol sisteminde değişen dış ortam sıcaklığı bir bozucu büyüklük olup dışarıdan laboratuvara ısı transferi dolayısıyla sürekli olarak laboratuvar sıcaklığını değiştirmeye çalışmaktadır. Benzer şekilde dokuma makinasındaki çözümlü salma sisteminde işlem esnasında levant çapındaki değişim bir bozucu büyüklük olup gerginlikte sürekli olarak değişime sebep olmaktadır. Bir elektrik motorunun geri beslemeli hız kontrol sisteminde ise yük momentindeki değişimler bozucu büyüklükler olup motor hızında değişime sebep olmaktadır. Geri beslemeli kontrol sisteminde ölçme, karşılaştırma ve düzeltme eylemlerinden oluşan işlemler analog sistemlerde sürekli, dijital sistemlerde ise sistemin ihtiyacına göre belirlenen kısa zaman aralıklarıyla tekrar edilerek bozucu büyüklüklerinin etkisi giderilmeye çalışılmaktadır.

Şekil 2.6 dokuma makinalarında bir çözümlü salma mekanizmasına ait geri beslemeli gerginlik kontrol sisteminin basitleştirilmiş blok diyagramını göstermektedir. Çözümlü levanti tahrik sistemi servo motor ve dişli sisteminden oluşmakta olup kontrol edilen

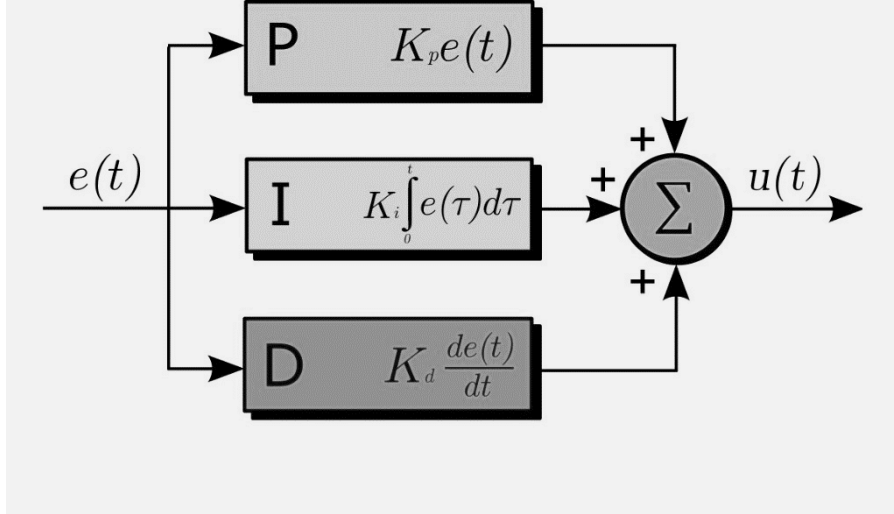
sistem servo motor, dişli ünitesi, çözümlendi ve servo motor sürücü devrelerinden meydana gelmektedir. Gerginlik ölçümü için çoğunlukla arka köprüde yük hücresi veya yer değiştirme esaslı gerginlik ölçme sensörü kullanılmaktadır. Kontrol bilgisayarı makine çalışmaya başlamasından itibaren gerginlik sensöründen gelen gerginlik sinyalini sürekli olarak okumakta ve istenen gerginlik değeri ile karşılaştırmaktadır. Aradaki fark hata sinyalini oluşturmakta ve hata sinyali orantı + integral etkiler sonucunda kontrol organında 0-10 volt arasında değişen kontrol sinyaline dönüştürülmektedir. Servo motor sürücü devresine bu sinyal hız kontrol sinyali olarak uygulanarak motor hızı dolayısıyla leventten çözümlenin besleme hızı (teğetsel hız) ayarlanmakta ve gerginlikteki sapmalar bu şekilde giderilmektedir. Bu işlem her makine devrinde dolu leventten boş levente kadar tekrar edilerek levent boşalana kadar devam etmektedir. Çalışma esnasında çözümlen boşaldıkça levent çapındaki değişim (azalma) bozucu büyüklük olup çözümlen gerginliğinde artışa sebep olmaktadır. Bu artış sensör tarafından algılanarak levent açılma hızı ayarlanmakta ve dolu leventten boş levente kadar levent çapındaki azalmaya karşılık açılma hızı aynı oranda artırılarak çözümlen gerginliğinin işlem boyunca istenen değerde tutulması sağlanmaktadır.



Şekil 2.6. Dokuma makinelerinde çözümlen salma sistemine ait geri beslemeli gerginlik kontrol sisteminin basitleştirilmiş blok diyagramı

Şekil 2.7 endüstride en yaygın olarak kullanılan PID kontrol organının temel bileşenlerini ve kontrol sinyali oluşumunu göstermektedir. Karşılaştırma elemanından gelen hata sinyali orantı, integral ve türev etkilerine maruz kalmakta ve ayrı ayrı elde edilen oransal, integral ve türev işlemleri çıkış sinyalleri toplanarak kontrol sinyali oluşturulmaktadır.

Oransal etki, hata sinyalini K_p katsayısı ile çarparak çıkış sinyali oluşturmaktadır. İntegral etki, hata sinyalini sürekli olarak toplamakta (integralini almakta) ve K_i sabiti ile çarparak çıkış sinyalini oluşturmaktadır. Türev etki ise hata sinyalinin birim zamandaki değişimini (türevini) alıp K_d katsayısı ile çarparak çıkış sinyalini meydana getirmektedir. Bu üç çıkış sinyali denklem 2.2’de verildiği gibi toplanarak $u(t)$ kontrol sinyali oluşturulmaktadır.



Şekil 2.7. PID kontrol organının temel bileşenleri ve kontrol sinyalinin elde edilmesi

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d de(t)/dt \quad (2.2)$$

Yukarıdaki denklemden de görüldüğü gibi K_p , K_i ve/veya K_d katsayılarından bir veya ikisi sıfır yapılarak kontrol organı daha basit şekle getirilebilir. Bu durum kendini doğrudan geri beslemeli kontrol sistemi performansına yansıtacağı için seçim yapılırken dikkatli olunmalıdır. K_i ve K_d nin sıfır olması durumunda oransal kontrol organı elde edilmekte olup bu durumda istenen değer ile gerçekleşen değer arasında bir sapmanın olması kaçınılmaz olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sapmaya kalıcı durum hatası denir ve oransal kontrol organı ile geri beslemeli bir kontrol sisteminin çalışması için zorunlu olan bir hatadır. Bu hatayı küçültmek için, yani gerçek değer istenen değere yaklaşabilmesi için oransal kontrol kazancını (K_p) büyütmek gerekmektedir. Ancak K_p nin büyümesi kontrol sistemini kararsız çalışmaya götürmekte olup istenildiği gibi arttırılamamaktadır. Kararsız çalışmaya gitmeden en düşük kalıcı durum hatasını verecek bir oransal kazanç tercih edilmelidir. İntegral kontrol hata sinyalinin sürekli olarak toplamını aldığından

kalıcı durum hatasını sıfırlayarak geri beslemeli kontrol sisteminin çalışmasına olanak sağlamaktadır. Ancak integral kazanç değerini (K_i) arttırmak kontrol sistemini kararsız çalışmaya götüreceğinden kazanç değerinin pratik açıdan kabul edilebilir kontrol performansına göre ayarlanması gerekmektedir. Gerek oransal gerekse integral kazancının artması düzeltme etkisini artırıp istenen değere çok daha kısa sürede ulaşmaya olanak sağlarken kararsız çalışmaya götürebilmektedir. Hem hızlı cevap hem de kararlı çalışma istenen durumlarda kontrol organına türev etkinin ilave edilmesi kararsız çalışmaya karşı önlem olarak kullanılabilir. Türev kontrol organı hata sinyalinin birim zamandaki değişimini yani türevini aldığından sapma, istenen değerden çok fazla uzaklaşmadan hızlı değişen sinyallerde yüksek sönümleme etkisi yapmaktadır.

PID kontrol organı için açıklanan üç farklı etki birbirine zıt yönde değişen sonuçlar ortaya çıkarmakta ve bir kontrol sistemi için ideal bir kontrol sinyali için toplamı ile elde edilmektedir. Ancak özellikle dikkat etmek gerekir ki PID kontrol organı kullanılırken en uygun kontrol organı performansı için oransal (K_p), integral (K_i) ve türev (K_d) etki katsayılarının doğru olarak seçilmesi gerekmektedir. Kontrol sistem yapısının daha iyi anlaşılması ve fiziksel davranışı hakkında ayrıntılı bilgi edinilmesi PID kazançlarının en uygun değerler olarak belirlenmesine yardımcı olacaktır.

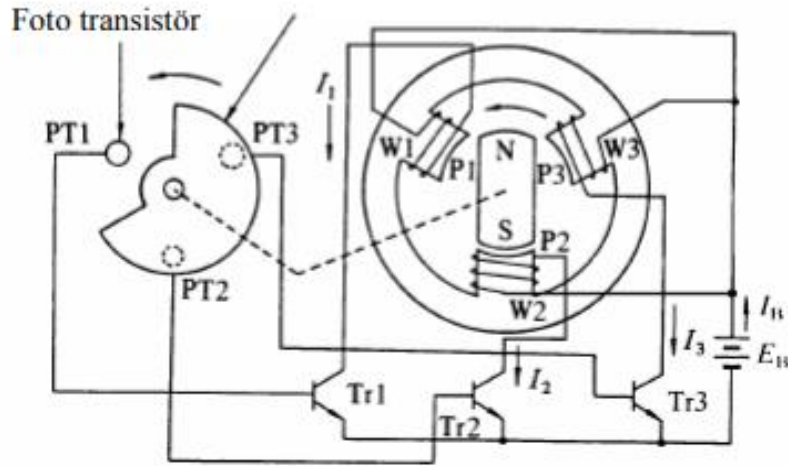
2.3.Gerginlik Kontrol Sistemlerinde Yaygın Olarak Kullanılan Tahrik Sistemleri

Endüstride gerginlik kontrol sistemlerinde en yaygın olarak kullanılan tahrik elemanları indüksiyon motorları (asen kron AC motorlar) ve servo motorlardır. Sürücü devreleriyle birlikte AC motorlar uygun maliyetle hız-gerginlik ve/veya tork kontrolü gerektiren uygulamalarda kullanılırken servo motorlar yüksek maliyetinden dolayı daha yüksek kontrol hassasiyeti gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedir. Aşağıda servo motor ve asen kron motorların çalışma prensipleri açıklandıktan sonra eşdeğer devre modelleri gösterilmekte ve ürettikleri tahrik momenti (tork) ile moment-hız denklemleri çıkarılarak açıklanmaktadır.

2.3.1.Servo motorlar

Servo motorlar endüstride hassas hız, pozisyon ve tork kontrolüne ihtiyaç duyulan uygulamalarda kullanılmaktadır. 0,1 kW'tan 10 kW ve üzeri güçlere kadar geniş bir aralıkta üretilen servo motorlar; motor, motor miline monte edilen hız veya pozisyon ölçme sensörü, karşılaştırma veya kontrol organı ile sürücü devresinden oluşmakta olup tüm üniteleriyle birlikte bütün olarak satın alınıp kullanılmaktadır. Diğer motor tiplerinde olduğu gibi bir sürücü ve kontrol devresi farklı üreticilerin motorlarıyla birlikte kullanılamamaktadır. Servo motorların yüksek performansı esas olarak çabuk hızlanma veya yavaşlama (kısa geçiş periyotları), çalışma esnasında çok çok küçük tork dalgalanmaları dolayısıyla oldukça stabil bir çalışma hızı ile yüksek hız, pozisyon ve tork kontrolü hassasiyeti ile açıklanmaktadır. Bir hızdan diğerine geçişin kısa bir zamanda yapılabilmesi, rotor eylemsizlik momentinin diğer motor tiplerine nazaran çok daha düşük değerler alacak şekilde tasarlanmasıyla mümkün olmaktadır. Bu sonuç rotor üretiminde kullanılan malzemelerin daha hafif olması yanında daha ince ve uzun bir şekilde rotor tasarımı yapılarak gerçekleştirilir. Genel olarak elektronik devrelerle birlikte motor kontrol sistemlerinin optimum tasarımıyla yüksek hız, pozisyon ve tork hassasiyeti elde edilmektedir. Servo motorlar uzun zamandan beri tekstil endüstrisinde hız ve gerginlik kontrolünde kullanılmaktadır. Eskiden beri fırçalı doğru akım motor prensibi esas alınarak tasarlanıp üretilen fırçalı servo motorlar yerini büyük ölçüde son 20-30 yılda yaygınlaşan fırçasız servo motorlara bırakmıştır. Fırçasız servo motorlar, konvansiyonel DC motorlarda kullanılan kolektör fırça sistemini içermediğinden kıvılcımlardan dolayı ortaya çıkan tehlike ve bakım sorunlarından arındırılmıştır. Şekil 2.8'de bir fırçasız servo motorun kesit görünüşü gösterilmektedir. Fırçasız servo motorlar rotorunda iki, dört veya altı kutup içerecek şekilde daimi mıknatıslı bir yapıya sahiptir. Statorda ise AC motorlarda olduğu gibi sargılar bulunmaktadır. Statordaki sargı sayısı (faz sayısı) iki, üç gibi sayılar olmaktadır. Üç fazlı servo motorlar oldukça yaygın olan bir kullanıma sahiptir. Şekilde W1, W2 ve W3 statora sarılmış 3 adet faz sargısını göstermektedir. Fazlar arasında 120 şer derece açısız farklılık bulunmaktadır. Faz sargıları birbirinden bağımsız olarak gerilimlerle beslenmektedir. Tr1, Tr2 ve Tr3 faz sargılarından akım geçişini veya kesilmesini kontrol eden güç transistörleri olup transistörlerin aktif veya pasif hale getirilmeleri daimi mıknatıslardan oluşan rotor mili pozisyonunu ölçen foto transistörlerle sağlanmaktadır. Şekilde rotor saat ibreleri tersi yönünde dönerken W1

sargısından akım geçip mıknatıslanma oluşmakta ve rotora birinci faza doğru saat ibreleri tersi yönünde dönecek şekilde bir tork uygulanmaktadır. Rotor birinci faza yaklaşırken birinci faz sargısındaki akım kesilip ikinci faz sargısına verilmekte ve rotora ikinci faz sargısıyla aynı hizaya gelecek şekilde yine saat ibreleri tersi yönünde bir tork uygulanmaktadır. Daha sonra ikinci fazdan akım kesilerek üçüncü faza akım verilince oluşan mıknatıslanmadan dolayı rotor üçüncü faza doğru çekilir. Bu işleme devam edilerek rotorun saat ibrelerini tersi yönünde dönmesi sağlanır. Eğer fazlara akım $W_1, W_2, W_3, W_1, W_2, W_3, \dots$ sırasıyla değil de $W_1, W_3, W_2, W_1, W_3, W_2, \dots$ sırasıyla verilirse tork saat ibreleri yönünde etki edeceğinden rotorun saat ibreleri yönünde döndürülmesi sağlanır. Pratikte fazlara akım çiftler halinde verilerek daha yüksek tork üretimi gerçekleştirilmektedir (Kuzer,2006).



Şekil 2.8. Üç fazlı fırçasız bir servo motorun basitleştirilmiş kesit görünüşü (Kuzer,2006).

Yukarıdaki açıklama incelendiğinde fırçasız bir servo motorun çalışma prensibinin senkron veya adım motorlarına benzediği görülmektedir. Ancak arada temel bir fark bulunmaktadır. Adım motorları ve senkron motorlarda fazlara akım verme işlemi zaman esaslı olurken (değişen frekanslarda kare dalga ve sinüs eğrisi şeklinde) servo motorlarda fazlara akım verme veya motor tahriki rotor milinin dönüş açısına veya rotor mili pozisyonuna bağlı olarak yapılmaktadır. Bunun sonucu olarak servo motorlarda adım motorlarındaki gibi hareket kaybetme (adım kaybetme) ve senkron motorlardaki gibi senkronizasyon problemi dolayısıyla motorun stabil olarak çalışmaması gibi sorunlar

yaşanmamaktadır. Motorun hızı arttırılmak istenildiğinde fazlara daha büyük bir gerilim uygulanmaktadır.

Servo motorlarda foto transistör ünitesi fazlara kademeli olarak akım verme amacıyla tasarlanmış bir pozisyon belirleme ve buna göre transistörleri aktif hale getirme sistemidir. Bu türlü tahrik yapısına sahip fırçasız servo motorlara fırçasız DC servo motorlar denilmektedir. Alternatif olarak rotor miline takılan bir artımlı mil kodlayıcı veya çözümleyici (rezolver) ile mil pozisyonu çok küçük artımlarla ölçülüp 3 adet faz sargısına rotor mili pozisyonuna göre sinüs eğrisi şeklinde değişen akım besleme sağlanarak servo motor tahriki de yapılmaktadır. Bu yaklaşım daha yaygın olarak kullanılmakta ve bu tür servo motorlara fırçasız AC servo motorlar denilmektedir.

Fırçasız Servo motorlarda motor tarafından üretilen tork, bir sabit ile faz sargılarına beslenen akımın çarpımına eşittir ve aşağıdaki gibi yazılabilir (denklem 2.3). Bu denklemde T motor tarafından üretilen tork, i stator sargılarından geçen akım ve K_t tork sabitidir.

$$T = K_t i \quad (2.3)$$

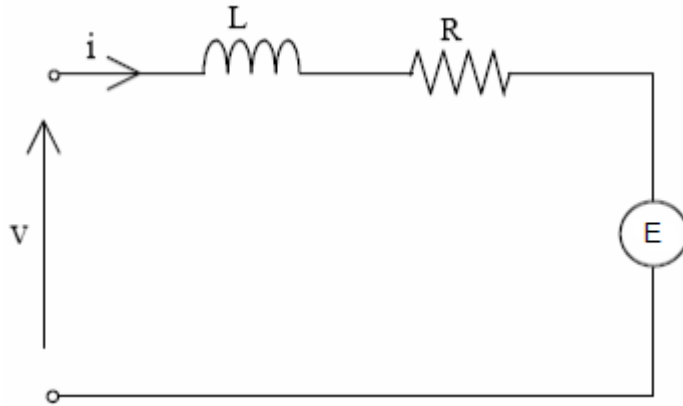
Bu denklem fırçalı doğru akım motorlarının tork-akım denklemi ile aynıdır. K_t değerleri servo motor üretici firmaların bilgi notlarından temin edilebilmektedir. Dolayısıyla bir fırçasız servo motorda tork kontrolü, esasında doğrusal ilişkiden dolayı akım kontrolü ile kolayca uygulanabilmektedir. Bir fırçasız servo motora ait eşdeğer elektrik devresi şekil 2.9'da verilmektedir. Bu devre için temel denklemler aşağıdaki gibi yazılabilir. Bu denklemlerde V stator sargılarına uygulanan gerilim, R stator sargı direnci, i akım, L stator sargı indüktansı, E stator sargılarında indüklenen gerilimi, K_e indüklenen gerilim katsayısı ve ω rotor açısal hızını temsil etmektedir.

$$V = R i + L \frac{di}{dt} + E$$
$$E = K_e \omega$$
$$V = R i + L \frac{di}{dt} + K_e \omega \quad (2.4)$$

$T = K_t \cdot i$ denkleminde $i = T/K_t$ yazılabilir. Yukarıdaki denklemde i 'nin eşiti yerine yazılır, $di/dt=0$ alınırsa servo motor tarafından üretilen tork ve motor hızı arasında aşağıdaki ilişki yazılabilir.

$$\omega = \frac{V}{K_e} - \frac{RT}{K_t K_e} \quad (2.5)$$

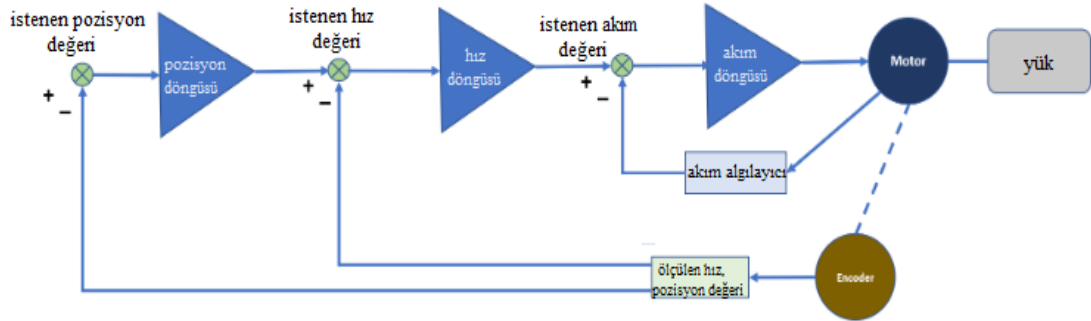
Bu denklemde besleme gerilimi (V) sabit olduğunda R, K_e ve K_t de sabit olduğundan artan torka bağlı olarak açısal hızda doğrusal olarak bir azalma görülmektedir. Azalma oranı K_e ve K_t sabitlerinin değerlerine bağlı olarak değişmektedir. Bu denklem DC besleme gerilimine sahip fırçasız servo motorlar için geçerlidir. Bu yüzden DC besleme gerilimli fırçasız servo motorlar fırçasız DC servo motorlar olarak isimlendirilmektedir. Üç fazlı servo motorlar rotor mili pozisyonuna bağlı olarak sinüs eğrisi şeklinde değişen akımlarla beslenmektedir. Bu durumda da tork-akım ilişkisi ve tork-hız eğrileri yukarıda denklem 2.3 ve 2.5 ile verilenlerle aynı olup K_t ve K_e katsayıları farklılık göstermektedir.



Şekil 2.9. Fırçasız doğru akım motorunun basit devre şeması (Kuzer,2006)

Servo motorlar kontrol ve sürücü devreleriyle birlikte üretilerek bir geri beslemeli kontrol sistemi oluşturmaktadır. Servo motorlar ile oluşturulan bu geri beslemeli kontrol sistemi pozisyon, hız ve tork kontrol sistemleri olarak çalıştırılabilmektedir. Şekil 2.10 bir servo motora ait kontrol sisteminin yapısını şematik olarak göstermektedir. Servo motor sisteminde tahrik elemanı olarak servo motor kullanılmaktadır. Geri besleme sinyali imalat esnasında motor miline monte edilen bir artımlı mil kodlayıcı veya çözümleyiciden (rezolver) elde edilen hız ve/veya pozisyon sinyali olarak karşılaştırma elemanına

beslenmektedir. Şekilde pozisyon döngüsü, hız döngüsü ve akım döngüsü olarak ifade edilen üçgen şekilli üniteler pozisyon, hız ve akım kontrolüne yönelik kontrol organı ve sürücü devrelerini içermektedir. Geri beslemeli akım kontrolü sistemi esasında tork kontrolü gerçekleştirilmektedir. Yukarıda açıklandığı gibi tork, akımın bir sabitle çarpımından elde edildiğinden akım kontrolü uygulamada tork kontrolü olarak çalıştırılmaktadır. Bir servo motor sisteminde motorun hangi kontrol şekliyle çalışacağı seçilerek sistemin çalışması sağlanmaktadır. Bazı uygulamalarda çalışma esnasında belirli bölümlerde servo motor tork kontrolü sistemi olarak çalışırken bazı bölümlerde hız ve bazı bölümlerde pozisyon kontrol sistemiyle çalıştırılabilmektedir.



Şekil 2.10. Servo motora ait kontrol sistemi

(<https://www.kollmorgen.com/tr-tr/blogs/servo-motorlar-nasil-calisir,2020>)

Servo motorlarda yapılan hız, pozisyon ve tork kontrolünün yanında motor çalışmasına ait bazı verilerin çıkış sinyali olarak sürücüdenden alınması da söz konusudur. Bu veriler motor tarafından üretilen tork, servo motorun çalışma hızı vb. parametrelerdir. Bu çıkış sinyalleri tork ve hızın karşılığı olarak 0-10 volt arasında değişen analog sinyaller olarak sürücü çıkışına verilmekte ve istenildiğinde bir veri toplama ve kontrol sistemiyle anlık olarak okunup kaydedilebilmektedir. Şekil 2.11 bir servo motor ve sürücü ünitesini göstermektedir.



Şekil 2.11. Bir servo motor ile sürücü ve kontrol devresi (<http://www.gdkotomasyon.com/s3/urunler/urun-kategori-1/servo-sistemleri,2016>)

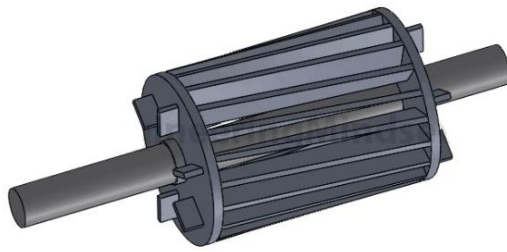
2.3.2. Asenkron (İndüksiyon) motorlar

Asenkron motorlar dünyada en yaygın olarak kullanılan ve en fazla üretilen motor tipi olup alternatif gerilimle çalışmaktadır. Üç fazlı gerilim hattının olmadığı sanayi dışı yerlerde (örneğin konutlar) alternatif gerilimle çalışan tek fazlı tipleri kullanılmakta olup üç fazlı olanlar esas olarak endüstriyel makinalarda ve sistemlerde kullanılmaktadır. Yapı olarak basit ve düşük maliyetli olmasından dolayı eskiden beri özellikle hız değişiminin gerekli olmadığı sabit hız uygulamalarında kullanılırken günümüzde hem sabit hız hem de hız kontrolü gerektiren değişken hız uygulamalarında büyük bir yaygınlıkla kullanılmaktadır. Değişken hız uygulamalarında fırçalı doğru akım motorlarının yerine özel uygulamalar haricinde tamamen geçmiş bir motor tipidir. Hız, pozisyon ve tork kontrolü uygulamalarında rahatlıkla kullanılabilen asenkron motorlar yüksek kontrol hassasiyeti gereken durumlarda yerini servo motorlara bırakmaktadır.

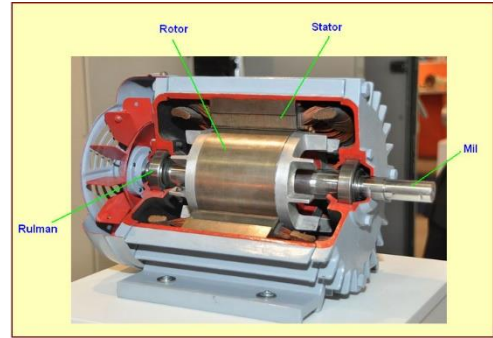
Aşağıda üç fazlı bir asenkron motorun çalışma prensibi açıklanacaktır. Asenkron motorlarda statorda 120 mekanik derece aralıklarla sarılmış 3 adet faz (sargı grubu) bulunmakta ve bu sargılar, aralarında 120 şer elektriki derece faz farkı olan sinüs eğrisi şeklinde değişen alternatif gerilimle beslenmektedir. Şekil 2.12 asenkron motorun stator ve rotor yapısını göstermektedir. Şekildeki stator yapısı 120 derece aralıklarla konumlanmış 3 adet sargı barındırmakta ve iki kutuplu olarak değerlendirilmektedir. Asenkron motorlarda sargılar 60 derece aralıklarla sarılıp stator çevresinde iki defa tekrar ederse dört kutuplu sarım oluşmuş olur. Benzer şekilde asenkron motor stator yapısı altı, sekiz, on, on iki kutuplu olacak şekilde sarılıp üretilmektedir. Rotor yapısı ise sincap

kafesli ve sargılı rotor olmak üzere iki çeşittir. Sargılı rotor yapısı büyük güçlerde üretilen asenkron motorlarda kullanılırken sincap kafesli rotor yapısı büyük güçlere kadar tüm asenkron motor tiplerinde kullanılan rotor yapısıdır. Şekil 2.12.b’de sincap kafesli bir rotor yapısı görülmektedir.

Sincap kafesli rotor yapısı, bir ferromanyetik gövde içerisinde şekil 2.12.a’daki gibi iki taraftaki kısa devre iletken halkaların çevresel olarak konumlanması ve iki halkayı birbirine bağlayan iletken çubuklar yerleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Şekil 2.12.b’de görüldüğü gibi rotor ferromanyetik bir malzemeden yapılmış silindirik yapıda olup 2 adet kısa devre halkası ve iletken çubuklar dışarıdan görünmemektedir. Rotor bu yapısından dolayı sincap kafesli olarak isimlendirilmektedir. Dolayısıyla sincap kafesli rotora dışarıdan bir gerilim kaynağından elektrik enerjisi beslenmemektedir.



a



b

Şekil 2.12. Sincap kafesli rotor yapısı. a) Dış görünüşü b) İç görünüşü (<http://www.automationtr.com/asen-kron-makinalarinin-kumandasinda-plc-kullanimi.html>,2021)

Aralarında 120 şer mekanik derece olan 3 adet faz sargısına aralarında 120 şer elektriki derece faz farkı olan 3 adet alternatif gerilim uygulandığında, faz sargılarına dik doğrultudaki eksen üzerinde zamana göre sinüs eğrisi formunda değişen 3 adet manyetik alan oluşur. Bu 3 adet manyetik alan vektörünün bileşkesi alındığında genliği sabit pozisyonu ise bir periyotluk sinüs eğrisi değişiminde 360 derecelik dönüş karşılık gelecek şekilde belirlenir. Bu durum iki kutuplu sargı için geçerlidir. Şekil 2.13 bir sinüs eğrisi periyodunun 60 derece aralıklarla çizilmiş başlangıç dahil 7 adet konumuna ait stator manyetik alanının pozisyonunu göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi 60

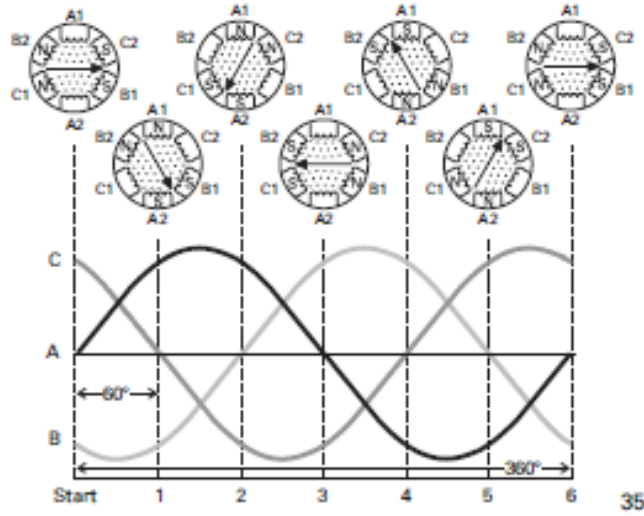
derecelik aralıklarla gerilim sinüs eğrisi pozisyonlarına karşılık 360 derecenin 60 şar derecelik pozisyonlarında konumlanan genliği sabit bir manyetik alan vektörü oluşmaktadır. Dolayısıyla asenkron motorlarda faz sargılarına üç fazlı alternatif gerilim uygulandığında, genliği sabit döner bir manyetik alan meydana gelmektedir ve bu döner manyetik alanın dönüş hızına senkron hız ismi verilmektedir. 50 Hz şebeke gerilimi ile beslenen iki kutuplu bir asenkron motorda senkron hız yani manyetik alanın dönüş hızı $60 \times 50 = 3000$ d/dak olmaktadır. Kutup sayısının ikinin katları olacak şekilde artması durumunda senkron hız aşağıdaki formülden hesaplanabilir.

$$n_s = 120 \frac{f_e}{P} \quad (2.6)$$

n_s : Senkron hız (d/dak)

f_e : Sargılara uygulanan alternatif gerilimin frekansı (Hz)

P : Kutup sayısı



Şekil 2.13. Asenkron motorlarda döner manyetik alanın oluşumu (<http://www.tpub.com/doeleescience/electricalscience2143.htm>,2020)

Manyetik alanın dönmesine bağlı olarak rotorda tahrik momenti oluşması ve asenkron motorun çalışması aşağıdaki şekilde açıklanabilir. Stator sargılarına üç fazlı alternatif gerilim uygulandığında senkron hızda döner manyetik alan iki kutuplu bir asenkron motorda durmakta olan rotoru dakikada n_s hızıyla keser. Dakikada n_s hızıyla kesilen rotor üzerindeki iletkenlerde jeneratör prensibine göre aşağıdaki denklemden hesaplanan gerilim indüklenir.

$$e = (v \times B) \cdot l \quad (2.7)$$

Bu denklemde;

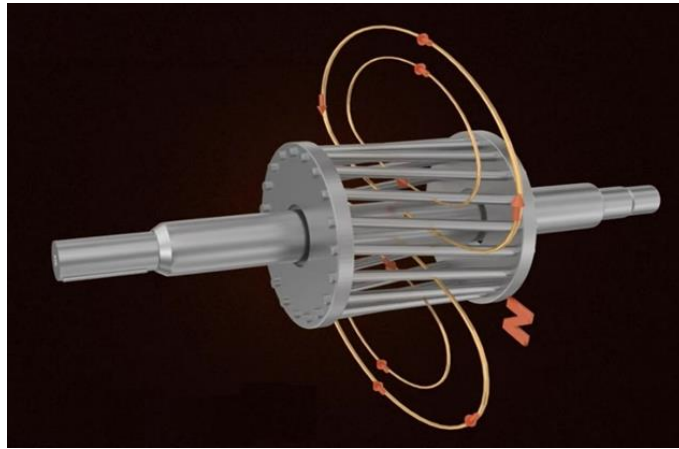
e: Rotor üzerindeki herbir iletkende indüklenen gerilim (volt),

v: Rotor üzerindeki iletkenlerin manyetik alanı kesme hızı (m/s),

B: Statorda üretilen manyetik alan yoğunluğu (Weber/m², veya Tesla),

l: Rotor üzerindeki iletkenin manyetik alan tarafından kesilen uzunluğu (m).

Bu denklemde $v=r \cdot (\omega_s - \omega_r)$ olup manyetik alanın iletkeni kesme hızının tersi yönündedir. Çünkü denklem 2.7’de, v iletkenin manyetik alanı kesme hızını ifade etmektedir. $v \times B$ ’nin yönü rotor üzerindeki iletkenlerde indüklenen gerilimin pozitif kutbunu göstermektedir. Şekil 2.14’te asenkron motorun iki kutuplu manyetik alanı saat ibreleri tersi yönünde dönmekte ve dolayısıyla rotor üzerindeki iletkenlerin manyetik alanı kesme hızı, iletkenler üzerinden rotora teğet ve ters yönde olmaktadır. Bu durumda üst taraftaki 3 adet rotor iletkeninde indüklenen gerilimin (-) kutbu arka taraf, (+) kutbu ön taraf olurken aşağıdaki 3 adet iletken üzerinde indüklenen gerilimin (-) kutbu ön taraf ve (+) kutbu arka taraf olmaktadır. İletkenler rotorun ön ve arka taraflarından iletken halkalarla birbirlerine bağlanıp kısa devre edildiklerinden karşılıklı 2 adet iletken üzerinde oluşan 2e gerilimi, üst iletkenlerden öne doğru ve alt iletkenlerden arkaya doğru oluşan alternatif elektrik akım meydana getirir. Böylece herhangi bir dış gerilim kaynağı bağlantısı olmayan rotor üzerindeki iletkenlerde gerilim meydana getirilip akım dolaştırılması mümkün olmaktadır.



Şekil 2.14. Döner manyetik alanın rotor iletkenlerini kesmesi
(https://www.youtube.com/watch?v=AQqGNOP_3o&t=12s&ab_channel=Lesics,2020)

Şekil 2.15'te akım yönleri rotor kesiti çizilerek gösterilmektedir. Bu durumda stator tarafından meydana getirilen manyetik alan içerisinde kalan ve üzerinden akım geçen iletkenlere motor prensibine göre denklem 2.8 ile verilen kuvvetler etki etmektedir. Aşağıdaki denklemde l'nin yönü akımın yönü olarak alınmaktadır.

$$F = i (l B) \quad (2.8)$$

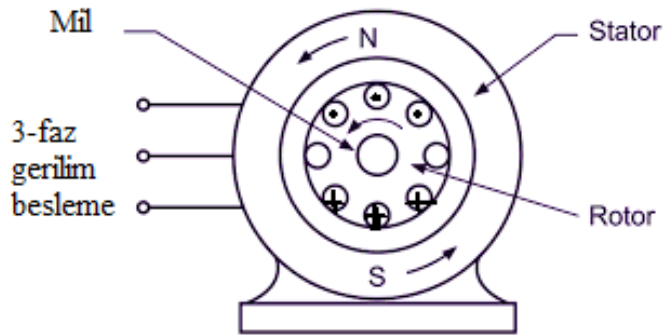
Bu denklemde;

F: Rotor üzerindeki iletkenlere etkiyen kuvvet (N).

i: Rotor üzerindeki iletkenlerden geçen akım (A),

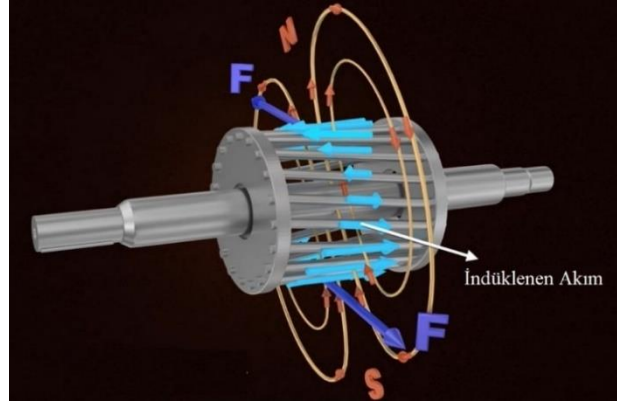
l: Rotor üzerindeki iletkenlerin her birinin manyetik alan içinde kalan uzunluğu (m),

B: Statorda üretilen manyetik alan yoğunluğu (Weber/m², veya Tesla),



Şekil 2.15. Rotor iletkenlerinde dolaşan akım yönleri
(<https://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik-motorlari/senkron-makine-cesitleri-112140/>,2021)

Şekil 2.16'da rotor üzerindeki iletkenlerde alternatif akımın dolaşması ve iletkenlere motor prensibine göre etkiyen kuvvetler görülmektedir. Şekilde sadece karşılıklı iki iletkenlere etkiyen kuvvetler görülse de tüm iletkenlere akım değeri ile orantılı olarak değişen kuvvetler etki etmektedir. Bunun sonucu olarak saat ibreleri tersi yönünde dönen manyetik alan rotor üzerindeki iletkenlere dolayısıyla rotora, saat ibreleri tersi yönünde bir moment etki ettirir. Bunun sonucu olarak rotor saat ibreleri tersi yönünde dönmeye başlar ve hızlanır.



Şekil 2.16. Rotor üzerindeki iletkenlere motor prensibine göre kuvvetlerin etki etmesi (https://www.youtube.com/watch?v=AQyGNOP_3o&t=12s&ab_channel=Lesics,2020)

Rotorun (dolayısıyla asenkron motorun) hızlanması aşağıda yazılan Newton' un ikinci kanununa göre gerçekleşir.

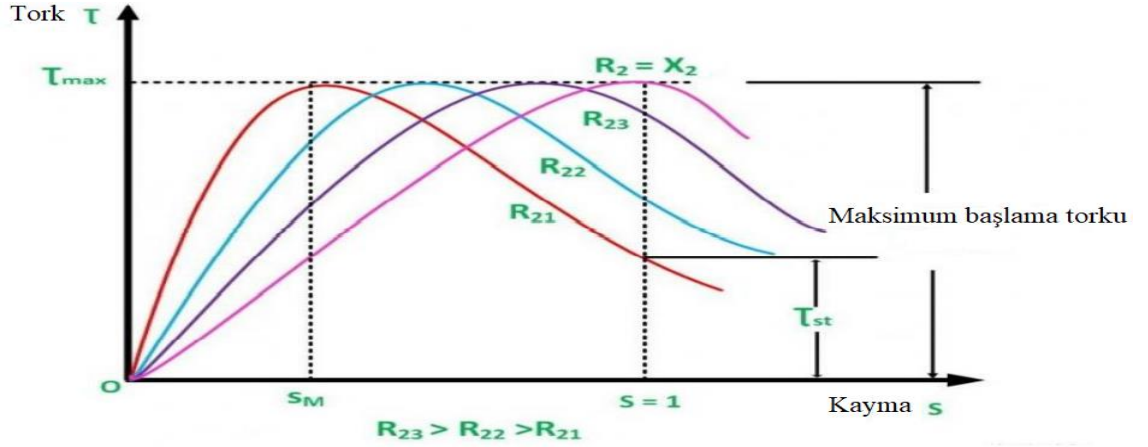
$$M_t - M_y = I \alpha \quad (2.9)$$

Bu denklemde M_t rotora etkiyen ve yukarıda açıklanan tahrik momenti (N), M_y harekete karşı koyan yük momenti (N), I rotor veya rotora indirgenmiş eylemsizlik momenti (kgm^2) ve α rotor açısal ivmesidir (rad/s^2). Bu denkleme göre motor tahrik momenti yük momentine eşit oluncaya kadar hızlanır. İki moment eşitlendiğinde açısal ivme sıfır olacağından motor sabit hızla çalışmaya devam edecektir. Bu durumda asenkron motorun hangi hızda çalışacağı esas olarak yük momenti tarafından belirlenmektedir. İdeal bir durum olarak yük momentinin sıfır olduğu durum göz önüne alınırsa motorun tahrik momenti üretmemesi gerekmektedir. Bu durum asenkron motorun senkron hızda çalışması anlamına gelmektedir. Ancak pratikte yük momenti hiçbir zaman sıfır olamayacağından boşta çalışma durumunda dahi hava direnci ve yataklardaki sürtünmeden dolayı bir yük momenti ortaya çıkar. Bu yük momentini yenebilmek için asenkron motorun eşit ve zıt yönlü bir tahrik momenti üretmesi gerekmektedir. Bunun için asenkron motorun senkron hızdan bir miktar düşük bir hızla çalışması gerekir. Senkron hız ve motor hızı arasındaki fark kadar bir açısal hızla rotor üzerindeki iletkenler manyetik alan tarafından kesilir, iletkenlerde gerilim indüklenir ve akım oluşarak tahrik momenti meydana gelir. Bu yüzden asenkron motorlar hiçbir zaman senkron hızda çalışmaz. Rotor üzerindeki iletkenler manyetik alan tarafından kesilecek şekilde bir hız farkı gereklidir. Senkron hızdan meydana gelen bu sapmadan dolayı bu tip alternatif akım

motorları asenkron motor olarak isimlendirilir. Dış bir gerilim kaynağından enerji almadan rotor üzerinde indüklenen gerilim ile çalıştığından dolayı ise aynı motor grubu indüksiyon motorları olarak adlandırılmaktadır. Sonuç olarak asenkron motorlar yük momenti tarafından belirlenen ve senkron hızdan daha düşük bir hızda çalışmaktadır. Çalışma esnasında yük momentinde meydana gelen dalgalanmalar motor hızında değişmelere sebep olmaktadır. Senkron hızdan meydana gelen sapma asenkron motorlar için kayma (s) olarak isimlendirilir ve yüzde olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir. Asenkron motorlarda kayma motor gücüne bağlı olarak değişmekle birlikte senkron hızdan en fazla %5-10 arasında sapma olarak gerçekleşmektedir.

$$s \% = 100 \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (2.10)$$

Asenkron motorlarda moment hız ilişkisi lineer olmayan denklemler içermekte olup matematiksel çıkarımı burada verilmeyecektir. Ancak aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi rotor direnci değiştirilerek farklı uygulamalar için değişik tork-hız eğrileri elde edilebilmektedir. Şekilde yatay eksen kayma olup başlangıç veya s=0 motorun senkron hızda çalışmasına karşılık gelirken s=1 motorun duruş anına yani sıfır hız değerine karşılık gelmektedir. s=1 den yukarı çizilen noktalı doğru ile tork-hız eğrilerinin kesişme noktaları, motor tarafından çalışmaya başlarken sıfır hızda üretilen torku göstermektedir. Tork-hız eğrilerinin şekli rotor direnci ile ciddi bir değişim göstermektedir. Maksimum direnç durumunda (R_2) başlangıçta motor maksimum torku üretmekte ve hız arttıkça (s sıfıra yaklaştıkça) motor tarafından üretilen tork azalarak senkron hızda (s=0) sıfır olmaktadır. Daha düşük rotor direnci değerlerinde tork hız eğrisi başlangıçta (çalışmaya başlarken, s=1) düşük tork üretmekte olup artan hızla birlikte motorun ürettiği tork artmakta ve bir maksimum değere ulaştıktan sonra senkron hıza yaklaştıkça tork azalmakta ve senkron hızda sıfır olmaktadır. R_{21} , R_{22} ve R_{23} rotor dirençlerinde motor maksimum tork ile senkron hızdaki sıfır tork arasında kararlı bir çalışma göstermekte ve senkron hızdan bir miktar düşük hız değerlerinde çalışmaktadır. Özellikle en düşük rotor direnci değerinde yük momentindeki değişmelere karşı motor nispeten küçük hız değişimleri ile gereken tahrik momentini üretip kararlı bir çalışma sergilemektedir. Kullanılacağı yere bağlı olarak uygun motor parametreleri seçilerek istenen tork-hız eğrisi elde edilebilmektedir.



Şekil 2.17. Asenkron motor tork-hız eğrileri
(<http://electricalarticle.com/torque-slip-characteristics-of-induction-motor/>,2020)

Asenkron motorlarda motor tarafından üretilen torkun hesaplanmasında motoru temsil eden eşdeğer elektrik devresi çizilip çözümlenerek motor torkunu veren denklem elde edilir. Şekil 2.18 bir asenkron motora ait son şekli verilmiş eşdeğer elektrik devresini göstermektedir. Aşağıda devreye ait parametrelerin tanımı yer almaktadır.

R_1 : Stator sargısı direnci.

X_1 : Stator kaçak reaktansı.

X_m : Mıknatıslanma reaktansı.

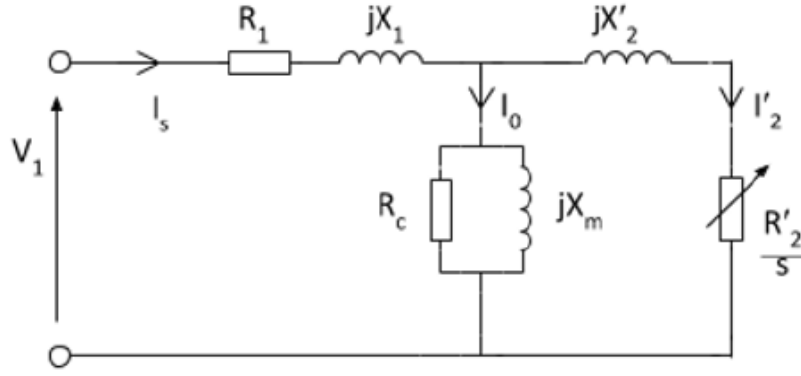
R_c : Histeriz ve girdap akımları ile gövdede meydana kayıpları temsil eden direnç.

R_2' : Stator devresine yansıtılmış rotor direnci.

X_2' : Stator devresine yansıtılmış rotor reaktansı.

I_s : Stator sargısından geçen akım.

V_1 : Stator sargısına uygulanan gerilim.



Şekil 2.18. Asenkron motorun rotor devre parametrelerinin stator tarafına yansıtıldığı eşdeğer devresi
<https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/assume-induction-motor-electrical-frequency-60hz-pole-number-4-slip-ratio-01-ri-r-2-q47648302> ,2020)

Eşdeğer elektrik devresi çözümleri de dikkate alınarak bir asenkron motor tarafından üretilen tork, denklem 2.11'deki gibi yazılabilir. Stator akımı (I_s), 2.11 nolu tork denkleminde yerine yazılırsa 2.12 ile verilen nihai tork denklemini elde edilir. Bu denklem incelendiğinde torkun stator sargılarına uygulanan gerilimin etkin değeri (V_1), kayma (s), senkron hız (n_s), stator sargı direnci (R_1), stator kaçak reaktansı (X_1), stator devresine yansıtılmış rotor direnci (R_2') ve stator devresine yansıtılmış kaçak rotor reaktansı (X_2') parametrelerine bağlı olarak değiştiği görülmektedir (<http://www.tpub.com/doeelecscience/electricalscience2143.htm>).

$$T = \frac{3 \times I_s^2 \left(\frac{1-s}{s} \right) R_2'}{\frac{2\pi}{60} (1-s) n_s} = I_s^2 \frac{90}{\pi n_s} \frac{R_2'}{s} \quad (2.11)$$

$$|I_s| = \frac{|V_1|}{\sqrt{\left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + (X_1 + X_2')^2 \right]}}$$

$$T = \frac{90}{\pi n_s} \frac{R_2'}{s} \frac{|V_1|^2}{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + (X_1 + X_2')^2} \quad (2.12)$$

Asenkron motorlarda tork denklemi çok sayıda parametreyi içeren karmaşık bir denklemle temsil edildiğinden ve doğrusal olmayan bir ilişki ile elde edildiğinden servo motorlardaki gibi sadece akım ölçümü gibi basit bir yolla dolaylı olarak ölçülmesi mümkün olamamaktadır. Bu durum AC motorlarda tork kontrolünü zorlaştırmaktadır. Ancak günümüzde üretilen AC motor sürücü devrelerinde motor tarafından üretilen tork, güç, güç faktörü, çekilen akım v.s. gibi parametreler anlık olarak ölçülerek sürücüdeki 2 adet analog çıkıştan 0-10 volt arasında değişen analog sinyal olarak dışarı verilmekte ve bir kontrol veya kayıt bilgisayarı tarafından okunabilmektedir.

Asenkron motorlarda da sürücü devreler ile servo motorlarda olduğu gibi hız, tork ve pozisyon kontrolü yapılabilmektedir. Ancak kontrol sistemi performansı, kullanılan kontrol yöntemine göre değişmektedir. Motor milinde geri besleme sinyali elde etmek için hız ve/veya pozisyon sensörü kullanılmayan kontrol yöntemi, V/f ve geri beslemesiz vektör kontrol yaklaşımları ile hız ve tork kontrolüne olanak sağlasa da hassas bir hız ve tork kontrolü yapılamamaktadır. Ancak çoğunlukla artımlı mil kodlayıcı kullanılan geri beslemeli vektör kontrol yaklaşımı ile hassas bir hız ve tork kontrolü yapılabilmekte ve çok düşük hızlardan nominal çalışma hızlarına kadar değişen geniş bir aralıkta hız ve tork kontrolü istenen performansta gerçekleştirilebilmektedir.

2.4.Sersönsüz Gerginlik Kontrol Sistemi Üzerine Yapılan Çalışmaların Özetleri

Kumaş ve çözümlü sarma ve salma sistemleri birçok tekstil makinesinin önemli üniteleri olup ilgili tekstil prosesinin kalite ve verimliliği üzerinde önemli etkiye sahiptir. Gerginlik kontrol sistemleri iplik ve kumaş gerginlik kontrolünün yanında kağıt endüstrisi, folyo ve film üretimi ile saç ve çelik endüstrisi gibi sektörlerde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerde malzeme (iplik, kumaş, saç, folyo, kağıt, film) üzerine sarıldığı silindirin merkezi tahriki ile beslenmekte, çoğu durumda sabit çaplı diğer silindirler arasından ileri sevk edilerek değişik işlemlere maruz kalmakta ve sonunda merkezi olarak tahrik edilen ayrı bir silindire sarılmaktadır. Sabit çaplı silindirler arasından malzeme sevki durumunda hız ve gerginlik kontrolü daha basit bir işlem olmasına rağmen malzemenin (iplik, kumaş v.s.) boşaldığı ve sarıldığı sistemlerde çaptaki değişmeden dolayı daha karmaşık bir hal almaktadır. Gerek hız gerekse gerginlik kontrolü için endüstride en yaygın olarak kullanılan yöntem hız ve gerginliklerin ölçülüp istenen değerle karşılaştırıldıktan sonra

aradaki farka göre bir geri beslemeli kontrol sistemi denetiminde malzeme (kumaş v.s.) besleme ve sarma miktar veya hızlarının ayarlanmasına dayanmaktadır. Kontrol işlemi çoğunlukla orantı + integral tipi (PI) kontrol organı kullanılarak yapılmakta ve gerginlik ölçümünde yaygın olarak yük hücreleri ve yer değiştirme sensörü (indüktif) kullanılmaktadır. Yük hücreleri doğrudan gerginlik ölçümüne olanak sağlarken yer değiştirme sensörleri, gerginliğin sebep olduğu silindirik yer değiştirmesini ölçerek dolaylı olarak gerginlik ölçümü gerçekleştirmektedir. Günümüzde yük hücreleri ile gerginlik ölçümü daha yaygındır. Gerek yük hücresi gerekse yer değiştirme sensörleri kullanılarak oluşturulan gerginlik kontrol sistemlerine yönelik çok sayıda çalışma dünya literatüründe mevcuttur (Bouchiba vd. (2012), Ebler vd. (1993), Gassmann vd. (2009), Huang ve Soong (1999), Imamura vd. (1999), Li (2015), Minjing vd. (2014), Priya vd. (2016), Ren vd. (2007), Ren vd. (2009), Sakamoto ve Izumihara (1997), Su ve Zhang (2016), Tong (2014), Tong (2013), Yeung vd. (1995), Zubair vd. (2014)). Listedeki kaynaklar incelendiğinde tekstil makine ve proseslerine yönelik çok sayıda çalışma bu grupta yer almaktadır. Gerginlik ölçerek uygulanan geri beslemeli kontrol sistemlerinde PI veya PID kontrol algoritmalarının yanında adaptif kontrol, bulanık mantık ve yapay zeka kontrol algoritmalarının kullanımına yönelik çalışmalar da dünya literatüründe özellikle son yıllarda ağırlıklı olarak yer almaktadır (Abbasi vd. (2016), Baumgart ve Pao (2003), Cheng vd. (2005), Choi vd. (2011), Chung vd. (2005), Fengling vd. (2011), Ji vd. (2009), Kung vd. (2006), Kong vd. (2012), Liu vd. (2012), Liu vd. (2012), Mathur ve Messner (1998), Noura ve Bastogne (1997), Okada ve Sakamoto (1998), Ponniah vd. (2012), Ren vd. (2010), Song ve Sul (2000), Tran vd. (2011), Wang vd. (2004)). Yukarıda verilen kaynakların içerikleri incelenmiş ancak tez konusu ile dolaylı olarak ilgili olduğundan burada içerikleri özetlenmemiştir.

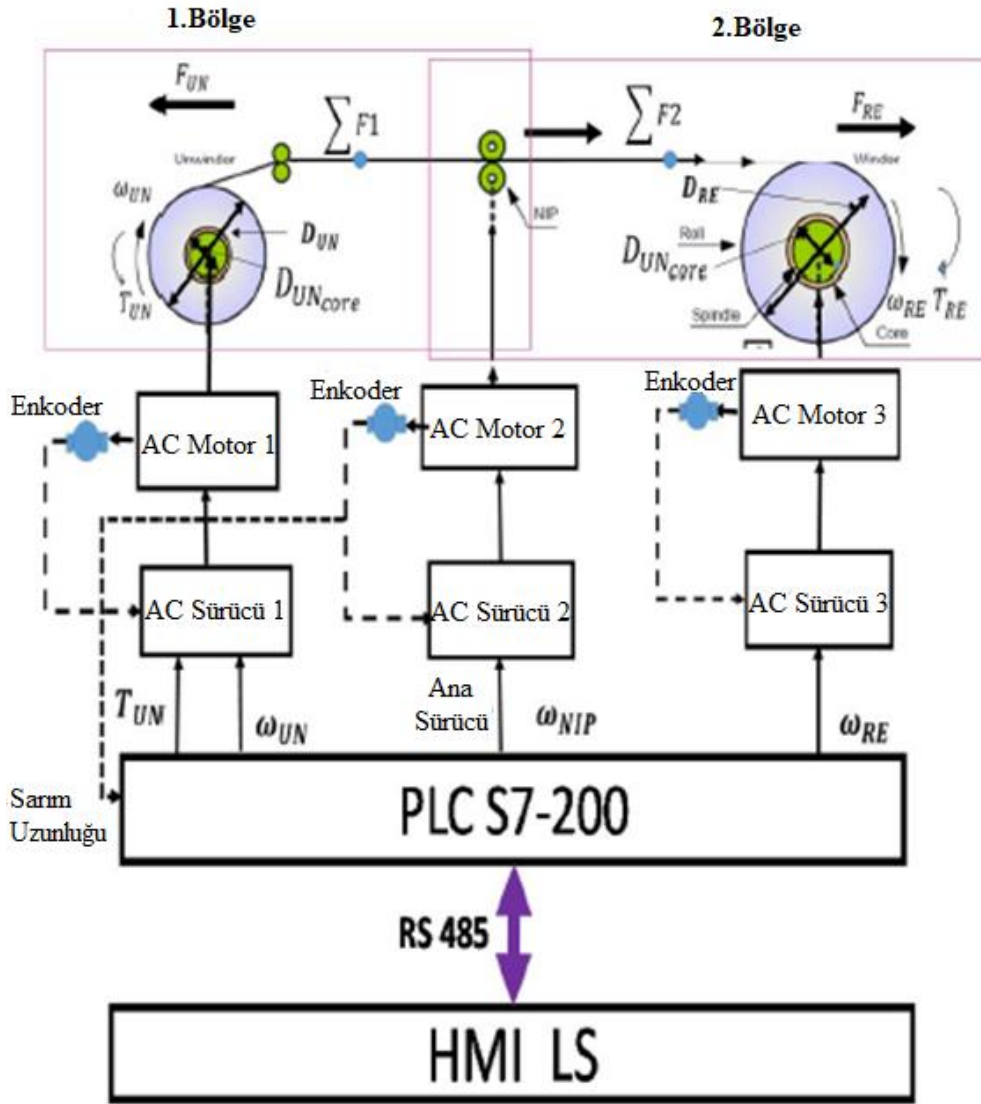
Bu çalışmada amaç, tekstil makineleri için gerginlik ölçme sensörü kullanmadan gerginlik kontrol sistemi ve açık döngü hız kontrol sistemi geliştirilmesidir. Böyle bir sistemde gerginlik değerinin elde edilmesi için tahrik motorlarının tork veya moment değerlerinin kullanılması planlanmaktadır. Hız kontrolü için ise sarım çapının hesap yoluyla bulunması hedeflenmektedir. Bu yaklaşımın amacı sensör kullanılmaktan kaynaklanan maliyet avantajının yanında sensörlerin montajı için gerekli olan mekanik yapının ortadan kaldırılmasını sağlamaktır. Ayrıca sensör ve elektronik kuvvetlendirme ünitelerinin eskimesi ve arıza çıkarması gibi sorunlar da ortadan kaldırılacaktır. Konuyla

ilgili kaynak araştırması yapıldığında ülkemizde bu konu ile ilgili olarak yapılan bir çalışmaya rastlanmamış ancak dünya literatüründe özellikle kağıt endüstrisi, çelik endüstrisi ve şerit tarzı malzemelerin sarılmasında önemli miktarda çalışmaya rastlanmıştır. Aşağıda bu çalışmalar özetlenmektedir.

Abjadi vd. (2009) üç motor tahrikli bir ince elastik malzeme sarımında nonlinear kayar kipli kontrol yöntemiyle hız ve gerginlik kontrol işlemlerine ait matematiksel modelleme ve simülasyon çalışması gerçekleştirmiştir. Kontrol organı olarak lineerleştirilmiş kayar kipli algoritma kullanılmıştır. Gerginlik ve hız ölçme sensörleri kullanılarak uygulanan kontrolün yanında 2 adet sensörsüz gerginlik gözleyicisi geliştirilip kontrol sistemi oluşturulmuştur. Bu kapsamda yapılan simülasyon çalışmalarında uygulanan kontrol yaklaşımlarının efektif ve pratik olarak uygulanabilir oldukları gösterilmiştir. Ayrıca sensörsüz gerginlik gözleyicilerin kullanıldığı kontrol sistemlerinde tahminlenen gerginliklerin gerçek (istenen) gerginlik değeri ile uyduğu gösterilmiştir.

Ashour vd. (2019) bu makalede değişken hızlı AC motor ve sürücülerine (VSD) sahip bir kağıt sarma ve salma düzeneğinin kurulumu ve çalıştırılmasını açıklamaktadır. Düzenekte kontrol birimi olarak PLC (Programlanabilen mantık ünitesi) kullanılıp çalışma sisteminde insan-makine ara yüzüne dayalı bir yaklaşım kullanılmıştır. Sistemin tasarımında ana hedef olarak istenen bir teğetsel hızda ve belirlenen bir gerginlikte sarım işleminin boş silindirden dolu silindire kadar gerçekleştirilmesidir. Hız ve gerginlik kontrolünde sarım çapları ve silindir kütleleri değişse de hız ve gerginlik değerlerinin işlem boyunca aynı kalması sağlanmaktadır. Sistemde AC motor tarafından tahrik edilen sabit çaplı silindir teğetsel hızı belirlemekte olup silindir miline takılı bir artımlı mil kodlayıcıdan gelen sinyaller sayılarak kağıt sarma ve besleme leventlerinin çaplarındaki değişim hesaplanmaktadır. Bu veri kullanılarak istenen gerginlik değerinden tork değerleri belirlenmekte ve sarma ve besleme levent motorlarının kontrolü için kullanılmaktadır. Bu şekilde gerginlik kontrolünün çaplardan bağımsız olarak gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Şekil 2.19'da kurulan düzenekte tahrik ve kontrol sistem yapısı gösterilmektedir. Şekildeki düzenekte 3 adet AC motor tahriki bulunmaktadır. Ortadaki çekme veya besleme silindir ünitesi istenen teğetsel hızı sağlayacak şekilde 2 nolu AC motor tarafından tahrik edilmekte olup 1 nolu AC motor besleme leventini tahrik etmekte olup çalışma esnasında kağıt gerginliğinin saat ibreleri

yönünde oluşturduğu momente karşılık saat ibreleri tersi yönünde frenleme momenti üretmektedir. 3 nolu AC motor ise kağıdın sarıldığı silindiri tahrik etmektedir. Bu durumda motorun silindiri tahrik yönüyle üretilen tahrik momenti aynı yönde olmaktadır. Tahrik sistemi olarak 2 nolu AC motor sistemin sarma veya boşaltma hızını belirleyip işlem sırasında sabit tutulmaktadır. 1 nolu AC motor tork kontrol modunda çalışıp kağıt kalınlığı ve sarım metrajından hesaplanan çapa bağlı olarak işlem boyunca istenen tork değeri gerginlik sabit kalacak şekilde yenilenmektedir. 3 nolu AC motor ise hız kontrol modunda çalışıp sarılan metraj ve kağıt kalınlığı parametrelerinden hareketle hesaplanan sarım çapı değerine göre açısal hızı, teğetsel hız sabit kalacak şekilde ayarlanmaktadır. Düzenegin çalışabilmesi için sarma ve besleme silindirlerinin leventlerin boş çapları ile besleme leventinin dolu çapı, kağıdın kalınlığı, sarım hızı ve istenen gerginlik değerleri başlangıçta PLC'ye parametre olarak girilmektedir. Bu düzenekle yapılan deneysel çalışmalarda 5 dakika boyunca sarım işlemi esnasında kullanılan kontrol algoritmalarının sarma ve besleme bölgelerindeki kağıt gerginliklerin yaklaşık olarak sabit olarak tutmayı başardığı, malzeme özelliklerinden ve sarım şartlarından ortaya çıkan gerginlik değişiklerinin ise ancak birkaç saniye sonra istenilen değere getirildiği gözlemlenmiştir. Makalede ayrıca kontrol algoritmalarının geliştirilmesiyle daha hassas bir gerginlik kontrolü yapmanın mümkün olacağı vurgulanmıştır.



Şekil 2.19. Tahrik ve kontrol sistemi yapısı ve düzeneği (Ashour vd. 2019)

Baumgart ve Pao (2004) bir makaradan diğerine teyp şeridi aktarımı için gerginlik ölçme sensörü kullanmaksızın birinci mertebeden bir gerginlik gözleyici kullanmıştır. Gerginlik gözleyicinin geliştirilmesinde teyp şeridinin yay ve sönümlenme elemanından oluşan bir modeli kullanılmıştır. Modelin oluşturulmasında sarılan şeritler arasında hava taşınımı durumu göz önüne alınmıştır. Hava taşınımı, zamanla değişen makara yarıçapı, sürtünme ve eylemsizlik momentleri ile motor parametrelerindeki belirsizlikleri hesaba katarak maksimum gözleyici hatası için bir sınır belirlenmiştir. Bu sınır gerginlik kontrol organının gerginlik değerini belirli bir aralıkta tutulmasını sağlamak için kullanılmıştır. Gerginlik gözleyici kullanılarak yapılan simülasyon çalışmalarında teyp şeridi

sönümlenme katsayısındaki değişimler ile motor sürtünme parametrelerindeki değişimlere rağmen gerginlik kontrolünün belirli sınırlar içinde gerçekleştiği gösterilmiştir. Çalışma tamamen matematiksel modelleme ve simülasyon çalışmalarından oluşmakta olup deneysel kısım içermemektedir.

Baumgart ve Pao (2007) bu çalışmada paralel bağlı yay ve sönümlenme elemanı ile modellenen nonlinear dinamik teyp şeridi transport sisteminin gerginlik sensörlü ve gerginlik sensörsüz (gözleyiciler kullanılarak) kontrolünü araştırmışlardır. Gerginlik ölçme ve buna dayalı kontrol algoritmaları ile yapılan simülasyon çalışmalarında kontrol sisteminin gerek motor parametreleri gerekse makara çap değişimi ve sarılan katlar arasında hava katmanlarının sebep olduğu sönümlenme katsayısının değişiminden dolayı gerginlik hatası minimize edilmiştir. Ancak sensörsüz gözleyici esaslı kontrol algoritmaları ile yapılan kontrollerde motor parametrelerinde sapma olmadığında gerginlik kontrolündeki hata oldukça düşük olmakta, yani gerginlik büyük ölçüde istenen değere oturmaktadır. Motor parametrelerinde nominal değerlerden sapmalar olması durumunda bunun gerginlikten sapmalara sebep olduğu gösterilmiştir.

Carroca ve Valenzuela (2006) gerginlik sensörü kullanmadan gerginlik tahminlenmesi yaparak iki silindir ile teğetsel tahrikli kağıt sarma ünitesi için gerginlik kontrol sisteminin matematiksel analizini gerçekleştirmişlerdir. Motorlara ait momentlerin toplamı atalet momenti, sürtünme momenti ve motor tarafından üretilen momentler toplanarak belirlenmiş ve buna dayanarak gerginlik tahminlenmesi yapılmıştır. Motor tarafından üretilen tahrik momentinden sürtünme ve atalet momentleri çıkarılarak kağıt gerginliğini yenmek için kullanılan moment hesaplanmış ve bu moment kağıdın sarılı olduğu silindir yarıçapına bölünerek kağıt gerginliği bulunmuştur. Çalışmada gerek kağıt sarma gerekse kağıt boşaltma silindirlerinin tahrikinin DC motorlarla yapıldığı varsayılmıştır. Buna göre motor tarafından üretilen tahrik momenti DC motora ait bir sabit olan moment sabiti ile armatür sargılarından geçen akımın çarpımına eşittir. Bu ilişki kullanılarak bir DC motor tarafından üretilen moment kolayca bulunabilir. Kağıdın boşaldığı silindiri tahrik eden motor için bu moment frenleme momenti olurken sarma ünitesi için tahrik momenti olmaktadır. Armatür sargısı tarafından çekilen akım ise sürücü devrelerden ilave bir sisteme ihtiyaç duyulmadan okunabilmektedir. Çalışmada bu şekilde kağıt gerginliği

tahminlemesi hem kağıt sarma ünitesi hem de kağıt boşaltma ünitesi için yapılmış ve gerginlik kontrol sistemi aşağıdaki üç şekilde gerçekleştirilmiştir.

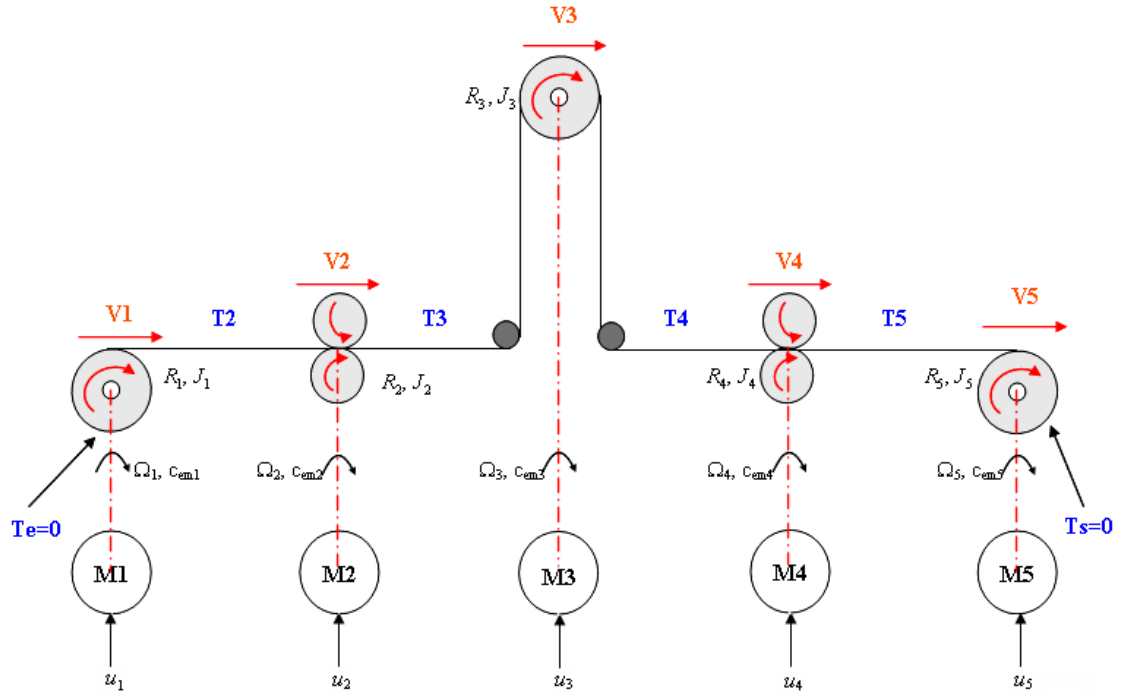
- Kağıt gerginliğinin belirlenmesinde sarma ünitesinden hesaplanan gerginlik değeri esas alınarak gerginlik kontrol sistemi oluşturulması,
- Kağıt gerginliğinin belirlenmesinde kağıt boşalma ünitesinden hesaplanan gerginlik değeri esas alınarak gerginlik kontrol sistemi oluşturulması,
- Her iki ünite için belirlenen gerginlik değerlerinin ortalaması esas alınarak gerginlik kontrol sistemi oluşturulması.

Yapılan analizde her üç yaklaşımın da uygulandığı gerginlik kontrol sistemlerinin tatmin edici şekilde çalıştığı, ölçme sistemi kullanılan geri beslemeli kontrol sistemleri ile benzer seviyede performans gösterdiği ortaya konulmuştur. Yapılan değerlendirmede sürtünme momentindeki %20 sapmanın gerginlik değerinde ancak %2-2,5 seviyesinde bir sapma meydana getirdiği gösterilmiş olup sonuç olarak gerginlik sensörü kullanmadan oluşturulan geri beslemeli gerginlik kontrol sisteminin pratikte uygulanması tavsiye edilmektedir. Çalışma teorik olarak gerçekleştirilmiş olup kontrol sistemlerinin pratik anlamda uygulanması yapılmamıştır.

Cheng vd. (2005) ince elastik yapıların (şerit, teyp, kumaş v.s.) taşınması ve sarılmasında gerginlik sensörü kullanmaksızın gözleyici esaslı geri beslemeli bir kontrol sistemi geliştirmiş ve küçük bir model ünite üzerinde uygulamışlardır. Gerginlik ölçmeksizin oluşturulan gerginlik kontrol sistemi, malzemenin boşaldığı silindiri tahrik eden motorun hızı, çektiği akım ve silindir çapı bilgilerinden hareketle motor tarafından üretilen tahrik momenti ve dolayısıyla gerginliğin tahminlenmesi esasına dayanmaktadır. Gerginlik sensörsüz kontrol sistem performansını diğer kontrol yaklaşımları ile karşılaştırmak için deneysel sistemde açık döngü ve gerginlik sensörlü geri beslemeli kontrol sistemleri de uygulanmış ve sistem bu kontrol yaklaşımları ile çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında gerginlik sensörü kullanılmayan kontrol sistemi ile açık döngü kontrol sistemine göre daha iyi ve istenen değerden sapması az bir gerginlik kontrolü gerçekleştirildiği, gerginlik sensörlü geri beslemeli kontrol sistemine göre ise hemen hemen aynı performansı gösterdiği ortaya konulmuştur. Çalışmada tahrik elemanı olarak servo motorlar kullanılmıştır.

Dong vd. (2005) mekiksiz dokuma makineleri için SVR (Support Vector Regression) yöntemine dayanan sensörsüz gerginlik kontrol sistemini teorik olarak araştırmışlardır. Bu amaçla önce kumaş çekme, çözgü salma ve çözgü-kumaş sisteminin matematik modeli geliştirilmiş, daha sonra sisteme ait parametreler kullanılarak gerginlik ölçmeden SVR yöntemine göre çözgü gerginliği tahminlemesi yapılmış ve buna göre elde edilen simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir. Simülasyon ayrıca karşılaştırma amaçlı olarak yük hücresi sensörü ile gerginliğin ölçüldüğü durum için de yapılmıştır. Sonuç olarak simülasyon sonuçları sistem parametrelerindeki varyasyona rağmen gerginlik kontrolünde SVR algoritmasının faydalı ve geçerli bir yöntem olduğunu göstermiştir. Kumaş çekme mekanizmasının hız profili ne olursa olsun geçiş periyodunda SVR algoritmasının başarılı bir şekilde gerginlik kontrolünü gerçekleştirdiği görülmüştür. Yazarlar başarılı bir simülasyon çalışmasından sonra sensörsüz SVR gerginlik kontrol yönteminin prototip bir dokuma makinesinde uygulanacağını belirtmişlerdir. Bu sistemde kumaş sabit çaplı silindir tarafından servo motor tahriki ile çekilirken çözgü işlem esnasında çapı değişen leventten yine servo motor tahriki ile beslenmektedir.

Glaoui vd. (2013) çok motorlu şerit sarma sisteminin modelleme ve simülasyonunu gerçekleştirmiştir. Bu amaçla beş motorlu bir sistem öngörülmüştür. Şekil 2.20 beş motorlu şerit besleme ve sarma sistemini göstermektedir. Birinci motor dolu silindirden malzemenin (kumaş, şerit, bant v.s.) beslenmesini sağlarken ikinci motor tahrik ettiği iki silindir arasından malzemeyi ileri sevk etmektedir. Üçüncü motor hız ayar motoru olup sistemin ortasında yer alan ve malzemenin etrafından dolandığı sabit çaplı silindiri tahrik etmektedir. Malzeme sevk hızı ayarı üçüncü motorun hız kontrolü ile gerçekleştirilmektedir. Dördüncü motor yine çift besleme silindirlerini tahrik etmekte ve beşinci motor sarım silindirini tahrik etmektedir. 3 nolu motor malzeme sevk hızını belirlediği için hız kontrol sistemi ile ve diğer dört motor sensörsüz gerginlik kontrol sistemi denetimi ile çalıştırılmaktadır. Buna göre beş motorlu sisteme ait matematiksel modeller geliştirilmiş ve PI kontrol organı kullanılarak geri beslemeli kontrol sistemleri oluşturulmuştur. Yapılan simülasyon çalışmaları sonucuna göre tüm bölgelerde gerginliğin istenen değeri takip ettiği gösterilmiştir. Sonuçların değerlendirmesinde uygulaması nispeten basit olan PI kontrolün kalıcı durum hatası ve geçiş periyodu gerginlik salınımlarını kontrol etmede başarılı olduğu vurgulanmıştır.

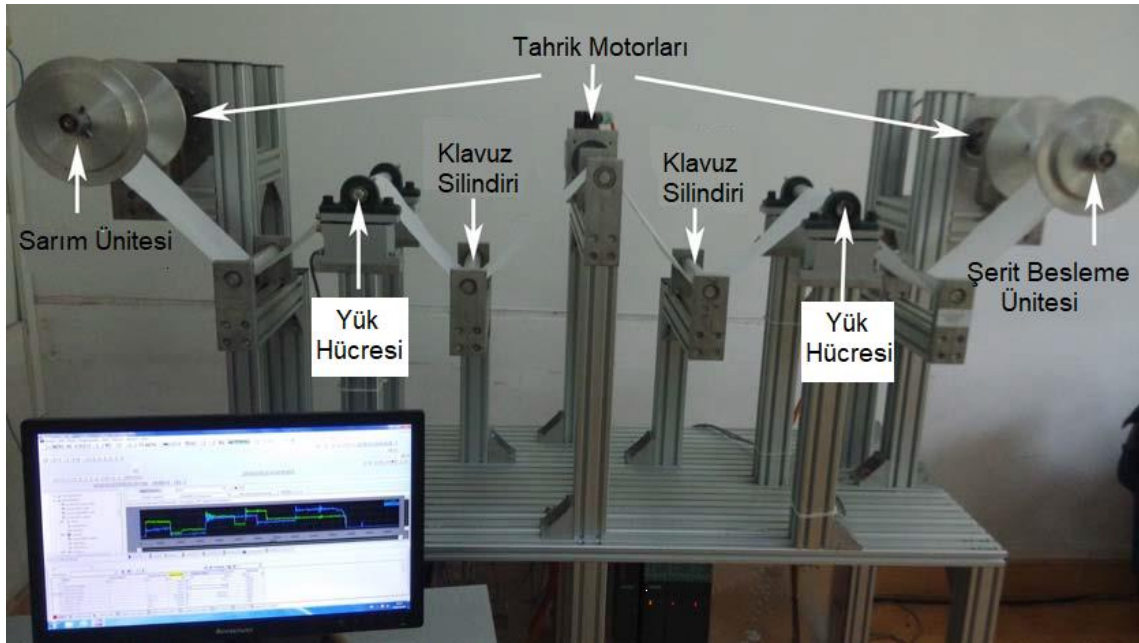


Şekil 2.20. Beş motorlu şerit transfer ve sarım sistemi (Glaoui vd. 2013)

Hou vd. (2015) gerginlik sensörü kullanılmayan üç silindirli bir ince elastik malzeme sarma sisteminde hız ve gerginlik kontrolüne yönelik matematiksel modelleme yapmış ve simülasyon çalışmaları ile kontrol sisteminin performansını araştırmıştır. Sistem üç motor tahrikli olduğundan modellemede üç ayrı alt sistem olarak göz önüne alınmıştır. Gerginlik sensörü kullanmadan gerginlik tahminlemesi yapan gözleyiciler (3 silindirli sistemin iki bölgesi için) silindirlerin teğetsel hız farkları, malzemenin elastik modülü, iki silindir arası mesafe, bir önceki çevrimde tahmin edilen gerginlik ile istenen ve tahmin edilen gerginlikler arası farklar cinsinden hesaplanmaktadır. Üç silindirli sistem dinamiği ve geliştirilen 2 adet nonlinear gözleyici denklemleri simülasyon yapılarak test edilmiştir. Gözleyici kullanılarak uygulanan kontrol algoritmaları ile tahminlenen gerginlik ile istenen gerginlik arasında çok iyi seviyede bir uyum sağlanmıştır. Silindirlerin tahrikinde fırsatız servo motorların kullanıldığı varsayılmıştır.

Hou vd. (2016) bu çalışmada yukarıda açıklanan çalışmada ayrıntılandırılan nonlinear gözleyicilerin simülasyonundan elde edilen sonuçlar ile üç silindirli pratik bir sistemin aynı gözleyiciler ile kontrol edilmesi sonucu elde edilen kontrol sistemi performanslarını karşılaştırmıştır. Şekil 2.21 deneysel üç motorlu şerit besleme ve sarım sistemini

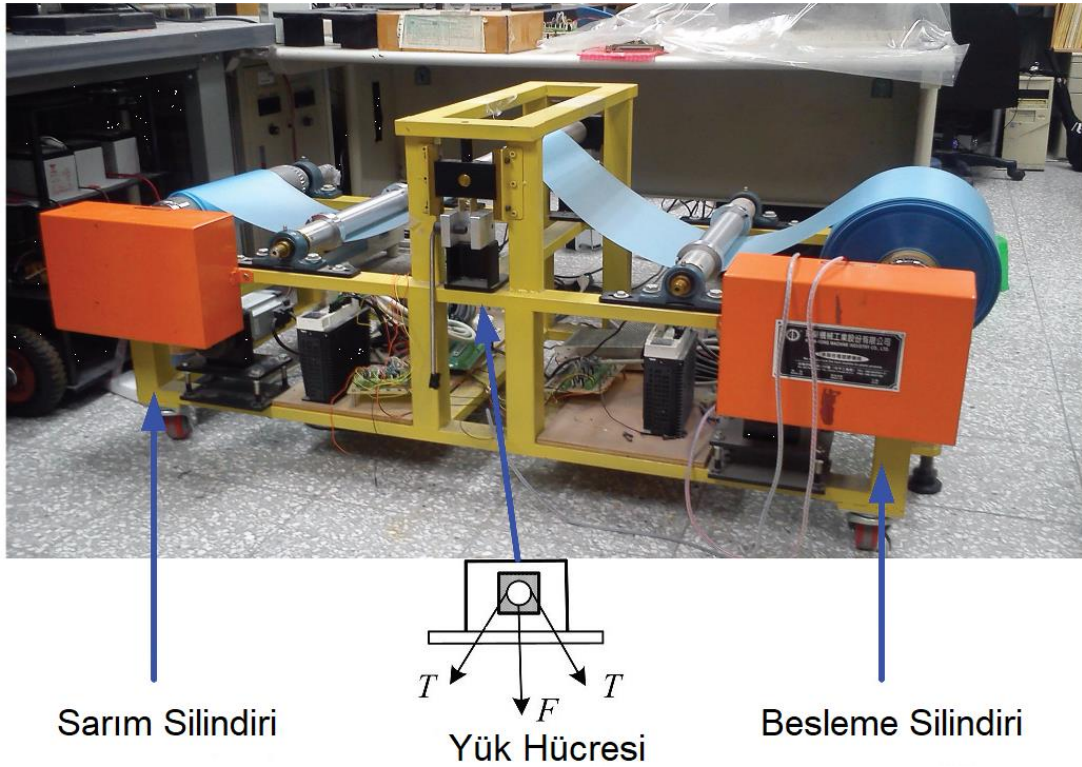
göstermektedir. Ortadaki motor besleme veya sarım hızını belirlerken diğer iki motor gerginlik kontrolünde kullanılmaktadır. Gerginlik gözleyicilerin geliştirilmesinde sarım veya besleme hızı, levent çapları, malzeme elastikiyet modülü, sistemdeki sürtünmeler, vs. hesaba katılmıştır. Yapılan performans testleri sonucunda geliştirilen gözleyicilerin gerginliği tahminlemede yeterince hassas sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Gerek simülasyon çalışmalarında gerekse pratik sarım sisteminin kurulmasında moment-akım ve moment-hız ilişkileri doğrusal değişim gösteren fırçasız servo motorlar kullanılmıştır.



Şekil 2.21. Üç motorlu şerit besleme ve sarım sistemi deneysel düzeneği (Hou vd. 2016)

Huang vd. (2021) leventten levende malzeme sevk sistemine ait sensörsüz gerginlik kontrol yaklaşımı ile gerginlik tahminleme ve bozucu büyüklüklerin etkisini sınırlama sistemi geliştirmiş ve deneysel bir düzenek üzerinde uygulayarak gerginlik kontrol sistem performanslarını araştırmıştır. Öncelikle sisteme ait matematiksel ilişkiler ve hareket denklemleri esas alınarak matematik model geliştirilmiş ve bu model içerisinde gerginlik tahminleme ve bozucu büyüklük etkisini önleme algoritmaları yerleştirilmiştir. Sistemin çözümü gerçekleştirilerek gerginlik kontrol performansı teorik olarak elde edilmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Leventten levende sarım sisteminin esnek elektronik ürünlerinde kullanılacak ince, esnek ve kolayca depolanabilecek şerit şeklindeki malzemeler için geliştirildiği belirtilmiştir. Geliştirilen modelin doğrulanması için şekil 2.22’de görülen deneysel bir besleme ve sarım sistemi geliştirilmiş ve

çalıştırılmıştır. Şekilde büyük çaplı silindir esnek şerit besleme levendini temsil etmekte olup küçük çaplı silindir sarım levendini temsil etmektedir. Orta konumda bulunan yük hücresi ile gerginlik ölçülmekte ve sistemin performansı analiz edilmektedir. Deneysel sistemde gerginlik ölçümü kontrol amaçlı olmayıp sensörsüz gerginlik kontrol sisteminin performansını analiz etmek için kullanılmıştır. Deneysel düzende sensörsüz gerginlik kontrol algoritmaları sisteme ait matematik modelde yer alan ilişkiler, tasarlanan gözleyici ve bozucu büyüklük etkisi gideren algoritmalar çalıştırılarak gerçekleştirilmiştir. Burada da sarım sistemi hız kontrolü ve besleme levendi ise tahrik motorunun tork kontrol modunda çalıştırılmasıyla gerginlik kontrolü sistemi olarak tahrik edilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda geliştirilen gözleyici ve bozucu büyüklük etkisini yok eden ünite sayesinde sensörsüz gerginlik kontrol sisteminin sensörlü gerginlik kontrol sisteminden daha iyi bir performans gösterdiği bulgusuna ulaşılmıştır.



Şekil 2.22. Şerit besleme ve sarım sistemi düzeneği (Huang vd. 2021)

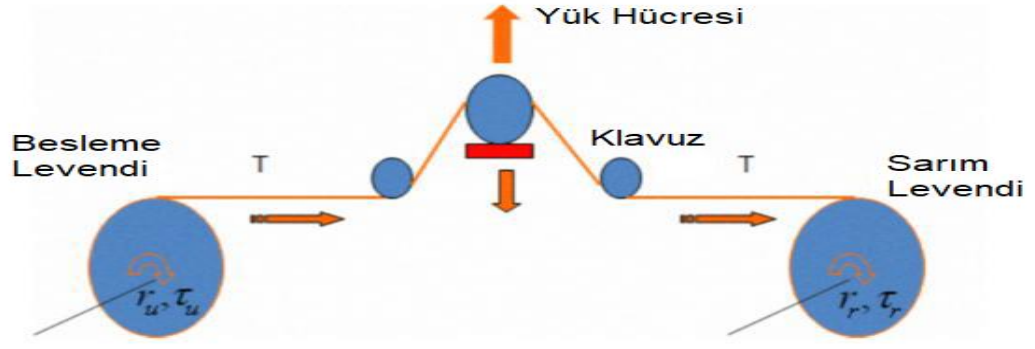
Jeftenic ve Bebic (2010) en az sayıda sensör kullanarak ince ve esnek malzeme sarım sisteminde (kağıt, folyo, şerit v.s.) hız ve gerginlik kontrol sistemi tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla gerginliğin belirlenmesinde gerginlik ölçme sensörü kullanmadan gerginlik gözleyici tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada çift silindir ile malzemenin üzerine sarıldığı silindirin tahrik edildiği ve dolu silindirden elektrik motorunun frenlenmesi ile malzeme beslemesinin yapıldığı sistem göz önüne alınmıştır. Önce sisteme ait matematiksel model geliştirilmiş ve daha sonra halihazırda endüstride çalışan bir makineye kontrol sistemlerinin uygulanması yapılarak performans testleri gerçekleştirilmiştir. Mevcut makinede gerginlik ölçen sensörler olduğundan kontrol sistemleri önce sensörler yardımıyla çalıştırılmış ve performansı kaydedilmiştir. Daha sonra tahrik motoru sürücülerinden alınan akım, tork ve hız gibi bilgilerin yanında sürtünme ve sarım çapı gibi bilgilere dayanan gözleyici tasarımı yapılmış ve makine bu kontrol algoritmalarına göre çalıştırılmıştır. Sonuç olarak yapılan değerlendirmelerde gerginlik ölçme kullanmaksızın gözleyici kullanımına dayanan algoritmalarla gerginliğin ayar değerinden %5 ten daha az sapma ile çalıştığı ve bu sapmanın birçok uygulama için kabul edilebilir bir değer olduğu vurgulanmıştır.

Kim vd. (2020) baskı makineleri için levenden levende şerit tipi malzeme aktarımına yönelik sensörsüz gerginlik kontrol sistemi geliştirmiştir. Geliştirilen kontrol sisteminde nonlineer davranışlar ve sistem parametrelerindeki belirsizlikler hesaba katılmıştır. Gerginlik sensörü yerine sistem parametrelerini içeren matematiksel denklemler kullanılarak gerginlik gözleyicisi geliştirilmiş ve kontrol sistem modeline dahil edilmiştir. Geliştirilen matematik modele dayalı Matlab/Simulink tabanlı simülasyonlar yapılmış ve sensörsüz gerginlik kontrol sisteminin işlem boyunca gerginliği belirlenen sınırlar içerisinde tuttuğu ve bozucu büyüklüklerin etkisini ortadan kaldıracak bir kontrol sistemi performansı sergilediği gösterilmiştir. Simülasyon sonuçları çalışma kapsamında deneysel olarak değerlendirilmemiştir.

Lyncha vd. (2004) şerit veya bant tipi malzemelerin sarımında gerginlik sensörü kullanımını ortadan kaldırmak için nonlineer gerginlik gözleyici geliştirmişler ve endüstriyel bir sistem üzerinde uygulamışlardır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kayar kipli ve nonlineer gerginlik gözleyicilerin cebrik gerginlik gözleyicilerine göre ciddi bir performans artışı sergilediği gösterilmiştir. Bunun sebebinin kayar kipli ve

nonliner gerginlik gözleyicilerinin bozucu büyüklüklerin etkilerini ortadan kaldırma özelliklerinin iyi olduğu değerlendirilmiştir.

Tham vd. (2019) yayınladıkları çalışmada tülbent besleme ve sarım sistemi için sensörsüz gerginlik kontrol sistemi geliştirilmişlerdir. Çalışmalarının bu alanda yapılan diğer çalışmalardan farkı olarak gerginlik ölçüm sensörünün yerini alabilecek bir gerginlik gözleyicisi önermeleridir. Sistemden elde edilen verilere dayalı olarak tasarlanan gözleyici çıkış sinyali kayar mod kontrolü bir geri beslemeli sistemin temelini oluşturmaktadır. Tasarlanan kontrol sistemi ile yapılan çalışmalarda iyi bir gerginlik kontrol performansı elde edildiği ve gerginliğin istenilen sınırlar içerisinde kontrol edilebildiği belirtilmiştir. Şekil 2.23 çalışmada kullanılan tülbent sarma ve besleme sistemini göstermektedir. Sarma ve besleme leventleri ayrı birer motor tarafından tahrik edilmektedir. Ortadaki yük hücresi gerginlik ölçümünde kullanılmaktadır. Ancak bu ölçüm geri beslemeli kontrol amaçlı olmayıp sistemin performansını değerlendirme amacına yöneliktir. Kontrol sistemi oluşturmak için önce gerek sarma gerekse besleme sistemine ait hareket denklemleri çıkarılmış, çaptaki değişmelere karşılık sarma ve besleme leventlerinin açısal hızları hesaplanmıştır. Sistemde sarım leventini tahrik eden motorun sarım hızı (teğetsel hız) çaptaki artışa bağlı olarak açısal hızı ayarlanarak kontrol edilirken besleme leventini tahrik eden motorun torku levent çapına göre ayarlanarak gerginlik kontrol edilmektedir. Çalışma deneysel olarak gerçekleştirilmeyip geliştirilen kontrol algoritmalarının performansı simülasyon çalışmasıyla test edilmiştir. Simülasyon test çalışmasında açısal hızdaki ve istenilen gerginlikteki değişime sistemin cevabı test edilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre gerek hız kontrolü gerekse gerginlik kontrol sisteminin cevabı yeterli bulunmuş olup 0,4 s gibi bir geçiş periyodundan sonra istenen değere oturmuş ve bu değerle herhangi bir dalgalanma olmadan sabit kalmıştır. Yapılan son değerlendirmede simülasyon sonuçlarına göre elde edilen sensörsüz gerginlik kontrol sistem performansının gerginlik sensörü kullanılan durumlarla karşılaştırılabilir düzeyde olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 2.23. Tülbent sarma ve besleme sistemi (Tham vd. 2019)

Valenzuela vd. (2003) kağıt makinelerinin kurutulmuş bölgesi için sensörsüz gerginlik kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Çalışma teorik olarak gerçekleştirilmiş ancak sonunda AC motora bir DC jeneratör bağlanıp frenleme moment oluşturularak deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada AC motorlar kurutulmuş kağıdı sevkeden sabit çaplı silindirleri tahrik etmektedir. Sensör kullanmadan gerginliğin tahminleme yoluyla belirlenmesi AC motor sürücülerinden elde edilen akım ve tork değerleri sayesinde gerçekleştirilmektedir. Yapılan simülasyon çalışmaları ve DC jeneratör bağlı AC motor kontrolüne göre gerginliğin başarılı bir şekilde tahminlenip kontrol edilebildiği vurgulanmıştır. Ancak bu çalışmada kağıdın sarıldığı değişken çaplı silindirin merkezi tahriki durumunda kontrol yapılmamıştır. Sabit çaplı 2 adet küçük çaplı silindirin teğetsel tahrik ile kağıt silindirini tahrik ettiği durum için çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın öneriler kısmında araştırmanın değişken çaplı dolayısıyla değişken açısız ve değişken ataletli sistemlere genişletilmesi önerilmektedir.

Valenzuela vd. (2008) kağıt makinelerinin sarım üniteleri için 2 adet gerginlik tahminleyici geliştirmişlerdir. Burada amaç bir yandan kağıt tabaka gerginliğini hassas bir şekilde kontrol etmek olurken diğer yandan bu işlemi gerginlik sensörü kullanmadan gerçekleştirmektir. Gerginlik tahminleyici algoritmaları iki silindir ve teğetsel tahrikli sarım ünitesi ile jeneratör tipi çalışan motor tarafından tahrik edilen besleme veya kağıt boşaltma ünitesine sahip sistem için geliştirilmiştir. Gerginlik tahminleme algoritmaları motorlar tarafından üretilen tahrik momentini dinamik tahrik moment ve kağıt tabaka gerginliğinin tahrik moment bileşenlerine ayırmaktadır. Dinamik tahrik moment (tork) bileşenleri atalet, hız değişimleri ve kağıt ağırlığından dolayı yataklardaki sürtünmelerin

etkilerini içermektedir. Dolayısıyla kağıt tabaka gerginliği elektriksel moment, dinamik tork ve sarılan rulonun yarıçapından hesaplanıp tahminlenmektedir. Bu büyüklüklerin hesaplanması gerginlik sensörü kullanmaksızın motorun hızı, çektiği akım, silindire (rulo) sarım yarıçapı kullanılarak hassas bir şekilde belirlenebilmektedir. Geliştirilen tahminleme algoritmaları ile gerçek gerginlik ve tahmin edilen gerginlik arasındaki farkın sürekli olarak izlendiği, sapma %5 ve üzerine ulaştığında sebebinin araştırılması için uyarı ürettiği belirtilmektedir. Tahminleme algoritmalarının sabit hızda sadece %3-4 dinamik hata ile çalıştığı ancak hızlanma ve yavaşlama periyotlarında sistemden alınan gerçek verileri değerlendirerek algoritmaları optimum performans elde edilecek şekilde oluşturulması gerektiği vurgulanmıştır. Sonuç olarak sensörsüz gerginlik kontrol sisteminin geliştirilen gözleyicilerle minimum sapma ile gerginlik kontrolü gerçekleştirebileceği belirtilmiştir.

Wang vd. (2018) silindire sarım ve silindirden sağım yapılan sistemlerde adaptiv hız kontrol elemanının PI parametreleri ile sensörsüz gerginlik kontrol yöntemini araştırmıştır. Tork denge prensibini esas alarak, gerginlik ölçme sensörünün yerine bir gerginlik gözleyici tasarlamışlar ve ölçülen gerginlik yerine izlenen veya gözlenen gerginlik değerini kullanmışlardır. Bu şekilde gerginlik ölçmenin sebep olduğu gecikme giderilmiştir. Sarım çaplarının değişmesinden dolayı meydana gelen motorlara yansıyan atalet momentleri tahminlenmiş ve tahminlenen atalet momentleri PI hız kontrol organı parametrelerinin ayarlanmasında kullanılmıştır. Bu şekilde sistemin dinamik davranışı iyileştirilmiştir. Sadece motorlar tarafından çekilen akım ve hız sinyalleri kullanılarak gerçekleştirilen bu kontrol yaklaşımının sonuçları deneysel verilerle doğrulanmış ve efektif bir sistem olduğu ortaya konulmuştur.

Zhong ve Pao (2009) teyp (şerit) sarım sistemlerinde zamanla değişen sarım yarıçapının gerginlik üzerine olan etkisini araştırmış ve gerginliği düzenleyecek kontrol algoritmalarını simülasyon yoluyla çalışmışlardır. Teyp sarılan makara çapındaki artışı iki kısma ayırmışlardır. Bunlar her devirdeki kat artışından dolayı çap artışı ve makaranın eksantrikliğinden dolayı çap değişimleridir. Her devirdeki kat artışına karşılık gelen çap değişimi yavaş ve düzenli artan bir değişim olduğundan iki devir için bu değişimin olmadığı varsayılmıştır. Ancak eksantriklikten dolayı olan değişimin bu sayede gözlenmesi ve belirlenmesi olanaklı hale gelmiştir. Buna göre ileri besleme türü kontrol

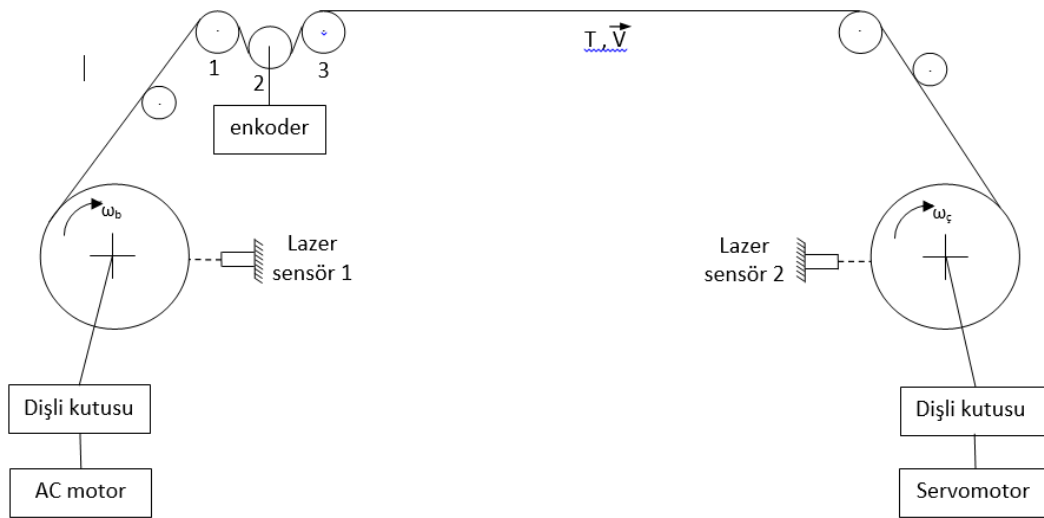
algoritmaları geliştirerek çap değişiminin gerginlik üzerine olan etkisi minimize edilmiştir. Çalışma matematiksel modelleme ve simülasyona dayalı olarak yapılmış olup deneysel olarak gerçekleştirilmemiştir.

Yukarıda açıklanan kaynak araştırmasının sonuçlarına göre özellikle kağıt üretim makineleri ile ince elastik malzemelerin (tülbent, şerit, bant v.s.) işlem gördüğü proseslerde sensörsüz gerginlik kontrolü yaklaşımının talep gördüğü ve istenen değerden %5 seviyelerinde bir sapma ile gerginlik kontrolünün gerçekleştirildiği belirtilmiştir. Yapılan çalışmaların büyük bir bölümü matematiksel modelleme ve simülasyon esaslı çalışmalar olup uygulama genellikle küçük ölçekli rulo tarzı sarım sistemi şeklinde yapılmıştır. Çalışmalarda ağırlıklı olarak moment-hız ve moment-akım ilişkileri lineer (doğrusal) olan ya servo motor ya da DC motorlar kullanılmıştır. Ayrıca gerek deneysel çalışmalar gerekse simülasyon çalışmalarına ait sonuçlar sınırlı sayıda hız değeri için verilmiştir ve geniş bir hız aralığında çalışmaya ait deneysel sonuçlar az miktarda paylaşılmıştır. Bunun ötesinde tekstil sanayine yönelik uygulama da oldukça sınırlıdır. Tekstilde çözümlü hazırlama, terbiye makinaları için toptan kumaş besleme ve sarma sistemleri ile kalite kontrol ve kumaş topu sarım makinalarında gerginlik sensörü kullanmadan gerginlik kontrolü gerçekleştirmek pratik açıdan da uygulanabilir sonuçlar üretme kapasitesine sahiptir. Literatürde bu alanda çalışmalara rastlanmamıştır. Bu doktora tez çalışmasında amaç endüstriyel şartlardakine benzer büyüklükte bir prototip imal ederek geniş bir çalışma hızı aralığında sensörsüz gerginlik kontrol sistemi ile çözümlü veya kumaş gerginliğini endüstriyel şartların kabul edebileceği hassasiyetle kontrol olanaklarının araştırılmasıdır. Yapılan çalışmada gerginlik kontrol hassasiyetinin yanında servo motor ve asenkron motorların kontrol performanslarının araştırılması ve karşılaştırılması da amaçlanmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

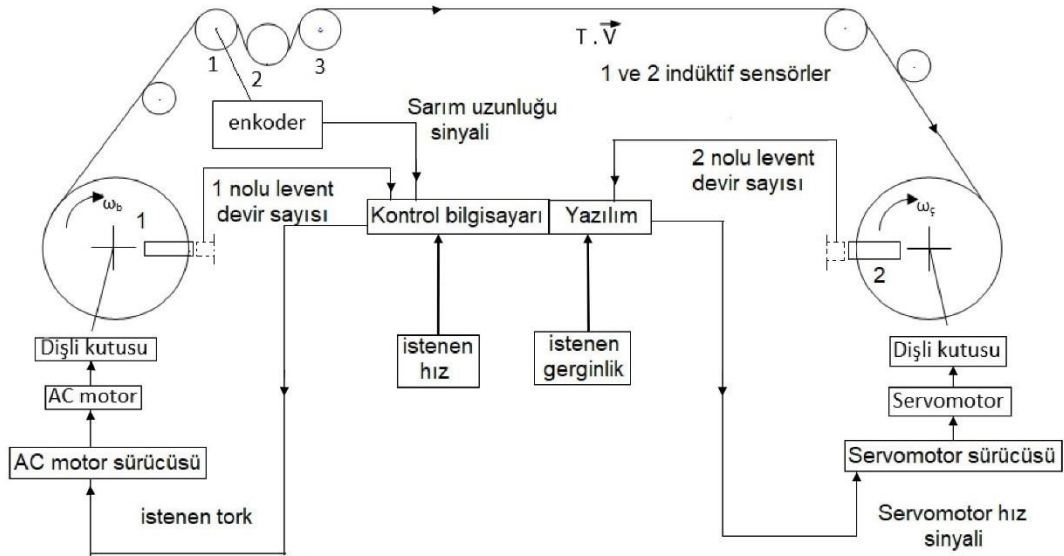
3.1. Materyal

Bu doktora tez çalışmasında amaç sensörsüz gerginlik kontrol sistemi performansını deneysel olarak araştırmak olduğundan bu amaca yönelik bir prototip sistem tasarımı ve imalatı planlanmıştır. Yapılan tasarım şematik olarak Şekil 3.1’de görülmektedir. Sol taraftaki levent bir dişli aracılığı ile asenkron motor tarafından tahrik edilirken sağ taraftaki levent yine bir dişli kutusu aracılığı ile servo motor tarafından tahrik edilmektedir. İki farklı tipte motor kullanmanın amacı hem asenkron hem de servo motorların sensörsüz gerginlik kontrol sistem performanslarının karşılaştırılması olarak araştırılmasıdır. Sistemin leventleri hiç değiştirmeden her iki yönde de çalışıp sarım yapacak şekilde tasarlanması planlanmıştır. 1 ve 2 nolu lazer sensörler ile levent çaplarının ölçümü gerçekleştirilmektedir. 2 nolu mile takılan bir artımlı mil kodlayıcı ile sarılan çözümlü uzunluğunun veya hızının ölçümü yapılmakta olup levent devir sayılarını ölçmek için birer indüktif algılayıcı kullanılmıştır. 2 nolu mil iki taraftan yük hücreli yataklar ile yataklanmış ve bu sayede çözümlü iplik gerginliğinin ölçümü gerçekleştirilmiştir. Yük hücreleri ile gerginlik ölçümü ve lazer sensörleriyle çap ölçümleri gerginlik ve hız kontrol sistemi oluşturmak için değil sensörsüz gerginlik ve açık döngü hız kontrol sistemlerinin performansını değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Tasarlanan prototip ünitenin şematik görünüşü.

Şekil 3.2 sensörsüz gerginlik kontrolü ve açık döngü hız kontrol sisteminin uygulanmasına yönelik kontrol sistemi ve sistemde hız ve gerginlik kontrollerine ait veri dolaşımını göstermektedir. Burada kontrol bilgisayarına prototip sistemin çalışacağı sarım hızı ve istenen toplam gerginlik değeri girilmektedir. Motor hızlarının hesabında kullanılacak levent çap değerlerinin hesaplanabilmesi için levent devir sayıları ile sarılan çözümlü uzunluğunu temsil eden sinyaller prototip düzenekten bilgisayara iletilmekte ve bilgisayar tarafından anlık olarak okunmaktadır. Sensörsüz gerginlik ve açık döngü hız kontrol sistemlerinin hayata geçirilebilmesi için prototip düzenekten bu bilgilerin elde edilmesi yeterli olmaktadır. Şekilden de görüldüğü gibi kontrol edilecek olan gerginlik ve sarım hızı değerlerinin doğrudan ölçümü ve bilgisayar tarafından okunması söz konusu değildir. Sağlanan 3 adet sensör sinyalinden (levent devir sayılarını ölçen 2 adet indüktif algılayıcı ile sarım uzunluğunu ölçen artımlı mil kodlayıcı) hesaplanan çap sayesinde istenen hız ve motorların kontrol edilmesinde kullanılan tork değerleri hesaplanıp karşılık gelen sinyaller kontrol sinyali olarak motorların sürücü devrelerine uygulanır. Bu işlem dolu leventten boş levende kadar çok küçük zaman aralıklarıyla tekrar edilerek prototip düzeneğin sensörsüz gerginlik kontrolü ve açık döngü hız kontrolü ile çalıştırılması sağlanır.



Şekil 3.2. Sensörsüz gerginlik kontrolü ve açık döngü hız kontrol sistemine ait detaylı şematik görünüş

Prototip ünitenin küçük bir model olması yerine endüstrideki şartları yansıtan bir model olması tercih edilmiştir. 0-200 m/dak arasında hızda çözgü sarımı yapabilen ve 500 N toplam çözgü gerginliği ile çalışabilen bir sistem olması öngörülmüştür. Bir leventten diğerine aktarılacak malzeme olarak başlangıçta kumaş düşünülse de kalınlığından dolayı aktarma işlemi kısa süreceğinden deneysel çalışmalar için uygun görülmemiş ve daha uzun metrajda sarım imkanı olduğundan leventlerin çözgü ile doldurulması ve birinden diğerine aktarılması uygun bulunmuştur. Buna göre piyasadan kolayca temin edilebilecek levent olarak 120 mm boş çapı, 320 mm dolu çapı olan 320 mm genişliğinde çözgülü örme leventlerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Buna göre motor güç hesabı ve kullanılacak olan dişlilerin seçimi aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

Motorların 200 m/dak teğetsel sarım hızı için maksimum açısal hızı levent boş olduğunda elde edilir. Bu durumda 120 mm boş levent çapında levent açısal hızı devir/dakika olarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$V = \pi d n$$

$$n = \frac{V}{\pi d} \quad (3.1)$$

$$n_1 = 200 / (3,14 \times 0,12)$$

$$n_1 = 530,8 \text{ d/dak}$$

Bu değer leventin devir sayısı olup kullanılacak olan motorun maksimum devir sayısı motor ve levent arasındaki dişli mekanizmasının hız oranı göz önüne alınarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$n_m = \frac{n_1}{i} \quad (3.2)$$

Servo motorlar güç değerine bağlı olarak 1500, 3000, 6000 dev/dak gibi nominal hızlarda çalışacak şekilde tasarlanmaktadır. 1500 dev/dak nominal hızda çalışan bir servo motor seçildiğinde yaklaşık $i = 1/3$ dişli oranı ile levent tahriki istenen maksimum sarım hızına yakın bir değer üretmektedir. Buna göre maksimum çözgü gerginliği 500 N alınarak motor için tahrik momenti ve güç hesabı aşağıdaki şekilde yapılabilir.

$$M = F \cdot r_d \quad (3.3)$$

r_d dolu levent yarıçapını temsil etmekte olup 500 N luk maksimum gerginlik için motorun üretmesi gereken en yüksek tahrik momenti aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$M = 500 \times (0,32/2)$$

$$M = 80 \text{ Nm}$$

Bu değer sadece maksimum çözümlü gerginliğini yenmek için motor tarafından üretilip levende iletilmesi gereken en yüksek momenttir. Aradaki dişli oranı da hesaba katıldığında motor tarafından üretilmesi gereken moment $M_m = 80/3 = 26,7 \text{ Nm}$ olur. Dişli veriminin %90 seviyelerinde olduğu ve yatak sürtünmelerini de göz önüne alarak 30 Nm seviyelerinde tahrik momenti kapasitesine sahip bir motorun uygun olduğu değerlendirilmesi yapılabilir. 1500 dev/dak nominal hızla çalışan ve 30 Nm tahrik momenti üretme kapasitesine sahip bir motor uygun bir çözüm olarak değerlendirilebilir. Bu durumda motor gücü $P_m = M_m \times \omega_m = 30 \times 2 \pi \times 1500 / 60 = 4710 \text{ Watt} = 4,71 \text{ kW}$ Yapılan değerlendirmede Delta marka 1500 dev/dak nominal hızla çalışan 4,5 kW gücünde bir servo motorun maliyeti göz önünde bulundurularak leventlerden birinin tahriki için uygun olacağı kararına varılmıştır. Servo motorlar çok düşük hızlardan nominal hıza kadar ciddi bir kayıp olmaksızın maksimum tahrik momentini üretebilmektedir. Ancak asenkron motorlarda geri beslemeli vektör kontrollü sürücü kullanılmadığı takdirde nominal hızda ürettiği tahrik momentinin önemli bir kısmını düşük hızlarda üretememektedir. Bu yüzden levende iletilen torku daha yüksek seviyelerde tutabilmek için asenkron motor ve levent arasında daha büyük bir hız düşüm oranına sahip dişli mekanizması kullanılması planlanmış ve yapılan araştırmada 4,2 hız düşüm oranına sahip dişlinin kullanılması uygun bulunmuştur. Yukarıdaki hesaplar temel alınarak ve asenkron motorların geri beslemesiz vektör kontrollü sürücü devresi kullanıldığında düşük hızlardaki tahrik momenti kayıpları da göz önünde bulundurularak dört kutuplu 5,5 kW gücünde bir asenkron motor seçimi tercih edilmiştir. Dört kutuplu asenkron motorun nominal çalışma hızı 1455 dev/dak olduğu ve levende iletilirken hızının 4,2 oranında düşürüldüğü göz önüne alındığında nominal hızda maksimum sarım hızı 200 m/dak dan önemli bir sapma göstermektedir. Ancak asenkron motorlar için kullanılan geri beslemesiz vektör kontrollü sürücü devre ile maksimum çalışma frekansını

60-70 Hz aralığına çekerek istenilen maksimum sarım hızı kolaylıkla sağlanabilecektir. Buna göre 2 adet sarım ünitesinde kullanılacak servo motor ve asenkron motor ile sürücü devrelerine ait teknik özellikler aşağıda verilmiştir. (<https://www.dostelotomasyon.net/urun/8/asda-a2-serisi-ac-servo-motor.html> ,2022) (<https://www.dostelotomasyon.net/urun/5/delta-c2000-serisi-surucu.html>,2022)

Seçilen servo motor ve AC motorlar sürücü devreleriyle birlikte sırasıyla şekil 3.3 ve şekil 3.4'te görülmektedir.

Servo motor ve sürücü teknik özellikler

Nominal hız : 1500 d/dak

Güç : 4,5 kW

Kontrol tipleri : 4 bölge hız, pozisyon, tork kontrolü

Kontrol sinyalleri : Analog sinyal -10 +10 volt (-1500 + 1500 d/d)

Dijital sinyal : Ayarlanabilir frekansta, darbe tipinde dijital sinyal

Ayarlanabilir hızlanma ve yavaşlama periyotları



Şekil 3.3. Servo motor ve sürücüsü devresi

(<https://www.dostelotomasyon.net/kategori/11/delta-ac-servo-motorlar-ve-suruculer-kategorisindeki-urunler.html>,2022)

AC motor ve sürücü teknik özellikler

Güç : 5,5 kW

Nominal hız : 1455 d/dak

Kontrol tipleri : 4 bölgeli hız, pozisyon, tork kontrolü

Kontrol sinyali : Analog (-10 - +10 volt)

Sürücü devresi : Delta C 200 geri beslemesiz vektör kontrol



Şekil 3.4. AC motor ve sürücü devresi

(<https://www.dostelotomasyon.net/urun/5/delta-c2000-serisi-surucu.html>,2022)

Sarılan çözümlü uzunluğu ve sarım hızının ölçümünde aşağıda teknik özellikleri verilen bir artımlı mil kodlayıcısı kullanılmıştır. Maksimum teğetsel hızın 200 m/dak olması durumunda 0,12 m çapındaki ölçme silindirin miline takılan bir artımlı mil kodlayıcısının çözünürlüğü $V = \pi dn$ formülünden aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$200 = 3,14 \times 0,1 \times n$ ise $n = 636,9$ d/dak bulunur. Bu silindir devir sayısı 200 m/dak teğetsel hıza karşılık gelen açısal hızı temsil etmektedir. Bu durumda bir devirde kare dalga şeklinde 100 sinyal üreten bir artımlı mil kodlayıcısı kullanıldığında $f = 636,9 \times 100 / 60 = 1061,5$ Hz frekansta sinyal elde edilir. Ayrıca çözümlü tarafından döndürülen 100 mm çaplı silindirin çevresi 314,2 mm olur. Bu durumda bir devirdeki 100 sinyalin her biri ile sarılan çözümlü uzunluğu 3,1415 mm çözünürlükle ölçülebilir. 0-200 m/dak arasında değişen sarım hızı ise 0-1061,5 Hz arasında değişen frekansta sinyal ile doğrusal bir ilişki olacak şekilde ölçülebilmektedir. Bu durumda çözünürlüğü 100 sinyal/devir olan bir artımlı mil kodlayıcısının seçilmesi ölçüm hedefleriyle uygun bulunmuştur. Aşağıdaki

şekilde hız ve sarım uzunluğu için seçilen artımlı mil kodlayıcının teknik özellikleri verilmektedir.(<https://www.kartalotomasyon.com.tr/urun/e40s6-500-3-t-24-40mm-milli-12-24vdc-artimli-enkoder,2022>) Şekil 3.5 ise seçilen mil kodlayıcının fotoğrafını göstermektedir. Mil kodlayıcının A ve B sinyalleri her devirde 100 defa tekrar etmekte olup aralarında 90 elektriki derece faz farkı vardır. Z sinyali ise her devirde 1 adet üretilen sinyal olup referans sinyali olarak isimlendirilmektedir.

Artımlı mil kodlayıcı teknik özellikleri

Çözünürlük : 100 sinyal/devir

Çıkış sinyali : Logic 1 : 5-24 volt

Logic 0 : 0 volt

Çıkış sinyalleri : A, B, Z

Maksimum çalışma hızı : 5000 d/d

Besleme gerilimi : 5-30 volt



Şekil 3.5. Sarım hızı ve uzunluğunun ölçümünde kullanılan artımlı mil kodlayıcı (<https://www.kartalotomasyon.com.tr/urun/e40s6-500-3-t-24-40mm-milli-12-24vdc-artimli-enkoder,2022>)

Lazer sensörler kullanılarak levent çapları hassas bir şekilde ölçülmüştür. Şekil 3.6 seçilen lazer sensöre ait fotoğrafı göstermektedir. Aşağıda kullanılan lazer sensörlere ait teknik özellikler verilmektedir.

(<https://www.leuze.com/tr-tr/prk25cl114p-m8/50139661?p=1,2021>)

Lazer sensör teknik özellikleri

Lazer tipi : Görünür kırmızı ışık lazeri

Ölçme aralığı : 450 mm ye kadar ayarlanabilir ölçme aralığı

Besleme gerilimi : 13-30 volt

Çıkış sinyali : 0-10 volt (0 ile ayarlanan maksimum ölçme mesafesi-mm)

Lazer sensörün ölçüm gerçekleşmeyen ölü bölge uzunluğu 50 mm olup toplam ölçme aralığı 400 mm dir. Ancak ölçme aralığı sensör üzerindeki olanaklarla azaltılabilmektedir. Tez çalışması kapsamında ölçme aralığı 200 mm olarak ayarlanmıştır. Şekil 3.6 seçilen lazer sensörün fotoğrafını göstermektedir. Aynı teknik özelliklere sahip 2 adet lazer sensör satın alınarak her bir levendin çap ölçümünde kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Levent çapları ölçümünde kullanılan lazer sensör
(<https://www.leuze.com/tr-tr/prk25c1114p-m8/50139661?p=1,2021>)

Gerginlik ölçümünde ise yatak tipi yük hücreleri kullanılmış olup çözümlü ipliklerinin etrafından dolandığı ve yukarı yönlü baskı uyguladığı bir silindirin sağ ve sol tarafındaki yataklara 2 adet yük hücresi ilave edilmiştir. Toplam çözümlü gerginliği 2 adet yük hücresinden elde edilen sinyallerin ortalaması olarak alınmıştır. Toplam çözümlü gerginliği 500 N üst sınırında tutulduğundan her bir yük hücresinin 500 N a kadar ölçme aralığına sahip olması yeterli bulunmuştur. Ancak çalışma esnasında kontrol dışı oluşacak gerginlik artışlarını ölçebilmek ve herhangi bir hasar oluşumunu önlemek için yük

hücrelerinin her biri 0-1000 N aralığında ölçüm yapacak şekilde seçilmiştir. Seçilen yük hücrelerine ait teknik özellikler aşağıda verilmektedir.

(https://www.esit.com.tr/tr/indikatorler_ve_kontrol_cihazlari/tr_3_yuk_hucreси_analog_sinyal_transmitter/urun/62,2021)

Yük hücresi teknik özellikleri

Maksimum kapasite : 100 kg (1000 N)

Maksimum uyarma gerilimi : 15 volt

Giriş direnci : $385 \pm 20 \Omega$

Çıkış direnci: $351 \pm 3 \Omega$

Yük hücresiyle birlikte kullanılan kuvvetlendirici devre Esit marka Tr 3 model olup 0-1000 N arası kuvvet uygulanarak kalibrasyon yapıldığında 0-10 volt arası analog çıkış sinyali üretmektedir. Şekil 3.7 gerginlik ölçme amacıyla kullanılan Esit marka yük hücresi ve kuvvetlendirici devresini göstermektedir.



Şekil 3.7. Gerginlik ölçümünde kullanılan yük hücresi ve kuvvetlendirici devresi
(https://www.esit.com.tr/tr/indikatorler_ve_kontrol_cihazlari/tr_3_yuk_hucreси_analog_sinyal_transmitter/urun/62,2021)

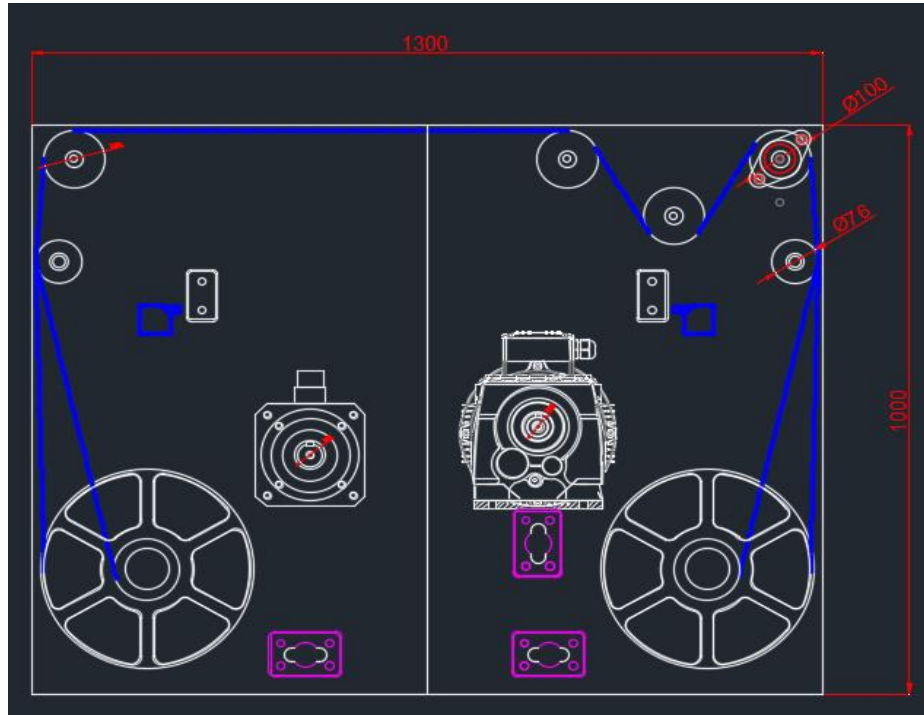
Deneysel çalışmalar esnasında leventten levende aktarılacak materyal olarak başlangıçta ince bir kumaş kullanımı planlanmıştır. Ancak kumaş kalınlığının çözgü tabakası kalınlığına göre daha yüksek olması 120-360 mm arası levent çaplarında yeterli uzunlukta çalışacak kumaş sarımını mümkün kılmamıştır. Örneğin 50-100 m arası kumaş uzunluğu sarılsa dahi öngörülen 50-150 m/dak gibi hızlarda leventten levende kumaş aktarımı 1-2 dakika gibi bir sürede gerçekleşecek ve bu süre gerekli ayarların yapılıp sonuç almak için

yeterli olmayacaktır. Diğer yandan 32 cm genişliğinde kumaşların kesilip levende sarılması için ilave bir sarım ünitesi tasarlamak ve imal etmek gerekli olacaktır. Bu yüzden çözgü örne makineleri için kullanılan seri çözgü makinesi ile levent dolana kadar sarım işlemi gerçekleştirilmiş ve bu çözgü leventleri deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Başlangıçta 150/36 denye poliester tekstüre iplik kullanılıp toplam 600 adet çözgü 2980 m uzunluğunda sarılmıştır. Ancak deneysel çalışmalar esnasında bazı durumlarda yüksek gerginlik değişimleri kopuşlara sebep olmuş bu durum sarımın bozulmasına ve tekrarlı olarak leventlerin deneylerde kullanılmasına engel olmuştur. Bu yüzden 320 adet 300/72 denye poliester tekstüre çözgü ipliği kullanılarak 2650 m çözgü hazırlanmış ve deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Bu sayede kopuş olmadan sarım hızına bağlı olarak 2 saate kadar sürede çalışma tamamlanacak şekilde çalışma imkanı ortaya çıkmıştır.

3.2.Yöntem

3.2.1.Mekanik tasarım

Prototip ünitenin mekanik tasarım çalışmaları AUTOCAD yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.8 yapılan mekanik tasarımın AUTOCAD ekranında yandan görünüşünü göstermektedir. İlk aşamada yapılan bu tasarıma daha sonra bir gerginlik sınırlayıcı tasarlanıp monte edilmiştir. Şekildeki tasarım, öngörülen şematik tasarımın birebir gerçekleştirilmesinden ibarettir. Aşağıda tasarlanıp imal edilen her bir ünite üç boyutlu görsel ile açıklanacaktır.



Şekil 3.8. Prototip ünitenin AUTOCAD tasarımı yandan görünüşü.

Leventlerin takıldığı ünitelerden servo motor tahrikli olanı şekil 3.9’da gösterilmektedir. Servo motor 1:3 oranında hız düşümü sağlayan bir dişli kutusu (redüktör) ve zaman kayışı ile levendin takılacağı A çenesini tahrik etmektedir. Dolayısıyla A çenesi dişli kutusunun çıkış hızında döndürülmektedir. B çenesi ise sol taraftaki yatakta serbestçe dönebilecek şekilde takılmış olup baskı kuvveti ayarlanabilen bir yay ile takıldığında levende baskı yapmaktadır. Bu şekilde A çenesi tarafından döndürülen levent B çenesini de serbestçe döndürmektedir. A ve B çeneleri gövdeye kaymalı yatakla takılmış olup, A çenesindeki

bir kama levent iç çapındaki bir kanal ile kenetlenerek levendin A çenesiyle aynı hızda döndürülmesi sağlanmaktadır.



Şekil 3.9. Servo motor tahrikli leventlerin takıldığı ünite

Şekil 3.10 B çenesine yay ile baskı kuvveti uygulamasına ait mekanik tasarımı göstermektedir. Vidalı mil döndürme kolu ile döndürülerek somun sabit olduğundan aksenal olarak ileri-geri hareket ettirilebilmektedir. Vidalı mil, ucundaki baskı parçası ile yayı itip sıkıştırarak baskı kuvveti uygulamakta ve bu kuvvet ile B çenesi yanal olarak ileri hareket ettirilmektedir. B çenesi levendin içi boş olan silindirik kısmına baskı yapıp kayma olmaksızın levent ile birlikte dönmektedir.



Şekil 3.10. Yay ile baskı kuvveti uygulamasına ait mekanik tasarımı

Şekil 3.11 levendin sarım ünitesine takılmış haldeki durumunu göstermektedir. Prototip sistemde bulunan 2 adet sarım ünitesi de aynı mekanik tasarıma sahip olduğundan ayrı ayrı açıklanmayacaktır. Ancak şekil 3.11'deki ünite ikinci sarım ünitesi olup asenkron motor ile bir dişli kutusu (redüktör) aracılığıyla bir zaman kayışı kullanılarak tahrik edilmektedir. Levendin hızı, dişli kutusunun çıkış hızıyla aynıdır. Her bir sarım ünitesinde ayrıca birer adet levent çapı ölçümü için lazer sensörü bulunmaktadır. Şekil 3.11'de lazer sensörünün leventten belirli bir mesafede üst konumda gövdeye sabitlenmiş hali gösterilmektedir. Aradaki mesafe sensör teknik özelliklerinde belirtildiği gibi ölçme aralığını sağlayacak şekilde belirlenmiştir.



Şekil 3.11. Levendin sarım ünitesini takılmış hali ve lazer sensörün durumu

Gerginlik ölçümü şekil 3.12’de görüldüğü gibi 3 adet silindir etrafından dolanarak geçen iplik veya kumaşın 2 nolu silindire uyguladığı baskı esas alınarak yapılmaktadır. Bu amaçla ortadaki silindir (2) yatak tipi yük hücreleriyle gövdeye yataklanmış olup gerginliğin etki ettirdiği yukarı yönlü kuvvetler 2 adet yük hücresi tarafından elektriksel sinyale dönüştürülüp ölçüm gerçekleştirilmektedir. 1 ve 3 nolu silindirler gövdeye bilyeli yataklarla yataklanmış olup kendi eksenleri etrafında dönmektedir. 2 nolu silindir de kendi eksenini etrafında dönme hareketi gerçekleştirmektedir. Aynı zamanda yük hücreleriyle gerginlik ölçümü de sağlamaktadır. Şekil 3.13’te 2 nolu silindir etrafına dolanan çözgünün 2 nolu silindire etki ettirdiği 2 adet gerginlik ve dikey doğrultuda etkiyen bileşke gerginlik kuvveti geometri dikkate alınarak aşağıdaki denklemlerle yazılabilir.

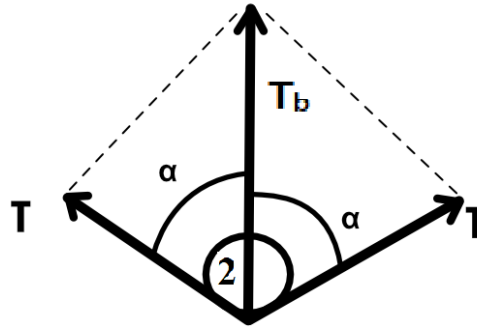
$$\begin{aligned} T_b &= T \cos \alpha + T \cos \alpha \\ T_b &= 2 T \cos \alpha \end{aligned} \quad (3.3)$$

Bileşke gerginlik kuvveti 2 nolu silindire dikey doğrultuda etki ederken yataklarda aşağı yönlü T_{y1} ve T_{y2} reaksiyon kuvvetleri meydana gelir. Bu kuvvetler yük hücreleriyle ölçüleceğinden bileşke gerginlik kuvveti T_b , 2 adet yatak kuvvetinin toplamına eşit olur ve aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$T_b = T_{y1} + T_{y2} \quad (3.4)$$



Şekil 3.12. İpliğin geçtiği silindirler ve yük hücrelerinin konumu

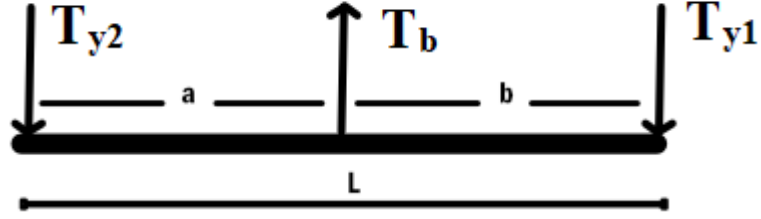


Şekil 3.13. Silindire etkiyen gerginliklerin oluşturduğu bileşke kuvvet

$$T_b = T \cdot \cos \alpha + T \cdot \cos \alpha \quad (3.5)$$

$$T_b = 2 \cdot T \cdot \cos \alpha$$

$$T_b = T_{y1} + T_{y2}$$



Şekil 3.14. Gerginlik ölçme silindirinde etkiyen bileşke gerginlik kuvveti ile yük hücrelerine etkiyen yatak kuvvetleri

Burada çözümlü ipliklerinin silindir üzerindeki konumu sağa sola kayma gösterse de yataklara gelen kuvvetlerin değişim göstermesine rağmen toplamı bileşke gerginlik kuvvetine eşit olacağından, gerginlik ölçümü bu durumdan etkilenmez. Ancak tek bir yük hücresiyle ölçüm gerçekleştirilirse çözümlü ipliklerinin en boyunca dağılımından meydana gelen değişim toplam gerginlik aynı olsa bile farklı bir değer olarak ölçülür. Bu yüzden gerginlik ölçme sistemi 2 adet yük hücresiyle gerçekleştirilecek şekilde bir tasarım yapılmıştır.

Şekil 3.15 artımlı mil kodlayıcı kullanılarak sarılan çözümlü uzunluğu ve çözümlü sarım hızı ölçümünü göstermektedir. Gerginlik ölçme sisteminde gösterilen 3 nolu silindir miline şekildeki artımlı mil kodlayıcı bir kaplin ile bağlanmış ve 3 nolu silindir ile aynı hızla dönmektedir. Mil kodlayıcıdan elde edilen sinyaller belirli zaman aralıklarıyla ve toplam olarak bir elektronik sayaçla sayılmaktadır. 3 nolu silindirin çapı 100 mm olduğundan çevresi 314 mm dir. Ölçülen toplam silindir devir sayısı silindir çevresiyle çarpılarak sarılan çözümlü uzunluğu bulunmaktadır. Ayrıca 1 saniye aralıklarla ölçülen 3 nolu silindir devir sayısı kullanılarak sarım hızı hesaplanmaktadır. Sarılan çözümlü uzunluğu ve sarım hızının hesaplanmasında aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır.

$$L = \pi D n_t \quad (3.6)$$

Burada L sarılan çözümlü uzunluğunu (m), D 3 nolu silindirin çapını (m) ve n_t sarım boyunca 3 nolu silindirin ölçülen toplam devir sayısını göstermektedir.

$$V = 60 \pi D n_s \quad (3.7)$$

Bu denklemde V sarım hızını (m/dak), D 3 nolu silindirin çapını (m) ve n_s 1 saniye süresince ölçülen 3 nolu silindir devir sayısını göstermektedir.

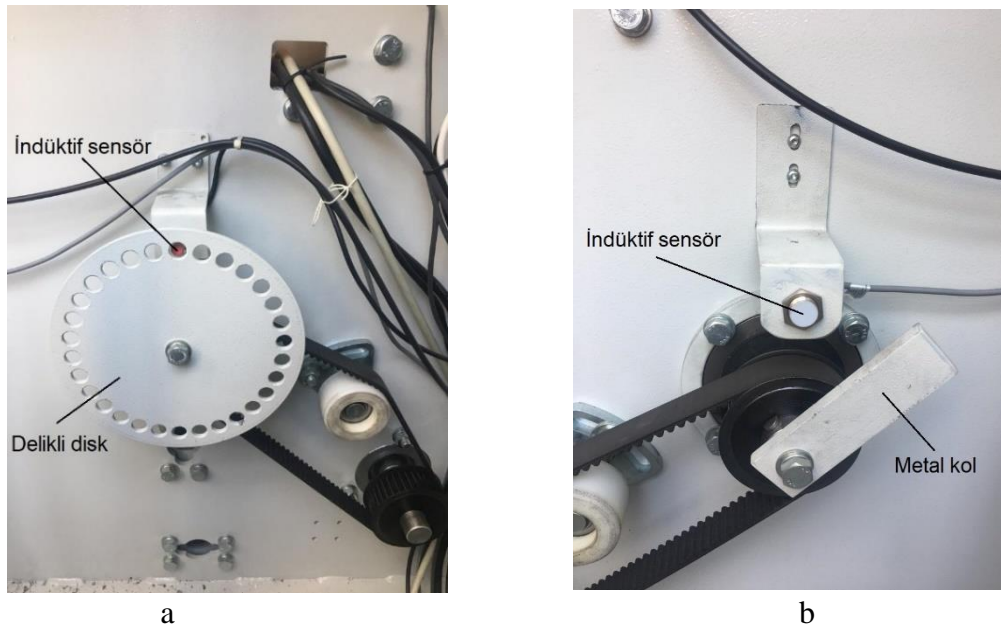


Şekil 3.15. Artımlı mil kodlayıcı (enkoder) konumu

Prototip sistemde yukarıda açıklananlar haricinde 2 adet levendin devir sayıları da ölçülmüş ve bu amaçla ölçme sistemi tasarımları gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.16 ve şekil 3.17 sırasıyla asenkron motor ve servo motor tarafından tahrik edilen leventlerin devir sayılarını ölçen sensör tasarımlarını göstermektedir. Şekil 3.16.a'da asenkron motor dişli kutusunun çıkış miline delikli bir disk bağlanmış ve dişli kutusu çıkış mili ile aynı hızla dönmektedir. Deliklerin tam hizasına gelecek şekilde diske dik olarak bir indüktif algılayıcı monte edilmiştir. Diskin dönüşü esnasında delik açılmış ve açılmamış kısımlar indüktif algılayıcının hizasından geçerken sensör çıkış sinyali 0 volt ve 24 volt olarak iki farklı seviyede gerçekleşmektedir. 0 volt ve 24 voltluk kısımlardan oluşan çıkış sinyali diskin bir devrinde delik sayısı kadar tekrar etmektedir. Çalışma esnasında indüktif algılayıcıdan elde edilen çıkış sinyali sayısı toplanmakta ve otuza bölünerek (diskteki toplam delik sayısı) diskin dönüş sayısı bulunmaktadır. Diskin hareketi bir zaman kayışıyla 1:1 oranında levende iletildiğinden bu değer aynı zamanda asenkron motor tarafından tahrik edilen levendin toplam dönüş sayısına karşılık gelmektedir. Şekil 3.16.b'deki sistem aynı ölçme yaklaşımı ile servo motor tarafından tahrik edilen levendin devir sayısı ölçümünü gerçekleştirmektedir. Bu amaçla bir metal

kol servo motor dişli kutusu çıkış miline bağlanmış olup aynı hızda dönmektedir. Metal kol indüktif algılayıcı önünden geçerken lojik 1 sinyal seviyesine karşılık gelen 24 volt seviyesinde sinyal üretirken 360 derecenin geri kalan bölümünde 0 volt değerinde sinyal üretmektedir. Böylece metal kolun her devrinde bir periyotluk dijital sinyal üretilmektedir. Servo motor dişli kutusu çıkış mili hareketi zaman kayışıyla levendi tahrik eden mile ileildiğinden metal kolun dönüş sayısı levendin dönüş sayısına eşit olmaktadır. Dolayısıyla indüktif algılayıcı tarafından üretilip elektronik sayaç ile toplanan sinyal sayısı levendin toplam dönüş sayısı olarak ölçülmektedir.

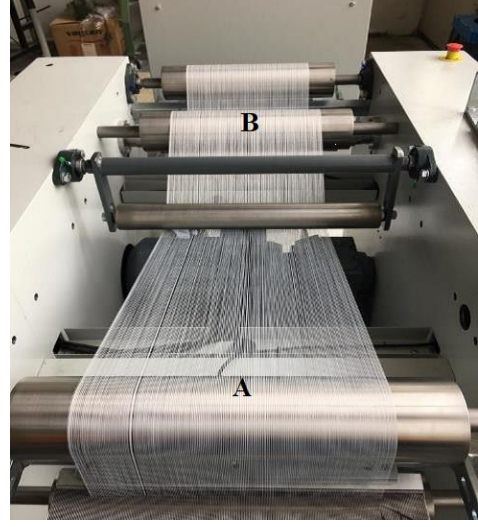


Şekil 3.16. Asenkron ve servo motor tarafından tahrik edilen leventlerin devir sayılarını ölçen sensör tasarımları

Tasarımı yapıp imal edilen prototip ünitesine leventlerin takılıp çözgü çekildiği duruma ait görünüş şekil 3.17’de verilmektedir. Sol taraftaki fotoğrafta gerginlik sınırlayıcısı olmayıp sağ taraftaki fotoğraf gerginlik sınırlayıcılı sistemi göstermektedir.



a



b

Şekil 3.17. İmalatı yapıp çözgü çekilen prototip üniteye ait fotoğraf görüntüleri
a)Gerginlik sınırlayıcısız b)Gerginlik sınırlayıcı monte edilmiş.

3.2.2.Gerginlik sınırlayıcı tasarımı ve analizi

Şekil 3.18’de görülen gerginlik sınırlayıcının en altta bulunduğu konum (sıfır gerginlik) şematik olarak şekil 3.18’de görülmektedir. A noktası çözgülerin arka silindiri terk ettiği nokta olup B noktası çözgünün gerginlik ünitesi giriş silindirine temas noktasıdır. Şematik olarak şekil 3.18’de gösterilen geometri göz önüne alınarak aşağıdaki ilişkiler yazılabilir.

$$DA^2 = AE^2 + DE^2 \quad (3.8)$$

$$DA = \sqrt{555^2 + 15^2}$$

$$DA = 555,2 \text{ mm}$$

$$DB^2 = EB^2 + DE^2 \quad (3.9)$$

$$DB = \sqrt{265^2 + 15^2}$$

$$DB = 265,4 \text{ mm}$$

Burada AE, EB ve ED sabit uzunluklar olup prototip ünite üzerindeki yer kısıtları göz önüne alınarak sırasıyla 555 mm, 265 mm ve 15 mm olarak alınmıştır. Buna göre

gerginlik sınırlayıcı en alt konumda olduğu zaman A ve B noktaları arasında çözümlü ipliği uzunluğu AC ve CB uzunluklarının toplamına ($l = l_1 + l_2$) eşittir.

Sınırlayıcı kol uzunluğu ve ucuna serbestçe dönecek şekilde takılan silindirin çapı göz önüne alınarak DC uzunluğu 160 mm olarak alınmıştır. 160 mm prototip ünitenin geometrisini getirdiği kısıtlar tarafından belirtilmiştir. Buna göre BEC ve AEC dik üçgenlerinden l_1 ve l_2 Pisagor bağıntısı ile aşağıdaki şekilde bulunur. Buna göre gerginlik sınırlayıcı en alt konumunda iken A, C ve B hattındaki çözümlü uzunluğu (l) $317,6 + 581,9 = 899,5$ mm olarak bulunur.

$$\begin{aligned} l_1^2 &= EB^2 + EC^2 & (3.10) \\ l_1 &= \sqrt{265^2 + 175^2} \\ l_1 &= 317,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l_2^2 &= AE^2 + EC^2 & (3.11) \\ l_2 &= \sqrt{555^2 + 175^2} \\ l_2 &= 581,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

ADC ve BDC üçgenleri kenar uzunlukları bilinen üçgenler olduğundan β_1 ve β_2 açıları cosinüs teoremine göre aşağıdaki gibi bulunabilir.

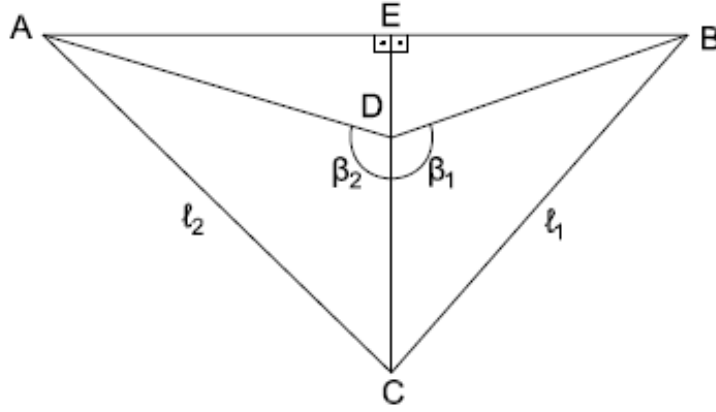
$$l_1 = \sqrt{DB^2 + DC^2 - 2 DB \cdot DC \cdot \cos(\beta_1)} \quad (3.12)$$

$$l_2 = \sqrt{AD^2 + DC^2 - 2 AD \cdot DC \cdot \cos(\beta_2)} \quad (3.13)$$

$$\beta_1 = \cos^{-1} \left(\frac{DB^2 + DC^2 - l_1^2}{2 DB \cdot DC} \right)$$

$$\beta_2 = \cos^{-1} \left(\frac{DA^2 + DC^2 - l_2^2}{2 DA \cdot DC} \right)$$

3.12 ve 3.13 nolu denklemlerde tüm boyutlar bilindiğinden $\beta_1 = 93,26^\circ$ ve $\beta_2 = 88,46^\circ$ olarak bulunur.

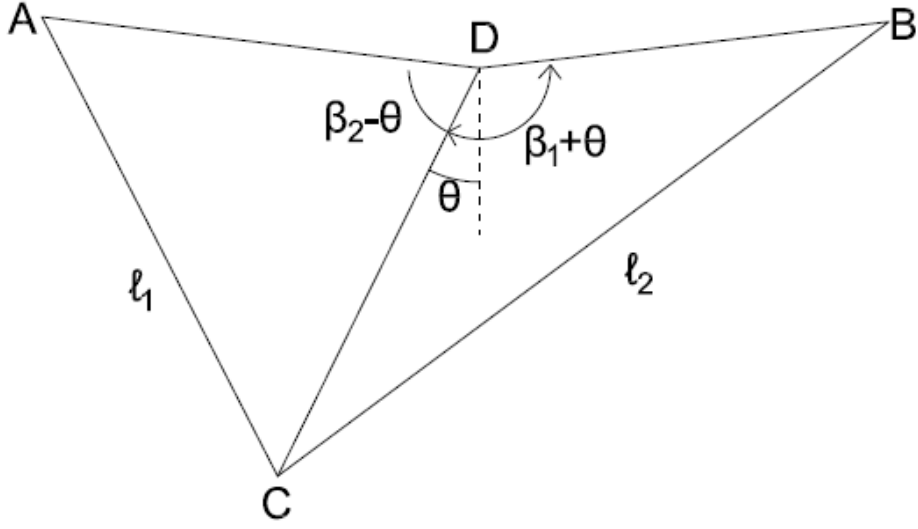


Şekil 3.18. Gerginlik sınırlayıcısının en alt ölü konumu

Gerginliğin artmasıyla birlikte gerginlik sınırlayıcı kol (DC) etkileyen momentlerin etkisiyle saat ibreleri yönünde dönme hareketi yapar. Şekil 3.19 gerginlik sınırlayıcı kolun θ açısı kadar dönme hareketi yaptığı konumu göstermektedir. Bu durumda l_1 ve l_2 uzunluklarının değeri değişmektedir. \widehat{ADC} ve \widehat{BDC} açıları bu konumda $(\beta_2 - \theta)$ ve $(\beta_1 + \theta)$ olarak değişmektedir. Yukarıda β_1 ve β_2 değerleri hesaplandığından \widehat{ADC} ve \widehat{BDC} açıları her θ değeri için \widehat{ADC} ve \widehat{BDC} açıları $(\beta_2 - \theta)$ ve $(\beta_1 + \theta)$ olarak hesaplanabilir. Buna göre yeni konum için l_1 ve l_2 cosinüs teoremine göre aşağıdaki formüllerden bulunur. Gerginlik sınırlayıcının çalışması gerginliğin etkisine bağlı olarak θ açısını 0 ile yaklaşık 90 derece arasında değiştirmektedir. Her θ açısı için gerginlik sınırlayıcının gerginliği sınırlamadaki uzunluğu ilk konumdaki toplam uzunluktan 3.14 ve 3.15 nolu denklemlerden hesaplanan toplam değer çıkarılmasıyla bulunabilir.

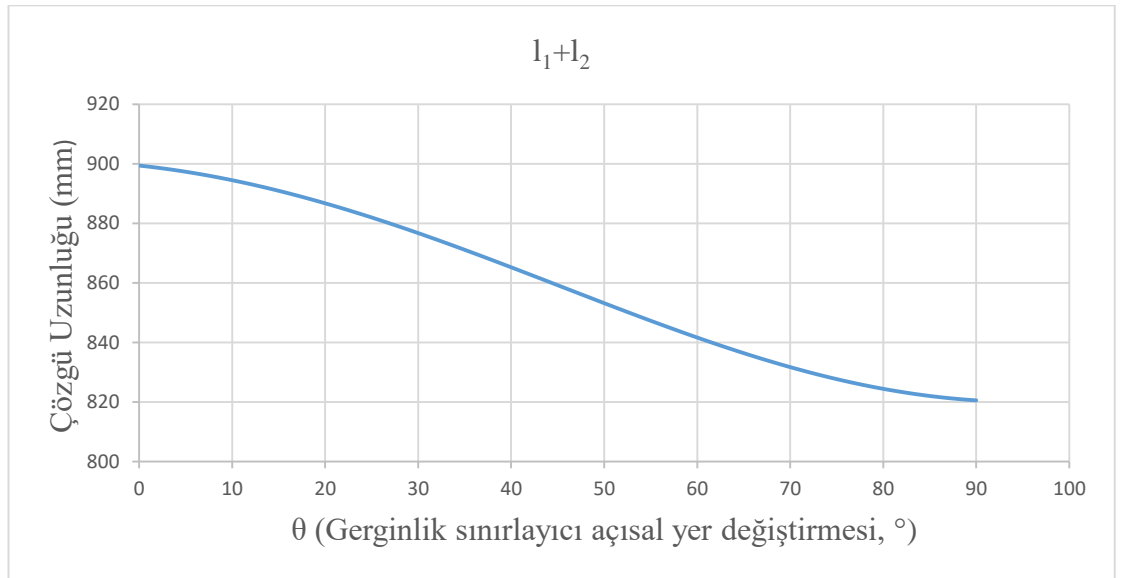
$$l_1 = \sqrt{DB^2 + DC^2 - 2 DB \cdot DC \cdot \cos(\beta_1 + \theta)} \quad (3.14)$$

$$l_2 = \sqrt{AD^2 + DC^2 - 2 AD \cdot DC \cdot \cos(\beta_2 - \theta)} \quad (3.15)$$



Şekil 3.19. Gerginlik sınırlayıcının θ açısı kadar döndüğü hareketli konumu

Şekil 3.20 θ açısına bağlı olarak A ve B noktaları arasındaki çözümlü uzunluğunun değişimini göstermektedir. Başlangıç konumuna göre gerginlik sınırlayıcı saat ibrelerinin tersi yönünde yaklaşık 90° döndüğünde toplam 80 mm'lik bir kısalma göstermekte bu değer gerginliğin ani artışı veya azalmalarında sınırlama sağlamakta ve gerginlik geçiş periyodunun uzamasına yardım etmektedir.



Şekil 3.20. θ açısına bağlı olarak A ve B noktaları arasındaki çözümlü uzunluğunun değişimi

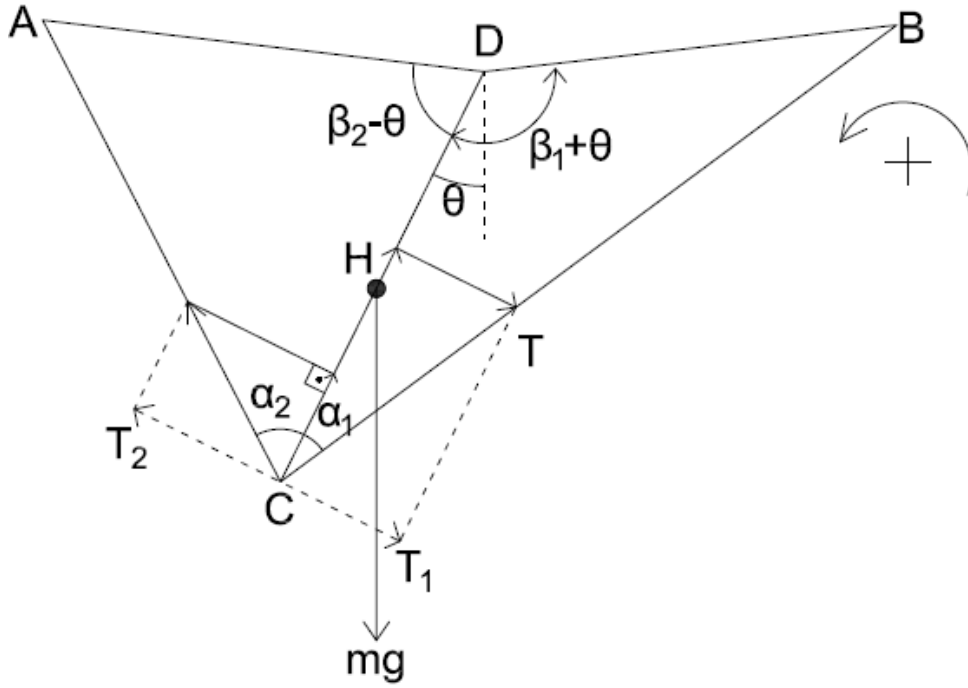
Gerginlik sınırlayıcının çalışması esnasında hem gerginlikteki artışı hem de azalmayı sınırlama etkisini gösterebilmesi için istenen gerginliğe göre konumunun 0-90 derece aralığının yaklaşık orta bölgesinde olması gerekir. Bu şekilde yaklaşık 4 cm'lik bir uzunlukla gerginlik artışı ve azalışının sınırlanması mümkün olmaktadır. Ancak istenen çalışma gerginliğine göre gerginlik sınırlayıcıya ait bu açısal pozisyonun hangi ağırlıklarla elde edileceğinin önceden belirlenmesi ve ağırlık ayarının buna göre yapılması gerekmektedir. Bunun için gerginliğin gerginlik sınırlayıcı kola uyguladığı moment ile ağırlık kuvvetinin uyguladığı momentin 45°'lik açısal konum civarında eşit olması gerekmektedir. Gerginlik ve ağırlık kuvvet momentlerinin matematiksel ifadeleri nonlineer ilişki arz ettiğinden çözüm aşağıda açıklanacak eğrilerle daha kolay tahmin edilebilmektedir.

Şekil 3.21 gerginlik sınırlayıcı kola etkiyen ağırlık ve gerginlik kuvvetlerinin ve bu kuvvetlerin kola dik doğrultuda moment uygulayan bileşenlerini göstermektedir. Buna göre ağırlık kuvvetinin momenti (M_a) ve gerginliklerin momenti (M_T) aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$M_a = |DH|\sin\theta \cdot mg \quad (3.16)$$

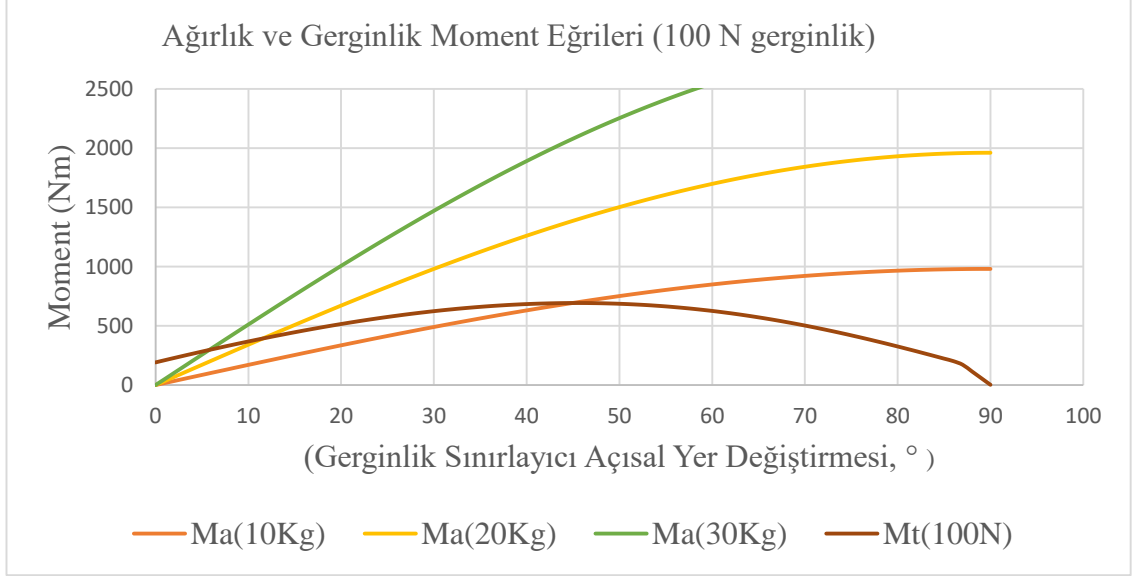
$$M_T = (T \sin \alpha_1 - T \sin \alpha_2) |DC| \quad (3.17)$$

Bu formüllerde α_1 ve α_2 nin θ 'ya bağlı ifadeleri denklemde yerine konulup 2 moment eşitlendiğinde koşulu sağlayan θ açısının bulunması denklemlerin nonlineer yapısından dolayı zorlaşmaktadır. Bu yüzden M_a ve M_T değerleri aynı grafikte çizilip kesişme noktaları çözüm olarak değerlendirilmiş ve her bir ağırlığa karşılık gelen sınırlayıcı denge konumu bulunmuştur. Şekil 3.22, şekil 3.23 ve şekil 3.24 sırasıyla 100 N, 200 N ve 300 N toplam çözümlerine karşılık gelen çözümleri 10 kg, 20 kg ve 30 kg'lık ağırlık değerleri için göstermektedir.



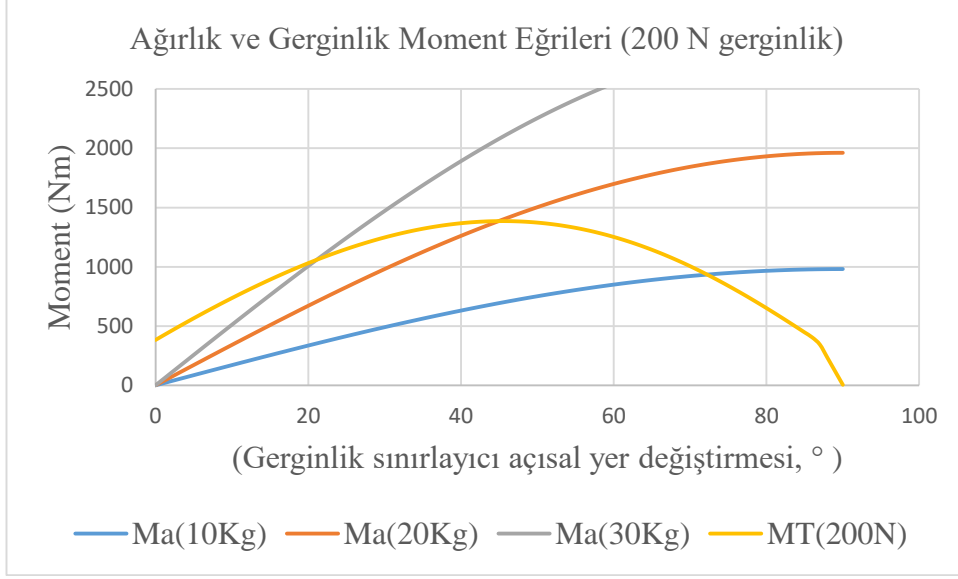
Şekil 3.21. Gerginlik ve ağırlık kuvvetinin gerginlik sınırlayıcı kola uyguladığı momentler

Şekil 3.22’de 10 kg, 20 kg ve 30 kg ağırlıkların momenti ile 100 N gerginlik momentinin gerginlik sınırlayıcısı kolun dönüş açısına (θ) göre değişimi görülmektedir. 100N’luk gerginliğe ait moment eğrisi 30 kg, 20 kg ve 10 kg’lık ağırlık kuvvetlerinin moment eğrilerini sırasıyla yaklaşık 6° , 12° ve 45° değerlerinde kesmektedir. Bu durumda 100 N değerinde gerginlik ile çalışırken toplam salınım aralığının yarısına karşılık geldiği için ($\theta = 45^\circ$) 10 kg’lık ağırlık gerginlik sınırlayıcı kola asılarak çalışmak uygundur. 20 kg ve 30 kg ağırlık asılması durumunda gerginlik düşüşü esnasında sınırlama azalmaktadır. Gerginlik sınırlama büyük ölçüde gerginlik artışını kısıtlama yönünde gerçekleştirmektedir.



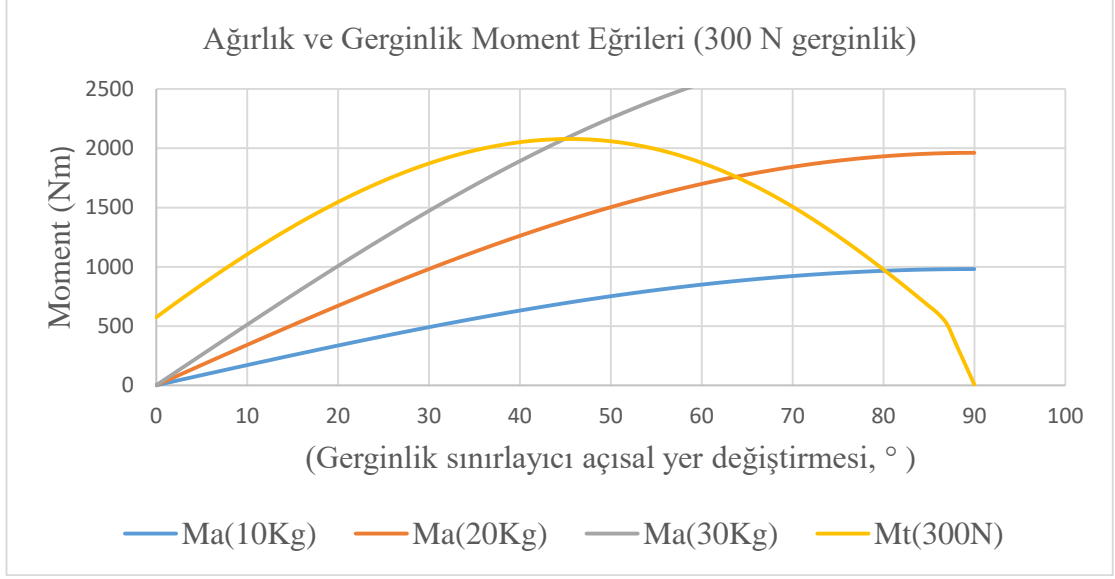
Şekil 3.22. Ağırlık ve gerginlik kuvvetlerine ait momentlerin θ açısına göre değişimi (Gerginlik:100 N)

Şekil 3.23'te 10 kg, 20 kg ve 30 kg ağırlıkların momentleri ile 200 N gerginlik momentinin gerginlik sınırlayıcısı kolun dönüş açısına (θ) göre değişimi görülmektedir. 200 N'luk gerginliğe ait moment eğrisi 30 kg, 20 kg ve 10 kg'lık ağırlık kuvvetlerinin moment eğrilerini sırasıyla yaklaşık 21°, 45° ve 73° değerlerinde kesmektedir. Bu durumda 200 N değerinde gerginlik ile çalışılırken toplam salınım aralığının yarısına karşılık geldiği için ($\theta = 45^\circ$) 20 kg'lık ağırlık gerginlik sınırlayıcı kola asılarak çalışmak uygundur. 10 kg'lık ağırlık ile çalışma durumunda gerginlik artışına karşılık sınırlama etkisi azalırken gerginlik azalmasına karşılık sınırlama etkisi artmaktadır. 30 kg ağırlıkla çalışılması durumunda ise gerginlik azalmasına karşılık sınırlama azalırken gerginlik artışına karşısındaki sınırlama artmaktadır.



Şekil 3.23. Ağırlık ve gerginlik kuvvetlerine ait momentlerin θ açısına göre değışimi (Gerginlik:200 N)

Şekil 3.24'te 10 kg, 20 kg ve 30 kg ağırlıkların momentini ile 300 N gerginlik momentinin gerginlik sınırlayıcısı kolun dönüş açısına (θ) göre değışimi görülmektedir. 300 N'luk gerginliğe ait moment eğrisi 30 kg, 20 kg ve 10 kg'lık ağırlık kuvvetlerinin moment eğrilerini sırasıyla yaklaşık 45°, 64° ve 80° değerlerinde kesmektedir. Bu durumda 300 N değerinde gerginlik ile çalışılırken toplam salınım aralığının yarısına karşılık geldiği için ($\theta = 45^\circ$) 30 kg'lık ağırlık gerginlik sınırlayıcı kola asılarak çalışmak uygundur. 10 kg'lık ve 20 kg'lık ağırlık ile çalışma durumunda gerginlik artışına karşılık sınırlama etkisi azalırken gerginlik azalmasına karşılık sınırlama etkisi artmaktadır.

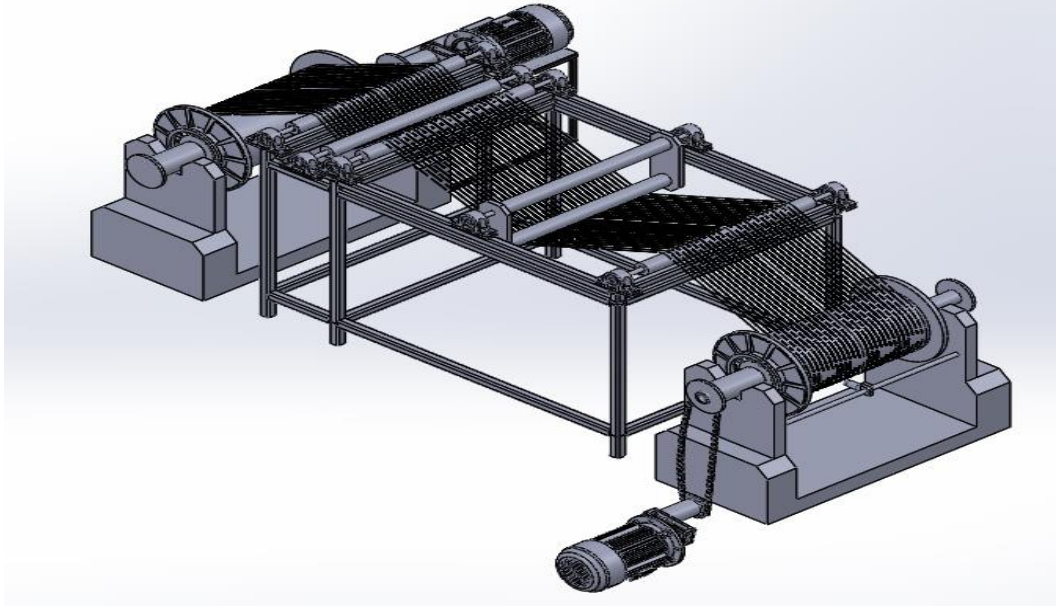


Şekil 3.24. Ağırlık ve gerginlik kuvvetlerine ait momentlerin teta açısına göre değışimi (Gerginlik:300 N)

Bu matematiksel analizle gerginlik sınırlayıcının toplam sınırlama aralığı ile gerginlik artış ve azalmasına karşılık dengeli bir sınırlama etkisi gösterecek ağırlık değeri kolayca belirlenebilmektedir. Deneysel çalışma esnasında belirlenen bu değeri ile çalışma yapılmıştır.

3.2.3. Gerginlik sınırlayıcısı imalatı ve sisteme monte edilmesi

Sistemde AC ve servomotorlar arası geçiş periyotları farkı olduğundan gerginlik dalgalanmaları ortaya çıkmaktadır. Bu kısa periyotlu gerginlik dalgalanmalarını azaltmak için ağırlık prensibine göre çalışan ve yukarıda matematiksel olarak açıklanan bir gerginlik sınırlayıcısı tasarlanmıştır. Şekil 3.25 sistemin mekanik tasarımına ait görünüşü göstermektedir. Tasarım AutoCad programı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 3.26 ise gerginlik sınırlayıcının prototip üniteye monte edilmiş halini göstermektedir.



Şekil 3.25. Gerginlik sınırlayıcı tasarımına ait yandan görünüşü

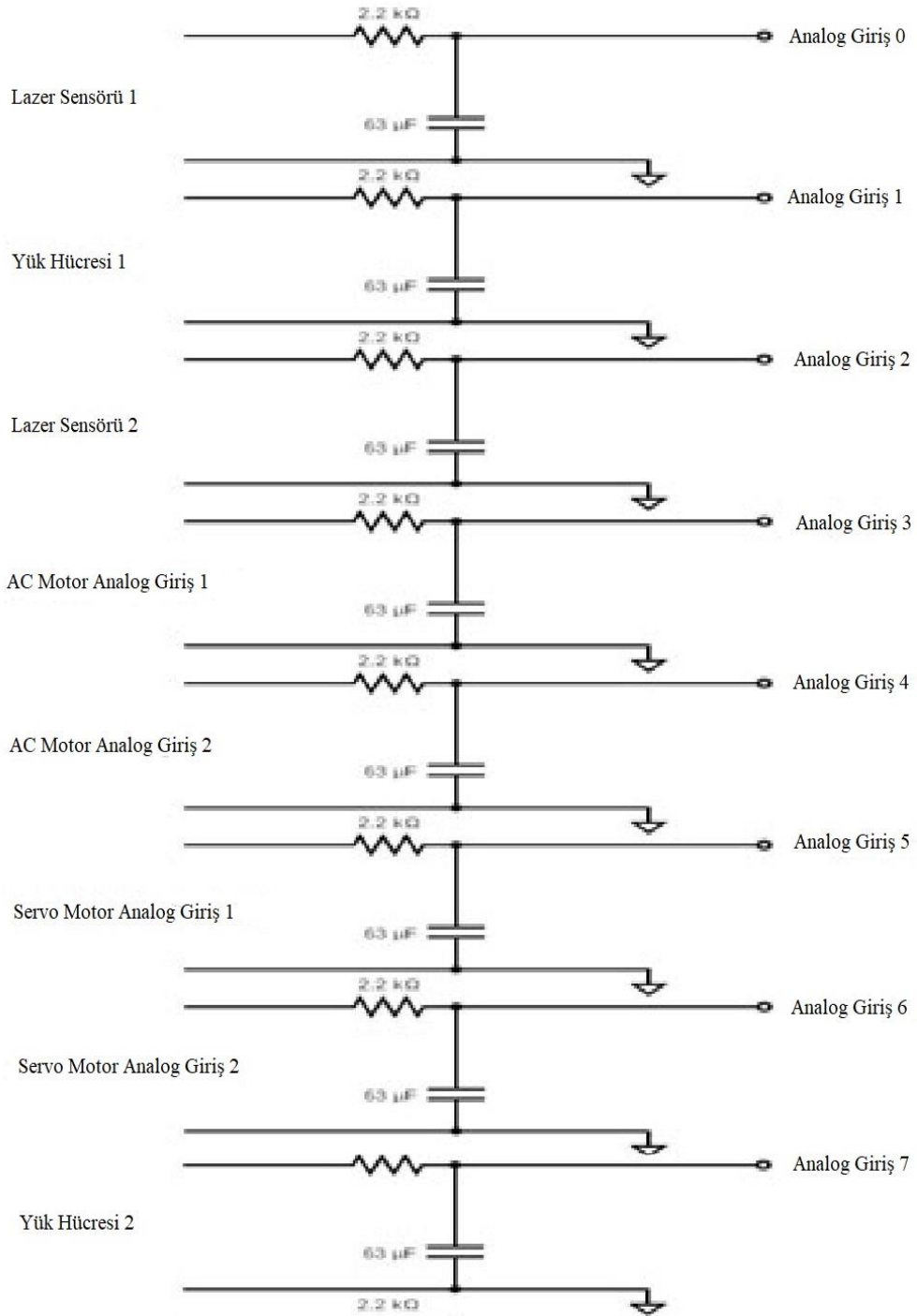


Şekil 3.26. Gerginlik sınırlayıcının prototip ünite üzerindeki görünümü

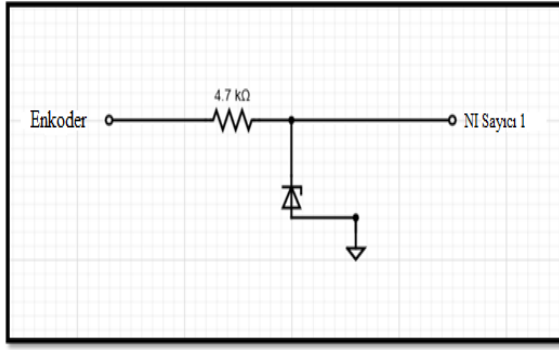
3.2.4. Elektronik tasarım

Bu çalışmada kontrol algoritmalarını çalıştıran yazılım başlangıçta PC ortamında C programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Elektronik gürültüyü önleme özelliğinden dolayı artımlı mil kodlayıcı ile motor devir sayılarını ölçen indüktif algılayıcı sinyalleri ise PLC tarafından okunmuş ve bu amaca yönelik bir PLC programı geliştirilmiştir. Ancak PC ile sistem arasında kullanılan ISA yollu arabirim kartında yaşanan sorunlar ve PLC nin kaydedilen dijital sinyalleri dış ortama aktarılmasına yönelik olanağının olmamasından dolayı bu yazılım ve donanım ile projenin ilerlemesi mümkün olamamıştır. Bu yüzden temin ettiğimiz 2 adet USB arabirim kartı kullanılarak tüm analog ve dijital sinyaller arabirim kartları üzerinden bir dizüstü bilgisayara bağlanmıştır. Sisteme ait tüm kontrol algoritmalarının geliştirilmesi ve çalıştırılması ile veri kayıt işlemleri LabVIEW programı kullanılarak geliştirilen bir yazılım ile gerçekleştirilmiştir. Sistemde 8 adet analog giriş sinyali (0-10 volt arasında değişmektedir) ve 3 adet dijital giriş sinyali bilgisayar tarafından sürekli olarak okunup kaydedilmekte ve kontrol amacıyla kullanılmaktadır. Tasarımı ve çalıştığı sinyal seviyelerinde gürültüyü filtreleme veya etkilenmeme özelliği olan PLC ye karşılık PC ile veri okumada gürültü, kaydedilen bilgileri son derece olumsuz etkilemektedir. Deneme amaçlı veri okuma çalışmalarında özellikle dijital sinyallerin okunmasında ciddi sapmalar meydana gelmiştir. Çalışılmakta olan tekstil mühendisliği laboratuvarlarında toprak hattının olmaması gürültü seviyesi üzerinde olumsuz etki yapmıştır. Bu açıdan sistemden gelen tüm analog ve dijital sinyallerin filtrelenmesi için elektronik devre tasarımları yapılmış ve arabirim kartı öncesi sistemden gelen sinyallere uygulanarak gürültü oluşturan sinyal bileşenleri ortadan kaldırılmıştır. Analog sinyallerin filtrelenmesinde basit RC devreleri (Şekil 3.27) kullanılırken dijital sinyallerin filtrelenmesinde aşağıda verilen devreler kullanılmıştır (Şekil 3.28). Şekil 3.28 a'da artımlı mil kodlayıcısından gelen sinyal için Zenel diodu kullanılarak filtreleme devresi oluşturulurken, şekil 3.28 b'de ise indüktif algılayıcılardan gelen dijital sinyaller ise optik bağlayıcılar (optocoupler) kullanılarak filtrelenmiştir. Şekil 3.29 ise analog ve dijital sinyallerin filtrelenmeden önceki gürültülü halini ve filtrelemeden sonra gürültü ortadan kaldırılmış halini göstermektedir. Şeklin sol tarafındaki sinyaller elektronik gürültü içerirken sağ taraftaki şekillerde filtrelenmiş sinyaller görülmektedir.

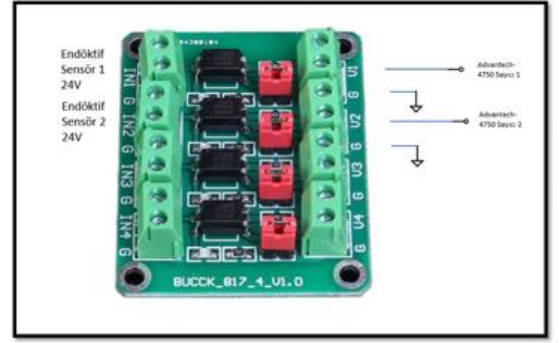
Analog Girişler



Şekil 3.27. Analog sinyallerin filtrelenmesinde kullanılan RC devreleri

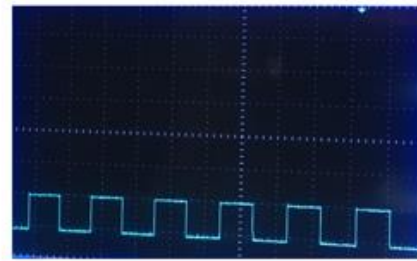
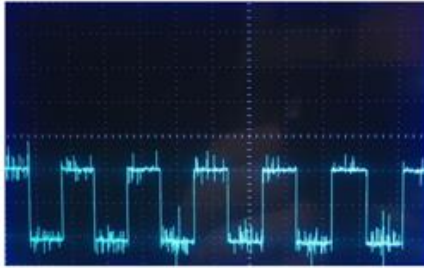
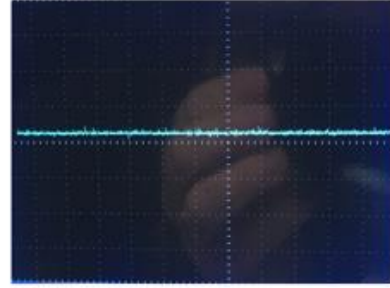
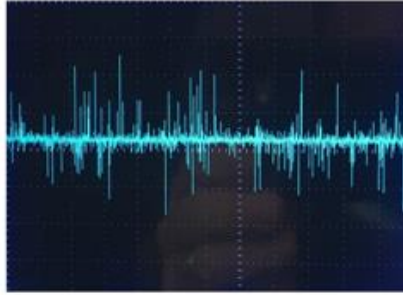


a



b

Şekil 3.28. Dijital sinyallerin filtrelenmesinde kullanılan elektronik devreler.



Şekil 3.29. Analog ve dijital sinyallerin gürültü içeren ve filtrelenmiş durumları.

Tezde dizüstü bilgisayar ile sistem arasında veri alış verişi için kullanılan 2 adet USB kartının teknik özellikleri ve görünüşleri aşağıda sırasıyla şekil 3.30 ve şekil 3.31 de verilmektedir.

(<https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/usb-6001-specs/resource/374369a.pdf>,2021)

(https://www.advantech.com/tr-tr/products/1-2mlkno/usb-4750/mod_43dfaaf0-a44c-4437-a8c8-0f7460c30b26,2021)

NATIONAL INSTRUMENT USB 6001 Teknik Özellikleri

- 8 Analog giriş (-10 - +10 Volt), toplamda 20 kS/s dönüşüm hızı
- 2 Analog çıkış (-10 - +10 Volt), kanal başına 5kS/s
- 1 adet sayaç, 32 bit
- 8 adet dijital giriş/çıkış

Bu veri toplama kartındaki 8 adet analog girişe (AI0-AI7) yukarıda açıklanan filtrelenmiş 8 adet analog giriş sinyali bağlanmaktadır. 2 adet analog çıkış sinyali ise (AO0,AO1) servo motor ve AC motor sürücü devrelerine hız veya tork kontrol sinyali üretmek için bağlanmıştır. 1 adet sayaç giriş sinyaline ise artımlı mil kodlayıcıdan gelen dijital sinyal bağlanmış olup sarılan çözgü uzunluğu bilgisi elde edilmiştir. 8 adet dijital giriş/çıkış kısmına herhangi bir sinyal bağlanmamış olup boş bırakılmıştır.



Şekil 3.30. National instrument usb 6001
(<https://in.element14.com/ni/782604-01/multifunction-i-o-device-14bit/dp/3622272,2021>)

ADVANTECH USB 4750 Teknik Özellikleri

- 16 İzole dijital çıkış
- 16 izole dijital giriş
- 2 adet sayaç (1 Mhz hız)

Bu ara birim kartında 2 adet sayaç için giriş ünitesine 2 adet levendin devir sayılarını ölçen indüktif algılayıcı çıkış sinyalleri bağlanmıştır. Bu ara birim ünitesinin diğer izole dijital çıkış ve dijital giriş kısmına herhangi bir sinyal bağlantısı yapılmamıştır.



Şekil 3.31. Bilgisayar ile sistem arasında veri alış verişi için kullanılan Advantech usb 4750 kartı
(https://www.advantech.com/tr-tr/products/1-2mlkno/usb-4750/mod_43dfaaf0-a44c-4437-a8c8-0f7460c30b26,2021)

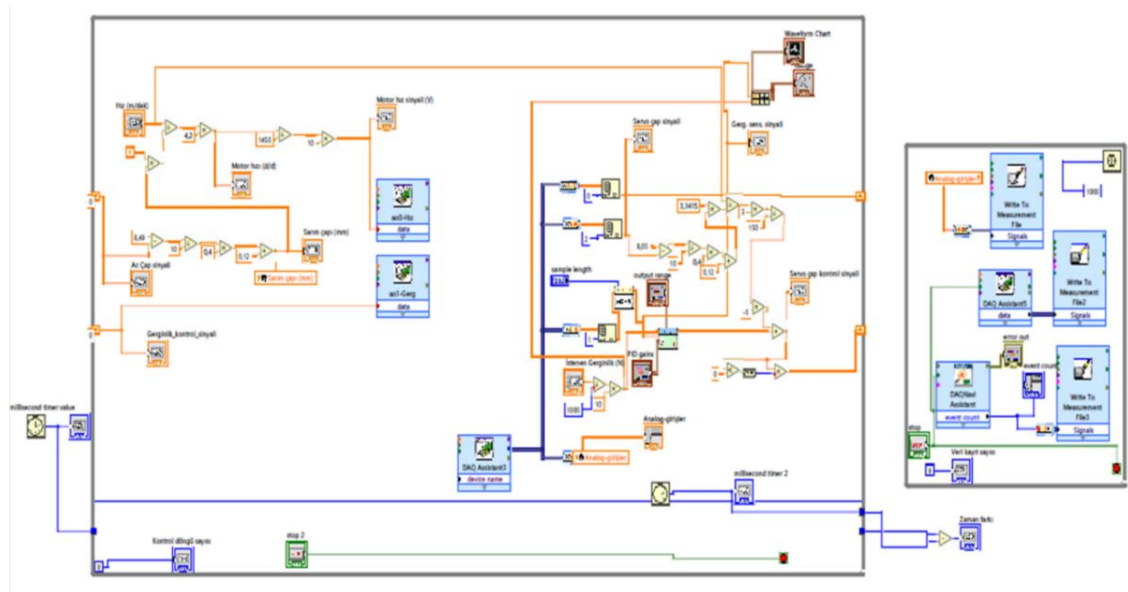
3.2.5. Yazılım geliştirilmesi

USB arabirim kartları ile çalışmada yazılımlar LabVIEW programı kullanılarak geliştirilmiştir. Yazılım, deneme testlerini yapan, kayıt yapan ve kontrol işlemini gerçekleştiren kısımlardan oluşmaktadır. Değişik kontrol işlemleri için mevcut yazılım, yapılan değişikliklerle farklı uygulamalara uyarlanmıştır. Çalışmalar önce teğetsel hız ve geri beslemeli gerginlik kontrol sistemi ile başlamış olup şekil 3.32'deki LabVIEW programı bu amaca yönelik olarak yazılmıştır. LabVIEW programı sembolik bir programlama diline sahip olup her bir işlem ve fonksiyon bir sembol ile temsil edilmektedir ve aralarındaki veri akışı bağlantı çizgileri ile sağlanmaktadır. Her bir işlem veya fonksiyona ait sembol veri giriş ve çıkış noktalarına sahiptir ve birbirleriyle bu noktalardan bağlantılar yapıp programın sürekliliği sağlanmaktadır. LabVIEW programı bir çeşit işlem akış diyagramı olarak değerlendirilebilir. Şekil 3.33'teki LabVIEW programında sarım hızı (m/dak) ve gerginlik (N) istenen değerler olarak

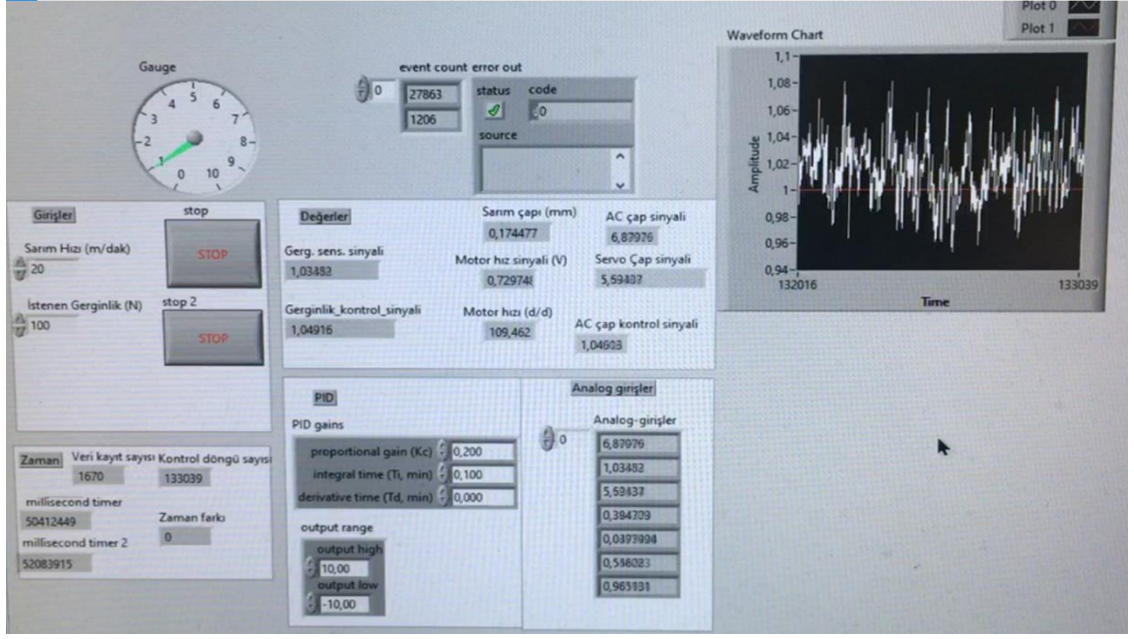
girilmektedir. Bu program AC motorun hız kontrol sistemi için ve servo motorun gerginlik kontrol sistemi için hız ayarını sarılan ve boşalan levent çaplarına göre yapmaktadır. AC motor levent çapı lazer sensör ile ölçülerek geri beslenmektedir. Sensör çıkış sinyalinde çap hesabı yapıldıktan sonra π sayısı ile çarpılmakta ve istenen teğetsel hız levent sarım çevresine bölünerek levent açısız hızı d/dak olarak hesaplanmaktadır. Program akışından da görüleceği gibi bu değer daha sonra 4,2 dişli oranı ile çarpılıp 1455'e bölünmekte ve 10 ile çarpılarak 0-10 volt aralığında bir değer olarak AC motor hız kontrol sinyali hesaplanmaktadır.

Hesaplanan bu değer kart üzerinde AO0-hız olarak isimlendirilen DAC (dijital analog dönüştürücü) ünitesine beslenmektedir. Bu sinyal 0-10 volt arasında değişmekte olup USB 6001 (National Instrument) arabirim kartı AO0 üzerinden AC motor sürücü ünitesine iletilmekte ve boş levent çapından dolu levent çapına kadar her 12 ms de bir tekrar edilerek teğetsel sarım hızı aynı kalacak şekilde AC motor açısız hızının değiştirilmesi sağlanmaktadır. Gerginlik kontrolünde ise istenen toplam gerginlik (0-1000 N arasında) 0-10 volt arasında elektriksel sinyale dönüştürülür. DAQ Assistant3 USB 6001 (National Instrument) arabirim kartındaki DAC de dijital forma dönüştürülen yük hücresi sinyalleri (gerginlik sinyalleri) istenen gerginlik sinyali ile birlikte PID kontrol organına iletilir. Gerekli karşılaştırma ve sinyal işleme işlemlerinden sonra PID çıkışı belirli bir ön hız sinyali ile birlikte toplanarak USB 6001 (National Instrument) arabirim kartı AO1-hız DAC üzerinden 1 nolu analog çıkış sinyali ile (AO1) servo motor sürücü devresine hız kontrol sinyali olarak iletilir. Bu şekilde gerginlik istenen değerde kalacak şekilde servo motor açısız hızı ayarlanır. AC motor leventinden servo motor leventine sarım esnasında program servo motor tahrikini hız kontrolü için ve AC motor tahrikini gerginlik kontrolü için düzenleyerek hız ve gerginlik kontrol sistemleri oluşturulmuştur. Şekil 3.32 deki yazılımda DAQ Assistant3 sembolü 8 adet analog çıkış üreten sensörlerden gelen sinyalleri okuma görevini gerçekleştirmektedir. Bu sinyaller AC motor ve servo motor levent çapı ölçme lazer sensörleri (2 adet), 2 adet yük hücresi (gerginlik) analog çıkışı, servo motor hızı ve torku ile AC motor tork ve gücüdür. Gerginlik kontrolünde gerginlik sinyalleri, hız kontrolünde lazer sensör çıkış sinyalleri her 12 ms de bir okunup geri beslemeli kontrol sistem algoritmalarında kullanılırken yazılımın en sağdaki karede görülen kısım 1 sn aralıklarla tüm verilerin kayıtlarını yapmaktadır. Write To Measurement File kutusunda DAQ Assistant3 ile okunan 8 adet

analog giriş sinyalinin veri dosyasına kaydı gerçekleştirilirken, Write To Measurement File2 kutusu DAQ Assistance5 birimindeki sayaçtan okunan dijital artımlı mil kodlayıcı sinyalinin kaydedilmesini gerçekleştirmektedir. DAQNav Assistant ile Advantech USB 4750 arabirim kartındaki sayaçlarda sayılan AC motor ve servo motor devir sayısı sinyalleri 1 sn aralıklarla Write To Measurement File3 kutucuğunda veri dosyası olarak kaydedilmektedir. Sonuç olarak kontrol amacıyla kullanılmayan yanında toplam 8 adet analog sinyal ve 3 adet dijital sinyalin sayaçlarda toplanan değerleri veri dosyalarına yazılarak kayıt yapılmakta ve sistemin performansının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Şekil 3.33'te yazılım kontrolünde sistemin çalıştırılması esnasında sistem verilerinin ekran görüntüsü verilmektedir. Motor kontrol sinyallerinin 12 ms de bir yapılması kullanılan ara birim kartlarının hız kısıtından kaynaklanmaktadır.

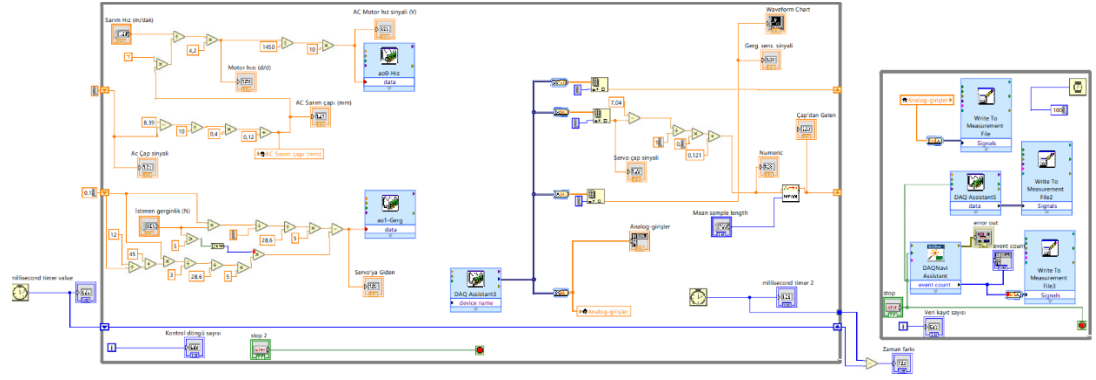


Şekil 3.32. LabVIEW kontrol yazılımı
(<https://stackoverflow.com/questions/55319672/how-to-discern-what-labview-is-doing,2021>)

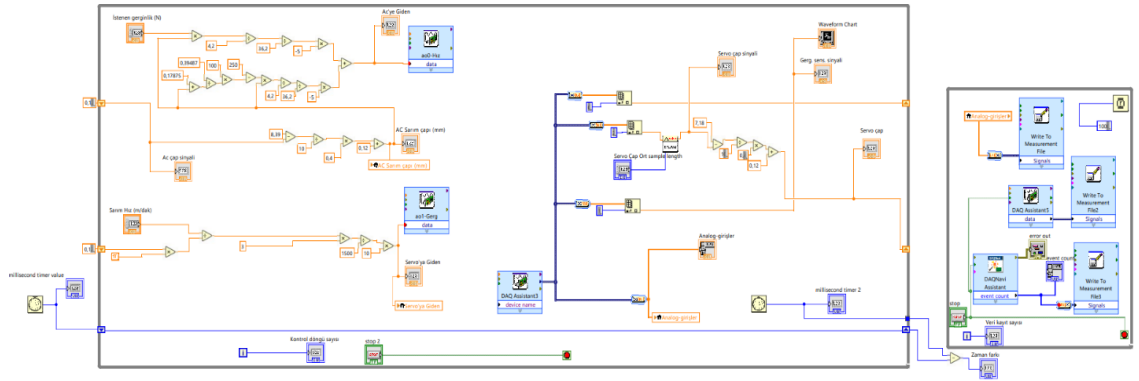


Şekil 3.33. Gerginlik kontrol sistemi yazılımı.

Sensörsüz gerginlik kontrolü, motorlar tarafından üretilen torkun sarım çapına bağlı olarak gerginlik sabit kalacak şekilde ayarlanmasını hedeflediğinden motor sürücü devrelerinin tork kontrol sinyali kısmına gerekli analog sinyalin gönderilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Tork kontrolünde ölçme, karşılaştırma ve düzeltme gibi işlemler sürücünün kendisi tarafından yapıldığından sensörsüz gerginlik kontrol sisteminin performansı sarım veya boşalma esnasında anlık çap değerlerine göre motorların üretmesi gereken tork değerlerinin güncellenmesi ve kayıplara karşılık gelen tork değerlerinin doğru olarak belirlenmesine bağlıdır. Sensörsüz gerginlik kontrol yazılımları bu iki durumu içerecek şekilde geliştirilmiştir. Sensörsüz tork kontrol yazılımları hem servo motorun hem de AC motorun tork kontrol modunda çalıştırılma durumları için ayrı ayrı geliştirilmiştir. Şekil 3.34 servo motorun, şekil 3.35 ise AC motorun tork kontrol modunda çalıştırılmaları durumu için geliştirilen LabVIEW yazılımlarını göstermektedir.



Şekil 3.34. Tork kontrolünü esas alan sensörsüz gerginlik kontrolü yapan yazılım (servo motor tork kontrol modunda çalışıyor).



Şekil 3.35. Tork kontrolünü esas alan sensörsüz gerginlik kontrolü yapan yazılım (AC motor tork kontrol modunda çalışıyor).

Tork kontrol modunda levende sarım yapılması ve levettten çözgünün boşalması durumları için programda değişiklikler yapılarak istenen tork sinyalleri hesaplanmıştır. Bunun sebebi sarım esnasında gerginlik ve kayıp tork değerlerinin toplamı motor tarafından üretilen torku oluştururken boşalma esnasında gerginliğin torku ve kayıp tork arasındaki fark motor tarafından üretilen torku oluşturmaktadır.

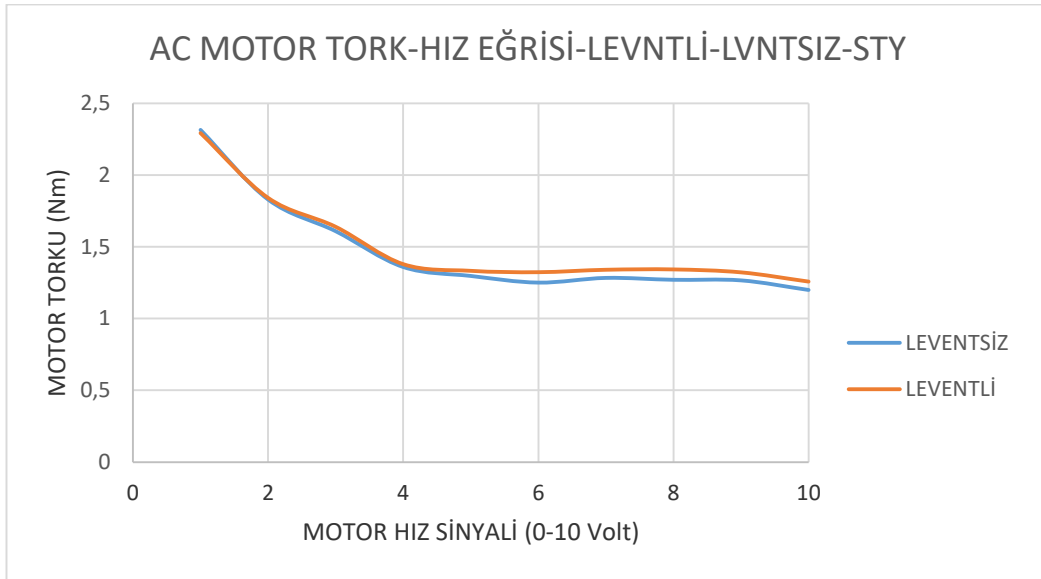
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Sensörsüz Gerginlik Kontrol Sistemi Performans Çalışmaları

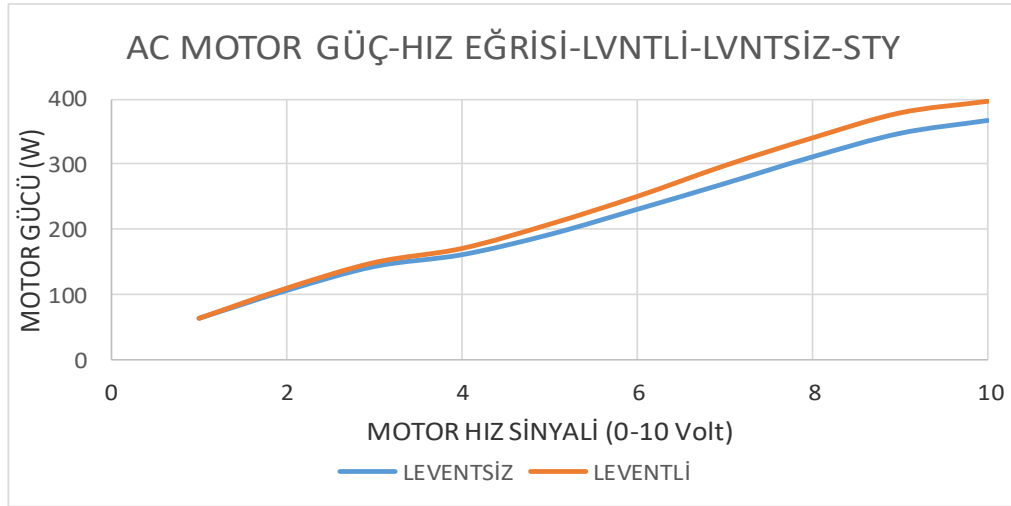
Deneysel çalışmaların ilk aşamasında AC ve servo motorların boşa çalışma esnasında ürettikleri tork ve güç değerlerinin sıfır ile maksimum çalışma hızları arasında değişimi ölçülmüş ve grafik olarak sunulmuştur. Bu değerlerin kayıp güç veya torkun hesabında ve tork kontrolünde gerginliğe karşılık gelen torkun hesaplanmasında kullanılması düşünülmüştü. Kontrol sistem performans çalışmalarına başlamadan önce LabVIEW programı kullanılarak aynı deneyler leventli ve leventsiz olarak tekrar yapılmıştır. Şekil 4.1’de AC motorun levent takılı halde ve leventsiz olarak saat ibrelerinin tersi yönünde çalışması durumunda motor tarafından üretilen torkun motor çalışma hızına göre değişimi, şekil 4.2’de AC motorun levent takılı halde ve leventsiz olarak saat ibrelerinin tersi yönünde çalışması durumunda motor tarafından üretilen gücün motor çalışma hızına göre değişimi görülmektedir. Şekil 4.3’de servo motorun levent takılı halde ve leventsiz olarak saat ibrelerinin tersi yönünde çalışması durumunda motor tarafından üretilen torkun motor çalışma hızına göre değişimi görülmektedir. Şekil 4.4’de AC motorun levent takılı halde ve leventsiz olarak saat ibrelerinin yönünde çalışması durumunda motor tarafından üretilen torkun motor çalışma hızına göre değişimi, şekil 4.5’te AC motorun levent takılı halde ve leventsiz olarak saat ibrelerinin yönünde çalışması durumunda motor tarafından üretilen gücün motor çalışma hızına göre değişimi görülmektedir. Şekil 4.6’da servo motorun levent takılı halde ve leventsiz olarak saat ibrelerinin yönünde çalışması durumunda motor tarafından üretilen torkun motor çalışma hızına göre değişimi görülmektedir.

Saat ibrelerinin tersi yönünde boşa çalışmada AC motor tork eğrisi maksimum hızın %40 seviyelerine kadar gittikçe azalan bir değişim göstermekte, daha yüksek hızlarda yaklaşık olarak sabit kalmaktadır. Bu tork boşa çalışma torku olup kayıp tork olarak değerlendirilebilir. Bu tork, sürtünme momentleri ve hareket iletim sistemindeki verim düşüklüğüne karşılık gelmektedir. %40 hızdan maksimum hıza kadar kayıp tork %3,5 seviyelerinde gerçekleşmiştir. %40 hıza kadar ise %6,2 seviyelerinden %3,5 seviyelerine düşmektedir. Leventli ve leventsiz çalışma durumlarında tork eğrileri arasındaki fark pratik açıdan anlamlı bir seviye olarak görülmemektedir. Benzer durum güç-hız eğrisinde de görülmektedir. Leventli çalışmada kayıp güç 30-40 watt daha fazla olmaktadır. Saat

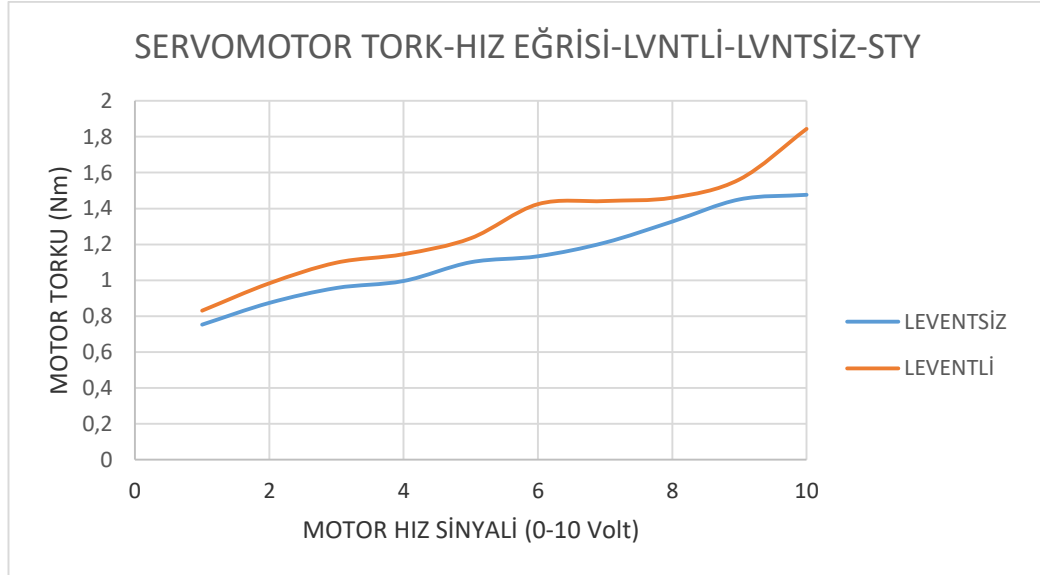
ibrelerinin tersi yönünde boşta çalışmada servo motorda ise gerek leventli gerekse leventsiz çalışmada motor hızıyla artan bir kayıp tork üretimi gerçekleşmektedir. Hem leventli hem de leventsiz çalışmalarda motor torku hız ile yaklaşık doğrusal bir şekilde artmakta ve leventli çalışmada tork daha yüksek değerler almaktadır. Bu artışın sebebinin levent ağırlığının yataklara etki ettirdiği kuvvet ve bu kuvvetin oluşturduğu yük momenti olduğu değerlendirilebilir. AC motorlarla karşılaştırıldığında leventli ve leventsiz çalışmada tork değerleri arasındaki fark daha büyük değerler almaktadır. Bu durum leventten levende aktarmada çözümlü gerginliğinin ilave kayıp moment oluşturacağı düşüncesini oluşturmaktadır. Servo motorun maksimum ve minimum hızları arasındaki tork üretimi 0,75 Nm den 1,5 Nm seviyelerine kadar değişmektedir. Bu değişim sensörsüz gerginlik kontrolünde istenen gerginlik değerinden sapmalara sebep olacak seviyelerdedir ve önlem almayı gerektirmektedir.



Şekil 4.1. AC motor boşta çalışmada tork-hız eğrisi (saat ibrelerinin tersi yönü)



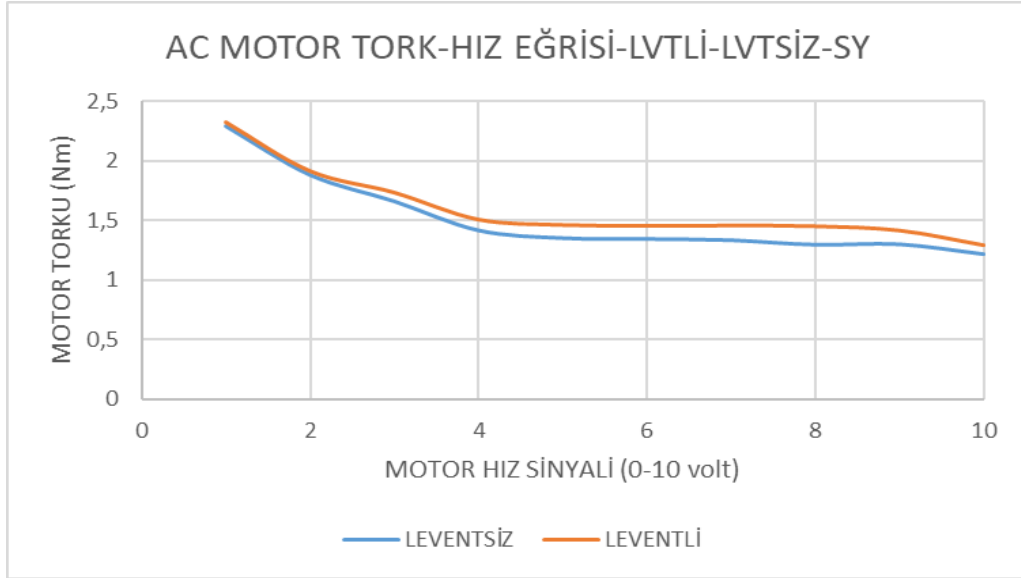
Şekil 4.2. AC motor boşa çalışmada güç-hız eğrisi (saat ibreleri tersi yönünde)



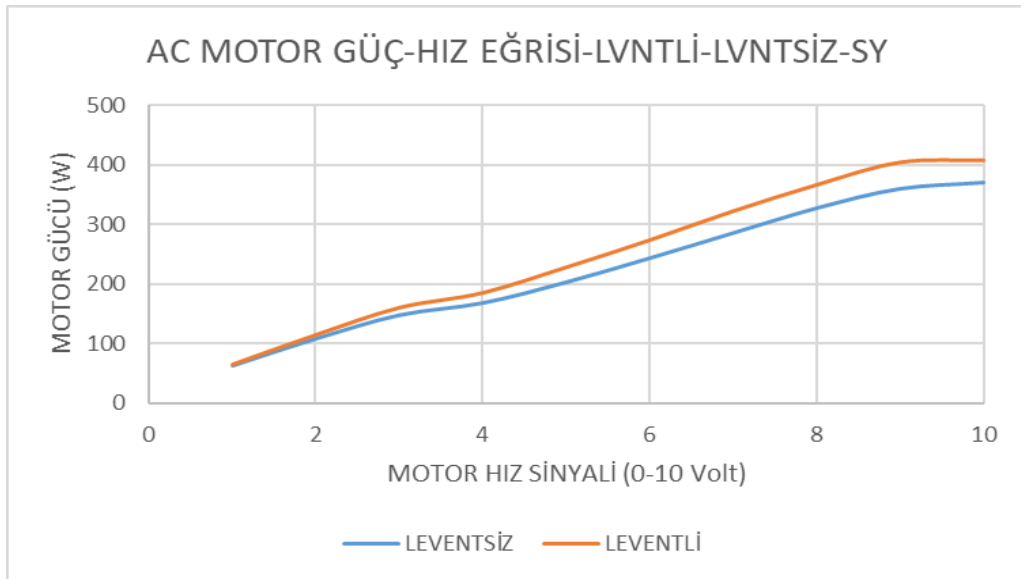
Şekil 4.3. Servo motor boşa çalışmada tork-hız eğrisi (saat ibreleri tersi yönünde)

Yukarıda açıklandığı gibi AC motor tork-hız eğrileri ile güç-hız eğrileri saat ibreleri yönündeki AC motor çalışması için de hemen hemen aynı değerleri almaktadır. Ancak servo motorun saat ibreleri yönünde çalışması durumunda hem leventli hem de leventsiz çalışma durumlarında servo motor tarafından üretilen tork saat ibreleri tersi yönünde çalışmadan daha düşük değerlerde kalmıştır. Bu durumda da leventli çalışma daha büyük motor torku üretimine sebep olmakta ve üretilen tork yine motor hızı ile artmaktadır. Minimum hız ile maksimum hız arasındaki tork oranı %100 artışın üzerinde olmaktadır.

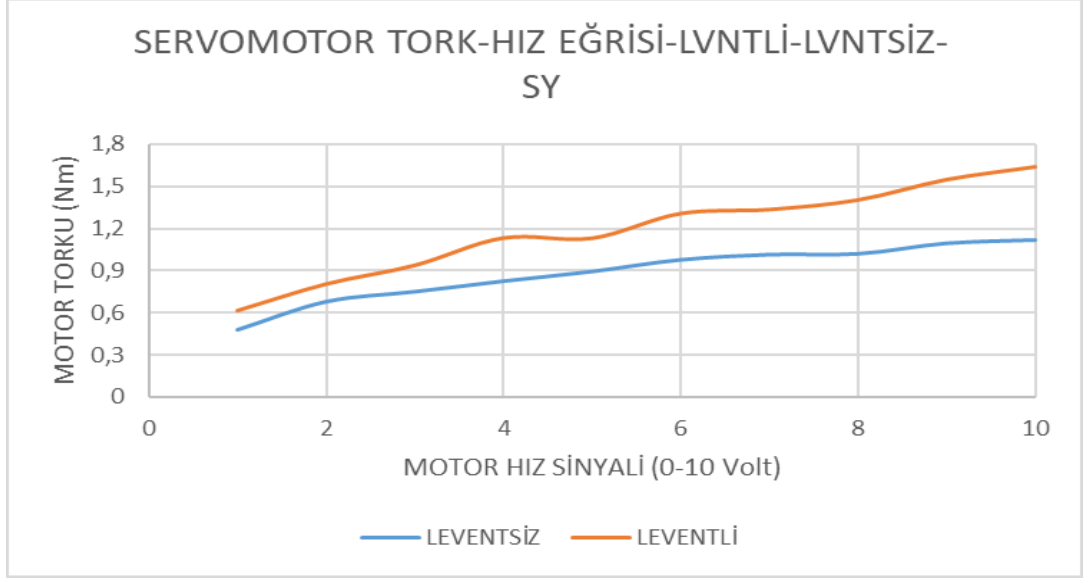
Saat ibreleri tersi yönündeki çalışmada açıklandığı gibi bu fark sensörsüz gerginlik kontrolünde çalışma hızına bağlı olarak anlamlı gerginlik sapmaları ile sonuçlanabilmektedir.



Şekil 4.4. AC motor boşa çalışmada tork-hız eğrisi (saat ibreleri yönü)



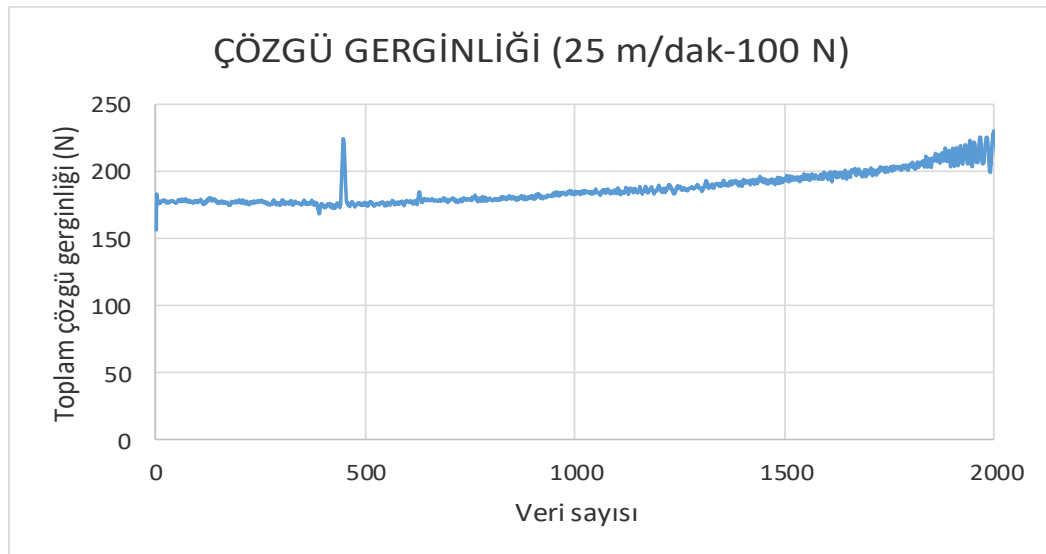
Şekil 4.5. AC motor boşa çalışmada güç-hız eğrisi (saat ibreleri yönü)



Şekil 4.6. Servo motor boşta çalışmada tork-hız eğrisi (saat ibreleri yönü)

Sensörsüz gerginlik kontrol sistemi önce servo motor ve sonra AC motorun tork kontrol modunda çalıştırılması ile her iki motor için de uygulanmıştır. Gerek servo motor gerekse AC motor sürücü devreleri tork kontrol modunda çalışırken parametrelerine dışarıdan müdahale kabul etmeyen geri beslemeli kontrol sistem yapısına sahiptirler. Bu yüzden sensörsüz gerginlik kontrol algoritmalarının oluşturulmasında odak noktası levent çaplarındaki değişim göz önüne alınarak istenen gerginliğe karşılık gelen tork sinyalinin kayıp tork değerlerini de içerecek şekilde belirlenmesidir. Başlangıçta sistemi önce sensörlü gerginlik kontrol sistemi olarak geniş bir hız ve gerginlik aralığında çalıştırıp kayıp tork değerlerini belirlemek hedeflenmişti. Ancak kayıp tork değerlerinin hızın yanında yük durumuna (gerginliğe) ve çapa göre değişiklik göstermesi çok sayıda deneysel çalışma yapılmasını gerektirmiştir. Bu amaçla yapılan deneysel çalışmalarda (gerginlik kontrolü) dolu çaptan boş çapa kadar değişim elde edilmesi önem arz etmektedir. Ancak çalışma esnasında iplik kopuşları ile oluşan üst üste sarımlar, sarım çap değişikliklerine sebep olduğundan hazırlanan bir levent ile istenilen miktarda deneysel çalışma yapmak mümkün olmamıştır. Yeni bir çözgü leventi hazırlanması gerektiğinde piyasada kısa zaman için termin verilmemektedir. Bu yüzden doğrudan tork kontrolü ile sensörsüz kontrol algoritmalarının uygulanmasına geçilmiştir.

Tork kontrolüne dayanan sensörsüz gerginlik kontrol algoritmaları önce kayıplar hesaba katılmadan uygulanmıştır. Bu amaçla servo motor tork modunda çalışacak şekilde ayarlanmış ve istenen toplam çözümlü gerginliği ile servo motorun tahrik ettiği levendin yarıçapı çarpılarak istenen tork sinyali elde edilmiş ve servo motor sürücü devresine gönderilmiştir. Servo motor tork modunda çalışırken AC motor hız modunda çalışıp çözümlüleri sabit teğetsel hızla çekmiştir. Çalışma esnasında levent çapındaki değişime göre istenen tork sinyali 12 ms’de bir güncellenerek sensörsüz gerginlik kontrolünün yeterli hassasiyetle yapılması hedeflenmiştir. Şekil 4.7 100 N gerginlik ve 25 m/dak sarım hızıyla çalışmada dolu leventten (0,27 m çap) boş levende (0,12 m çap) kadar gerginliğin değişimini göstermektedir. İstenen gerginlik olan 100 N’ a karşılık gelen tork sinyali çapa göre güncellenerek kontrol sisteminin istenen değeri olsa da çözümlerdeki gerçek gerginlik dolu çapta 175 N seviyelerinde iken boş çapta 220 N seviyelerine ulaşmıştır. Hem istenen gerginlik değerinden ciddi bir sapma oluşmuş hem de çap değişimine bağlı olarak gerginlik değişimi ortaya çıkmıştır. Bu durumun kabul edilebilecek bir gerginlik kontrol sistemi performansı olarak kabul edilmesi mümkün değildir.

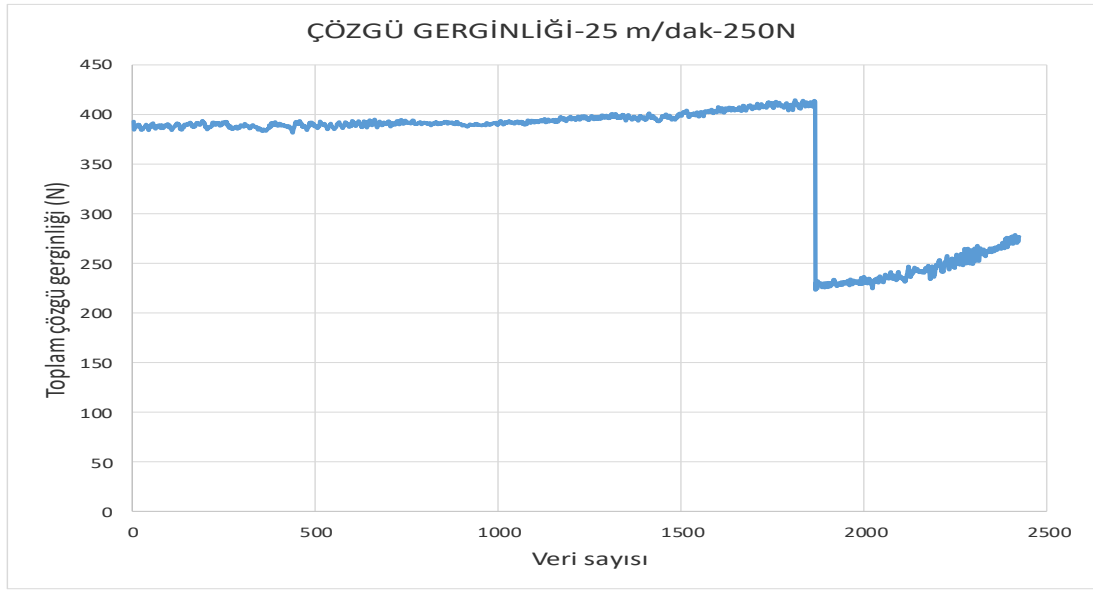


Şekil 4.7 100 N istenen gerginlikle çalışmada dolu leventten boş levende kadar çözümlü gerginliği değişimi.

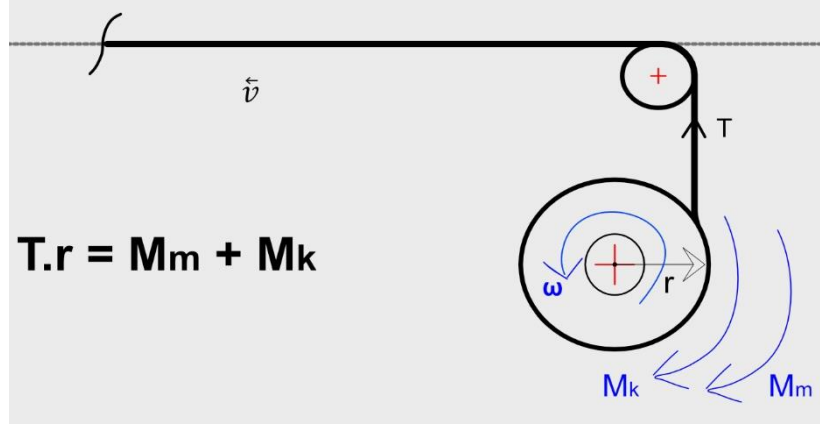
Deneysel çalışma aynı sistem için 25 m/dak sarım hızı ve 250 N gerginlik değeri için tekrar edilmiştir. Bu durumda servo motor levendinin dolu çapından (0,30 m) 0,18 m çapına kadar gerginlik değişimi şekil 4.8’de görülmektedir. İstenen gerginlik 250 N

olmasına rağmen gerçek gerginlik dolu çapta 385 N'dan azalan çapa kadar 415 N seviyesine yükselmiştir. Hem gerginlik seviyesi yükselmiş hem çap azaldıkça gerginlikte artış olmuştur. Levent çapı 0,30 m den 0,18 m seviyelerine düştüğünde bir arızadan dolayı 250 N yerine 150 N istenen gerginlik ile çalışılmıştır. Bu durumda gerginlik seviyesi düşse de çaptaki azalmaya bağlı olarak 0,18 m den 0,13 m ye kadar gerginlikte yine artış olmuştur.

Servo motor levendinden AC motor levendine aktarma esnasında servo motor levendinin hızı ve motor tarafından servo motor levendine iletilen tork zıt yönlüdür. Yani servo motor jeneratör olarak çalışmakta ve frenleme momenti üretmektedir. Dolayısıyla servo motor çözümlü gerginliğinin momenti tarafından döndürülmekte ve servo motor tarafından üretilen moment ve kayıp momentin toplamı çözümlü gerginliğinin momentine eşit olmaktadır. Yani kayıpların sebep olduğu moment çözümlü gerginliğinin 250 N yerine 400 N seviyelerine çıkaran ve çaptaki değişmeye bağlı olarak gerginliği arttıran momenttir. Şekil 4.9 bu moment dengesini göstermektedir.



Şekil 4.8. 250 N gerginlikle çalışmada sarım çapına göre çözümlü gerginliği değişimi.

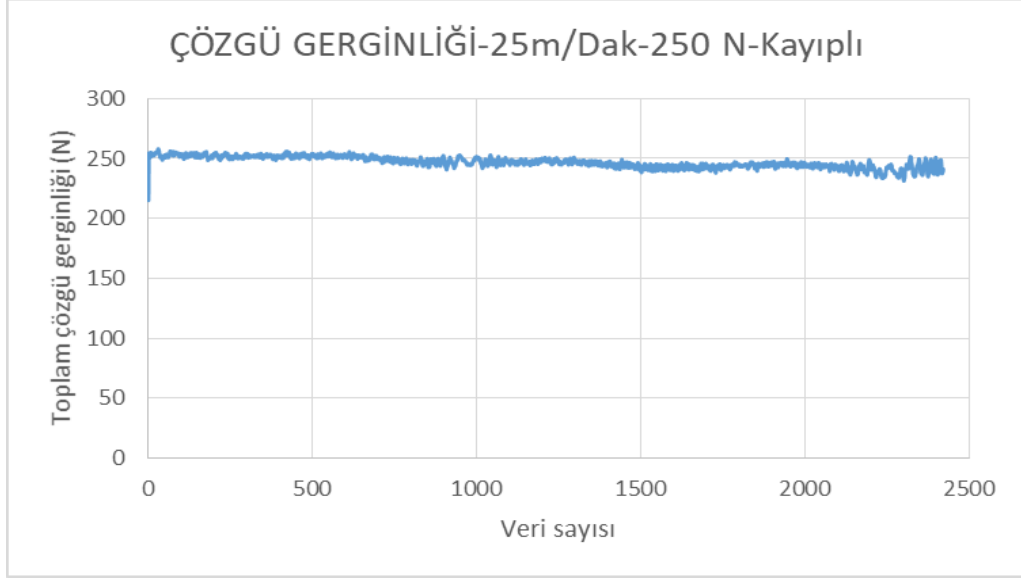


Şekil 4.9. Servo motor levendinden AC motor levendine sarımda servo motor levendi moment dengesi.

Kayıpların sebep olduğu moment (denklem 4.1), istenen gerginliğe karşılık gelen momentten çıkarılarak tork kontrolü için istenen tork sinyali edilmiş ve tork kontrolü buna göre gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.4'te görülen gerginlik eğrisi baz alınarak kayıp tork eğrisi levent çapına göre aşağıdaki denklem ile temsil edilerek kontrol algoritmasına ilave edilmiştir.

$$M_k = 0,0583 (12 + 45d) \quad (4.1)$$

Şekil 4.10 bu durumda 250 N istenen gerginlik için gerçekleşen çözümlü gerginliğinin veri sayısına veya levent çapına göre değişimini göstermektedir. Başlangıçta servo levent çapı 0,26 m olup boş levent çapı 0,13 m dir. Grafikten görüldüğü gibi kayıp gücün tork değeri hesaba katılarak yapılan tork kontrolünde 1:2 oranındaki çap değişiminde toplam çözümlü gerginliği 250 N seviyelerinden 240 N seviyelerine doğru azalma göstermiştir. Şekil 4.8 ve 4.7 deki gerginlik değişimleri ile karşılaştırıldığında 1:2 çap oranında toplam 50 N kadar olan gerginlik değişimi 10 N seviyelerine düşmüştür. Aynı zamanda şekil 4.7 ve 4.8 de elde edilemeyen istenen gerginlik seviyesi de tam olarak elde edilebilmektedir. Literatürde verilen (Valenzuela vd. (2008)) sensörsüz gerginlik kontrolünde istenen değerden $\pm\%5$ sapma ile kontrol burada doğrulanmış olarak değerlendirilebilir.

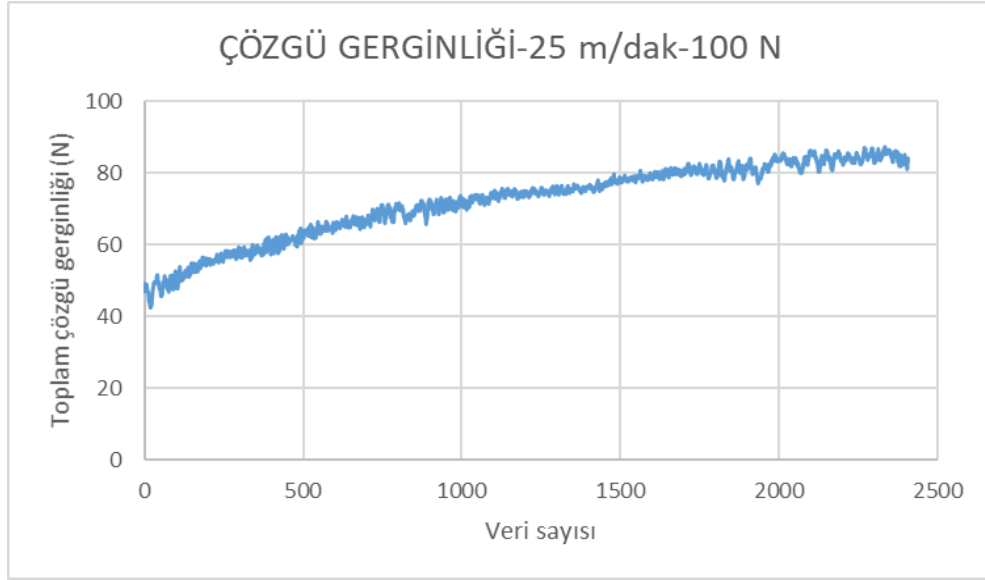


Şekil 4.10. Kayıplara karşılık moment hesaba katılarak gerçekleştirilen tork kontrolünde gerginliğin veri sayısına (veya levent çapına) göre değişimi.

Yukarıdaki deneysel çalışmalar esnasında AC motor istenen teğetsel hızda çözgüyü çekerken servo motor esas olarak rejenerativ (jeneratör) modunda çalışarak istenen tork değerini motorun dönüş yönüne zıt yönde üretmektedir. Alternatif olarak AC motorun çözgüyü ters yönde istenen hızda salması ve servo motorun tork modunda sarması tork kontrolü ile gerginlik kontrolünde kullanılabilir diğer bir yaklaşımdır. Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında bu yaklaşıma ait gerginlik kontrol performansı test edilmiştir. Bu durumda da kayıp tork değeri hesaba katılmadan 25 m/dak hız ile 100 N ve 250 N gerginlik değerlerine karşılık gelen istenen tork değerleri ile kontrol algoritmaları çalıştırılmış ve çalışma esnasında değişen çap değerlerine göre istenen tork değeri sürekli olarak güncellenmiştir.

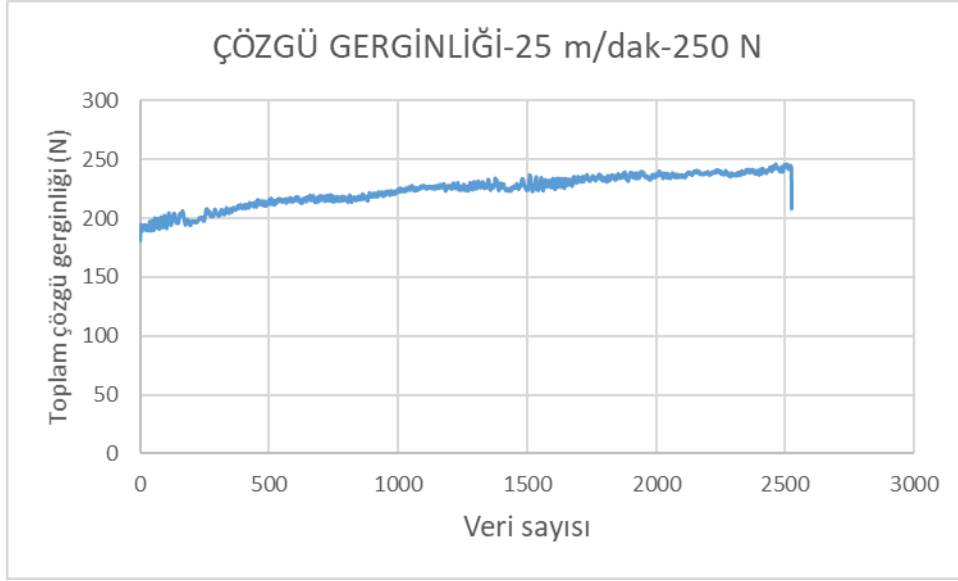
Şekil 4.11 25 m/dak sarım hızında AC motor levendinden servo motor levendine istenen 100 N gerginlikle çözgü aktarılırken (kayıp tork hesaba katılmamıştır) veri sayısına veya levent çapına göre çözgü gerginlik değişimi görülmektedir. Başlangıç servo motor levendinin boş çapına (0,14 m), eğrinin son kısmı ise dolu levent çapına (0,295 m) karşılık gelmektedir. Şekilden görüldüğü gibi 100 N istenen gerginlik değerinde çalışmada istenen tork sinyali levent çapına göre güncellense de gerçek gerginlik 45 N ile 85 N arasında değişmektedir. Levent çapı arttıkça gerginlik sürekli olarak artış göstermiştir. Bu değişimi daha detaylı araştırmak için 25 m/dak hız ve 250 N istenen gerginlikle aynı sarım

işlemi tekrar edilmiş ve gerginlik değişimi şekil 4.12 deki gibi elde edilmiştir. Şekil 4.12 de başlangıç boş levent çapını (0,13 m) ve sonu dolu levent çapını (0,256 m) göstermektedir. Sarım işlemi sonunda levent çapı iki katına çıkmıştır.

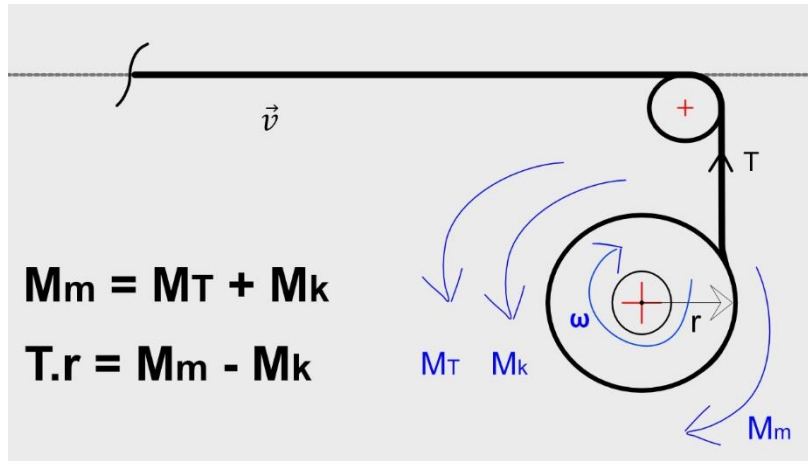


Şekil 4.11. 100 N istenen gerginlikle çalışmada boş leventten dolu levende kadar çözgü gerginliği değişimi.

Şekilden de görüldüğü gibi 250 N istenen gerginlik değeri ile çalıştırılan tork kontrol sisteminde (sensörsüz gerginlik kontrolü) toplam çözgü gerginliği levent çapı 2 katına çıkarken 190 N seviyelerinden 240 N seviyelerine ulaşmıştır. Bu durumda da istenen gerginlik değerinden ciddi sapmalar ortaya çıkmasının yanında çap değiştikçe de gerginlik önemli oranda değişme göstermektedir. Bu değişimin temel sebebi güç kayıplarını temsil eden tork değeridir. Servo leventinden AC motor leventine aktarmada ortaya çıkan gerginlik değerleri istenen değerin oldukça üzerinde gerçekleşirken AC motor leventinden servo motor leventine aktarmada ise gerginlik değerleri istenen değerin altında kalmaktadır. Bu durum şekil 4.9'dekine benzer şekilde açıklanabilir. Şekil 4.13 AC motor leventinden servo motor leventine aktarmada servo motor leventine ait tork dengesini göstermektedir. Bu durumda motor tarafından üretilen tork gerginliğin sebep olduğu tork ile kayıpları temsil eden tork değerinin toplamına eşittir. Dolayısıyla motor tarafından üretilen torkun istenen gerginliğe karşılık gelebilmesi için kayıp gücü temsil eden tork değerinin istenen gerginlik ile levent çapına göre hesaplanan tork değerine ilave edilerek hesaplanması gerekir.



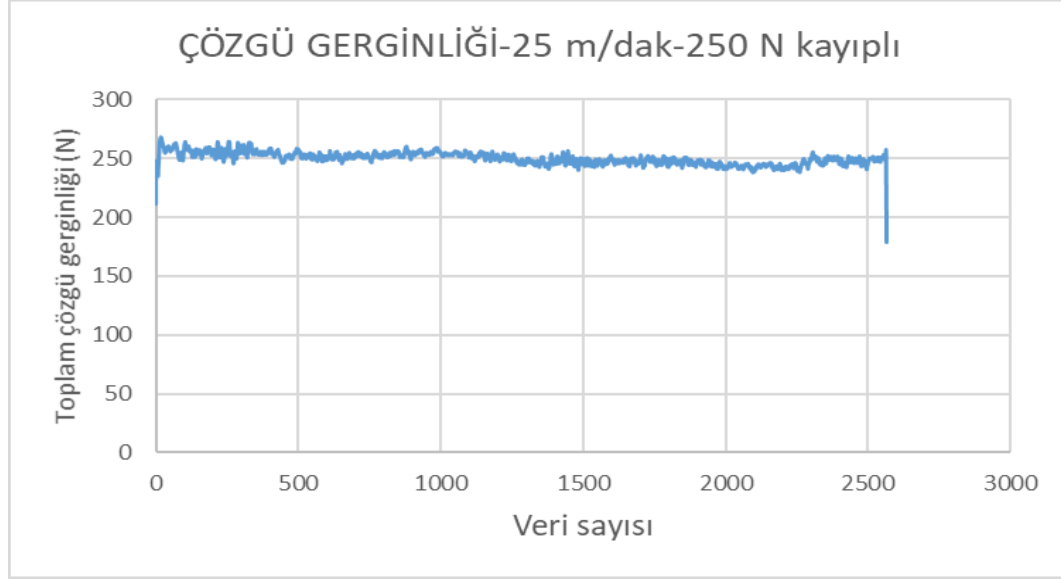
Şekil 4.12. 250 N istenen gerginlikle çalışmada boş leventten dolu levende kadar çözgü gerginliği değişimi.



Şekil 4.13. AC motor lewendinden servo motor lewendine sarımda servo motor lewend moment dengesi.

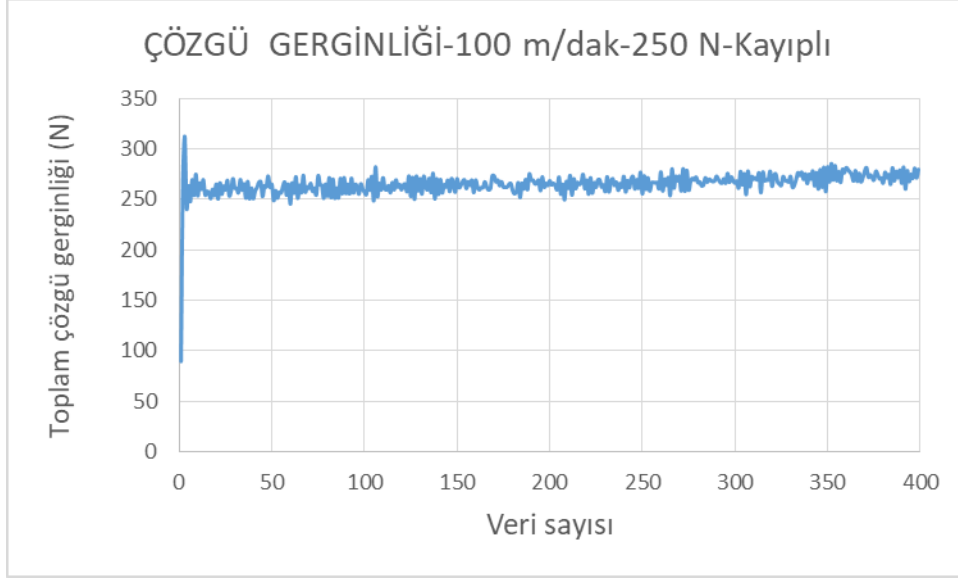
Şekil 4.12 deki gerginlik eğrisinden hareketle levent çapına göre oluşturulan kayıp tork eğrisi hesaba katılarak belirlenen tork kontrol algoritması AC motor lewendinden servo motor lewendine çözgü aktarımı yapılmış ve boş servo motor levent çapından dolu servo motor çapına kadar çözgü gerginliği değişimi şekil 4.14 teki gibi elde edilmiştir. Eğrinin başlangıcı boş levent çapına (0,135 m) karşılık gelmekte olup sonu dolu levent çapını (0,262 m) temsil etmektedir. Eğriden görüldüğü gibi levent çapı yaklaşık 2 katına çıkarken toplam gerginlik 250 N seviyelerinde ± 10 N kadar bir sapma ile değişim göstermiştir. Bu durum oldukça iyi bir kontrol sistem performansı olup istenen

gerginlikten $\pm 2,5$ bir sapma anlamına gelmektedir. Literatürde verilen %5 sapma ile gerginlik kontrolü performansı sınırları içinde kalmaktadır. Ayrıca istenen gerginlik seviyesi de kayıp tork hesaba katıldığında büyük bir yaklaşıklıkla elde edilmektedir.



Şekil 4.14. Kayıplara karşılık moment hesaba katılarak gerçekleştirilen tork kontrolünde gerginliğin veri sayısına (veya levent çapına) göre değişimi-25 m/dak.

25 m/dak hızla çalışmalardan sonra sensörsüz gerginlik kontrolü algoritması 100 m/dak hızla çözgüyü servo motordan AC motor levendine aktararak uygulanmıştır. Şekil 4.15 veri sayısına (veya çapa) bağlı olarak çözgü gerginliği değişimini göstermektedir. Eğrinin başlangıcı 0,23 m dolu çapa karşılık gelirken sonu 0,135 m boş çapa karşılık gelmektedir. Eğri incelendiğinde toplam çözgü gerginliğinin istenen 250 N değerinin biraz üzerinde olduğu ve çaptaki azalmaya bağlı olarak %5 in altında bir artış gösterdiği görülmüştür. Bu sonuç sensörsüz gerginlik kontrol algoritmalarının tork kontrolü yapılarak gerginliği pratik açıdan kabul edilebilir sınırlar içinde tutabileceğini göstermektedir. Buradaki sapmaların daha geniş bir çap aralığında büyümesi beklenebilir. Ancak kayıp tork etki eden parametrelere bağlı olarak doğru bir şekilde ifade edilir ve kontrol algoritmalarında hesaba katılırsa sensörsüz gerginlik kontrol yaklaşımının servo motor kullanılması durumunda gerginliği pratik açıdan kabul edilebilir sınırlar içinde tutabileceği değerlendirilebilir.



Şekil 4.15. Kayıplara karşılık moment hesaba katılarak gerçekleştirilen tork kontrolünde gerginliğin veri sayısına (veya levent çapına) göre değişimi-100 m/dak.

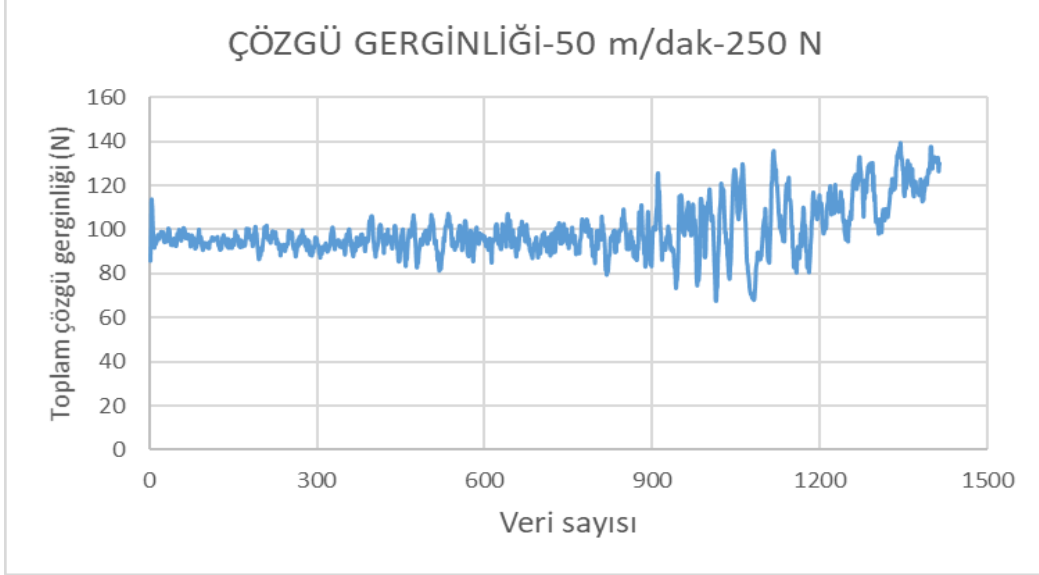
Servo motorun tork modunda çalıştırılmasına dayalı olarak yapılan sensörsüz gerginlik kontrol çalışmalarından sonra AC motor tork modunda ve servo motor hız modunda çalıştırılarak sensörsüz gerginlik kontrol sistemi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla önce AC motor sürücü devresinde tork kontrolünde çalışacak ayarlar yapılmıştır. Benzer şekilde servo motorun hız kontrolünde çalışmasına yönelik ayarlar da sürücü devresinden yapılmıştır. AC motorun tork modunda çalışmasına yönelik olarak istenen tork sinyalinin 0-10 volt arasında değişen analog sinyal olarak sürücü devreye uygulanmasının ötesinde bir parametre ayarı bulunmamaktadır. Sürücü devresindeki kontrol devresi ayarlarını otomatik olarak yapmaktadır. 0-10 volt arasında değişen tork kontrol sinyali ile AC motorun 0 ile güç:nominal açısal hız ifadesinden hesaplanan tork $(5500/(6,28.1455/60)=36,2 \text{ Nm})$ arasında değişen tork değerleri ayarlanmaktadır.

AC motordan servo motor levendine çözgü aktarılırken AC motor dönüş yönüne zıt yönde tork üreterek frenleme yapacak şekilde jeneratör çalışması gerçekleştirilmektedir. AC motor sürücüsüne 80 Ohm ve 1kW değerinde bir frenleme direnci takılmıştır. İlk deneme çalışması önce 100 N ve sonra 250 N çözgü gerginliği ve 25 m/dak sarım hızında gerçekleştirilmiştir. Ancak son derece kararsız bir çalışma gerçekleşmiş ve çözgü gerginliği aşırı dalgalanma göstermiştir. Bu işlem tork modunda AC motorun farklı hız kısıtlama değerleri ile denense de kararlı bir gerginlikle çalışma mümkün olmamıştır. Bu

yüzden çalışmaya 50 m/dak hız ile devam edilmiştir. 50 m/dak hız ve 250 N gerginlikle kararlı bir çalışma elde edilmiştir. İlk çalışmada kayıp tork hesaba katılmamış ve 250 N gerginlik ve AC motor levent yarıçapının çarpımı ile elde edilen ve levent yarıçapındaki değişime bağlı olarak güncellenen tork sinyali, istenen tork değerini temsil edecek şekilde sürücü kontrol devresine uygulanmıştır. Dolu leventten boş levende kadar gerginlik değişimi şekil 4.16'da görülmektedir. Eğrinin başlangıcı AC motor leventinin 0,257 m çapına karşılık gelirken sonu 0,124 m çapına karşılık gelmektedir. Yaklaşık iki kat çap değişiminde bir süre gerginlikte değişim olmasa da levent çapı azaldıkça hızlı bir gerginlik artışı ve artan gerginlik dalgalanması ortaya çıkmıştır. Diğer yandan istenen gerginlik 250 N olmasına rağmen 95 N dan başlayıp azalan levent çaplarında dalgalı bir seyir izleyerek 130 N seviyelerine yükselen bir çözümlü gerginliği ortaya çıkıştır. Artan sarım hızında davranışın nasıl olduğunu anlamak için tork kontrolü 100 m/dak sarım hızı ve 250 N istenen gerginlik değerleri için tekrar edilmiştir. 50 m/dak hızdaki gerginlik değişimine çok benzer bir gerginlik değişimi elde edilmiştir (Şekil 4.17). Çapa bağlı olarak yaklaşık 40 N seviyesinde bir artış gerçekleşmiştir. Ayrıca 50 m/dak hızdaki gibi istenen 250 N değerinden çok daha düşük gerginlik elde edilmiştir. Diğer yandan 100 m/dak hızla yapılan tork kontrolünde gerginlik daha düşük dalgalanma göstermiştir.

Son olarak 250 N ile şekil 4.17 deki gerginlik eğrisi arasındaki gerginlik farkları bir matematiksel denklem ile temsil edilerek tork sinyaline dönüştürülmüştür. Şekil 4.17 deki tork sinyaline ilave edilerek yeni tork sinyali elde edilmiş ve sistem bu yeni tork sinyali ile çalıştırılarak 250 N gerçek çözümlü gerginliğinin elde edilip edilmediği araştırılmıştır. Bu durumda AC motor leventi boşalana kadar kaydedilen gerginlik değişimi şekil 4.18 de görülmektedir. Gerginlik eğrisi incelendiğinde dolu leventten boş levent çapına kadar (1:2 oran) gerginlik değişimi azaltılsa da boş levent çapına doğru %15 seviyelerinde bir artış gerçekleşmiştir. Daha önemlisi servo motorun tork kontrolünde kayıp tork hesaba katılan tork sinyali hesaplandığında istenen gerginlik değeri elde edilirken AC motor da istenen 250 N luk gerginlik değerinin oldukça altında kalmıştır (130-150 N). Bu sonuçlara göre geri beslemesiz vektör kontrolüne sahip sürücülerde motor tarafından üretilen tork uygulanan tork sinyalinden önemli oranda farklılık göstermektedir ve arada doğrusal bir ilişki bulunmamaktadır. Geri beslemesiz vektör kontrol sistemine sahip sürücülerin AC motor tahrikinde kullanılması durumunda uygulanacak tork kontrolü yaklaşımı ile literatürde verilen istenen değerden %5 sapma ile gerginlik kontrolü yapmanın ve istenen

gerginlik değerini sağlayacak tork sinyalinin elde edilmesinin olanaklı olmadığı değerlendirmesi yapılabilir. Ayrıca 25 m/dak gibi düşük hızlarda kararsız çalışma göstermesi diğer bir olumsuz noktadır.



şekil 4.16. Levent çapına bağlı olarak çözgü gerginliği değişimi (50 m/dak-AC tork kontrol)



şekil 4.17. Levent çapına bağlı olarak çözgü gerginliği değişimi (100 m/dak-AC tork kontrol).



Şekil 4.18. Kayıp tork ilave edildiğinde çözgü gerginliğinin levent çapına göre değişimi.

Yukarıda açıklanan bulgulara dayanarak geri beslemesiz vektör kontrol sürücülerini ile tahrik edilen AC motorlar ile sensörsüz gerginlik kontrolünün uygun olmadığı, bu yüzden bu alandaki çalışmalara aynı sisteme geri besleme sensörü takılarak devam edilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

4.2 Sarım Esnasında Levent Çapının Matematiksel Olarak Hesaplanarak Açık Döngü Hız Kontrol Sisteminde Kullanılması

Levende sarılmakta olan çözgü tabakası uzunluğu ve sarım sayısı arasındaki ilişki her katta çapın $2k$ kadar artacağı düşünülerek aşağıdaki gibi yazılabilir. Bu denklemde n başlangıçtan itibaren levende yapılan sarım sayısı (levendin başlangıçtan itibaren yaptığı toplam devir sayısı), L sarılan çözgü uzunluğu (m), d boş levent çapı (m) ve k çözgü tabakası kalınlığı veya kumaş sarımında kumaş kalınlığıdır.

$$L = \pi d + \pi (d + 2k) + \pi (d + 4k) + \pi (d + 6k) + \dots + \pi (d + 2(n - 1)k)$$

Bu denklem aşağıdaki gibi düzenlenebilir.

$$L = \pi dn + 2\pi k(1 + 2 + 3 + \dots + (n - 1))$$

$$L = \pi dn + \frac{2\pi k(n - 1)n}{2}$$

$$k = \frac{(L - \pi dn)}{(\pi(n-1)n)} \quad (4.2)$$

Çözü tabakası veya kumaş kalınlığı bu denklemden bulunduktan sonra n adet sarım yapılan levendın çapı aşağıdaki gibi bulunabilir.

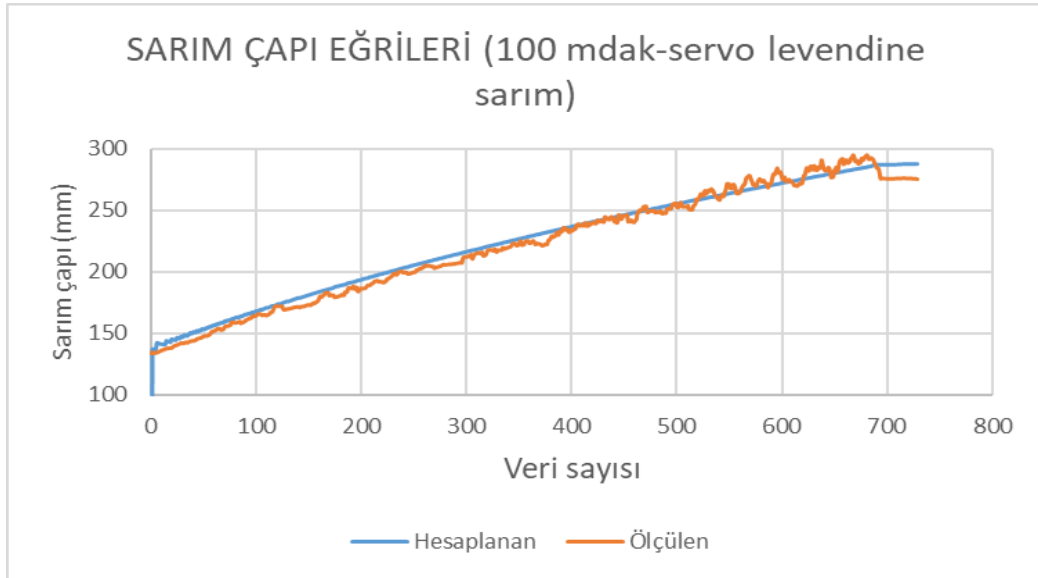
$$D = d + 2nk \quad (4.3)$$

Bu denklemden çap hesabının yapılabilmesi için levende sarılan kumaş uzunluğu ve levent sarım sayılarının ölçülmesi gerekmektedir. Her iki büyüklük te endüstriyel makinelerde basit ve yaygın olarak kullanılan sensörler ile kolayca ölçülebilir. Prototip sistemde çevresi 0,32 metre olan silindir etrafından dolanan çözü çalışma esnasında silindiri döndürmekte ve silindirin devir sayısı ve dönüş açısı bir artımlı mil kodlayıcı ile motorların devir sayıları da birer indüktif algılayıcı ile ölçülmektedir. Bu üç dijital sinyal arabirim kartlarının sayaçlarına bağlı olup sistemin çalışması esnasında artımlı mil kodlayıcıdan gelen sinyal sayısı, motor devirlerini algılayan indüktif algılayıcıdan gelen sinyal sayıları ve dolayısıyla levent devir sayıları sarım işleminin başından sonuna kadar 1 saniye aralıklarla kaydedilmektedir. Bu yöntemle hesaplanan çap değerleri yeterince hassas olursa gerek açık döngü hız kontrolü gerekse sensörsüz gerginlik kontrolünün daha düşük maliyetle yapılması söz konusu olacaktır.

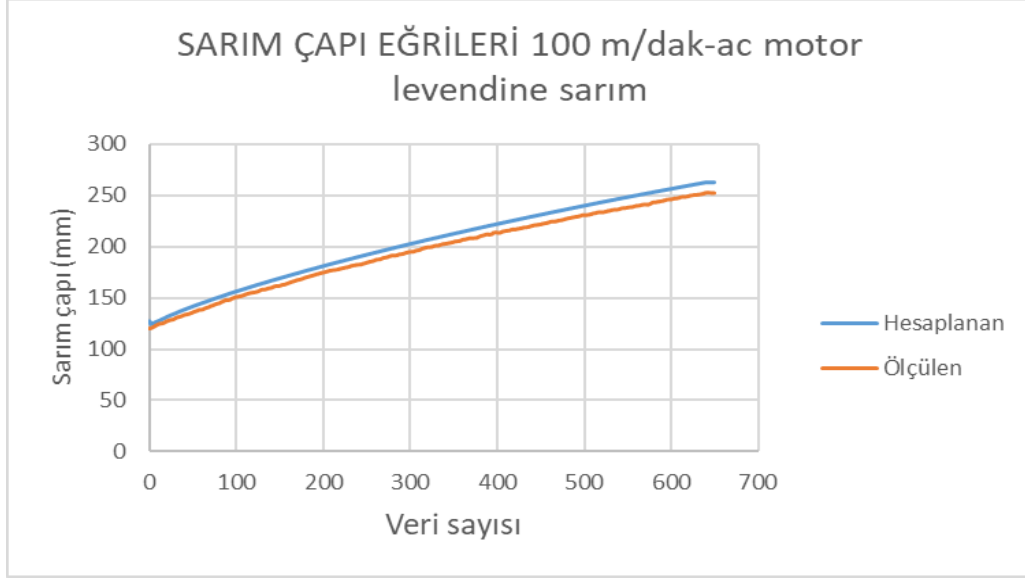
Deneysel çalışmalar esnasında kaydedilen veriler kullanılarak hesaplanan çaplar ile lazer sensörlerden okunan değerlerden bulunan çap değerleri karşılaştırılarak hesap yönteminin çap hesaplama hassasiyeti aşağıda değerlendirilmekte ve grafik olarak sunulmaktadır.

Şekil 4.19 AC motor levendinden servo motor levendine 100 m/dak hızla sarım yapılırken ölçülen ve yukarıdaki formülasyondan hesaplanan sarım çapı eğrilerini göstermektedir. Dalgalı olarak seyreden eğri ölçülen çap eğrisi olup dalgalanmanın lazer sensörden kaynakladığı değerlendirilmektedir. Düz olarak seyreden eğri ise hesaplanan eğridir. İki eğri arasında sarım boyunca paralellik gözlenmekte ve sapmalar %5 seviyelerinde oluşmaktadır. Formülasyonun ölçülen çap değerleri ile uyumunu gözlemlemek için ikinci deneme gerçekleştirilmiş ve çözü servo motor levendinden AC motor levendine aktarılmıştır. Aynı şekilde AC motor çapı, sarılan çözü uzunluğu ile AC motor devir sayısı kaydedilerek sarım boyunca ölçülen ve hesaplanan sarım çapı eğrileri elde edilmiş

ve şekil 4.20’de sunulmuştur. Eğrilerden görüldüğü gibi ölçülen ve hesaplanan çap artışları paralellik göstermektedir. Çap büyüdükçe artan bir fark oluşmakta ancak bu sapma 250 mm çap değerinde yaklaşık 12 mm ile en yüksek değerini almaktadır. Bu sapma ile ölçülen ve istenen çap değerleri arasındaki fark %4 seviyelerinde gerçekleşmiştir. Burada açıklanan sarımdaki çap değişimleri göstermektedir ki sarılan çözüğü uzunluğu ve motor devir sayıları basit ve düşük maliyetli sensörlerle ölçülerek sarım çapını %5 seviyelerinde bir sapma ile belirlemek mümkündür. Bu sapma değerleri ile kumaş top sarma ve çözüğü sarma gibi tekstil proseslerinde bu yaklaşımın hız kontrolünde kullanılması önerilebilir. Leventleri tahrik eden motorların hızını küçük artırımlarla belirlemek mümkündür. Çapın belirlenme hassasiyeti, sarım hızının belirlenme hassasiyeti olarak değerlendirilebilir.



Şekil 4.19. Ölçülen ve hesaplanan sarım çapı eğrileri (servo motor levendine sarım).



Şekil 4.20. Ölçülen ve hesaplanan sarım çapı eğrileri (AC motor levendine sarım).

5. SONUÇ

Bulgular kısmında sunulan deneysel çalışma sonuçları gerek geri beslemesiz vektör kontrollü asenkron motor gerekse servo motorun sensörsüz gerginlik kontrol sisteminde kullanımına yönelik sonuçlar sunmaktadır. Geri beslemesiz vektör kontrollü AC motor (asenكرون motor) nominal hızının bir seviyesine kadar (%30-35) üretebileceği maksimum değerini üretememektedir. Tork kontrolü uygulandığında 0-10 volt arasında değişen kontrol sinyali ile sıfır ve maksimum tork arasında tork değerlerinin oransal olarak ifadesi öngörülmektedir. Ancak bu gerçekleşmediğinden istenen gerginliğe karşılık gelen tork sinyali daha düşük tork üretilmesine sebep olur. Bu durum sonuç olarak istenen gerginlik değerinden büyük bir sapma ile tork üretimine sebep olmaktadır. Bunun yerine düşük hızlardan maksimum çalışma hızına kadar aynı maksimum tork değerini üretme kapasitesine sahip geri beslemeli vektör kontrollü AC motorların kullanımı daha uygun olacaktır. Mevcut sistemdeki motor miline bir artımlı mil kodlayıcı ilavesi ile geri beslemeli vektör kontrollü AC motorun sensörsüz gerginlik kontrol sistemlerinde kullanımını test edilebilir.

Servo motor çok düşük hızlardan çalışabileceği en yüksek hıza kadar tüm hızlarda maksimum torkunu üretebilme kapasitesine sahip olup tork, sargılarından geçen akımla doğru orantılı olarak değişmektedir. Dolayısıyla kontrol sinyali tarafından belirlenen tork değeri akıma çevrilip sürücüdeki geri beslemeli akım kontrol sistemi ile tam olarak elde edilebilmektedir. Bu durum kayıp tork değeri doğru olarak belirlenip hesaba katıldığında gerginliğin istenilen seviyede tork sinyali ile orantılı olarak elde edilebileceği anlamına gelmektedir. Dolayısıyla sunulan çapa göre değişen gerginlik eğrilerinden de anlaşılacağı gibi servo motorlar tekstil makinelerinde sensörsüz gerginlik kontrol sistemlerinde kullanılabilme ve literatürde verilen %5 sapma ile gerginlik kontrol potansiyeline sahiptir. Ancak bu sonuç hareket iletim sistemindeki kayıpların doğru bir şekilde belirlenip hesaba katılması ile mümkündür. Kontrol açısından daha büyük problem düşük gerginliklerle çalışmada ortaya çıkmaktadır. Kayıp moment düşük gerginliklerde gerginliğin momentine yakın değerler alacağından kayıp moment hassas bir şekilde hesaplanarak tork sinyali belirlenmelidir. Aksi halde istenen gerginlikten ciddi sapsmalar ortaya çıkacaktır. Ancak yüksek gerginliklerle çalışmada veya motorun maksimum tork sınırına yaklaşılacak çalışmalarda sarım esnasında meydana gelebilecek gerginlik değişimi kayıp

torkun kabaca hesaba katılmasıyla bile istenen gerginlikten pratik anlamda ciddi sapmalar oluşturmayacaktır.

Sarım esnasında kaydedilen sarılan çözgü uzunluğu ve levent sarım (devir) sayılarından hesaplanan çap değerleri lazer sensör ile ölçülenlerden %5 kadar sapma göstermiştir. Bu sonuç düşük maliyetle açık döngü hız kontrol sistemi oluşturularak sarım hızının çaplar değişirken de sabit tutulabileceği anlamına gelmektedir. Gerginlik kontrol toleransının düşük olmadığı kumaş top sarma gibi tekstil makinelerinde tork kontrolü, hesaplanan bu çap değerlerinin kullanılıp çaplardaki değişime göre istenen tork sinyalinin güncellenmesi ile yapılabilir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde gerek teorik gerekse deneysel çalışmalar incelendiğinde çalışmaların tümünde malzeme olarak uzaması son derece düşük kağıt, bant ve şerit gibi malzemeler kullanılmıştır. Ayrıca iplik veya kumaş gibi tekstil malzemeleri kullanılmamıştır. Bu çalışmada elastik özellikleri daha düşük olan çözgü iplikleri kullanılmış olup sensörsüz gerginlik kontrolünde servo motor kullanıldığında istenen gerginlik değerinden %5 seviyelerinde sapmalar ile gerginlik kontrolü mümkün olmuştur. Dolayısıyla sensörsüz gerginlik kontrol yöntemiyle daha düşük elastik modülüne sahip malzemeler için de gerginlik kontrolünün olanaklı olduğu gösterilmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, servo motor ve asenkron motorlar ile sensörsüz tork gerginlik kontrolü konusunda bazı sonuçlara ulaşılsa da bundan sonra bu konuda yapılacak ve sonuçların endüstriye uygulanabilir seviyeye gelmesini sağlayacak çalışmalar için yönlendirici görevi görmektedir. Konu ile ilgili bundan sonra yapılacak çalışmalar için aşağıdaki önerilerde bulunulabilir.

- Tez kapsamında geliştirilen prototipte motorlar ile leventler arasındaki hareket iletim sisteminin mekaniği gözden geçirilip kayıplar azaltılacak şekilde iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır.
- Motorların maksimum tork kapasiteleri ve sıfır - maksimum çalışma hız aralığını kapsayan deneysel çalışmalar ile kayıplar tarafından sebep olunan tork değerinin hız, gerginlik seviyesi ve levent çaplarına göre değişimleri detaylı olarak araştırılmalı ve kayıp tork için etki eden parametrelere bağlı matematiksel bir

denklem çıkarılmalı ve sensörsüz gerginlik kontrol algoritmalarında kullanılarak kontrol sistem performansı iyileştirilmelidir.

- Asenkron motorlar için geri beslemeli vektör kontrol yaklaşımı ile sensörsüz gerginlik kontrol sistemi çalışmaları gerçekleştirilmeli ve elde edilen sonuçlar servo motor ile sensörsüz gerginlik kontrolü sonuçları ile karşılaştırılmalıdır.
- Gerek asenkron motor gerekse servo motor ile daha fazla deneysel çalışma yapılmalı ve geri beslemesiz gerginlik kontrol sistemi performansının tekrarlanabilirliği test edilmelidir.

KAYNAKLAR

Abbasi, M.H., Moradian, H. Ve Moradi, H. 2016, "Design of sliding mode and model reference adaptive control strategies for multivariable tape transport mechanism - a performance comparison", *Microsystem Technologies*, 22(2), 419-431. doi:10.1007/s00542-015-2489-4

Abjadi, N.R., Soltani, J., Askari, J ve Arab Markadeh G.R 2009, "Nonlinear sliding-mode control of a multi-motor web-winding system without tension sensor", *IET Control Theory Appl.*, 3(4), 419-427. doi:10.1049/iet-cta.2008.0118

Anonim, 2002. AC motor theory.
<http://www.tpub.com/doeelecscience/electricalscience2143.htm>
(Erişim tarihi:12.11.2020).

Anonim, 2003. How does an induction motor work?
https://www.youtube.com/watch?v=AQqyGNOP_3o&t=182s&ab_channel=Lesics
(Erişim tarihi:16.07.2020).

Anonim, 2004. Elektrik motorları.
<https://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik-motorlari/senkron-makine-cesitleri-112140/> (Erişim tarihi:20.02.2021).

Anonim, 2007. Induction motor equivalent circuit
<https://shoptr5.education-next.com/content?c=induction%20motor%20circuit&id=2>
(Erişim tarihi:23.08.2020).

Anonim, 2010. LabVIEW programı.
<https://www.ni.com/en-tr/shop/labview.html> (Erişim tarihi:14.05.2021).

Anonim, 2011. Induction motors.
<http://electricalarticle.com/torque-slip-characteristics-of-induction-motor/>
(Erişim tarihi:23.08.2020).

Anonim, 2014. Tansiyon kontrol otomasyon sistemleri sarma ve çözüme uygulamaları.
http://www.inverter-plc.net/otomasyon/tansiyon_kontrol.html
(Erişim tarihi:09.12.2021).

Anonim, 2015. Asenkron makinalarının kumandasında PLC kullanımı.
<http://www.automationtr.com/asekron-makinalarinin-kumandasinda-plc-kullanimi.html> (Erişim tarihi:16.07.2021).

Anonim, 2016. Servo motor ile sürücü ve kontrol devresi.
<https://new.siemens.com/global/en/products/drives/sinamics/low-voltage-converters/servo-converter/sinamics-v90.html> (Erişim tarihi:11.05.2019).

Anonim, 2019. Delta AC servo motorlar ve sürücüler. <https://www.dostelotomasyon.net/kategori/11/delta-ac-servo-motorlar-ve-suruculer-urunleri.html> (Erişim tarihi:07.09.2021).

Anonim, 2020. Servo Motorlar Nasıl Çalışır. <https://www.kollmorgen.com/tr-tr/blogs/servo-motorlar-nasil-calisir> (Erişim tarihi:09.10.2020).

Ashour, A.H., Abd-Elraouf, M.A., El-Shenawy, A., 2019, ‘‘ Practical Validation of PLC-Based Sensor-Less Winder Tension Control’’ IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), doi: 10.1109/EEEIC.2019.8783520

Baumgart, M.D. ve Pao, L.Y. 2003, ‘‘Robust Lyapunov-based feedback control of nonlinear web-winding systems’’, Proceedings 42nd IEEE Conference on Decision and Control, 2003, 6398-6405, 9-12 Dec.. doi:10.1109/cdc.2003.1272347

Baumgart, M.D. ve Pao, L.Y. 2004, ‘‘Robust control of tape transport systems with no tension sensor’’, 43rd IEEE Conference on Decision and Control, Atlantis, Paradise Island, Bahamas, 4342-4349, 14-17 Dec. doi:10.1109/cdc.2004.1429434

Baumgart, M.D. ve Pao, L.Y. 2007, ‘‘Robust control of nonlinear tape transport systems with and without tension sensors’’, ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control. 129(1), 41-55. doi: 10.1115/1.2397151

Bouchiba, B., Hazzab, A., Glaoui, H., Med-Karim, F., Bousserhane, I.K. ve Sicard, P. 2012, ‘‘Decentralized PI controller for multimotors web winding system’’, Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems,’’ 6(2), 32-36. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/265267804_Decentralized_PI_Controller_for_Multimotors_Web_Winding_System

Carrasco, R. ve Valenzuela, M.A. 2006, ‘‘Tension control of a two-drum winder using paper tension estimation’’, IEEE Trans. Ind. Appl., 42(2), 618-628. doi:10.1109/tia.2005.863912

Cheng, C.W., Hsiao, C.H., Chuang, C.C., Chen, K.C. ve Tseng, W.P. 2005, ‘‘Observer-based tension feedback control of direct drive web transport system’’, Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Mechatronics, Taipei, Taiwan, 745-750, 10-12 July.. doi:10.1109/icmech.2005.1529354

Choi, K.-H., Tran, T.T. ve Kim, D.-S. 2011, ‘‘Back-stepping controller based web tension control for roll to-roll web printed electronics system’’, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 5(1), 7-21. doi.10.1299/jamdsm.5.7

Choi, K.H., Zubair, M. ve Ponniah, G. 2013, ‘‘Web tension control of multispan roll-to-roll system by artificial neural networks for printed electronics’’, Proc. IMechE Part C: J Mechanical Engineering Science, 227(10), 2361–2376. doi:10.1177/0954406212473041

- Chung, B.-M., Lee, S.-G. ve Cho, C.-S. 2005, "Active tension control of high speed splitting machines using fuzzy PID", Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Mechatronics, ICM'05, Taipei, Taiwan, 72-77, 10-12 July. doi:10.1109/icmech.2005.1529230
- Dong, C. H., Woon J. B., Yoon C. L., Sang H., Hyuk J. L., Seok H. N., Han K. K., Jae Y. P., Suuk G. L. ve Du H. C. 2005, "Sensorless Tension Control of Shuttleless Loom System Based on Support Vector Regression", ICMIT 2005, Control System and Robotics, Proc. Of SPIE, Vol. 6042, 60421A. doi:10.1117/12.664599
- Ebler, N.A., Arnason, R., Michealis, G. ve D'Sa, N. 1993, "Tension control: dancer rolls or load cells", IEEE Trans. Ind. Appl., 29(4), 727-739. doi:10.1109/28.231986
- Fengling, L., Meng, X. ve Hui, L. 2011, "Model predictive control of filament tension in textile winding process", Advanced Materials Research. Vols. 308-310, 2454-2457. doi:10.4028/www.scientific.net/amr.308-310.2454
- Gassmann, V., Knittel, D., Pagilla, P.R. ve Bueno, M.A. 2009, "H ∞ unwinding web tension control of a strip processing plant using a pendulum dancer." 2009 American Control Conference, St. Louis, MO, USA, 901-906, 10-12 June. doi:10.1109/acc.2009.5160554
- Glaoui, H., Hazzab, A., Bouchiba, B. ve Bousserhane, I.K. 2013, "Modeling and simulation multi motors web winding system", International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 4(2), 110- 115. doi:10.14569/IJACSA.2013.040217
- Hou, H., Nian, X., Shang, J., Xu, S. ve Peng, Z. 2016, "Robust tension observers design for web winding systems", Proceedings of the 35th Chinese Control Conference, Chengdu, China, 420-425, 27- 29 July. doi:10.1109/chicc.2016.7553120
- Hou, H., Wang, Z., Nian, X. ve Shang, J. 2015, "Robust decentralized control of web-winding systems without tension sensor", Proceedings of the 34th Chinese Control Conference, Hangzhou, China, 8850-8854, 28-30 July. doi:10.1109/chicc.2015.7261037
- Huang, P.Y., Cheng, Y.M., Su, K.H., Kuo, W.L., (2021) "Control of roll-to-roll manufacturing based on sensorless tension estimation and disturbance compensation" Journal of the Chinese Institute of Engineers, 44:2, 89-103, doi:10.1080/02533839.2020.1856724
- Huang, C.C. ve Soong, L.C. 1999, "Control of tension and line speed in fabric finishing", Textile Research Journal, 69(10), 714-719. doi:10.1177/004051759906901003
- Imamura, T., Kuroiwa, T., Terashima, K. ve Takemoto, H. 1999, "Design and tension control of filament winding system", IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, IEEE SMC'99, Vol. 2, 660-665, 12-15 Oct. doi:10.1109/icsmc.1999.825339

- Jeftenić, B.I. ve Bebić, M.Z. 2010, "Realization of rewinder with a reduced number of sensors", *IEEE Trans. Ind. Electron.*,57(8), 2797-2806. doi:10.1109/tie.2009.2036638
- Ji, W., Dai, F. ve Luo, Y. 2009, "A novel fuzzy tension controller based on adaptive line speed", *Sixth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, 2009. FSKD'09, IEEE, 32-36, 14-16 Aug. doi:10.1109/fskd.2009.684
- Kim Y, Kim K.S, Kim S.K. 2020, "Velocity-Sensorless Decentralized Tension Control for Roll-to-Roll Printing Machines", *IEEE Access* PP(99):1-1.Volume 8,2020. 93682-93691 DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2995126
- Kong, F.-F., Tao, T., Liu, S.-H. ve You, H. 2012, "Active disturbance rejection control algorithm for the unwinding tension system in gravure printing machine", *International Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICWAMTIP)*, 86-91, 17-19 Dec. doi:10.1109/icwamtip.2012.6413446
- Kung, C.C., Su, K.H. ve Hung, L.P. 2006, "Adaptive fuzzy total sliding-mode controller design and its application to tension control of a winding process." 2006 *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Taipei, Taiwan, 3659-3664, 8-11 Oct. doi:10.1109/icsmc.2006.384698
- Kuzer, K. (2006). *AC Servo Motorlar ve Sürücü Devreleri (Yüksek Lisans Tezi) Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*
- Li, Z. 2015, "Tension control system design of a filament winding structure based on fuzzy neural network", *Engineering Review*, 35(1), 9-17. Erişim adresi: https://www.academia.edu/17299224/Tension_control_system_design_of_a_filament_winding_structure_based_on_fuzzy_neural_network
- Liu, S., Mei, X., Kong, F., Li, J. ve Liu, Z. 2012, "Design tension controller of unwinding system based on LMI-based H_{∞} robust control", *Proceedings of the ASME/ISCIE 2012 International Symposium on Flexible Automation, ISFA2012*, St. Louis, Missouri, USA, 151-158, 18-20 June. doi:10.1115/isfa2012-7134
- Liu, S., Mei, X, Kong, F. ve Shen, J. 2012, "Tension controller design for unwinding tension system based on active disturbance rejection control", *Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, Chengdu, China, 1798-1803, 5-8 Aug. doi:10.1109/icma.2012.6285094
- Lynch, A.F., Bortoff, S.A. ve Röbenack, K. 2004, "Nonlinear tension observers for web machines", *Automatica*, 40(9), 1517-1524. doi:10.1016/s0005-1098(04)00119-0
- Mathur, P.D. ve Messner, W.C. 1998, "Controller development for a prototype high-speed low-tension tape transport", *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, 6(4), 534-542. doi:10.1109/87.701350

Minjing, Z., Zhihua, C., Ying, Z. ve Lamei, Z. 2014, "Model based PD control during the speed-up phase in roll-to-roll web register systems", Proceedings of the 33rd Chinese Control Conference, Nanjing, China, 5139-5143, 28-30 July. doi:10.1109/chicc.2014.6895815

Noura, H. Ve Bastogne, T. 1997, "Tension optimal control of a multivariable winding process", Proceedings of the American Control Conference, Albuquerque, New Mexico, June. doi:10.1109/acc.1997.609237

Okada, K. ve Sakamoto, T. 1998, "An adaptive fuzzy control for web tension control system", Proceedings of the 24th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Aachen, Germany, 1762-1767, 31 Aug. - 4 Sep. doi:10.1109/iecon.1998.722951

Ponniah, G., Zubair, M., Doh, Y.-H. ve Choi, K.-H. 2012, "Fuzzy logic based control design for active dancer closed loop web tension control", International Journal of Engineering Research and Applications, 2(3), 438-443. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/235981130_Fuzzy_logic_based_control_design_for_active_dancer_closed_loop_web_tension_control

Priya, N.H., Kavitha, P., Muthukumar, N., Srinivasan, S. ve Ramkumar, K. 2016, "Design of PSO-based PI controller for tension control in web transport systems", Proceedings of the International Conference on Soft Computing Systems, 509-516. doi:10.1007/978-81-322-2674-1_47

Ren, S.L., Lai, Y.-N., Wang, Y.-Z. ve Lu, H. 2009, "A new fiber winding precision tension control system", Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, ICAL'09, Shenyang, China, 233-236, 5-7 Aug. doi:10.1109/ical.2009.5262921

Ren, S.L., Lu, H., Wang, Y. Z. ve Fu, H.Y. 2007, "Development of PLC-based tension control system", Chinese Journal of Aeronautics. 20(3), 266-271. doi:10.1016/s1000-9361(07)60043-0

Ren, S.L., Lai, Y.N., Wang, Y.Z., Lu, H. ve Dai, Y. 2010, "Fiber winding precision tension fuzzy control system", Advanced Materials Research, Vols. 129-131, 370-375. doi:10.4028/www.scientific.net/amr.129-131.370

Sakamoto, T. ve Izumihara, Y. 1997, "Decentralized control strategies for web tension control system." Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 1997, ISIE'97, 1086-1089, 7- 11 July. doi:10.1109/isie.1997.648890

Song, S.H. ve Sul, S.K. 2000, "A new tension controller for continuous strip processing line", IEEE Trans. Ind. Appl., 36(2), 633-639. doi:10.1109/ias.1998.730124

Su, H. ve Zhang, X. 2016, "On the mechanical analysis and control for the tension system of the cylindrical filament winding", Journal of Textile Science and Technology, 2(2), 7-15. doi:10.4236/jtst.2016.22002

Tham, T.T.H., Xuyen, H.Q. ve Vinh, Q. 2019, "Tension Sensorless Control For Web Transport Systems", *SSRG International Journal of Electrical and Electronics Engineering* ,6(10), 9-14. doi:10.14445/23488379/IJEEE-V6I10P101

Tong, T. 2014, "Intelligent control of the dynamic tension of yarn by means of sensors in winding process", *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 556-562, 2305-2308. doi:10.4028/www.scientific.net/amm.556-562.2305

Tong, Y. 2013, "Dynamic Technique Control on Sectional Warping Machine by Means of Sensors", *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 336-338, pp. 168-171. doi:10.4028/www.scientific.net/amm.336-338.168

Tran, T.T., Choi, K.-H., Chang, D.-E. Ve Kim, D.-S. 2011, "Web tension and velocity control of two-span roll-to-roll system for printed electronics", *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 5(4), 329-346. doi:10.1299/jamdsm.5.329

Valenzuela, M.A, Bentley, J.M. ve Lorenz, R. D. 2003, "Sensorless tension control in paper machines", *IEEE Trans. Ind. Appl*, 39(2), 294-303. doi:10.1109/tia.2003.809449
Valenzuela, N.R., Carrasco, R ve Sbarbaro, D. 2008, "Robust sheet tension estimation for paper winders", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 44(6), 1937-1949. doi:10.1109/tia.2008.2006329

Wang, C., Wang, Y., Yang, R. ve Lu, H. 2004, "Research on precision tension control system based on neural network", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 51(2), 381-386. doi:10.1109/tie.2003.822096

Wang, Z., Nan, H., Shi, T., Geng, Q. ve Xia, C. 2018, "No-Tension Sensor Closed-Loop Control Method with Adaptive PI Parameters for Two-Motor Winding System", *Mathematical Problems in Engineering*, Volume 2018, Article ID 1851845, 14 pages, doi:10.1155/2018/1851845

Yeung, M.F., Falkner, H. ve Gergely, S. 1995, "The control of tension in textile filament winding", *Mechatronics*, 5(2/3), 117-131. doi:10.1016/0957-4158(94)e0016-j

Zhong, H. Ve Pao, L.Y. 2009, "Regulating web tension in tape systems with time-varying radii", *American Control Conference*, St. Louis, MO, USA, 198-203, 10-12 June. doi:10.1109/acc.2009.5160543

Zubair, M., Ponniah, G., Yang, Y.G., Choi, G.H. 2014, "Web Tension regulation of multispan roll-to-roll system using integrated active dancer and load cells for printed electronics applications", *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 27(2), 229-239. doi:10.3901/cjme.2014.02.229

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İsmail BAYRAKTAR
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa – 17.09.1967
Yabancı Dil : Almanca

Eğitim Durumu
Lise : Bursa Erkek Lisesi
Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Yalova Üniversitesi Yalova Meslek Yüksekokulu

İletişim (e-posta) : ibayraktar77@hotmail.com

Yayınları : Eren R., Bayraktar İ., Sadoun M.Y., 2022, Experimental Investigation of Sensorless Tension Control System for Textile Processes, Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi, (Yayın aşamasında)