



İPLİK GERGİNLİK ÖLÇME SENSÖRÜ

GELİŞTİRİLMESİ

Hüseyin Nizam MUTLU



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İPLİK GERGİNLİK ÖLÇME SENSÖRÜ GELİŞTİRİLMESİ

Hüseyin Nizam MUTLU

Prof. Dr. Recep EREN
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

TEZ ONAYI

Hüseyin Nizam MUTLU tarafından hazırlanan “İplik Gerginlik Ölçme Sensörü Geliştirilmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Recep EREN

Başkan : Prof. Dr. Recep EREN
Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı
ORCID NO: 0000-0001-9389-0281

İmza

Üye : Prof..Dr. Sunay ÖMEROĞLU
Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı
ORCID NO: 0000-0002-1618-6562

İmza

Üye : Prof. Dr. Hasan Basri KOÇER
Bursa Teknik Üniversitesi
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
Lif ve Polimer Mühendisliği Bölümü
ORCID NO: 0000-0003-2612-6712

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım
Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü
31/07/2019

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM

U.Ü. 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.

05/07/2019

Hüseyin Nizam MUTLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İPLİK GERGINLİK ÖLÇME SENSÖRÜ GELİŞTİRİLMESİ

Hüseyin Nizam MUTLU

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Recep EREN

Bu yüksek lisans tezinde iplik gerginlik ölçme sensörleri tasarım, algılama yöntemleri ve üretim açısından araştırılmış, piyasada mevcut direnç tipi yük hücreleri kullanılarak tasarlanıp üretimleri gerçekleştirilmiş ve performansları araştırılmıştır. Bu amaçla önce gerginlik ölçmede kullanılan sensörlere ait fiziksel esaslar incelenmiş ve bu esaslara dayanan gerginlik ölçme yöntemlerine ait fiziksel ilişkiler analiz edilmiştir. Daha sonra bilimsel ve patent literatürü incelenerek temaslı ve temassız iplik gerginlik ölçme yöntemleri ayrıntısıyla ortaya konulmuştur. İplik gerginlik ölçme sensörü üretiminde kapasitif, optik, Hall etkili ve direnç tipi (Strain Gauge) algılayıcılar kullanılsa da direnç tipi sensörler en yaygın olarak kullanım alanı bulmaktadır.

Tez çalışması kapsamında 3 farklı boyut ve özellikte direnç tipi yük hücresi kullanılarak iplik gerginlik sensörü tasarlanmış, üretimleri yapılmış ve performansları deneysel olarak test edilmiştir. Bu amaçla tek üniteli bir çalığa yerleştirilen bir bobinden çekilen iplik farklı hızlarda yeni bir bobine sarılmıştır. Çalık çıkışında ticari bir iplik gerginlik sensörü ve test kapsamında geliştirilen gerginlik sensörü kullanılıp eşzamanlı olarak iplik gerginliği 1,5 milisaniye aralıklarla ölçülmüş ve kaydedilmiştir. 50 m/dak ve 800 m/dak arası hızlarla çekilen iplik gerginliğine ait değişimler grafik olarak sunulmuş ve değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan incelemelere göre tez kapsamında geliştirilen iplik gerginlik sensörü ticari iplik gerginlik sensörüne nazaran daha büyük genlikte salınım göstermiştir. Bununla beraber farklı genliklerde değişim gösterse de 200 m/dak' ya kadar olan hızlarda 2 gerginlik sensörünün gerginlik sinyalleri birbirine paralel değişim göstermiştir. Ancak 200 m/dak üzeri hızlarda 2 gerginlik sensörünün gerginlik sinyalleri birbirinden farklılaşan değişimler sergilemiştir. Ortalama değerler alınarak yapılan analizde geliştirilen gerginlik sensörleri artan hızlarda daha yüksek ortalama gerginlik değerleri vermiş ve ticari sensör ile aradaki fark %10-15 seviyelerine çıkmıştır. Tezde geliştirilen 1 ve 2 nolu sensörler tarafından ölçülen gerginlik değişimleri karşılaştırıldığında 2 nolu sensörün gerginlik ölçümlerinin 1 nolu sensöre nazaran daha az dalgalanma gösterdiği ve ticari gerginlik sensörünün sonuçlarına daha yakın olduğu görülmüştür. Bunun sebebi 2 nolu sensörde kullanılan yük hücresinin daha yüksek rijitliğe sahip olmasıdır.

Anahtar Kelimeler: İplik gerginliği, gerginlik ölçümü, yük hücresi, kuvvet ölçme
2019, x + 141 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

DEVELOPMENT OF YARN TENSION MEASUREMENT SENSOR

Hüseyin Nizam MUTLU

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

Supervisor: Prof. Dr. Recep EREN

In this MSc thesis, the yarn tension measuring sensors were investigated in terms of design, detection methods and production. For this purpose, the physical principles of the sensors used for tension measurement were examined and the physical relations in tension measurement methods based on these principles were analyzed. Then, scientific and patent literature were reviewed, contact and non-contact yarn tension measurement methods were explained in detail. Although capacitive, optical, Hall effect and strain gauge sensors are used in the measurement of yarn tension, resistance type sensors are mostly used in many applications.

Within the scope of thesis study, a thread tension sensor was designed, produced and tested experimentally by using resistance type load cell in three different sizes and characteristics. For this purpose, the yarn drawn from a bobbin placed in a single-unit creel was wound on a new bobbin at different speeds. At the creel outlet, a commercial yarn tension sensor and tension sensor developed in this study were used and the yarn tension was measured and recorded at intervals of 1.5 milliseconds by these two sensors simultaneously. Changes in yarn tension taken at speeds of 50 m/min to 800 m/min were presented graphically and evaluations were made. According to the investigations, the yarn tension sensor developed in this thesis showed a greater variations than the commercial yarn tension sensor. Although different amplitudes vary, the tension signals of the 2 tension sensors at the speeds up to 200 m/min showed parallel changes. However, at speeds above 200 m/min, the tension signals of the 2 tension sensors exhibited variations that varied. Tension sensors developed in the thesis gave higher average tension values at increasing speeds compared to the commercial sensor and the difference between commercial sensor and the developed sensors reached 10-15% at 800 m/min speeds. Also tension sensor 2 produced less fluctuating results than tension sensor 1. This is thought to be due to the higher bending rigidity of load cell used in tension sensor 2.

Key words: Yarn tension, tension measurement, load cell, force measurement
2019, x + 141 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitiminin boyunca ve bu tez çalışmasının gerçekleşmesinde, aynı zamanda bana lisans düzeyinde de danışmanlık ederek gösterdiği büyük emek, sabır, gülyüz ve samimiyetini benden esirgemeyen, yardım ve büyük destekleri için tez danışmanım saygıdeğer Prof. Dr. Recep EREN'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu çalışma esnasında deneysel çalışmalarda, yazım kuralları için yazım çalışması, kaynak araştırması, materyal ve metot açısından bana sürekli yardımda bulunan Dr. Özge ÇELİK'e şükranlarımı sunarım.

Bu tez çalışmasının konu ile ilgili mekanik tasarım kısmında verdiği destekten dolayı değerli arkadaşım Hanife Şeyma KAHRAMAN NALÇIN'a, mekanik imalatın gerçekleşmesini sağlayan Teknomasyon Firması ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Benden desteği ve yardımlarını esirgemeyen ve tez yazımının her aşamasında yanımda olan değerli arkadaşım Egemen KUTLU'ya teşekkür ederim.

Daima yüzümü güldürdükleri gibi tez çalışması boyunca da her zaman yanımda olan, benimle üzülp benimle gülen canım annem Münevver MUTLU'ya, değerli babam Ruşen MUTLU'ya, dedem Hüseyin NİZAM'a, diğer aile üyelerine ve hiç yanımdan ayrılmayan yakın arkadaşlarım Mahir OKTAY ve Uęur ÖZGÜR'e çok teşekkür ederim.

Hüseyin Nizam MUTLU
04/07/2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	6
2.1. Gerginlik Ölçme Yöntemleri.....	6
2.1.1. Direnç esaslı gerginlik ölçme yöntemleri.....	6
2.1.2. Kapasitif ve Hall etkili sensörler ile gerginlik ölçme prensipleri.....	21
2.1.3. Piezoelektrik prensibe dayanan gerginlik ölçme yöntemi.....	31
2.2. Gerginlik Ölçme Sensörleri ile İlgili Kaynak Araştırması.....	36
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	48
3.1. Materyal.....	49
3.1.1. Sistemin mekanik yapısı.....	50
3.1.2. Sistemin elektronik yapısı.....	51
3.1.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan iplik özellikleri.....	62
3.2. Yöntem.....	63
3.2.1. Gerginlik ölçme sensörü tasarımı.....	63
3.2.2. Gerginlik sensörlerinin kalibrasyonu.....	67
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	71
4.1. 1 Nolu Yük Hücresi Kullanılan Gerginlik Sensörü Sonuçları.....	71
4.2. 2 Nolu Yük Hücresi Kullanılan Gerginlik Sensörü Sonuçları.....	99
4.3. 3 Nolu Yük Hücresi Kullanılan Gerginlik Sensörü Sonuçları.....	127
5. SONUÇ.....	130
KAYNAKLAR.....	133
EKLER.....	135
ÖZGEÇMİŞ.....	141

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Gerginliğin dolaylı ölçümü ve gerginlik kontrol sistemi oluşturulmasına yönelik bir örnek	5
Şekil 2.1. Çok yaygın olarak kullanılan folye tipi bir “strain gauge”	7
Şekil 2.2. Metalik folye tipi “strain gauge” in bileşenleri	8
Şekil 2.3. Çekme-bası, kesme gerilmesi ve burulma gerilmesi ölçümünde kullanılan bazı “strain gauge” leri	8
Şekil 2.4. Strain gauge ve yük hücresinin bulunduğu yerler	9
Şekil 2.5. Kuvvetin etkisinde yük hücresindeki zorlanmalar	10
Şekil 2.6. Bir malzemeye ait gerilim-gerinim ilişkisi	11
Şekil 2.7. Wheatstone köprü devresi	12
Şekil 2.8. Tek dirençten ölçüm yapılan Wheatstone köprü devresi	13
Şekil 2.9. Zorlanmaya maruz kalan 2 adet direnç ile kuvvet ölçme durumunda dirençlerin köprü devresine yerleştirilmesi	14
Şekil 2.10. 4 adet direncin de zorlanmaya maruz kalması durumunda Wheatston köprüsü ve dirençlerin yerleşimi	15
Şekil 2.11. 4 dirençli gerilim ölçmede dirençlerin zorlanma şekli	16
Şekil 2.12. Wheatstone köprü devresi ve INA126 entegresini kullanan bir kuvvetlendirici devresi	17
Şekil 2.13. Eğilmeye zorlanma durumunda değişik tasarımlarla kuvvet ölçme şekilleri	18
Şekil 2.14. Kesme gerilmesine maruz zorlanmalar ile kuvvet ve moment ölçüm.....	19
Şekil 2.15. Uzama (çeki) ve kısalma (bası) zorlanmalarına maruz kalan yük hücrelerinde dirençlerin yerleşimi ve ölçme prensibi	20
Şekil 2.16. Z tipi bir yük hücresi ile kuvvet ölçümü prensibi	21
Şekil 2.17. Kapasitif sensör çalışma prensibi	22
Şekil 2.18. Kapasitif sensörlerde üst plakanın hareket ettirilmesi durumu	23
Şekil 2.19. Kapasitif sensörlerde biri sabit diğeri hareketli plakalar	24
Şekil 2.20. Kapasitif sensörlerde orta plakanın sağa sola hareket ettirilmesi durumu ...	25
Şekil 2.21. Kapasitif sensörlerde orta plakanın aşağı yukarı hareket ettirilmesi durumu	25
Şekil 2.22. Hall etkili sensör çalışma prensibi	26
Şekil 2.23. Hall etkili sensör ile mil pozisyonu ölçümü	28
Şekil 2.24. Doğrusal Hall etkili sensörün temel üniteleri ve çıkış sinyalinin manyetik alan büyüklüğüne göre değişimi	29
Şekil 2.25. Farklı sensör besleme gerilimi değerlerinde manyetik alan büyüklüğüne bağlı olarak çıkış sinyali değişimi	30
Şekil 2.26. Sensörün maruz kaldığı manyetik alan büyüklüğü ile mesafe arasındaki hiperbolik ilişki	31
Şekil 2.27. Piezoelektrik sensör çalışma prensibi	32
Şekil 2.28. Değişik geometri ve boyutlarda piezoelektrik malzemeler	34
Şekil 2.29. Manyetik prensiple çalışan gerginlik ölçme sensörü	37
Şekil 2.30. Optik algılama prensibine göre çalışan Barmag iplik gerginlik ölçme sensörü	38
Şekil 2.31. Direnç tipi algılayıcı ile iplik gerginlik ölçümü	40
Şekil 2.32. Temassız gerginlik ölçme ünitesi	42
Şekil 2.33 Temassız hız ölçme ünitesi	42

Şekil 2.34. Temassız hız ve gerginlik ölçme ünitelerinin birlikte sensör formundaki görünüşü	43
Şekil 2.35. Temassız iplik gerginlik ölçme prensibi	44
Şekil 2.36. Temassız iplik gerginlik ölçümüne ait sensör	44
Şekil 2.37. MEMS kullanarak kablosuz veri iletimi yapan gerginlik ölçme sensörü tasarımı	45
Şekil 2.38. Beklenen ve ölçülen gerginlik eğrileri	47
Şekil 3.1. Sistemin şematik görünümü	48
Şekil 3.2. Deney düzeneği genel görünüşü	49
Şekil 3.3. Tek bobinlik çağlık ünitesi	50
Şekil 3.4. Bobin makinesi	51
Şekil 3.5. Schmidt iplik gerginlik ölçme sensörü	52
Şekil 3.6. Schmidt iplik gerginlik sensörü çıkış sinyali- iplik gerginliği ilişkisi	53
Şekil 3.7. 1 numaralı yük hücresi	53
Şekil 3.8. 1 numaralı yük hücresine ait elektriksel bağlantı	54
Şekil 3.9. 1 numaralı yük hücresine ait boyutlar	55
Şekil 3.10. 2 numaralı yük hücresi	55
Şekil 3.11. 2 numaralı yük hücresine ait elektriksel bağlantı	57
Şekil 3.12. 2 numaralı yük hücresine ait boyutlar	58
Şekil 3.13. 3 numaralı yük hücresine ait boyutlar	60
Şekil 3.14. Kuvvetlendirici devre	61
Şekil 3.15. Kuvvetlendiriciye ait bağlantı şeması	62
Şekil 3.16. 1 ve 2 numaralı sensörün teknik çizimi ve boyutları	64
Şekil 3.17. 3 numaralı sensörün teknik çizimi	64
Şekil 3.18. Gerginlik sensöründe orta makaraya etkiyen bileşke kuvvet	65
Şekil 3.19. Metal ve plastik makaraların görünüşü	65
Şekil 3.20. 1 ve 2 nolu sensörlere ait montaj adımları	66
Şekil 3.21. Sensörlere ait kalibrasyon eğrileri	68
Şekil 4.1. 1 Nolu yük hücresine sahip gerginlik sensörü 50 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları (metal makara ile)	72
Şekil 4.2. 1 Nolu yük hücresine sahip gerginlik sensörü 100 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları (metal makara ile)	73
Şekil 4.3. 1 Nolu yük hücresine sahip gerginlik sensörü 200 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları (metal makara ile)	74
Şekil 4.4. 1 Nolu yük hücresine sahip gerginlik sensörü 400 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları (metal makara ile)	75
Şekil 4.5. 1 Nolu yük hücresine sahip gerginlik sensörü 600 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları (metal makara ile)	76
Şekil 4.6. 1 Nolu yük hücresine sahip gerginlik sensörü 800 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları (metal makara ile)	77
Şekil 4.7. 1 Nolu yük hücresine sahip metal makaralı gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişimi sonuçları	78
Şekil 4.8. 1 Nolu yük hücresine sahip plastik makaralı gerginlik sensörü 50 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları	79
Şekil 4.9. 1 Nolu yük hücresine sahip gerginlik sensörü 100 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları (plastik makara ile)	80
Şekil 4.10. 1 Nolu yük hücresine sahip gerginlik sensörü 200 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları (plastik makara ile)	81

Şekil 4.11. 1 Nolu yük hücresine sahip gerginlik sensörü 400 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları (plastik makara ile).....	82
Şekil 4.12. 1 Nolu yük hücresine sahip gerginlik sensörü 600 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları (plastik makara ile).....	83
Şekil 4.13. 1 Nolu yük hücresine sahip gerginlik sensörü 800 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları (plastik makara ile).....	84
Şekil 4.14. 1 Nolu yük hücresine sahip plastik makaralı gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişimi sonuçları.....	85
Şekil 4.15. 1 Nolu yük hücresine sahip makarasız gerginlik sensörü 50 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları.....	86
Şekil 4.16. 1 Nolu yük hücresine sahip makarasız gerginlik sensörü 100 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları.....	87
Şekil 4.17. 1 Nolu yük hücresine sahip makarasız gerginlik sensörü 200 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları.....	88
Şekil 4.18. 1 Nolu yük hücresine sahip makarasız gerginlik sensörü 400 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları.....	89
Şekil 4.19. 1 Nolu yük hücresine sahip makarasız gerginlik sensörü 600 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları.....	90
Şekil 4.20. 1 Nolu yük hücresine sahip makarasız gerginlik sensörü 800 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları.....	91
Şekil 4.21. 1 Nolu yük hücresine sahip makarasız gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişim sonuçları (makarasız).....	92
Şekil 4.22. 1 Nolu yük hücresine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 50 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları.....	93
Şekil 4.23. 1 Nolu yük hücresine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 100 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları.....	94
Şekil 4.24. 1 Nolu yük hücresine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 200 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları.....	95
Şekil 4.25. 1 Nolu yük hücresine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 400 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları.....	96
Şekil 4.26. 1 Nolu yük hücresine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 600 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları.....	97
Şekil 4.27. 1 Nolu yük hücresine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 800 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları.....	98
Şekil 4.28. 1 Nolu yük hücresine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişim sonuçları.....	99
Şekil 4.29. 2 Nolu yük hücresine sahip metal makaralı gerginlik sensörü 50 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları.....	100
Şekil 4.30. 2 Nolu yük hücresine sahip metal makaralı gerginlik sensörü 100 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları.....	101
Şekil 4.31. 2 Nolu yük hücresine sahip metal makaralı gerginlik sensörü 200 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları.....	102
Şekil 4.32. 2 Nolu yük hücresine sahip metal makaralı gerginlik sensörü 400 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları.....	103
Şekil 4.33. 2 Nolu yük hücresine sahip metal makaralı gerginlik sensörü 600 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları.....	104

Şekil 4.34. 2 Nolu yük hücrelerine sahip metal makaralı gerginlik sensörü 800 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları	105
Şekil 4.35. 2 Nolu yük hücrelerine sahip metal makaralı gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişim sonuçları	106
Şekil 4.36. 2 Nolu yük hücrelerine sahip plastik makaralı gerginlik sensörü 50 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları	107
Şekil 4.37. 2 Nolu yük hücrelerine sahip plastik makaralı gerginlik sensörü 100 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları	108
Şekil 4.38. 2 Nolu yük hücrelerine sahip plastik makaralı gerginlik sensörü 200 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları	109
Şekil 4.39. 2 Nolu yük hücrelerine sahip plastik makaralı gerginlik sensörü 400 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları	110
Şekil 4.40. 2 Nolu yük hücrelerine sahip plastik makaralı gerginlik sensörü 600 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları	111
Şekil 4.41. 2 Nolu yük hücrelerine sahip plastik makaralı gerginlik sensörü 800 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları	112
Şekil 4.42. 2 Nolu yük hücrelerine sahip plastik makaralı gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişim sonuçları	113
Şekil 4.43. 2 Nolu yük hücrelerine sahip makarasız gerginlik sensörü 50 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları	114
Şekil 4.44. 2 Nolu yük hücrelerine sahip makarasız gerginlik sensörü 100 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları	115
Şekil 4.45. 2 Nolu yük hücrelerine sahip makarasız gerginlik sensörü 200 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları	116
Şekil 4.46. 2 Nolu yük hücrelerine sahip makarasız gerginlik sensörü 400 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları	117
Şekil 4.47. 2 Nolu yük hücrelerine sahip makarasız gerginlik sensörü 600 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları	118
Şekil 4.48. 2 Nolu yük hücrelerine sahip makarasız gerginlik sensörü 800 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları	119
Şekil 4.49. 2 Nolu yük hücrelerine sahip makarasız gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişim sonuçları	120
Şekil 4.50. 2 Nolu yük hücrelerine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 50 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları	121
Şekil 4.51. 2 Nolu yük hücrelerine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 100 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları	122
Şekil 4.52. 2 Nolu yük hücrelerine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 200 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları	123
Şekil 4.53. 2 Nolu yük hücrelerine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 400 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları	124
Şekil 4.54. 2 Nolu yük hücrelerine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 600 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları	125
Şekil 4.55. 2 Nolu yük hücrelerine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 800 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları	126
Şekil 4.56. 2 Nolu yük hücrelerine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişim sonuçları	127

Şekil 4.57. 3 Nolu yük hücresine sahip metal makaralı gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişim sonuçları	128
Şekil 4.58. 3 Nolu yük hücresine sahip plastik makaralı gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişim sonuçları	128
Şekil 4.59. 3 Nolu yük hücresine sahip makarasız gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişim sonuçları	129
Şekil 4.60. 3 Nolu yük hücresine sahip filtreli metal makaralı gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişim sonuçları	129



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Değişik firmalar tarafından üretilen iplik gerginlik ölçme sensörleri ve teknik özellikleri.....	35
Çizelge 3.1. 1 Nolu sensörün kalibrasyonuna uygulanan ağırlık ve çıkış sinyalleri.....	69
Çizelge 3.2. 2 Nolu sensörün kalibrasyonuna uygulanan ağırlık ve çıkış sinyalleri.....	69
Çizelge 3.3. 3 Nolu sensörün kalibrasyonuna uygulanan ağırlık ve çıkış sinyalleri.....	69



1. GİRİŞ

Bilim ve teknolojinin hızla gelişmesi ile meydana gelen elektronik ve bilgisayar alanındaki gelişmeler tekstil alanında önemli derecede etki yapmıştır. İplik gerginlik kontrolü, tekstil proseslerinde kalite ve verimlilik için önemli bir işlem olup iplik, dokuma, örme, ön terbiye, boyama, baskı, bitim işlemleri ve dokusuz yüzeyler gibi proseslerde uygulama alanı bulmaktadır. Bazı uygulamalarda gerginlik yerine tekstil malzemelerinin uzama kontrolü yapılarak da gerginliği dolaylı olarak kontrol edilmiş olur. Gerek gerginlik kontrolü gerekse değerlendirme yapmak amacıyla gerginlik değerlerinin istenen hassasiyette ölçülmesi pratik açıdan önemli bir büyük öneme sahiptir ve bu amaçla kullanılan prosese bağlı olarak değişik teknik özelliklerde gerginlik sensörleri kullanılmaktadır. Bazı prosesler (dokuma, çözgü örme, çözgü hazırlama, terbiye makineleri ve kumaş topu sarma) toplam gerginliğin ölçümünü gerekli kılarken bazılarında az sayıda ipliğin ya da tek bir ipliğin gerginlik ölçümüne gerek duyulmaktadır. Buna bağlı olarak gerginlik ölçme sensörünün tasarımını farklılıklar göstermektedir.

Endüstride kullanılan gerginlik ölçme sistemleri değişik fiziksel prensiplere göre çalışmaktadır. Bunlar;

- Direnç esaslı yük hücreleri ile gerginlik ölçme
- Kapasitif sensörler kullanılarak gerginlik ölçme
- Hall etkili sensörü kullanılarak gerginlik ölçme
- Piezoelektrik yöntem kullanılarak gerginlik ölçme sensörleridir.

Bu yöntemlerin yanında tekstil makine ve proseslerinde indüktif sensörlerle mesafe ölçerek gerginliğin dolaylı olarak ölçülmesi ve geri beslemeli kontrol sistemlerinde kullanıldığı uygulamalarla yaygın olarak karşılaşılmaktadır.

Direnç tipindeki yük hücreleri, gerginliğin etkisiyle yük hücrelerinin sabitlendiği makine uzuvlarının şekil değiştirmesine bağlı olarak yük hücrelerinde kullanılan dirençlerde de aynı boyutsal değişimin olması sonucu meydana gelen direnç değişiminin elektriksel sinyale dönüştürülmesi esasına göre çalışır. Yük hücrelerinde direnç değişiminin elektriksel sinyale dönüştürülmesi Wheatstone köprü devresi olarak

isimlendirilen bir elektrik devresiyle gerçekleştirilir. Wheatstone köprüsü devresi çıkışında elektrik sinyal mV seviyesinde elde edilir. Daha sonra kullanılan bir kuvvetlendirici ile bu sinyal Volt seviyelerine yükseltilir ve gerginliği belirleyen sinyal olarak elde edilir. Kullanım alanına bağlı olarak yük hücreleri farklı konstrüksiyon ve zorlama tiplerine göre tasarlanır ve imal edilir. Ayrıca cN seviyelerinde gerginlik ölçmekten ton seviyelerindeki kuvvetleri ölçmeye kadar çok geniş aralıkta yük hücrelerini piyasada bulmak mümkündür. Yük hücreleriyle eğilme tipinde, çeki-bası tipinde, kesme kuvvetleri tipinde zorlama ile burulmaya karşı zorlanmalar algılanıp ölçülebilmektedir. Ancak bunun için yük hücreleri yapısında kullanılan gerinim ölçerlerin (strain gauge) zorlanmaya maruz kalan metal parça üzerine uygun şekilde yapıştırılması gerekir.

Kapasitif prensiple iplik gerginlik ölçümü, iki metal plakadan oluşan bir kapasitansta gerginliğin etkisiyle kapasitansın değişmesi esasına dayanır. Bir kapasitansın değeri plakalar arası mesafe, plakaların birbirini gören yüzey alanı ve iki plaka arasındaki dielektrik sabitine bağlıdır. Gerginliğin etkisiyle bir yay elemanına sabitlenmiş olan kapasitans plakalarından birinin gerginliğin etkisiyle hareket etmesi sonucu plakalar arası mesafe değişerek kapasitansın değişimine sebep olur. Kapasitans değişimi bir köprü devresiyle direnç tipiyle yük hücrelerinde olduğu gibi elektriksel sinyale dönüştürülür ve daha sonra kuvvetlendirilerek gerginlik sinyali elde edilmiş olur. Elde edilen gerginlik sinyali ve gerginlik değeri arasında kalibrasyon yapılarak gerginlik ölçümü gerçekleştirilmiş olur.

Hall etkili sensörler, sensör yüzeyine etki eden manyetik alana bağlı olarak çıkış sinyali üretmektedir. Alan çizgisi miktarı veya akı arttığı zaman sensörden elde edilen çıkış sinyali artmakta, akı azaldığı zaman ise azalmaktadır. Etkiyen gerginliğin değerine bağlı olarak sensör yüzeyi ile mıknatıs arasındaki mesafe azaldığında sensörden elde edilen çıkış sinyali artmakta, azaldığında ise azalmaktadır. Hall etkili sensörlerde sensör yüzeyine etkiyen akı ile çıkış sinyali arasında oransal bir ilişki mevcut ise mıknatısın yer değiştirmesi ile sensör çıkış sinyali arasındaki ilişki lineer olmayan bir değişim göstermektedir. Ancak çıkış sinyalinde gerginlik tarafından meydana getirilen değişim kuvvetlendirilerek gerginliğin etkisiyle meydana gelen küçük yer değiştirmeler gerginlik ölçümü için yeterli olabilmektedir. Hall etkili sensörleri kullanımı durumunda

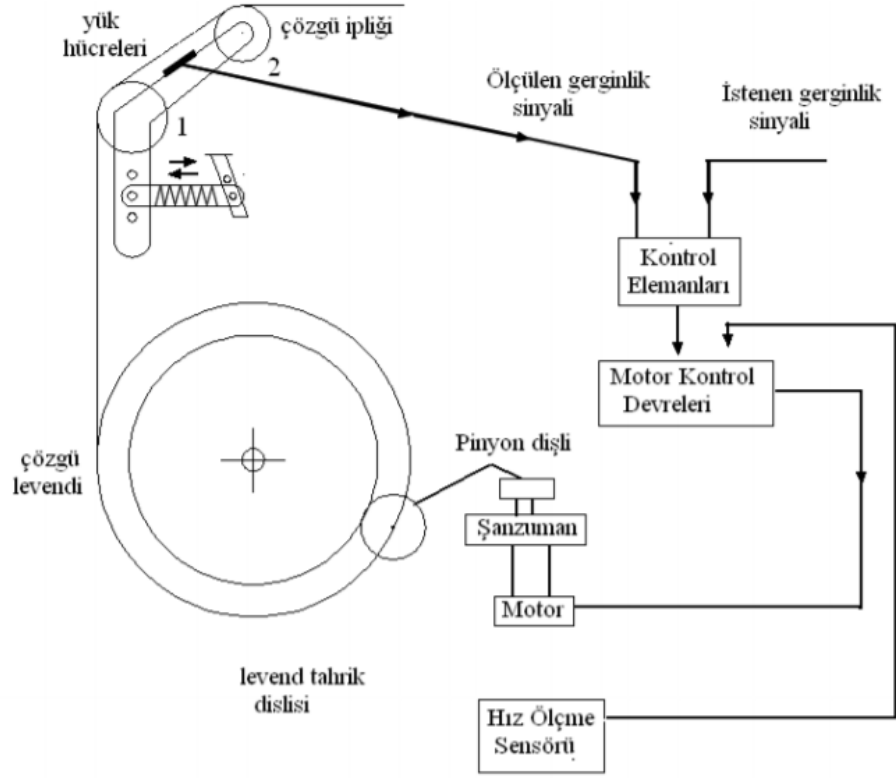
da gerginlik ve çıkış sinyali arasında kalibrasyon yapılarak gerginlik ölçümü gerçekleştirilir.

Bu gerginlik ölçme yöntemlerine ilaveten yüksek dinamik davranış gösteren gerginlik ölçümlerinde piezoelektrik ölçme prensibi kullanılmaktadır. Piezoelektrik ölçme prensibi kristal yapıya sahip olan bir piezoelektrik malzemenin etkiyen kuvvetle orantılı olarak kapasitans plakaları olarak sabitlenen iki yüzeye arasında bir gerilim farkı meydana gelmesi esasına dayanır. Elde edilen mV seviyelerindeki çıkış sinyali bir kuvvetlendirici ile yükseltilir ve kuvvet veya gerginlikle kuvvetlendirilen sinyal arasında kalibrasyon yapılarak gerginlik ölçümü gerçekleştirilir. Burada özellikle belirtmek gerekir ki piezoelektrik malzeme, kuvvetin etkisiyle artı ve eksi yükleri kapasitans olarak değerlendirilebilecek iki plakada toplanmış olmasından dolayı bir kapasitör olarak davranmaktadır. Kuvvetin veya gerginliğin sabit kalması durumunda ölçüm esnasında kapasitans boşalacağından aynı kuvvet değerine karşılık gelen çıkış sinyali değişmekte dolayısıyla yanlış ölçüm gerçekleşmektedir. Bu açıdan piezoelektrik prensiple çalışan gerginlik veya kuvvet ölçme sensörleri statik ölçümler için uygun olmamakta olup dinamik olarak değişen gerginlik veya kuvvet ölçümleri için kullanılmaktadır.

Tekstil makine ve proseslerinde gerginlik ölçümü iki amacına yönelik olarak yapılır. Bunlardan birincisi gerginlik ölçümünü geri beslemeli kontrol sistemlerinde kullanma amacına yöneliktir. Bu durumda işlem esnasında gerginliğin ortalama değerinin elde edilmesi yeterli olmaktadır. Ancak prosesler ve makinelerin çalışması esnasında gerginlik değişiminin ayrıntılı olarak elde edilmesine ihtiyaç duyulan ikinci durumda nispeten daha yüksek gerginlik değişimlerini elektriksel sinyale dönüştüren gerginlik ölçme sensörlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla kullanılacak gerginlik ölçme sensörlerinin istenen frekansta gerginlik değişimlerini ölçecek şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Bu gerginlik ölçme yaklaşımlarının ötesinde dokuma makineleri, haşıl makineleri ve bazı terbiye makinelerinde gerginlik kontrol sistemlerinde indüktif yerdeğiştirme sensörleri kullanılarak gerginlik ölçümü dolaylı olarak yapılmakta ve gerginlik kontrol sistem oluşturmaktadır. Dokuma makinelerinde indüktif yerdeğiştirme sensörü ile

gerginlik ölçümü ve geri beslemeli kontrol sistemi oluşturulmasına yönelik bir örnek Şekil 1.1'de göstermektedir (Eren 1996). Şekilde leventten boşalan çözümlü iplikleri "A" silindirini geçtikten sonra "B" arka köprü silindirinin etrafından dolanarak dokuma bölgesine gitmektedir. Bu esnada çözümlü gerginliğini "B" silindirine etki ettiği bir kuvvet arka köprü koluna saat ibreleri yönünde bir moment uygulamakta ve yayın uzamasına sebep olmaktadır. Bu şekilde yayda oluşan kuvvet ise arka köprü koluna saat ibrelerin tersi yönünde bir moment uygulamaktadır. Bu iki moment birbirine eşit olduğunda arka köprü denge konumuna ulaşmakta ve indüktif sensörüyle arka köprü kolu alt ucu arasındaki "x" mesafesi istenen değere ulaşmaktadır. Çalışma esnasında gerginliğin artması durumunda arka köprü kolu saat ibreleri yönünde hareket edeceğinden "x" mesafesi istenen değer üzerine çıkar. Gerginliğin azalması durumunda ise arka köprü kolu yay kuvvetinin etkisiyle saat ibrelerin tersi yönünde döner ve "x" mesafesi istenen değer altına iner. Oluşturulan gerginlik kontrol sistemi ile istenen ve sapma oluşturan "x" değerleri sonucu meydana gelen çıkış sinyali istenen sinyal ile karşılaştırılarak fark alınır ve bu farka göre motor hızı ayarlanarak çözümlü gerginliğinin aynı kalması sağlanır. Bu sistemde gerginlik doğrudan ölçülmeyle "x" mesafesinin azalan levent çapına rağmen, hep aynı değerde tutulması ile dokuma için gerekli olan değerde kalması sağlanmaktadır.



Şekil 1.1. Gerginliğin dolaylı ölçümü ve gerginlik kontrol sistemi oluşturulmasına yönelik bir örnek (Eren 1996)

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu kısımda, konuyla ilgili olarak yapılan çalışmalar gerginlik ölçme prensipleri ile ilgili olanlar ve tekstilde gerginlik ölçümüne yönelik çalışmalar olanlar olmak üzere iki ayrı grupta incelenecektir.

2.1. Gerginlik Ölçme Yöntemleri

Tekstil makine ve test cihazlarında gerginlik ölçümü farklı fiziksel esasa dayanan yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Bunlar yukarıda kısaca açıklandığı gibi esas olarak 4 grupta toplanmakta ve aşağıda ayrıntıya girilerek fiziksel temelleri açıklanmaktadır.

2.1.1. Direnç esaslı gerginlik ölçme yöntemleri

Direnç esaslı yük hücreleri, etkiyen gerginlik veya kuvvetin etkisinde bir direncin değerindeki değişimi esas alır ve direnç değişimi elektriksel sinyale dönüştürülerek gerginlik veya kuvvet bilgisi elde edilmiş olur. Bir iletkenin direnci aşağıdaki formülle verilmektedir. Bu denklemde R iletkenin direncini (Ohm), ρ iletkenin öz direncini, l (m) iletkenin uzunluğunu ve A (m^2) iletkenin kesit alanını göstermektedir.

$$R = \rho \cdot l / A \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

İletkene etkiyen kuvvetin iletkeni uzamaya zorlaması durumunda (çekiye zorlama) iletken boyunda uzama gerçekleşirken kesit alanında azalma olur. Bu durum 2 nolu denklemde gösterildiği gibi iletkenin direncinde bir artışa sebep olur.

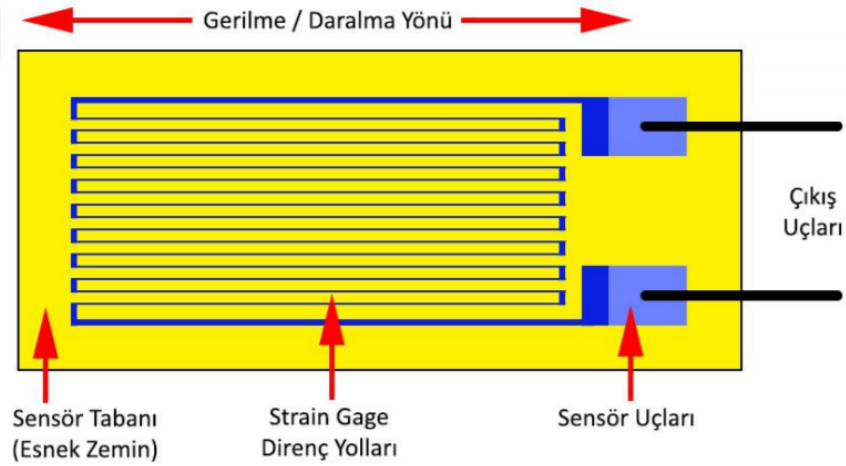
$$R_1 = \rho \cdot (l + \Delta l) / (A - \Delta A) \dots\dots\dots(2.2)$$

Benzer şekilde etkiyen kuvvet veya gerginlik iletkene bası yönünde etki ederse iletkenin boyunda kısalma olup kesit alanında artış gerçekleşir. Bu durum 3 nolu denklem ile verilmekte olup iletken direncinde bir azalmaya sebep olur.

$$R_2 = \rho \cdot (l - \Delta l) / (A + \Delta A) \dots\dots\dots(2.3)$$

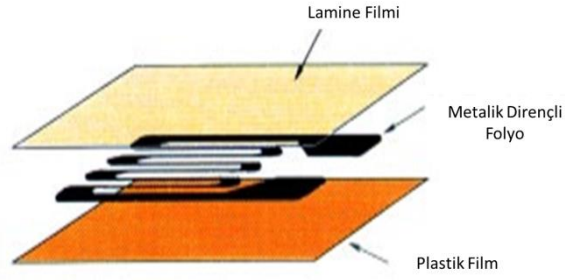
Sonuç olarak bir kuvvet veya gerginliğin etkisinde kalan direnç değerinde meydana gelen değişiklik direnç esaslı gerginlik ölçmenin temelini oluşturmaktadır. Endüstriyel

uygulamalar için özel olarak yapılmış dirençler kullanılmaktadır. Bu dirençlere “strain gauge” denilmektedir. Bu adlandırma bu dirençlerin metallerdeki birim uzamaları ölçmede kullanılmalarından kaynaklanmaktadır. Şekil 2.1 gerginlik veya kuvvet ölçmede kullanılan bir “strain gauge” tipi direnci göstermektedir. Bu direnç, esnek bir taban üzerine yapılmış direnç yollarından oluşmakta ve iki adet uç ile dış bir devreye bağlanmaktadır. Bu dirençler farklı değerlere sahip olacak şekilde üretilmektedir. Örneğin 350 Ohm, 1000 Ohm gibi. “Strain gauge” tipi dirençler kuvvetin etkisinde şekil değiştirebilen bir elastik elemana yapıştırılmakta ve bu elastik elemanla birlikte şekil değiştirmektedir. Bu durumda dirençte meydana gelen değişim $\Delta R = R \cdot K \cdot \epsilon$ formülü ile verilmektedir. Burada ΔR dirençte meydana gelen değişim, R “strain gauge” in direnci, K bir sabit ve ϵ elastik gövde veya dirençteki birim uzamayı temsil etmektedir. K değeri kullanılan “strain gauge” malzemesine göre değişiklik göstermekte olup konstantan olarak isimlendirilen bakır-nikel alaşımından üretilmesi durumunda yaklaşık olarak 2 değerini almaktadır.



Şekil 2.1. Çok yaygın olarak kullanılan folye tipi bir “strain gauge” (Ergün 2018)

Şekil 2.1’de görülen folye tipi bir “strain gauge” in yapısı ve üretimi Şekil 2.2’de görülmektedir. En altta üzerine metalik direnç folye tabakasının yerleştirildiği plastik bir taban bulunmaktadır. Araya yerleştirilen ızgara şekilli metalik folye tipi direnç tabakasının üzerine ince bir film tabakası yerleştirilmekte ve birleştirilen bu 3 parça metalik folye tipi “strain gauge” oluşturmaktadır.



Şekil 2.2. Metalik folye tipi “strain gauge” in bileşenleri (<https://www.kyowa-ei.co.jp/english/products/gages/pdf/whats.pdf>, 2018)

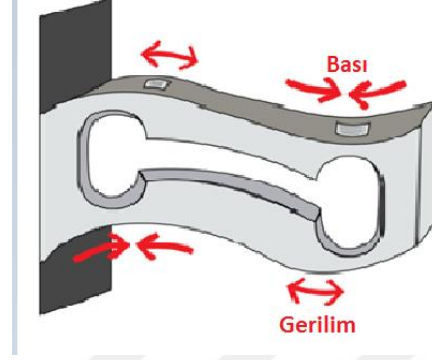
“Strain gauge” ler yapılacak ölçüme ait zorlamanın tipine bağlı olarak değişik yapıda üretilmektedirler. Şekil 2.3 çeki-bası, kesme gerilmesi ve burulma gerilmesi ölçümünde kullanılan bazı “strain gauge” leri göstermektedir.



Şekil 2.3. Çekme-bası, kesme gerilmesi ve burulma gerilmesi ölçümünde kullanılan bazı “strain gauge” leri (https://www.omega.com/pptst/SGD_EXTRA-LONG.html, 2018)

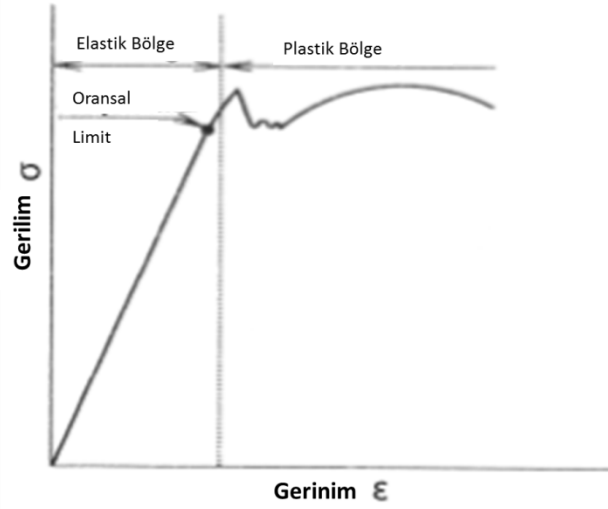
“Strain gauge” ler ayrı olarak satın alınıp ölçme sistemi üretiminde kullanılabileceği gibi değişik tipte zorlamaları algılayıp kuvvet, moment, gerginlik ve basınç ölçerlerin üretiminde de kullanılabilmektedir. Bu amaçla tasarlanıp üretilmiş olan ölçme sistemleri yük hücresi olarak isimlendirilmektedir.

kalırken ikinci direnç kısalmaya maruz kalmaktadır. Alt kısımda ise ilk direnç kısalmaya maruz kalıp ikinci direnç uzama göstermektedir. Buna zorlanmanın etkisinde uzayan dirençlerin değeri artmakta ve kısalan dirençlerin değeri azalmaktadır.



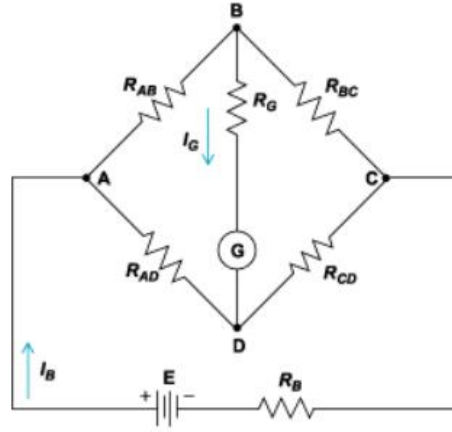
Şekil 2.5. Kuvvetin etkisinde yük hücresindeki zorlanmalar (<https://instrumentationtools.com/load-cell-working-principle/>, 2018)

Kuvvet ölçme işleminin gerçekleştirilmesi, dirençlerin yapıştırıldığı metal parçanın (alüminyum, çelik gibi) zorlamalar altında lineer şekil değiştirme gösterdiği bölgesinde yapılır. Şekil 2.6 bir malzemenin gerilim gerinim ilişkisini göstermektedir. Başlangıçta belirli bir uzama değerine kadar malzeme lineer davranış göstermektedir. Bu bölgede kalındığı süre içinde kuvvet ortadan kalktığında malzeme başlangıçtaki haline geri döner. Dirençler malzemeye yapıştırıldığından malzeme ile birlikte şekil değiştireceklerinden direnç değişimi de şekil değişimi arasındaki ilişki de lineer olmuş olur.



Şekil 2.6. Bir malzemeye ait gerilim-gerinim ilişkisi (<https://www.kyowa-ei.co.jp/english/products/gages/pdf/whats.pdf>, 2018)

Kuvvet veya zorlanmanın etkisiyle dirençlerde meydana gelen değişimin elektriksel sinyale dönüştürülmesi, Wheatstone köprü devresi olarak isimlendirilen bir elektrik devresi ile gerçekleştirilir. Şekil 2.7 bir Wheatstone köprü devresini göstermektedir. Wheatstone köprü devresi esas olarak 4 adet dirençten oluşmaktadır. Bu devrede birbirine seri olarak bağlı 2 şer adet direnç daha sonra birbirleriyle paralel olarak bağlanmaktadır. Şekilde R_{AB} ile R_{BC} ve R_{AD} ile R_{DC} birbiriyle seri bağlı olup daha sonra A ve C noktalarından birbiri ile paralel bağlanmıştır. Besleme gerilimi A ve C noktaları arasında uygulanmakta ve çıkış gerilimi B ve D noktaları arasından ölçülmektedir. Buna göre Wheatstone köprüsünün 4 kolunda yer alan dirençlerin tamamının aynı değerde olması durumunda uygulanan besleme gerilimine karşılık B ve D noktalarındaki gerilim aynı olacağından (eşit miktardaki gerilim düşümünden dolayı) B ve D noktaları arasındaki gerilim farkına karşılık gelen çıkış gerilimi 0 (sıfır) olur. Aynı koşul R_{AB}/R_{BC} oranı R_{AD}/R_{DC} oranına eşit olduğunda da gerçekleşir. Wheatstone köprü devresi dirençleri buna belirlenir. Zorlanmanın etkisinde dirençlerde meydana gelen değişimden dolayı çıkış sinyali uygulanan kuvvet veya zorlamaya bağlı olarak değişim gösterir. Kuvvet ölçümünde yük hücresinde zorlanmaya maruz kalan direnç sayısına bağlı olarak çıkış gerilimi aşağıda açıklandığı şekilde değişiklik gösterir.



Şekil 2.7. Wheatstone köprü devresi (<https://instrumentationtools.com/load-cell-working-principle/>, 2018)

Şekil 2.8 tek direncin zorlanmaya maruz kalması durumunda kuvvet ölçmeyi göstermektedir. Burada R_1 direnci köprü devresinde zorlanmaya maruz kalmaktadır. Bu durumda çıkış gerilimi 4 nolu denklem ile ifade edilebilir.

$$V_{\zeta} = \frac{R_1 \cdot R_3 - R_2 \cdot R_4}{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)} V_B \dots \dots \dots (2.4)$$

Bu denklemde zorlanmanın etkisiyle R_1 direnci $(R_1 + \Delta R_1)$ değerini alır. 4 nolu denklemde bu değişiklik yapıp tüm dirençlerin zorlanma önceki halinde birbirine eşit olduğu göz önüne alındığında çıkış gerilimini veren denklem aşağıdaki şekle dönüşür.

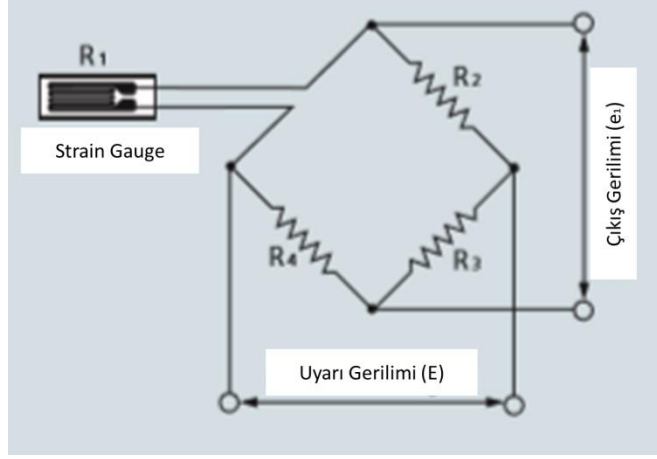
$$V_{\zeta} = \frac{((R_1 + \Delta R_1) \cdot R_3 - R_2 \cdot R_4)}{(R_1 + \Delta R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)} V_B$$

$$V_{\zeta} = \frac{(R^2 + R \cdot \Delta R) - R^2}{(2R + \Delta R) \cdot 2R} V_B$$

ΔR nin R nin yanında çok küçük olup ihmal edilebileceği düşünüldüğünde nihai olarak çıkış gerilimi 5 nolu denkleme dönüşür.

$$V_{\zeta} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot V_B = \frac{1}{4} \cdot K \cdot \varepsilon \cdot V_B \dots \dots \dots (2.5)$$

5 nolu denklemden de görüleceği gibi çıkış gerilimi zorlamanın etkisi ile dirençte meydana gelen değişim veya birim uzama ile doğru orantılı olarak değişmektedir.



Şekil 2.8. Tek dirençten ölçüm yapılan Wheatstone köprü devresi (http://www.kyowa-ei.com/eng/download/technical/strain_gages/pdf_index_001_eng.pdf, 2018)

Şekil 2.9 2 adet direncin zorlanmaya maruz kalması ile gerginlik ölçümü durumunda dirençlerin köprü devresine 2 farklı şekilde yerleştirilme seçeneği görülmektedir. 4 nolu denklem kullanılıp 1 ve 2 nolu dirençler uzama gösterdiğinde çıkış gerilimi 1 dirençli durumdaki işlemlere benzer sadeleştirmeler yapılarak Şekil 2.9.a'daki durum için çıkış gerilimi 6 nolu denklem ile ifade edilebilir.

$$V_{\zeta} = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} \right) V_B$$

$$V_{\zeta} = \frac{1}{4} \cdot K \cdot (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) V_B \dots \dots \dots (2.6)$$

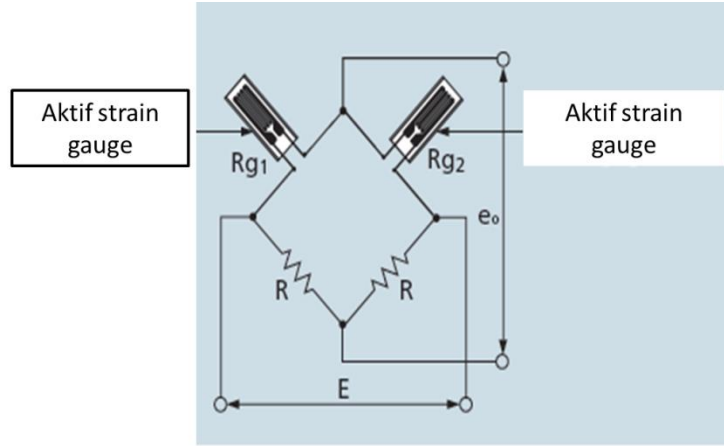
Benzer şekilde Şekil 2.9.b'deki durum için aynı işlemler 4 nolu denklemden hareketle yapılırsa çıkış gerilimi için 7 nolu denklem elde edilir.

$$V_{\zeta} = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_3}{R_3} \right) V_B$$

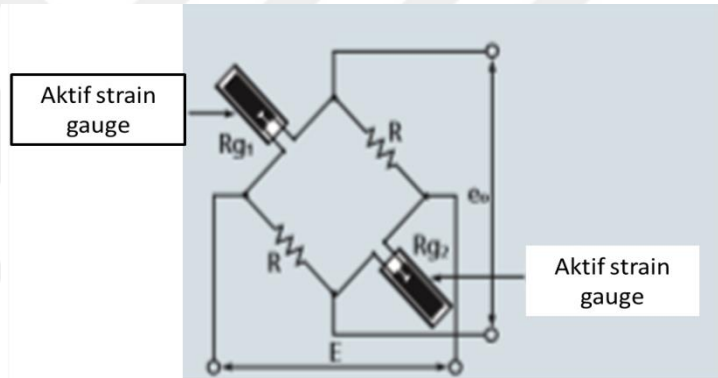
$$V_{\zeta} = \frac{1}{4} \cdot K \cdot (\varepsilon_1 + \varepsilon_3) V_B \dots \dots \dots (2.7)$$

Yukarıdaki tüm durumlarda zorlanmaların etkisiyle dirençlerde uzama olduğu varsayılmış ve denklemler buna göre çıkarılmıştır. Kısalma olması durumunda direnç

değişimleri veya birim uzamaların denklemlerde negatif değer olarak kullanılması gerekmektedir.



a) Yarım köprülü sistem



b) Aktif karşılıklı dizilmiş yarım köprülü sistem

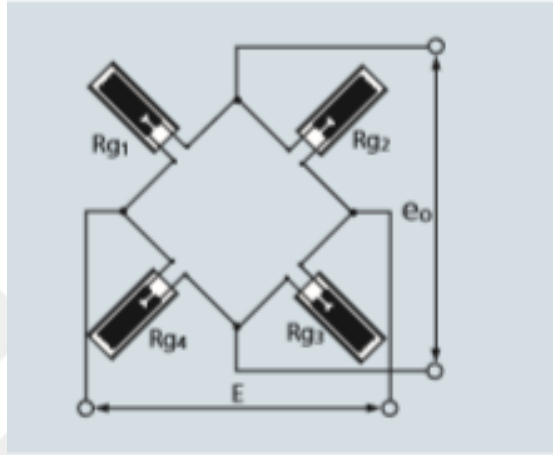
Şekil 2.9. Zorlanmaya maruz kalan 2 adet direnç ile kuvvet ölçme durumunda dirençlerin köprü devresine yerleştirilmesi (http://www.kyowa-ei.com/eng/download/technical/strain_gages/pdf_index_001_eng.pdf, 2018)

Şekil 2.10 4 adet direncin de zorlanmaya maruz kalması durumunda Wheatstone köprü devresini göstermektedir. Bu devrede 4 adet direncin değerlerinde artış olacak şekilde zorlanmaya maruz kalmaları durumunda çıkış gerilimi 4 nolu denklemde R_1 yerine $R_1 + \Delta R_1$, R_2 yerine $R_2 + \Delta R_2$, R_3 yerine $R_3 + \Delta R_3$ ve R_4 yerine $R_4 + \Delta R_4$ yazılıp gerekli sadeleştirmeler yapılarak çıkış gerilimi için 8 nolu denklem elde edilir.

$$V_{\zeta} = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) V_B$$

$$V_{\zeta} = \frac{1}{4} K (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) V_B \dots \dots \dots (2.8)$$

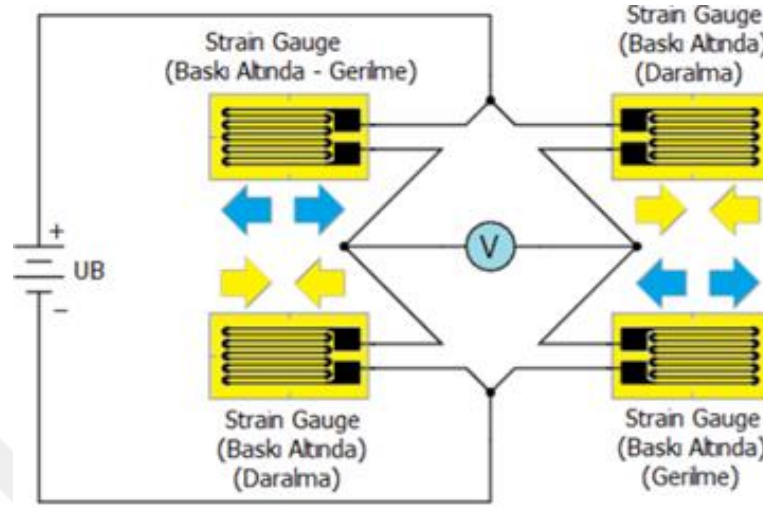
8 nolu denklemde de dirençlerde meydana gelen uzamaların negatif olmaları durumunda yani dirençlerin kısalmaları durumunda denklemde çıkış gerilimi hesaplanırken değerler negatif alınmalıdır.



Şekil 2.10. 4 adet direncin de zorlanmaya maruz kalması durumunda Wheatstone köprüsü ve dirençlerin yerleşimi (http://www.kyowa-ei.com/eng/download/technical/strain_gages/pdf_index_001_eng.pdf, 2018)

Direnç (strain gauge) ile kuvvet veya gerginlik ölçümü durumunda zorlanmaya maruz kalan dirençlerin köprü devresinde en yüksek çıkış sinyalini verecek şekilde kollara bağlanması gerekir. 6, 7 ve 8 nolu denklemler karşılaştırıldığında Wheatstone köprü devresinde zorlanmaya maruz kalan direnç sayısı arttıkça aynı kuvvete veya zorlanmaya karşılık elde edilen çıkış gerilimi direnç sayısı ile orantılı olarak artmakta ve sensörün duyarlılığını arttırmaktadır. Şekil 2.9’da bulunan her iki devre düzenlemesinde dirençlerden biri uzamaya zorlanırken diğeri kısalmaya zorlanmalıdır. Şekil 2.10’daki 4 dirençli ölçme sisteminde ise aynı koldaki 2 dirençten biri uzamaya zorlanırken diğeri kısalmaya zorlanmalıdır. Ayrıca üst ve alt koldaki dirençlerin zorlanma şekli birbirine zıt olmak zorundadır. Örneğin üst koldaki 1 nolu direnç uzamaya zorlanıp 2 nolu direnç kısalmaya zorlanırken alt koldaki 4 nolu direnç kısalmaya zorlanıp 3 nolu direnç uzamaya zorlanmalıdır. Şekil 2.11 böyle bir zorlanma şeklini göstermektedir. Bu

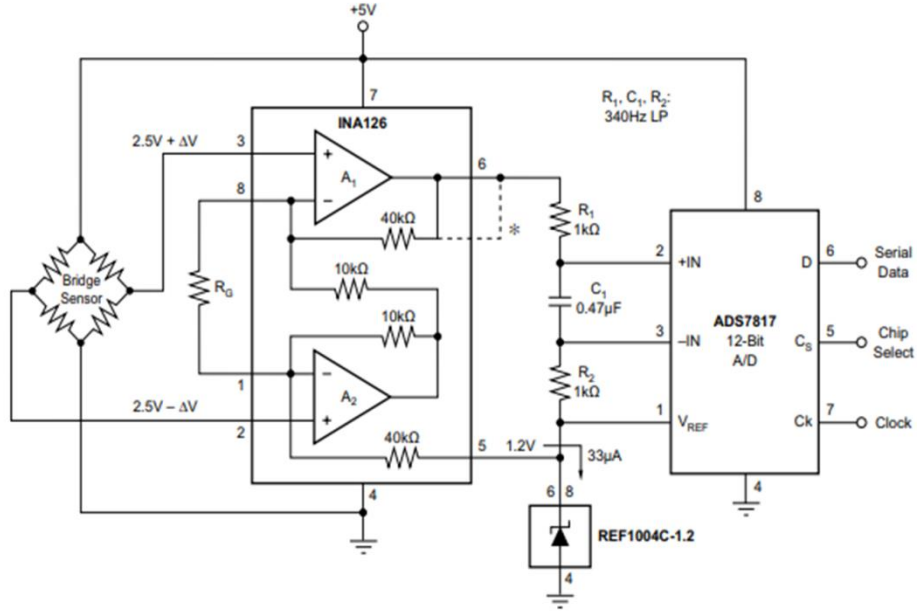
şekilde köprü devresinin üst ve alt kollarında direnç arasından çıkış sinyalinin alındığı noktalar arasında maksimum gerilim farkı yani çıkış sinyali elde edilmiş olur.



Şekil 2.11. 4 dirençli gerilim ölçmede dirençlerin zorlanma şekli (Ergün 2018)

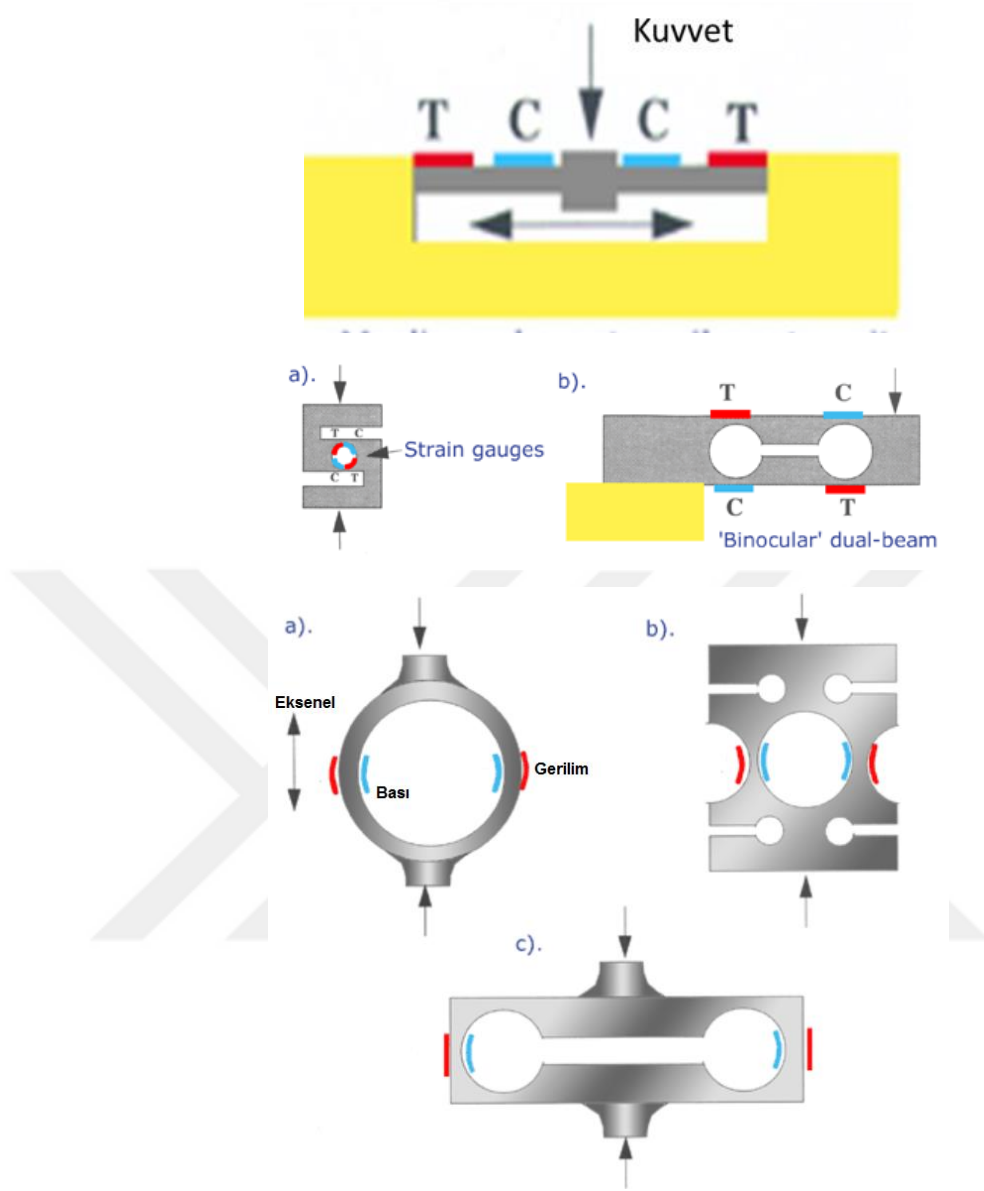
Wheatstone köprü devresinden elde edilen çıkış sinyali tam yük altında mV seviyelerinde (5, 10 mV gibi) olduğu için herhangi bir kayıt cihazı veya mikroişlemci tabanlı bir sistem ile doğrudan okunamaz. Bu yüzden kuvvetlendirilmeye ve gerektiğinde istenen frekans aralığına göre filtrelenmeye ihtiyaç gösterir. Bir yük hücresi kuvvetlendirici devresi ile birlikte bir ölçme sistemi olur. Wheatstone köprü devresinden alınan sinyal mV seviyelerinde olduğu için yük hücresi kuvvetlendirici devresi 250, 500 ve 1000 gibi yüksek kuvvetlendirme faktörüne (kazanç) sahiptir. Ayrıca kuvvetlendirme üniteleri belirli frekansların üzerinde değişim gösteren gürültü gibi sinyallerin uzaklaştırılıp sadece ölçme sinyalinin elde edilmesine olanak sağlayan filtreleme devreleri de içermektedir. Diğer yandan sıcaklığın ölçüm sinyali üzerindeki etkisini önleyen tasarımlar da bir yük hücresinin tasarımında göz önüne alınmaktadır.

Şekil 2.12 Wheatstone köprü devresinin çıkışına ilave edilmiş kazancı ayarlanabilir bir kuvvetlendirme devresini göstermektedir. Kuvvetlendirme devresi INA126 kuvvetlendirici entegresini kullanmakta ve dışarıdan bağlanan R_G direnci ile de kazanç değeri ayarlanmaktadır. INA126 entegresi çıkış sinyali 5 ve 6 nolu noktalardan elde edilip bir analog dijital dönüştürücü üzerinden (ADC) sayısal hale getirilerek okunmaktadır. Ancak çıkış sinyalinin 0-5V, 0-10 V, 4-20 mA gibi analog şekilde de elde edilmesi mümkündür.



Şekil 2.12. Wheatstone köprü devresi ve INA126 entegresini kullanan bir kuvvetlendirici devresi (<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina126.pdf>, 2015)

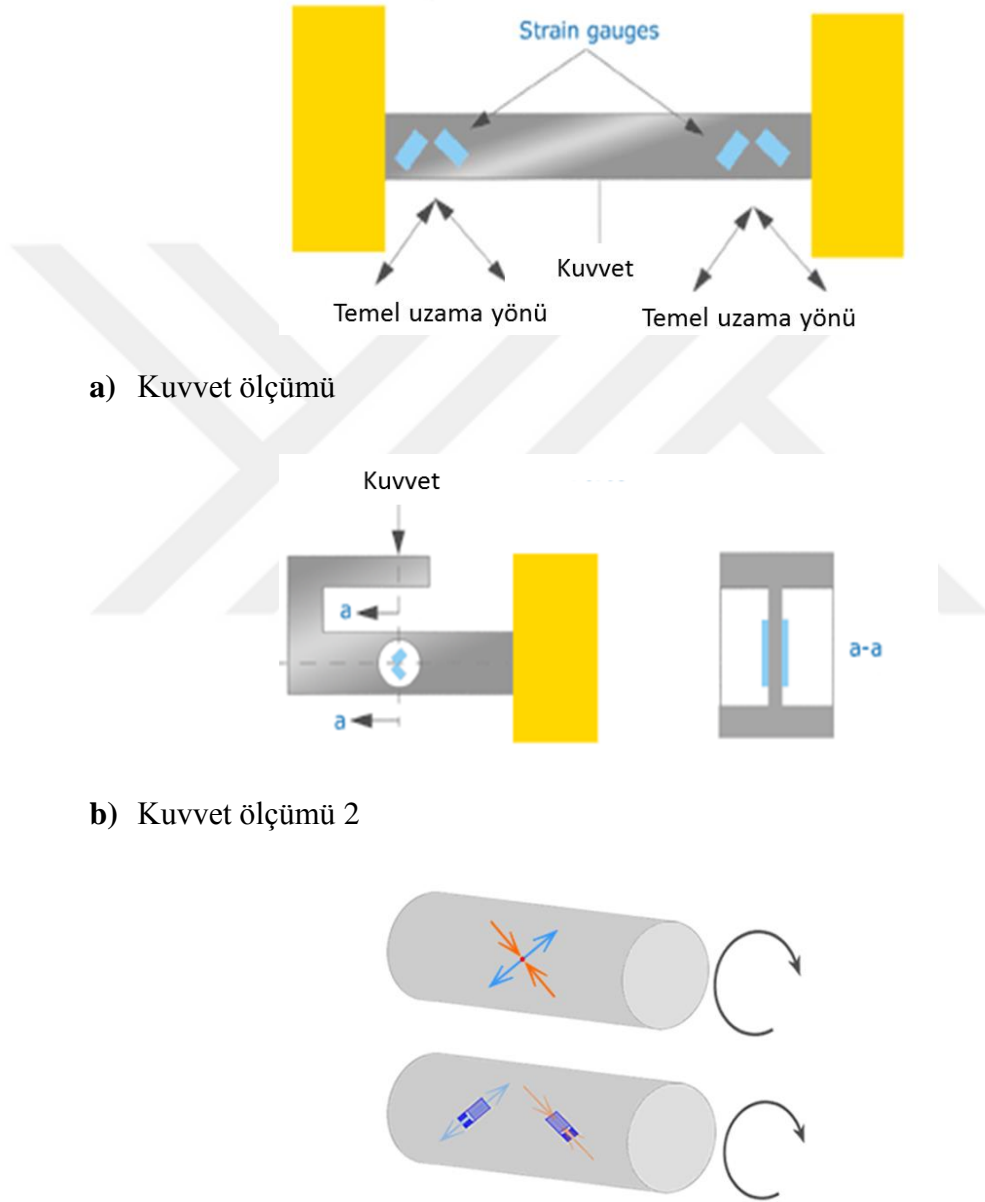
Yük hücreleri tasarımında dirençlerin farklı tip zorlanmalara maruz kalma durumlarına göre değişik yaklaşımlar kullanılmaktadır. Şekil 2.4'teki yük hücresinde dirençler eğilmeye zorlanan bir giriş üzerine yapıştırılarak uzama ve kısalmaya maruz kalırlar. Aşağıda değişik zorlamalar altında çalışacak şekilde tasarlanmış bazı yük hücrelerinin yapısı görülmektedir. Şekil 2.13'te eğilmeye zorlanma durumuna ait değişik tasarımlarla kuvvet ölçme yöntemleri gösterilmektedir. Bu yöntemler ile farklı ölçme aralıklarında kuvvet ölçmek mümkün olmaktadır. Şekillerde kırmızı ile uzamaya zorlanan direnç ve turkuaz renk ile kısalmaya zorlanan dirençler gösterilmektedir. Okun gösterdiği yön kuvvetin uygulama yönüdür. Buna göre eğilme şeklinde zorlanmaya maruz kalan S tipi (istenirse aynı şekilde Z tipi), dürbün tipi, halka tipi yük hücreleri tasarlanıp üretilmektedir.



Şekil 2.13. Eğilmeye zorlanma durumunda değişik tasarımlarla kuvvet ölçme şekilleri (<http://www.sensorland.com/HowPage005.html>, 2018)

Şekil 2.14'te kesme gerilmesine maruz kalan zorlanma ile kuvvet ve moment ölçen yük hücreleri çalışma prensibi görülmektedir. Şekilde tüm dirençler elastic gövdeye sağ ve sol taraftan yatayla 45 er derecelik açılar ile yapıştırılmıştır. Kesme gerilmeleri 45 derecelik açılar yapan eksende en büyük değeri alacağından dirençler 45 derecelik açılarla zorlanmaya maruz kalan parça yüzeyine yapıştırılır. Kesme gerilmesini veya uzaması ile kuvvet ve moment ölçen yük hücrelerinde kuvvetin uygulandığı noktanın ve yanal olarak etkileyen yüklerin ölçüm üzerindeki etkisi son derece sınırlıdır. Burulmaya

çalışan bir mile etki eden moment te Şekil 2.14.c’de görüldüğü gibi mil yüzeyine 45 derece aralıklarla 2 adet direnç yapıştırılarak ölçülebilmektedir. Çünkü etkiyen moment mili buracağından milde kesme veya kayma gerilmeleri oluşur. Şekil 2.14.a ve b’de ise kuvvetin sebep olduğu kesme gerilmeleri esas alınarak kuvvet ölçümü gerçekleştirilmektedir.

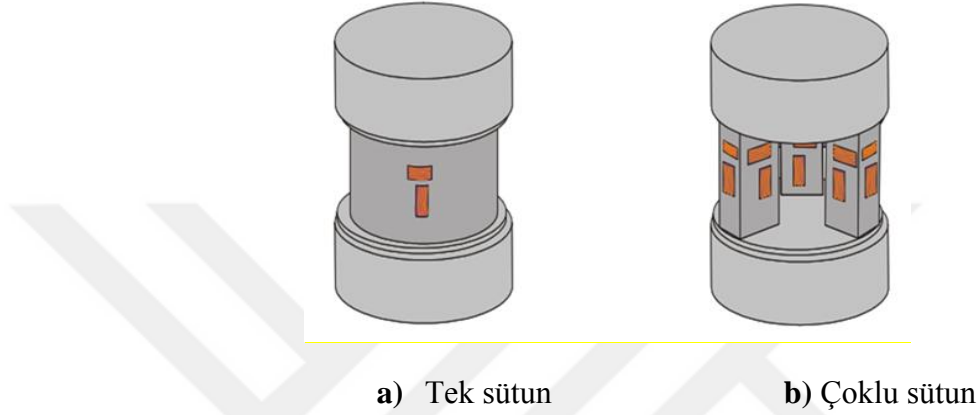


a) Kuvvet ölçümü

b) Kuvvet ölçümü 2

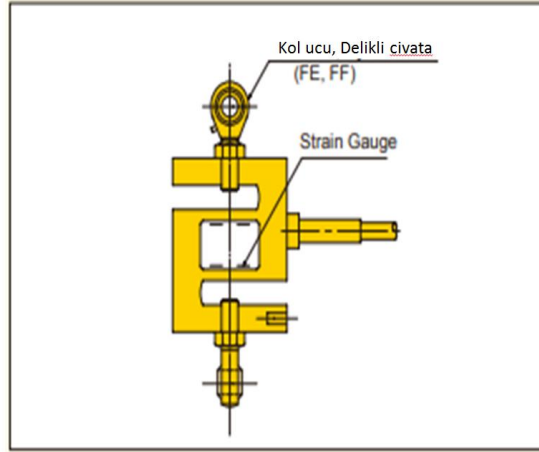
Şekil 2.14. Kesme gerilmesine maruz zorlanmalar ile kuvvet ve moment ölçümü (<https://appmeas.co.uk/products/torque-sensors/>, 2018)

Şekil 2.15'te etkiyen kuvvetlerin uzamaya veya kısalmaya zorladığı bir yük hücresinde dirençlerin yerleşimini göstermektedir. Şekil 2.15.a'da tek bir sütun elemanından ölçüm yapılırken Şekil 2.15.b'de çoklu sütun elemanından ölçüm yapılmaktadır. Her bir sütun üzerine dirençler yatay ve dikey olarak yapıştırılmaktadır. Bu sayede gerek çekiye gerekse basıya zorlamalarda dirençlerden biri artış gösterirken diğeri azalma göstermektedir. Bu sayede ölçüm duyarlılığı arttırılmaktadır.



Şekil 2.15. Uzama (çeki) ve kısalma (bası) zorlanmalarına maruz kalan yük hücrelerinde dirençlerin yerleşimi ve ölçme prensibi (http://www.alliantech.com/pdf/coin_des_experts/choix_captur_de%20force.pdf, 2018)

Şekil 2.16'da ise üst taraftaki bağlantı noktasından etkiyen kuvvet Z tipi yük hücresinin orta kısmında içi boşaltılmış olan kısmına yapıştırılan dirençler ile ölçülmektedir. Üst taraftaki bağlantı noktasından etkiyen kuvvetler neticesinde eğilme gerilmeleri uzama ve kısalma şeklinde 4 adet direnç tarafından ölçülmektedir.

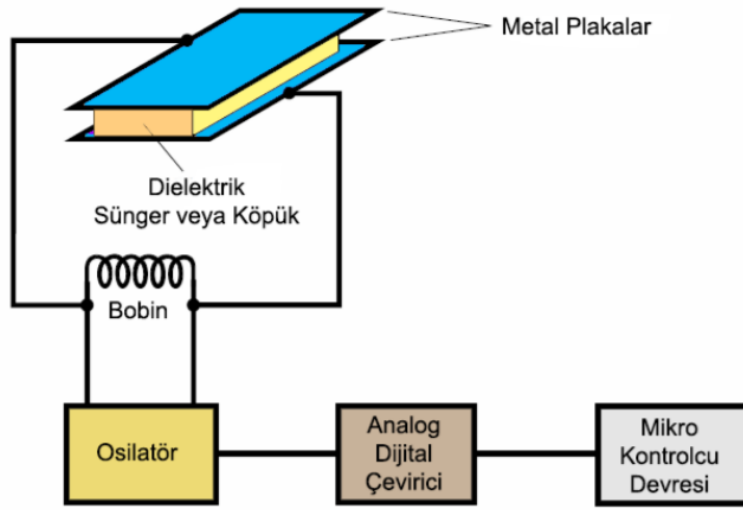


Şekil 2.16. Z tipi bir yük hücresi ile kuvvet ölçümü prensibi (https://www.tml.jp/e/download/catalog/Transducers_E2020B.pdf, 2017)

Direnç tipi kuvvet, moment ve tekstil proseslerinde gerginlik ölçümü yaklaşımında etkiyen zorlamanın sonucu dirençlerin yapıştırıldığı elastik malzemedeki küçük şekil değiştirmeler dirençte de aynı şekil değiştirmeye sebep olarak ölçüm gerçekleştirilir. Endüstride alternatif olarak kapasitans ve Hall etkili algılayıcılar kullanılarak ta gerginlik veya kuvvet ölçümü yapılmaktadır. Bu durumda küçük yer değiştirmeler algılanarak gerginlik ölçümü yapılır. Aşağıda yer değiştirme sensörleri kullanılarak gerginlik ölçme prensibi açıklanacaktır.

2.1.2. Kapasitif ve Hall etkili sensörler ile gerginlik ölçme prensipleri

Kapasitanslar, elektrik enerjisini depolayan elemanlardır. Kapasitansların enerji depolama özellikleri kapasitans plakalarının birbirini gören yüzey alanına, plakalar arasındaki mesafeye ve iki plaka arasındaki yalıtkan (dielektrik) malzemenin özelliğine bağlıdır. Sonuç olarak kapasitans plakaları birbirinden yatay ve dikey doğrultularda uzaklaştırılırsa ya da birbirine yaklaştırılır ve/veya başka bir etken ile iki plaka arasındaki dielektrik malzeme hareket ettirilirse, kapasitansın kapasitesi değişir. Bir kapasitansın kapasitesi değiştiğinde alternatif akıma gösterdiği direnç te değişir. Bu yaklaşımdan hareketle hareketle kapasitif sensörler geliştirilmiştir. (Sandalcı 2018). Şekil 2.17. Kapasitif bir sensörün yapısını göstermektedir.



Şekil 2.17. Kapasitif sensör çalışma prensibi (Ergün 2018)

Bir kapasitansın kapasite değeri 9 nolu denklem ile verilmektedir.

$$C = \epsilon \cdot \frac{A}{d} \dots \dots \dots (2.9)$$

Burada;

C= Kapasitans (F)

A= İki plakanın birbirini gören yüzey alanı (m²)

d= İki plaka arası mesafe (m)

ε= Yalıtkan (dielektrik) sabiti (ε_{hava}=1, ε_{plastik}=3)

Sabit bir gerilim uygulanması durumunda kapasitans dolduğunda akım geçmeyip kapasitans plakaları arası gerilim aynı kalacağından ölçüm gerçekleştirmek mümkün olmaz. Bu yüzden kapasitif algılayıcılarda belirli bir frekansta alternatif gerilim besleme gerilimi olarak kullanılır. Alternatif gerilim uygulandığında kapasitansın plakaları arasında 10 nolu denklem ile verilen bir direnç (empedans) oluşur. Bu dirençte etkiyen kuvvet neticesinde meydana gelen değişim bir köprü devresi ile elektriksel sinyale dönüştürülür ve bu sinyalin kuvvetlendirilmesiyle kuvvet ölçümü gerçekleştirilmiş olur. (Sandalcı 2018)

$$Z = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \dots \dots \dots (2.10)$$

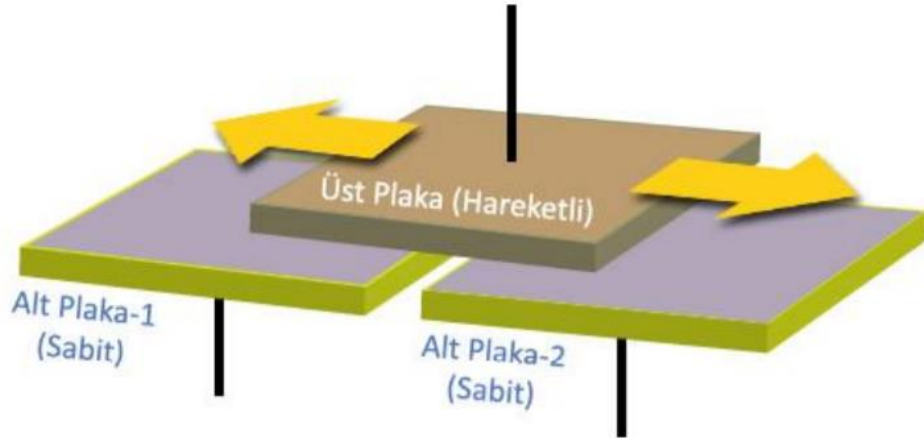
Z= Direnç değeri (Ω)

f= Frekans (Hz)

C= Kapasite (F)

Kapasitif sensörlerde kuvvet ölçme aşağıda açıklanan değişik yöntemlerle gerçekleştirilebilir.

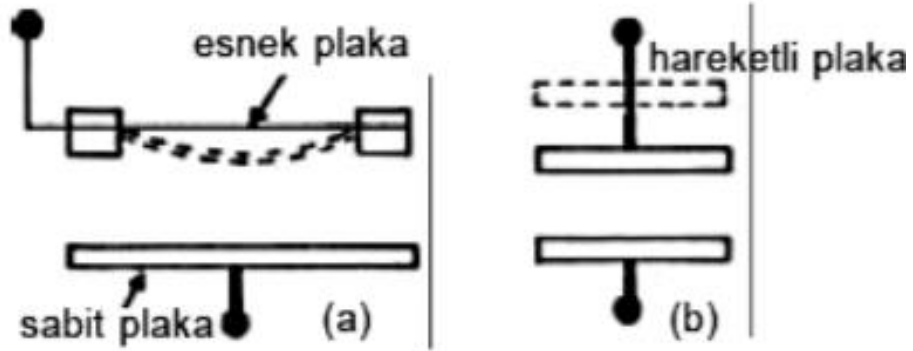
Şekil 2.18'de bu duruma bir örnek görülmektedir. İki adet alt plaka sabit olarak konumlanmış olup üst plaka kuvvetin etkisi ile hareket ettirilmektedir. Bu durumda plakalar arasındaki mesafe aynı kalacak, ancak plakaların birbirini gören yüzey alanları değişim gösterecektir. Üst plaka iki alt plakanın tam orta noktasında konumlandığında üst plaka-alt plaka-1 kapasitansı ile üst plaka-alt plaka-2 kapasitansı aynı değeri alır. Üst plaka sağa doğru hareket ettirildiğinde üst plaka-alt plaka-2 arasındaki yüzey alanı artacağından kapasitans artarken üst plaka-alt plaka-1 arasındaki yüzey alanı azalacağından kapasitans azalır. Uygulanan kuvvete bağlı olarak meydana gelen bu kapasitans değişikliği elektriksel sinyale dönüştürülerek kuvvet ölçümü gerçekleştirilir.



Şekil 2.18. Kapasitif sensörlerde üst plakanın hareket ettirilmesi durumu (Ergün 2018)

Şekil 2.19'da kapasitans plakaları arasındaki mesafenin değişimini esas alan bir ölçme yöntemi görülmektedir. İki plaka arasındaki mesafenin değişimi 2 farklı şekilde yapılabilmektedir. Şekil 2.19.a'da alt plaka sabit olup üst plaka esnek bir yapıya sahiptir ve etkileyen kuvvetin değerine bağlı olarak meydana gelen şekil değiştirme ile 2 plaka arasındaki mesafe azalmaktadır. Bu şekilde meydana gelen kapasitans değişikliği

elektriksel sinyale dönüştürülerek kuvvet veya gerginlik ölçümü yapılabilmektedir. Şekil 2.19.b’de ise alt plaka sabit olup üst plaka kuvvetin etkisi ile hareket etmektedir. Bu şekilde 2 plaka arasındaki mesafe değişimi elektriksel sinyale dönüştürülüp kuvvet ölçümü yapılmaktadır.

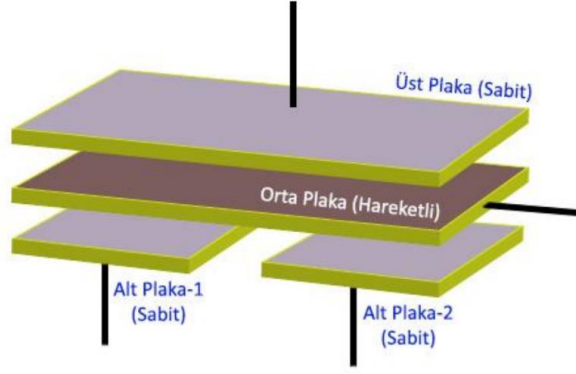


a) Sabit plaka

b) Hareketli plaka

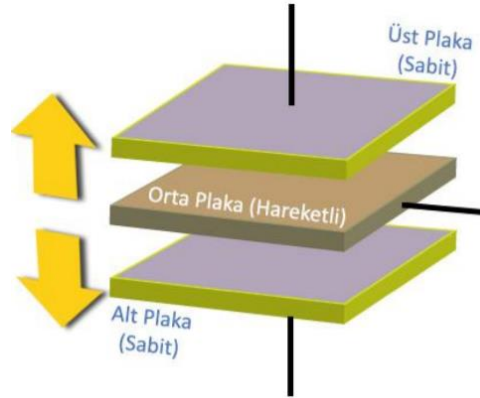
Şekil 2.19. Kapasitif sensörlerde biri sabit diğeri hareketli plakalar (Sandalcı 2018)

Şekil 2.20 kapasitans plakaları arasında yerleştirilen bir ara plakanın etkiyen bir kuvvetin neticesinde yatay hareketi ile kapasitans değişimi ve mesafe veya kuvvet ölçme yöntemini göstermektedir. Şekildeki ölçme yönteminde 1 adet üst plaka ve 2 adet ayrı alt plaka bulunmaktadır. Ara plaka tam ortada iken üst plaka ve alt plaka-1 ile üst plaka-alt plaka-2 arasındaki kapasitans değerleri aynıdır. Ancak ara plaka sağa doğru hareket ettirildiğinde üst plaka-alt plaka-2 arasındaki kapasitans en yüksek değerinde kalırken üst plaka-alt plaka-1 arasındaki kapasitans azalacaktır. Çünkü alt plaka ilerledikçe dielektrik sabiti değişecektir. Benzer şekilde orta plaka sola doğru kaydıkça üst plaka ve alt plaka-2 arasındaki kapasitans azalırken üst plaka ve alt plaka-1 arasındaki plaka en yüksek değerinde sabit kalacaktır. Bu şekilde meydana gelen kapasitans değişikliği elektriksel sinyale dönüştürülerek orta plaka hareket miktarı veya kuvvet ölçümü gerçekleştirilebilir. Kapasitif yöntemle kuvvet ölçümü plakalar arasında ve ara plaka hareketinde kuvvetin neticesinde hareket gerçekleştiren elastik bir parçanın olmasını gerektirmektedir. Bu şekilde kuvvetteki değişimler anlık olarak doğrudan şekil veya mesafe değişimine dönüştürülebilir.



Şekil 2.20. Kapasitif sensörlerde orta plakanın sağa sola hareket ettirilmesi durumu (Ergün 2018)

Şekil 2.21 kapasitif yöntemle yer değiştirme veya kuvvet ölçümüne yönelik farklı bir tasarımı göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi üst, orta ve alt plakalardan oluşan sistemde orta plaka üst ve alt plakalara eşit mesafede iken üst-orta ve alt-orta plakalardan oluşan iki kapasitans aynı değere sahiptir. Orta plaka bir kuvvetin etkisiyle yukarı doğru hareket ettirildiğinde üst-orta plaka arası mesafe azalır ve üst-orta plakalar arasındaki kapasitans artarken alt-orta plakalar arası mesafe artmakta ve dolayısıyla alt-orta plakalardan oluşan kapasitans azalmaktadır. Bu değişim elektriksel sinyale dönüştürülerek kuvvet ölçümü gerçekleştirilebilmektedir.

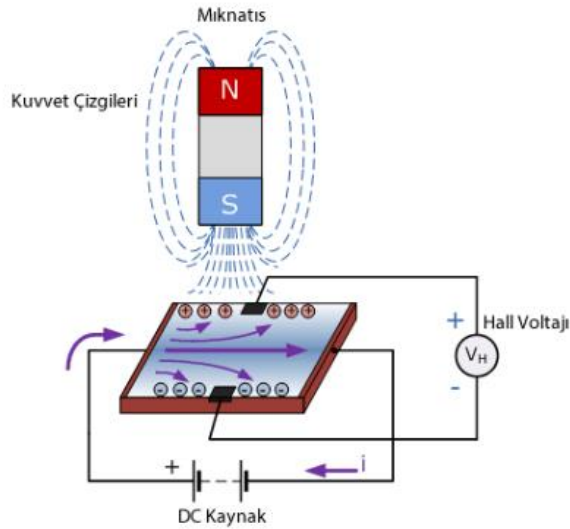


Şekil 2.21. Kapasitif sensörlerde orta plakanın aşağı yukarı hareket ettirilmesi durumu (Ergün 2018)

Kapasitif prensiple çalışan algılayıcılar kuvvet sensörü olarak kullanıldığı gibi yaklaşım ve pozisyon sensörü olarak da kullanılabilir.

Hall etkili sensörler

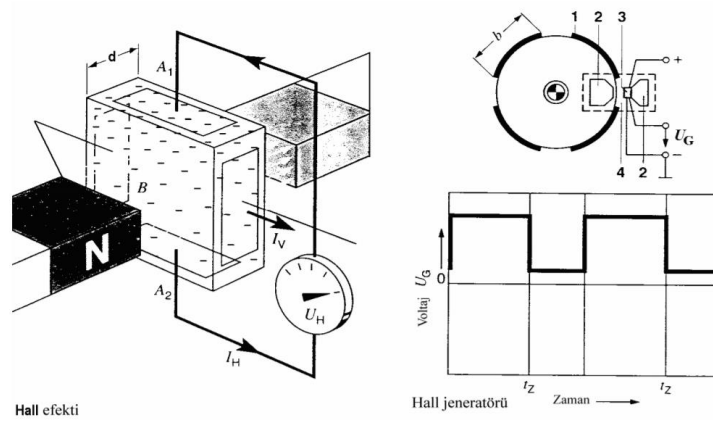
1879’da Edwin Hall tarafından keşfedilen bu etkiye göre, manyetik alana maruz kalan yarı iletken bir plakada elektronlar hareket ederken, manyetik akının doğrultusuna dik doğrultuda elektronlara bir elektromanyetik kuvvet (Lorentz kuvveti) etki eder ve bu kuvvet elektronları hareket yönüne dik doğrultuda hareket ettirir. Bu durum yarı iletken plakanın bir tarafında biriken elektronlar nedeniyle negatif polarite (düşük elektriksel potansiyel), elektron azalması olan tarafta ise pozitif polarite (yüksek elektriksel potansiyel) oluşmasına sebep olmaktadır. Bu iki uç arasında manyetik akı şiddetiyle orantılı olarak oluşan gerilim Hall gerilimi olarak adlandırılmakta ve bu gerilimin değeri, yarı iletken plakadan geçen akımı ve manyetik alan şiddetine bağlıdır. (Sandalcı 2018). Şekil 2.22 bir yarı iletken plakaya uygulanan gerilim neticesinde geçen akım ve yarı iletken plakanın manyetik alana maruz kalması sonucu plakanın akıma dik doğrultuda meydana gelen Hall gerilimi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi Hall gerilimi manyetik alan ve yarı iletken plakadan geçen akıma dik doğrultuda yarı iletken plakanın iki ucu arasında oluşmaktadır. Uygulanan bir besleme gerilimi için geçen akım sabit olacağından mıknatısın yarı iletken plaka yüzeyine yaklaşması ve uzaklaşması ile etkileyen akı değişeceğinden pozisyon veya yer değiştirme ölçmek mümkündür. Mıknatıs aynı pozisyonda tutulup akım değiştirildiğinde ise yarı iletken plakadan geçen akımı ölçmek mümkündür.



Şekil 2.22. Hall etkili sensör çalışma prensibi (<https://www.electronicstutorials.ws/electromagnetism/hall-effect.html>, 2018)

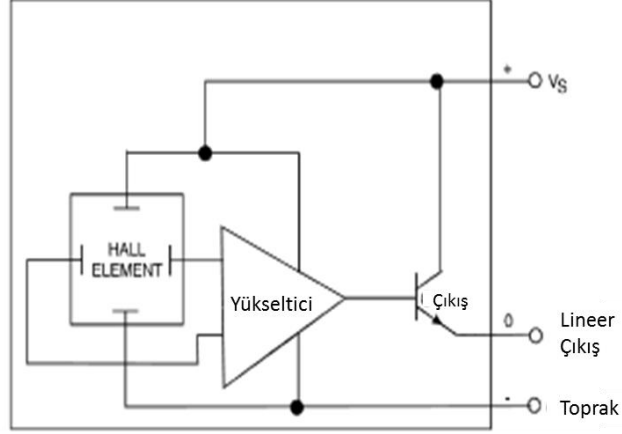
Hall etkili sensörler, pozisyon, hız veya hareketi yönü gibi birçok farklı uygulamada kullanılabilmesi için giderek daha popüler hale gelen katı hal cihazları olmaktadır. Aynı zamanda, temassız aşınmasız kullanımları, düşük bakımları, sağlam tasarımları ve sızdırmaz koridor etkisi cihazları titreşim, toz ve suya karşı dayanıklı olmaları nedeniyle elektronik tasarımcı için tercih edilen bir sensör haline gelmiştir.

Şekil 2.23 dijital çıkış sinyali üreterek mil pozisyonu ölçümünde kullanılan bir Hall etkili sensörü göstermektedir. Mil üzerine siyah dairesel yaylarla gösterilen kısımların S kutbu ve aralarının N kutbu olduğu mıknatıs dizisi oluşturulmuştur. Hall etkili sensör S kutbunun etkisinde kaldığında çıkış gerilimi üretmekte (Lojik 1 seviyesi) ve N kutbu etkisinde kaldığında çıkış sinyali üretmemekte veya küçük bir voltaj üretmektedir (Lojik 0 seviyesi). Buna göre şekilden de görüldüğü gibi mil üzerinde siyah yay şekilde işaretlenmiş kısımlar çıkış sinyalinde Lojik 1 seviyesine karşılık gelmektedir. Bu şekilde mil pozisyonu belirlenmektedir. Ayrıca sensör çıkış sinyallerinin frekansı belirlenip mil açısal hızı da ölçülebilir. Dijital çıkış sinyali üreten Hall etkili sensörler tek ve çift polariteli (unipolar and bipolar) olmak üzere iki tipte üretilir. Tek polariteli Hall etkili sensörlerde sensör manyetik alana maruz kaldığında lojik 1 seviyesinde çıkış sinyali üretilir ve manyetik alan ortadan kalktığında çıkış sinyali lojik 0 seviyesine gelir. Çift polariteli Hall etkili sensörlerde ise sensör manyetik alanın S kutbuna maruz kaldığında lojik 1 seviyesinde çıkış sinyali üretmekte olup sinyalin lojik 1 seviyesine inmesi için sensörün zıt manyetik etkiye yani N kutbunun etkisinde kalmaya ihtiyaç duyulmaktadır (<https://www.electronics-tutorials.ws/electromagnetism/hall-effect.html>, 2018).

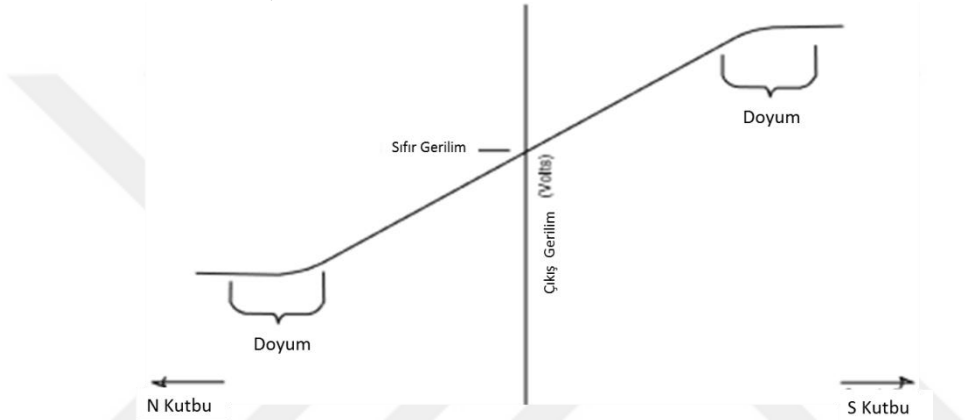


Şekil 2.23. Hall etkili sensör ile mil pozisyonu ölçümü (Sandalcı 2018)

Diğer yandan Hall etkili sensörler kullanılarak yer değiştirme ölçümü gerçekleştirilebilir. Hall etkili sensörün çıkış sinyali manyetik alanın büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. Ancak bir daimi mıknatıs Hall etkili sensöre yaklaştıkça sensörün maruz kaldığı manyetik alan büyüklüğü arttığından çıkış sinyali de artmaktadır. Şekil 2.24 doğrusal çıkış sinyali üreten bir Hall etkili sensör ve bu sensörün manyetik alan büyüklüğüne bağlı olarak çıkış sinyali değişimini göstermektedir. Manyetik alan etkisinde kalan sensörden elde edilen çıkış sinyali bir kuvvetlendirici ile kuvvetlendirilmekte ve bir tranzistör üzerinden doğrusal dışarıya beslenmektedir. Şekilden görüldüğü gibi sensörün maruz kaldığı manyetik alan büyüklüğü ile çıkış sinyali arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Manyetik alanın sıfır olması durumunda sensör bir çıkış gerilimi üretmemektedir. Artan S kutbu manyetik büyüklüğüne karşın çıkış sinyali başlangıç değerinden itibaren doğrusal olarak artmakta, N kutbunun etkisinde artan manyetik alan büyüklüğüne bağlı olarak ise doğrusal olarak azalma göstermektedir.



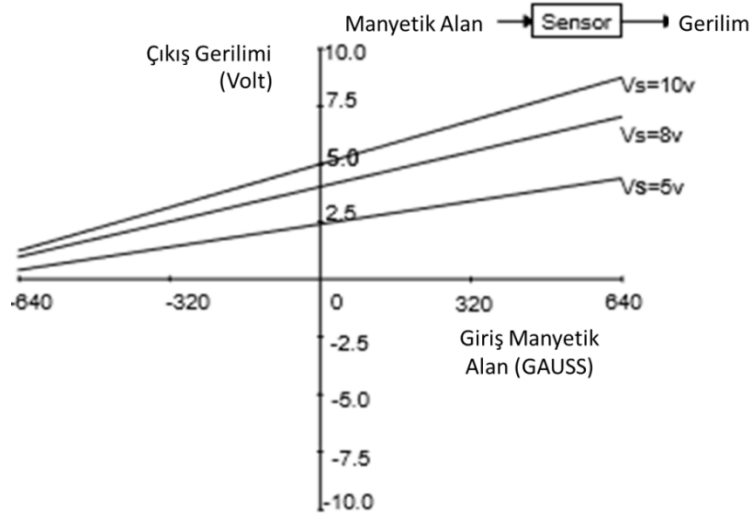
a) Hall etkili sensörün temel üniteleri



b) Çıkış sinyalinin manyetik alan büyüklüğüne göre değişimi

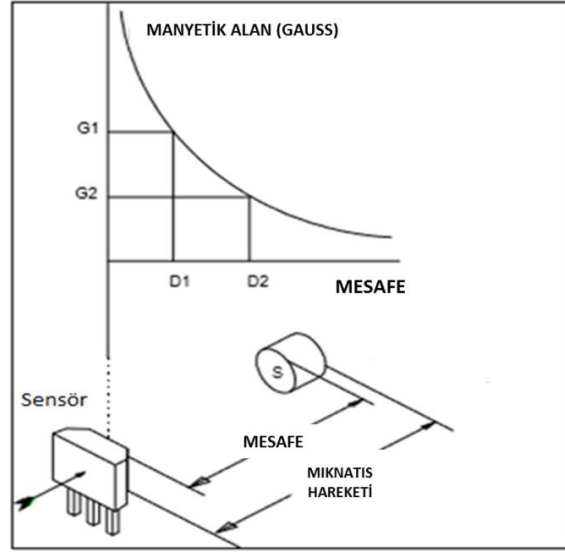
Şekil 2.24. Doğrusal Hall etkili sensörün temel üniteleri ve çıkış sinyalinin manyetik alan büyüklüğüne göre değişimi (<https://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-sensors-magneto-resistive-hall-effect-applications-005715-2-en2.pdf>, 2018)

Şekil 2.25 yukarıda verilen sensör çıkış sinyali eğrisinin farklı sensör besleme gerilimi değerleri için nasıl değiştiğini göstermektedir. Besleme gerilimi arttıkça çıkış sinyali-manyetik alan büyüklüğü eğrisi doğrusal yapısını korumakla birlikte eğimi bir miktar artarak yukarı kaymaktadır. Yani aynı manyetik büyüklükte besleme gerilimi arttıkça daha büyük çıkış sinyali elde edilmektedir. Esasında sensör duyarlılığında da artış gözlenmektedir.



Şekil 2.25. Farklı sensör besleme gerilimi değerlerinde manyetik alan büyüklüğüne bağlı olarak çıkış sinyali değişimi (<https://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-sensors-magneto-resistive-hall-effect-applications-005715-2-en2.pdf>, 2018)

Mıknatıs ile sensör yüzeyi arasındaki mesafe ile yarı iletken plakanın maruz kaldığı manyetik alan büyüklüğü arasındaki ilişki Şekil 2.26'da görülmektedir. Şekildeki grafikten görüldüğü gibi manyetik alan büyüklüğü mesafe ile lineer olmayan veya daha spesifik olarak hiperbolik olarak değişen bir ilişkiye sahiptir. Sensör çıkış sinyali manyetik alan büyüklüğü ile doğrusal bir değişime sahip olduğundan sensör çıkış sinyali de mesafe ile hiperbolik olarak değişir. Hall etkili sensörler ile kuvvet ölçümü durumunda kuvvet tarafından yer değiştirme yapan bir elastik elemanın üzerinde bulunan mıknatısın Hall etkili sensör yüzeyine olan mesafesi kuvvet ile orantılı olarak değişeceğinden sensör çıkış sinyali kuvvet ile hiperbolik olarak değişir.



Şekil 2.26. Sensörün maruz kaldığı manyetik alan büyüklüğü ile mesafe arasındaki hiperbolik ilişki (<https://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-sensors-magneto-resistive-hall-effect-applications-005715-2-en2.pdf>, 2018)

2.1.3. Piezoelektrik prensibe dayanan gerginlik ölçme yöntemi

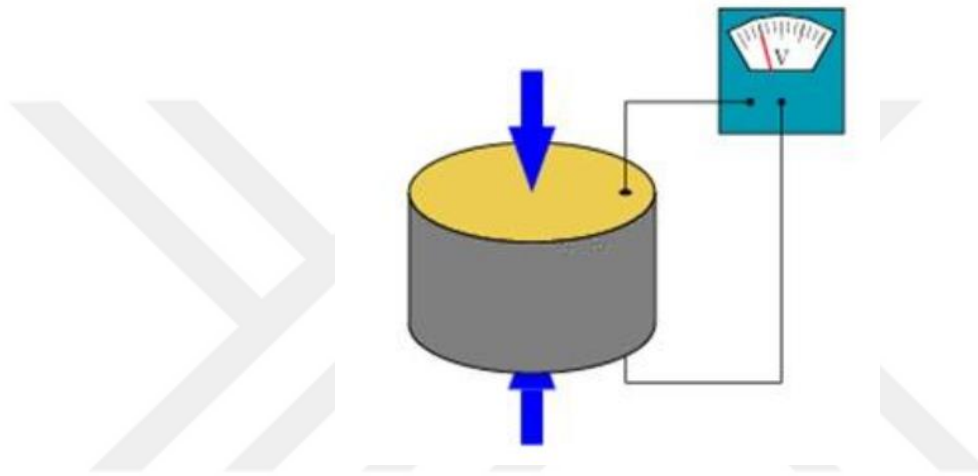
Piezoelektrik etki ilk olarak 1880 yılında Pierre Curie ve Jacques Curie tarafından keşfedilmiş olup bazı maddelerin etkiyen kuvvet veya basınç etkisinde elektriksel sinyal üretmesi ile karakterize edilir. Benzer şekilde piezoelektrik davranış gösteren malzemelere gerilim uygulandığında (elektrik enerjisi verildiğinde) malzeme boyutsal değişim gösterir. Malzemeye basınç uygulandığında elektrik enerjisi üretmesi piezoelektrik etki olarak isimlendirilirken elektrik enerjisi verilip boyutsal değişim göstermesi ters piezoelektrik etki olarak isimlendirilmektedir. Bu açıdan bakıldığında piezoelektrik malzemeler mekanik enerjiyi elektrik enerjisine ve elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren bir elektromekanik enerji dönüştürücü olarak değerlendirilebilir.

Piezoelektrik ve ters piezoelektrik etkiler sırasıyla sensör ve tahrik elemanı üretiminde kullanılabilir. Piezoelektrik etki ayrıca günümüzde hareket veya basıncın elektrik enerjisine dönüştürülmesinde de kullanılabilir.

Turmalin, Topaz, Quartz (Kuartz), Roshelle (Roşel) gibi kristallere mekanik basınç uygulanması sonucunda yapılan baskıyla orantılı, kristal uçlarında elektriklenme

görülmekte ve uygulanan basınç voltaj oluşturmaktadır. Bu voltaj maddede %4 oranında bir hacim değişikliğine yol açar. (Ergün 2018)

Şekil 2.27’de gösterilen sistem basitçe piezoelektrik bir etkinin gözlenmesini sağlayacaktır. Piezoelektrik davranış gösteren silindirik bir malzemeye dikey doğrultuda bir kuvvet uygulanmakta ve bunun sonucu olarak silindirik parçanın üst ve alt uçları arasında voltmetre bağlandığında voltmetrenin ibresinden üretilen veya meydana gelen gerilim gözlenmektedir.



Şekil 2.27. Piezoelektrik sensör çalışma prensibi (<https://www.muhandisbeyinler.net/piezoelektrik-nedir-piezoelektrik-olay/>, 2018)

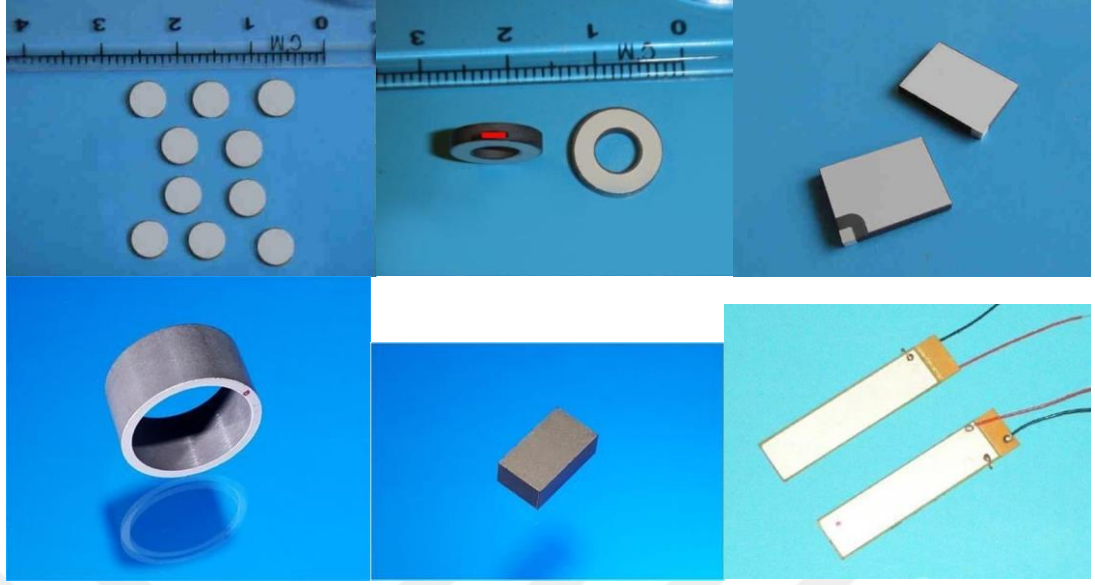
Doğal yapısıyla piezoelektrik davranış gösteren malzemeler Kuartz (SiO_2), Turmalin, Sodyum Potasyum Tartarat ve Roşel tuzları v.s. olarak sıralanabilir. Ancak özellikleri iyileştirilmiş piezoelektrik malzeme geliştirmek için çalışmalar yoğunlaştırılmış ve piezoseramik malzemeler geliştirilmiştir. Bunlar baryum titanat (BaTiO_3) ve çoğunlukla kullanılan tip olan kurşun-zirkonyum-titanyum (PZT) seramik piezoelektrik malzemelerdir. Rijit bir yapıya sahip olan piezoseramiklerin bazı kullanımlardaki sınırlamalarını aşmak amacıyla daha kolay şekil değiştirebilen polimer esaslı Poli-vinilidin-florid (PVDF) piezoelektrik malzeme geliştirilmiştir.

Piezoseramik malzemeler 10 -100GPa seviyelerinde elastik modülüne ve tipik olarak 7000-8000 kg/m^3 yoğunluğa sahip iken piezoelektrik polimerler 1-3 GPa modül ve 1000-2000 kg/m^3 yoğunluk değerine sahiptir. Piezoseramik malzemelerde gerilme değerini yüksek tutmak için birim uzamalar (gerilme) 0.1% seviyelerine kısıtlanırken

piezoelektrik polimerlerde 10-100% seviyelerinde olmaktadır. Gerilme ise piezoelektrik seramiklerde 10 megapaskal mertebesinde olup piezopolimerlerde piezoseramiklerin 1/100 seviyelerindedir. Hacimsel enerji yoğunluğu, birim hacim başına iş yapma kapasitesi olarak tanımlanan bir parametre olup gerilme ve gerinmenin çarpımına eşittir. Hem piezoseramik gibi sert piezoelektrik malzemeler hem de piezoelektrik polimerler gibi yumuşak polimerlerde enerji yoğunluğu $10-100\text{kJ/m}^3$ seviyelerinde gerçekleşmektedir

(http://courses.me.metu.edu.tr/courses/me493/files/02_ME493_PIEZOELECTRIC_MATERIALS_Spring_2015_v1.pdf, 2018).

Gerek piezoelektrik malzeme kullanılan sensörler gerekse piezoelektrik tahrik elemanları oldukça yüksek cevap hızına sahiptir. Bunun sebebi piezoelektrik etkinin moleküler seviyede değişimlerle ortaya çıkmış olmasıdır. Bir gerilim uygulandığında piezoelektrik bir tahrik elemanı birkaç milisaniye seviyesinde şekil değiştirmesini tamamlamaktadır. Benzer şekilde örneğin mekanik bir etkiye maruz kaldığında piezoelektrik titreşim veya kuvvet ölçme sensörleri çok kısa zamanda çıkış sinyali üretmektedir. Bu sayede titreşim ölçümü, darbe şeklindeki zorlamaların ölçümü ve dinamik kuvvetlerin ölçümünde piezoelektrik sensörler kullanılmaktadır. Şekil 2.28'de değişik geometri ve boyutlarda üretilen, sensör veya tahrik elemanı üretiminde kullanılan bazı piezoelektrik malzemeleri göstermektedir. Bu malzemelerden en alt sağdaki resimde görülen ince plaka şeklindeki piezoelektrik malzemenin rezonans frekansı 2 kHz seviyesinde olup diğer çok daha rijit bir yapıya sahip olduğundan 100 üzeri kHz ve hatta MHz seviyelerinde rezonans frekansına sahiptirler.



Şekil 2.28. Değişik geometri ve boyutlarda piezoelektrik malzemeler (<https://www.steminc.com/PZT/en/>, 2018)

Günümüzde dünyada değişik firmalar tarafından yukarıda bahsedilen değişik fiziksel prensipleri kullanan iplik gerginlik sensörleri üretilmektedir. Çizelge 2.1 değişik firmalar tarafından üretilen iplik gerginlik ölçme sensörlerine ait teknik özellikleri göstermektedir. Checkline, Schmidth ve Tensitron firmaları gerginlik sensör tasarımında direnç (strain gauge) kullanırken Rothschild firması kapasitif prensiple gerginlik ölçme yaklaşımını kullanmaktadır. Meminger-IRO (Almanya), IRO AB (İsveç), Lawson-Hemphill (Amerika) ve Schalfhorst (Almanya) firmaları gerginlik ölçme kontrol sistemlerinde Hall etkili sensörleri, Savio (İtalya) firması ise kapasitif sensörü kullanmaktadır. Ayrıca BTRSR firması gerginlik ölçümünde Hall etkili sensörü kullanmaktadır.

Çizelge 2.1. Değişik firmalar tarafından üretilen iplik gerginlik ölçme sensörleri ve teknik özellikleri (Narayana 2005)

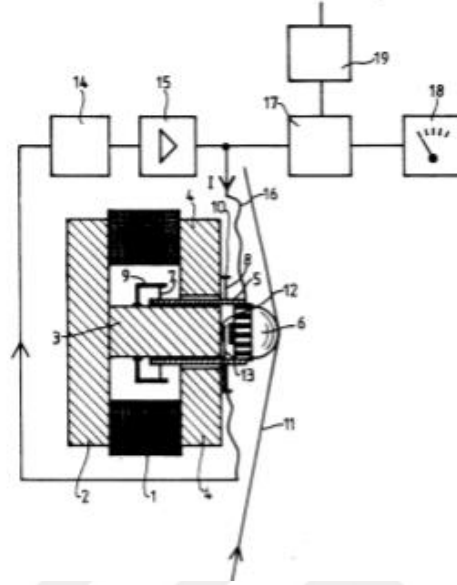
FİRMA	MODEL NUMARASI	MAKARA BOYUTU	FREKANS TEPKİSİ	ÖLÇÜM ARALIĞI	VERİ DEPOLAMA KAPASİTESİ	İŞLEVSELLİK	DENETLEYİCİ İLE ENTEGRASYONU	DOĞRULUK (+/-)	MAKSİMUM HIZ ARALIĞI
Checkline	DX2	38 mm	Mekanik Kadran	10 aralıklı, 3-30 g - 5-50 kg	Yok	Yok	Yok	1.00%	2000 m/dk
Checkline	DXN	38 mm	Mekanik Kadran	12 aralıklı, 5-50 g - 5-50 kg	Yok	Yok	Yok	1.00%	3500 m/dk
Schmidt	ZF2	22 mm	Mekanik Kadran	7 aralıklı, 1-5 g - 10-100 g	Yok	Yok	Yok	1.00%	900 m/dk
Schmidt	ZD2	33 mm	Mekanik Kadran	6 aralıklı, 3-30 g - 20-300 g	Yok	Yok	Yok	1.00%	2000 m/dk
Checkline	FX2	100 mm	Mekanik Kadran	4 aralıklı, 5-50 g - 20-2000 g	Yok	Yok	Yok	1.00%	2000 m/dk
Checkline	DXF2	22 mm	Mekanik Kadran	9 aralıklı, 3-30 g - 200-2000 g	Yok	Yok	Yok	1.00%	900 m/dk, Özelliklerde Optik
Schmidt	DTMB	38 mm	62 Hz	9 aralıklı, 0.1-200 g - 5-50 kg	Yok	Var, İstatistik	Yok	0.50%	2000 m/dk
Schmidt	DTMX	38 mm	62 Hz	9 aralıklı, 0.1-200 g - 5-50 kg	Var, 100 Gerginlik Değeri	Yok	Yok	0.50%	2000 m/dk
Schmidt	ZEF/ZED	22-38 mm	250 Hz	6 aralıklı, 0.5-100 g - 1-500 cN	Yok	Yok	Yok	1.00%	2000 m/dk
Checkline	ETM2	22-38 mm	100 Hz	3 aralıklı, 0.5-100 g - 1-500 cN	Yok	Yok	Yok	1.00%	2000 m/dk
Checkline	125-12/S-HDI	22-38 mm	100 Hz	7 aralıklı, 0-10 g - 0-500 g	Yok	Yok	Yok	1.00%	3000 m/dk
Checkline	TELC	40-200 mm	50-200 Hz	7 aralıklı, 0-10 g - 0-500 g	Yok	Yok	Var, Sinyal kontrol edilebilir.	1.50%	2000 m/dk Kapasitif Sensör Gerinim Ölçer
Checkline	RFS/RFSE	Değişken	200 Hz	10 aralıklı, 0-100 g - 0-100 kg	Yok	Yok	Var, Dışarıdan elektronik	0.50%	2000 m/dk Gerinim Ölçer
Checkline	TE	40-200 mm	350 Hz	10 aralıklı, 0-50 g - 0-50 kg	Yok	Yok	Var, Dışarıdan elektronik	1.00%	1000 m/dk Gerinim Ölçer
Tensitron	TX	Değişken	40-100 Hz	3 aralıklı, 0-125 g - 50 g-50 kg	Var	Var	Var, Dışarıdan elektronik	1.00%	2000 m/dk
Rothschild	R-2000	30 mm	Açıklama Yok	0,05 - 200.000 cN	Var	Var	Yok	2.00%	7000 m/dk
Schmidt	DTV/DTV X	40 mm	62 Hz	4 aralıklı, 2-200 cN - 200-2000	Var	Var	Yok	0.50%	2000 m/dk
Schmidt	DTFB/DTF X	32 mm	62 Hz	3 aralıklı, 2-200 cN - 50-1000	Var	Var	Yok	0.50%	2000 m/dk
Schmidt	ET2/ET2P	24 mm	5 KHz	3 aralıklı, 0,5-100 cN - 1-500 cN	Var	Var	Yok	1.00%	2000-6000 m/dk
Schmidt	DX2	66 mm	Mekanik Kadran	12 aralıklı, 10-50 cN - 5-20 daN	Yok	Yok	Yok	1.00%	2000 m/dk
Schmidt	DXE	38 mm	Mekanik Kadran	6 aralıklı, 10-50 cN - 200-2000	Yok	Yok	Yok	1.00%	2000 m/dk
Schmidt	DXV	38 mm	Mekanik Kadran	7 aralıklı, 10-50 cN - 200-2000	Yok	Yok	Yok	1.00%	2000 m/dk
Schmidt	DXP	27 mm	Mekanik Kadran	3 aralıklı, 10-50 cN - 20-200 cN	Yok	Yok	Yok	1.00%	6000 m/dk
Schmidt	DXB	55 mm	Mekanik Kadran	9 aralıklı, 10-50 cN - 5-20 daN	Yok	Yok	Yok	1.00%	2000 m/dk
Schmidt	DXR	125-200 mm	Mekanik Kadran	6 aralıklı, 200-2000 cN - 5-20	Yok	Yok	Yok	1.00%	1000 m/dk
Schmidt	DXT	57-117 mm	Mekanik Kadran	9 aralıklı, 10-50 cN - 5-20 daN	Yok	Yok	Yok	1.00%	1000 m/dk
Schmidt	DXL	235 mm	Mekanik Kadran	3 aralıklı, 200-2000 cN - 2,5-10	Yok	Yok	Yok	1.00%	4000 m/dk
Schmidt	TS1	64-224 mm	500 Hz	10 aralıklı, 0-50 cN - 0-50 daN	Yok	Yok	Yok	1.00%	2000 m/dk
Schmidt	TSP	64 mm	500 Hz	4 aralıklı, 0-50 cN - 0-500 cN	Yok	Yok	Yok	1.00%	6000 m/dk
Schmidt	TSH	150 mm	500 Hz	6 aralıklı, 0-1000 cN - 0-50 daN	Yok	Yok	Yok	1.00%	4000 m/dk
Schmidt	TSL	150 mm	500 Hz	5 aralıklı, 0-50 cN - 0-1000 cN	Yok	Yok	Yok	1.00%	4000 m/dk
Schmidt	TSF	270 mm	500 Hz	6 aralıklı, 0-100 cN - 0-5000 cN	Yok	Yok	Yok	1.00%	5000 m/dk
Schmidt	TSB1	7-20 mm	500 Hz	5 aralıklı, 0-100 cN - 0-2000 cN	Yok	Yok	Yok	1.00%	1000 m/dk
Schmidt	TSB2	30-100 mm	500 Hz	6 aralıklı, 0-1000 cN - 0-50 daN	Yok	Yok	Yok	1.00%	1000 m/dk
Schmidt	Q	65 mm	Mekanik Kadran	9 aralıklı, 2-10 cN - 50-1000 cN	Yok	Yok	Yok	1.00%	1000 m/dk
Schmidt	MK	56 mm	Mekanik Kadran	8 aralıklı, 3-12 cN - 50-400 cN	Yok	Yok	Yok	1.00%	1000 m/dk
Schmidt	DX2S	54 mm	Mekanik Kadran	10 aralıklı, 10-50 cN - 5-20 daN	Yok	Yok	Yok	1.00%	5000 m/dk

2.2. Gerginlik Ölçme Sensörleri ile İlgili Kaynak Araştırması

Değişik algılama prensiplerine sahip gerginlik ölçme sensörlerinin tasarımına yönelik ayrıntı özellikle patent literatüründe bulunmaktadır. Aşağıda bu çalışmalardan bazıları özetlenecektir.

Hartel ve ark. (1994) özellikle tekstüre iplik makinelerinde yüksek hızla hareket halinde olan ipliğin gerginliğini ölçen bir sensör geliştirmişlerdir. Sensör manyetik prensibe göre çalışmakta olup algılama yöntemi olarak Hall etkili veya optik mesafe ölçme sensörü kullanılmıştır. Şekil 2.29 iplik gerginlik ölçme sensörünü şematik olarak göstermektedir. Şekilde 1 nolu dairesel mıknatıs bulunmakta, 2 nolu kutup diski ve 4 nolu kutup halkası dairesel mıknatısın 2 tarafından aksel olarak monte edilmiştir. Ayrıca aksel olarak 2 nolu kutup diskine takılmış 3 nolu ferromanyetik çekirdek aksel doğrultuda uzanmaktadır. Ayrıca 3 nolu ferromanyetik çekirdek ve 4 nolu kutup halkası arasında 5 nolu mıknatıs sargısı yer almaktadır. Mıknatıs sargısını taşıyan parça ve mıknatıs sargısı 6 nolu iplik kılavuzuna bağlı olup kılavuz etrafından belirli bir açı ile dolanan ipliğin uyguladığı kuvvetle aksel olarak hareket etmektedir. İplik gerginliğinin oluşturduğu aksel kuvvet 5 nolu sargıdan geçen akım ile meydana getirilen manyetik kuvvet ile dengelenmektedir. Şekilde 7 ve 8 ile gösterilen elemanlar diyafram olup 5 nolu mıknatıs sargısını taşıyan ferromanyetik parçanın sadece aksel doğrultuda hareketinin gerçekleşmesini sağlamaktadır. 12 ve 13 nolu parçalar sırasıyla sabit konumlu olan 3 nolu merkezi parça ile aksel yönde hareketli 6 nolu iplik kılavuzuna sabitlenmiş olup aralarındaki mesafeyi optik veya Hall etkili prensiple ölçmektedir. İpliğin akışı esnasında gerginlikte bir artış veya azalma olduğunda manyetik kuvvet ve iplik gerginliğinin aksel bileşeni arasındaki denge bozulacak ve iplik kılavuzu (6) aksel olarak hareket edecektir. Bu hareket sensör tarafından algılanıp mıknatıs sargısından (5) geçen akım aksel parça aynı konuma gelecek şekilde ayarlanır. Bu yaklaşımla gerginlikteki en küçük değişimler algılayıcı tarafından belirlenip mıknatıs sargısından geçen akım ayarlandığından gerginlik ölçümü pratik olarak 6 nolu iplik kılavuzunun konumunda ciddi bir değişiklik olmadan ölçülebilmektedir. Sonuç olarak iplik gerginliği ile mıknatıs sargısından geçen akım arasında doğrusal bir ilişki ortaya çıkmakta ve gerginlik ölçümü akım-gerginlik eğrisine

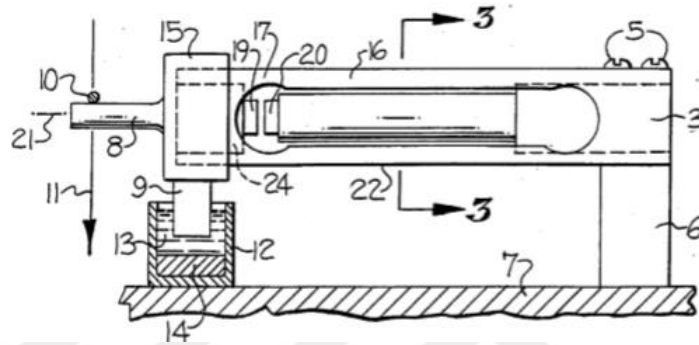
göre gerçekleştirilmektedir. Bu gerginlik sensörü endüstride bobin ve tekstüre makinelerinin her ünitesinde gerginliğin dinamik olarak ölçümünde kullanılmaktadır.



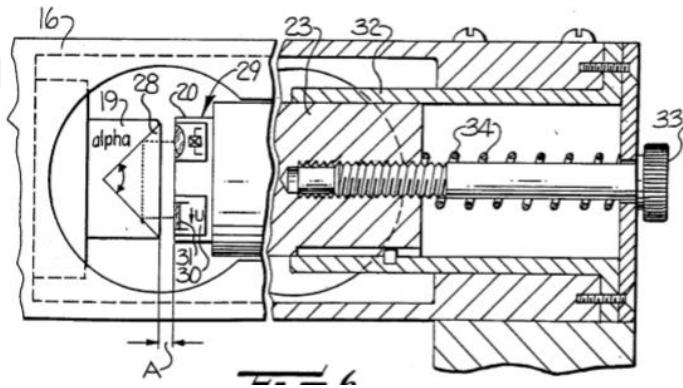
Şekil 2.29. Manyetik prensiple çalışan gerginlik ölçme sensörü (Hartel ve ark. 1994)

Optik algılama prensibine göre çalışan Barmag firması tarafından patenti alınan diğer bir sensör Şekil 2.30'da görülmektedir. Şekil 2.30.a'da kesiti türbin şeklinde oyulmuş olan parçanın (16) oyulmuş kısmına uzunluğu boyunca 20 nolu parça sabit olarak yerleştirilmiştir. 16 nolu kesiti dürbün şeklinde oyulmuş olan parçanın diğer ucuna 15 nolu parça sabitlenmiş ve ipliğin etrafından dolanarak geçip kuvvet uyguladığı 8 nolu çubuk 15 nolu parçaya sabitlenmiştir. 16 nolu parçanın iç tarafına 19 ile gösterilen parça sabitlenmiş olup 16 nolu kesiti dürbün şeklinde oyulmuş parçanın sol ucuna ise 20 nolu parça aralarında "A" açıklığı (Şekil 2.30.b) olacak şekilde sabitlenmiştir. İplik gerginliğinin etki etmemesi durumunda 19 ve 20 nolu parçalar çıkış hizalanmış durumdadır. İplik gerginliğinden dolayı 8 nolu parçaya etkiyen kuvvet dürbün kesitli 16 nolu parçayı eğilmeye zorlayıp 19 nolu parça dikey doğrultuda yer değiştirirken karşısındaki 20 nolu parça sabit olarak durmaktadır. Şekil 2.30.b'de ayrıntılı olarak görüldüğü gibi 19 nolu parça üzerinde aralarında 90 dereceden biraz daha küçük yansıtma yüzeylerine sahip bir profil bulunmakta ve 20 nolu sabit parça üzerinde ışık yayıcı bir eleman ve algılayıcı fotodiyot bulunmaktadır. Gerginliğe bağlı olarak 19 nolu parçanın yer değiştirmesinin sonucu olarak fotodiyota ulaşan ışık miktarında değişme

olacak ve çıkış sinyale değişecektir. Bu şekilde iplik gerginliğine bağlı olarak değişen bir çıkış sinyali elde edilir. Şekil 2.30.a'da 15 gerginliğe bağlı olarak hareket eden 15 nolu parçanın alt ucunda bulunan 9 nolu parça içinde manyetik akışkan olan bir kabın içine konumlandırılmıştır. Bu şekilde makine titreşiminden kaynaklanan yer değiştirmeler sönümlenip gerginlik sinyali üzerinden uzaklaştırılmaktadır. Patentte bu tasarımla birkaç yüz Hz seviyelerinde değişen dinamik gerginliklerin ölçülebileceği belirtilmektedir.



a)

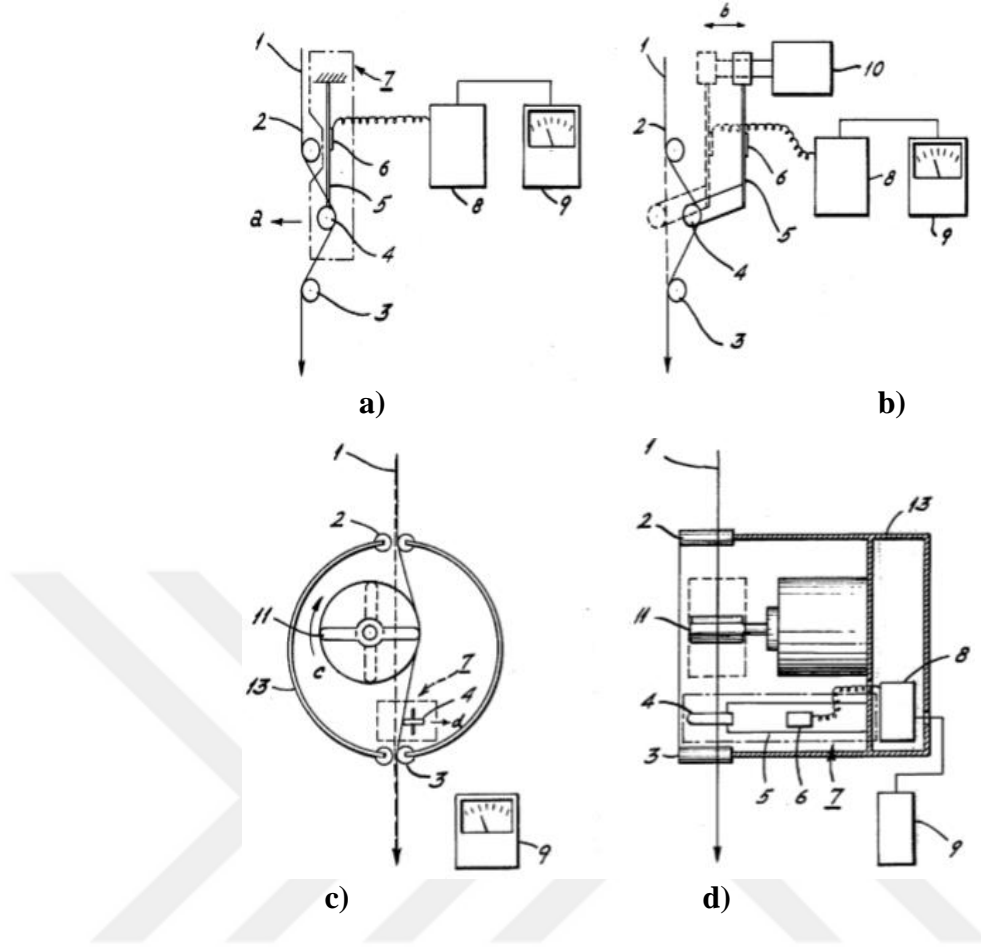


b)

Şekil 2.30. Optik algılama prensibine göre çalışan Barmag iplik gerginlik ölçme sensörü (Wessolowski ve ark. 1987)

Şekil 2.31 direnç ile (strain gauge) gerginlik ölçme yöntemine ait bir yaklaşımı göstermektedir (Nakayama ve ark. 1980). Şekil 2.31.a'da 2 ve 3 sabit makaralar olup 4 nolu makara eğilebilir şekildeki bir çubuğun ucuna kendi eksenini etrafında serbestçe dönecek şekilde mafsallanmıştır. 3 adet makara etrafından dolanarak belirli bir hızda hareket eden iplik gerginliği Şekil 2.31.a'da sola doğru "a" yönünde uyguladığı

kuvvetle 5 nolu çubuğu eğmeye çalışmaktadır. 5 nolu çubuk üzerine yapıştırılmış olan direncin (6) çubukla birlikte eğilmesi sonucu dirençte meydana gelen değişim köprü devresi ile elektriksel sinyale dönüştürülüp kuvvetlendirilerek gerginlik bilgisini veren sinyal elde edilir. Patentte bu yaklaşım ile sürekli iplik gerginlik ölçümünün makara yataklarındaki sürtünmeden dolayı ölçme hassasiyetinde düşüşe sebep olacağı, ipliğe temastan dolayı zarar verme ve tüylülük oluşturma gibi olumsuz etkilerinin olacağı belirtilmektedir. Bu olumsuzlukları gidermek için ilk önce Şekil 2.31.b'deki tasarım önerilmiş olup bu tasarıma göre orta makaranın bir motor tarafından ileri ve geri hareketi ile iplik berginliğinin kesikli olarak ölçümü hedeflenmiştir. Ancak motorun hareketi ile 5 nolu çubuğun titreşiminin ölçüm hassasiyetini azalttığı ve ideal bir çözüm oluşturmadığı belirtilmiştir. Bunun yerine Şekil 2.31.c'de görülen sistemdeki gibi ipliğe zararı en aza indirilmiş ve kesikli gerginlik ölçümü yapan bir gerginlik ölçme sensör tasarımı önerilmiştir. Bu tasarıma göre 4 nolu hareketli makara (ölçme ünitesi) ile 2 nolu sabit makara arasında bir motor ile döndürülen 11 nolu kılavuz eleman kullanılmı ve kılavuz elemanın şekilde görülen 2 konumundan (kesikli ve sürekli) sürekli çizgiler ile gösterilen konumu sensöre baskı uygulayan konumu olacağından bu konumda gerginlik ölçümü yapılmaktadır. Bu 2 konum arasında motor hareketi ile kesikli olarak gerginlik ölçümünün yapıldığı ve ısınma, ipliğe hasar verme ve ölçme hassasiyetinde düşüşe sebep olmama gibi etkilerle pratik için daha uygun gerginlik ölçümünün yapıldığı bu patentte vurgulanmaktadır.

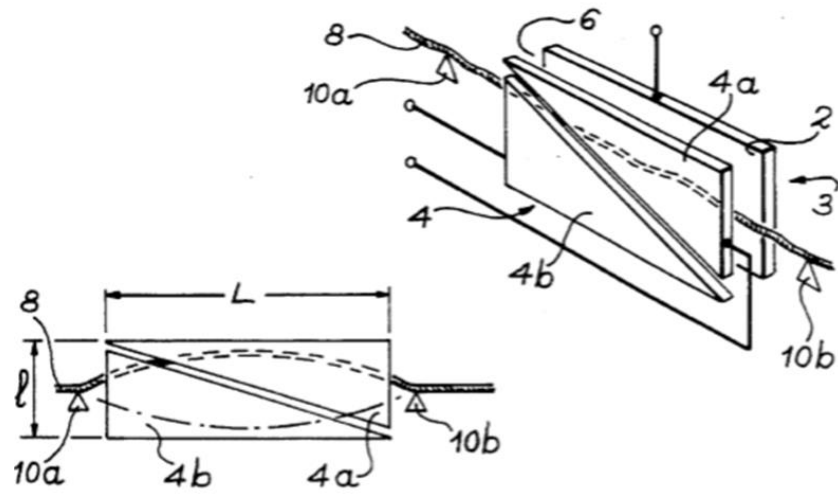


Şekil 2.31. Direnç tipi algılayıcı ile iplik gerginlik ölçümü (Nakayama ve ark. 1980)

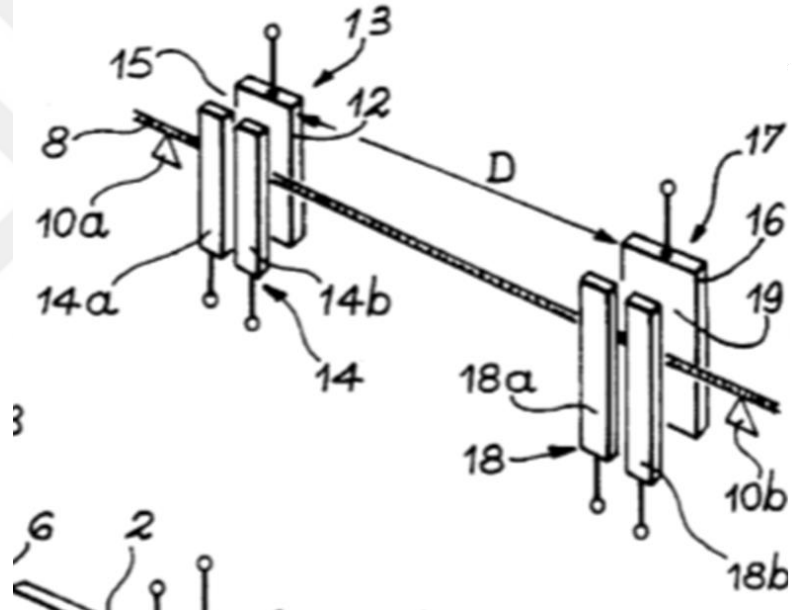
Barat ve Salles filament iplik gerginliği ve hızının temassız olarak ölçümü için kapasitif prensibe göre çalışan bir yöntem geliştirmiş ve patentini almışlardır. Şekil 2.32, Şekil 2.33 ve Şekil 2.34’de hareket halinde olan filament ipliğin temassız yöntemle hız ve gerginliğini ölçen sensöre ait tasarımı göstermektedir. Şekil 2.32’de 2 ile 4 (köşegen olarak 4 nolu plaka 4a ve 4b olarak ayrılmıştır) nolu plakalar arasında bir hava boşluğu olup dielektrik bir aralık oluşmakta ve kapasitans meydana gelmektedir. Filament iplik (girişte 1a ve çıkışta 10b) plakalar arasından belirli bir hızla ilerlemektedir. 2 nolu iletken plaka ile 4a nolu iletken plaka C1 kapasitansını ve 2 nolu iletken plaka ve 4b nolu iletken plaka C2 kapasitansını oluşturmaktadır. Hareket halindeki iplikte mevcut kütleli değişimler ve ipliğin plakalar arasındaki pozisyonundaki değişimler (ipliğin titreşiminden dolayı) C1 ve C2 kapasitans değerlerinde değişime sebep olacağından bu değişimler kapasitanslardan elde edilip kuvvetlendirilen çıkış sinyaline yansır. Sinyalin spektral analizinden temel mod ve harmonikleri hesaplanır. Temel mod ve titreşim

frekansı gerginliğe göre değişeceğinden spektral analiz sonucundan iplik gerginliği hesaplanarak belirlenir.

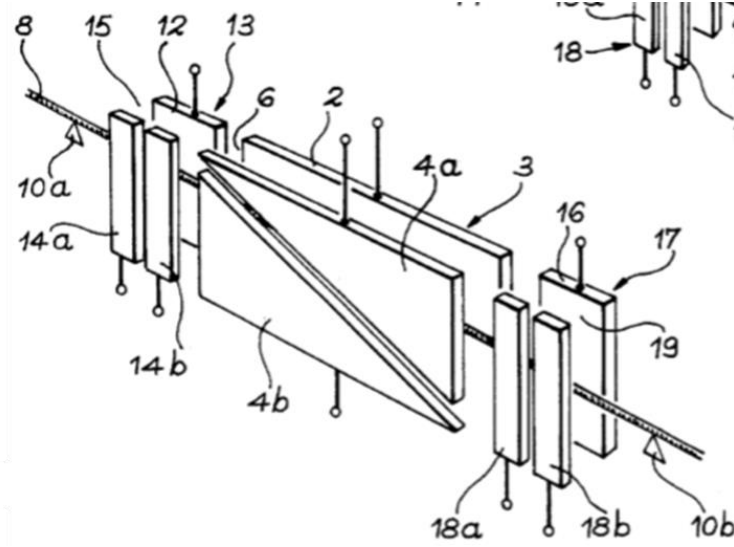
Temassız hız ölçümünde ise Şekil 2.33'te gösterilen ve aralarında "D" mesafesi bulunan 13-14 ve 17-18 nolu kapasitanslar kullanılmaktadır. 13-14 ve 17-18 nolu kapasitanslar gerginlik ölçümünde kullanılan kapasitanslar ile aynı yapıya sahiptir. 12 nolu iletken plaka (elektrod) tek parça iken 14 nolu elektrod 14a ve 14b olmak üzere köşegenden iki parçaya ayrılmıştır. Benzer şekilde 16 nolu iletken plaka (elektrod) tek parça iken 18 nolu iletken plaka 18a ve 18b olmak üzere köşegenden 2 ayrı plakaya ayrılmıştır. Buna göre her iki kapasitör ünitesi 2 şer adet kapasitans oluşmaktadır. Bu şekilde sinyal duyarlılığı artmaktadır. Temassız olarak hız ölçümünde ilk kapasitans (12-14) tarafından iplikte algılanan rastgele değişen bir sinyalin aynısı ikinci kapasitans (16-18) tarafından Δt zamanı geçtikten sonra algılanır. İki kapasitans arasındaki mesafe bilindiğinden ("D") ve aynı sinyalin "D" mesafesi sonrası tekrar algılanmasına kadar geçen süre Δt olarak ölçüldüğünden plakalar arasından geçen ipliğin hızı $v=D/\Delta t$ olarak hesaplanır. Tekrar belirtmelidir ki temassız hız ölçümünde de kapasitanslar tarafından üretilen sinyallerin spektral analizlerinden faydalanmaktadır. Şekil 2.34'te filament ipliğin hem hızını hem de gerginliğini temassız olarak ölçen kapasitans üniteleri tek bir ünite olarak gösterilmektedir. Temassız ölçme sisteminde şekilde gösterilen sistemin ötesinde kapasitanslardan gelen sinyalleri kuvvetlendiren ve işleyen elektronik devreler kullanılmaktadır. Temassız iplik gerginliği ölçme sensörleri kullanılması tercih edilecek bir yöntem olmasına rağmen endüstride henüz yaygınlık kazanmış değildir.



Şekil 2.32. Temassız gerginlik ölçme ünitesi (Barat ve Salles 1996)



Şekil 2.33. Temassız hız ölçme ünitesi (Barat ve Salles 1996)



Şekil 2.34. Temassız hız ve gerginlik ölçme ünitelerinin birlikte sensör formundaki görünüşü (Barat ve Salles 1996)

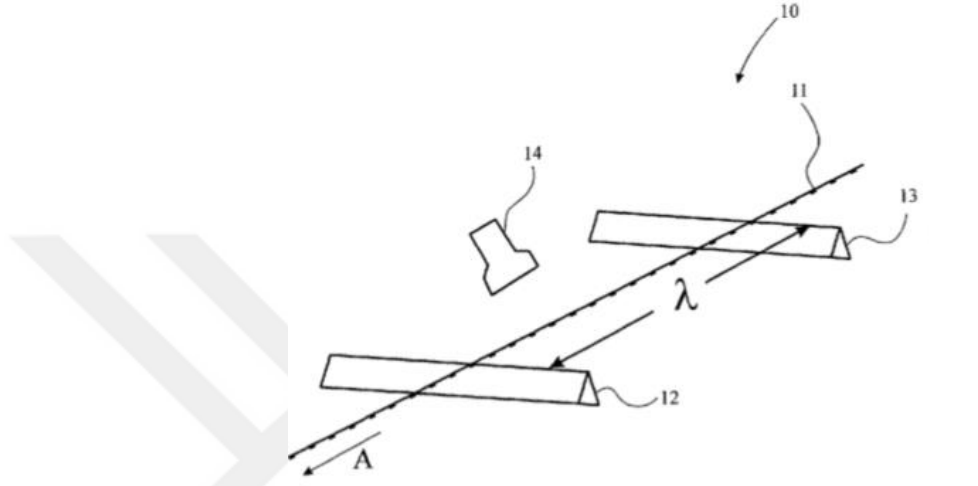
İplik gerginliğinin temassız yöntemle ölçümü için alınan bir dünya patenti aşağıda açıklanmaktadır. Şekil 2.35'te, iplik (11) 12 ve 13 nolu kılavuzlara temas ederek belirli bir hızla hareket etmektedir. Kılavuzlar arası mesafe λ ile gösterilmekte olup iki kılavuz arasında temassız gerginlik ölçme sensörü (14) bulunmaktadır. Hareket halindeki iplik üzerine ışık düşürülmektedir. İplikten yansıyan ışık ayrıntısı Şekil 2.36'da verildiği gibi bir lens ile odaklanarak optik esaslı bir sensör üzerine düşürülmektedir. Sensörde ışık yayan eleman olarak LED kullanılırken ışık algılama elemanı olarak CCD veya fotodiyot esaslı bir lineer kamera veya dizi kullanılmaktadır. Kısa zaman aralıkları ile ipliğin görüntüsü CCD lineer kamera ile alınmaktadır. Alınan görüntü işlenerek iplik titreşimine ait doğal frekans belirlenmekte ve daha sonra aşağıdaki formül kullanılarak iplik gerginliği hesaplanmaktadır.

$$f(Hz) = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{T}{\rho}} \dots\dots\dots(2.11)$$

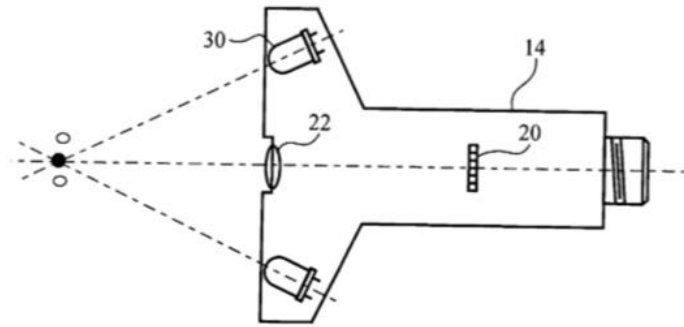
Bu denklemde $n=1$ alınır. Yani ilk temel frekans alınır. T gerginlik, l metre cinsinden 2 kılavuz arasındaki mesafe ve ρ ipliğin lineer yoğunluğudur. Frekans sensör tarafından temassız olarak ölçüleceğinden iplik gerginliği aşağıdaki gibi bulunur.

$$T = \rho \cdot \left(\frac{2lf}{n}\right)^2 \dots\dots\dots(2.12)$$

Bu yöntemle gerginlik ölçümü makinelerde kayışların gerginliklerinin temassız olarak ölçülmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla geliştirilmiş ve ticari olarak satılan gerginlik ölçme sensörleri mevcuttur. Ancak iplik gerginlik ölçümünde genel kullanıma yönelik ticarileşmiş bir ürün bulunmamaktadır.



Şekil 2.35. Temassız iplik gerginlik ölçme prensibi (Palitha 2005)



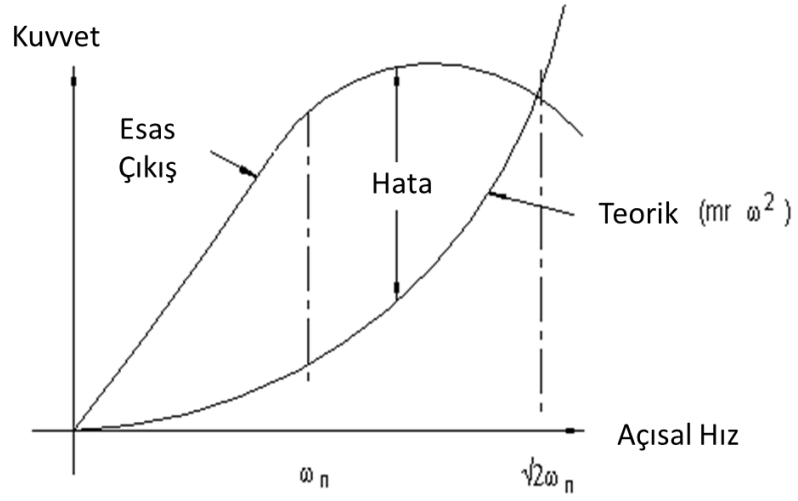
Şekil 2.36. Temassız iplik gerginlik ölçümüne ait sensör (Palitha 2005)

Shankam ve ark. (2009) kablo büküm makinelerinde kullanılmak üzere MEMS teknolojisi ve kablosuz veri iletim teknolojisini kullanarak bir iplik gerginlik ölçme sensörü geliştirmişlerdir. Bu amaçla Şekil 2.37.a'da görüldüğü gibi 2 bölmeden oluşan bir kutunun sağ tarafına giriş ve çıkışta birer seramik kılavuz yerleştirilmiş olup kutunun ortasından iplik yaklaşık 15 derece eğilerek sürtünüp geçeceği bir seramik kılavuz çubuk sabitlenmiştir. Kılavuz seramik çubuğun ortasından iplik geçerken aşağı

Direnç tipi algılayıcılarla (strain gauges) dinamik gerginlik ölçümü birçok tekstil makine ve prosesinde gerçekleştirilen bir uygulamadır. Dirençler elastik yapısından dolayı değişik tipte zorlamaların etkisinde bir yay gibi davranan bir metal parçaya yapıştırıldığından dinamik kuvvetlerin ölçümünde yay-kütle sisteminden oluşan bir mekanik sistemin davranışı pratik açıdan önem arz eder ve ölçme hassasiyeti üzerinde önemli bir etki gösterir. Böyle bir mekanik sisteme bir kuvvet uygulanıp sonra da ortadan kaldırıldığında sistem doğal haliyle titreşim gösterir. Bu titreşime ait frekans sistemin doğal frekansı olarak isimlendirilmekte ve ω_n ile gösterilmektedir. Doğal frekans aşağıdaki gibi verilmektedir.

Bu denklemde k: N/m olarak yay sertliği, m ise kg cinsinden titreşen sistemin kütesini temsil etmektedir. Ölçme amaçlı olarak mevcut yük hücrelerine ilave kütleler eklenmesi durumunda bu denklemdeki kütle yük hücrelerinin kütesi ve eklenen kütlelerin toplamından oluşacaktır.

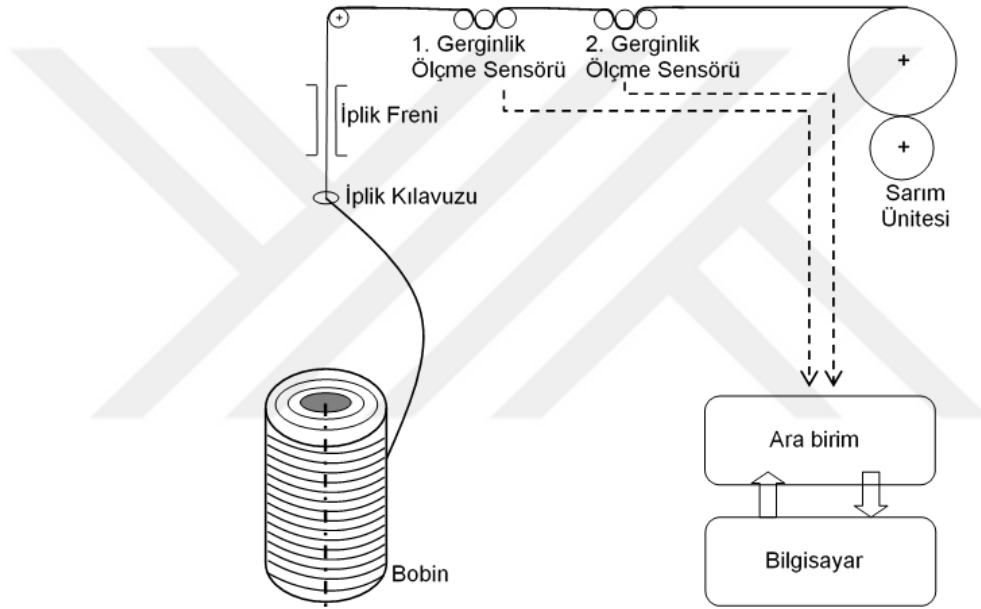
Buna göre değeri ölçülecek dinamik gerginlik ile ölçülen gerginlik arasında gerginliğin frekansına bağlı olarak Şekil 2.38'deki gibi bir farklılık oluşmaktadır. Ölçülen ve gerçek gerginlik arasındaki maksimum sapma gerginliğin frekansı doğal frekansa eşit olduğunda ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden ölçme sistemine ait doğal frekansın 1:10 u kadar frekansta gerginliklerde ölçülen değer ve gerçek değer arasında %1 in altında bir fark ortaya çıktığından ölçme sistemi gerginlik ölçme frekansı, doğal frekansın en fazla 1:10 seviyesinde olmalıdır. Aksi takdirde dinamik gerginlik veya kuvvetlerin istenilen hassasiyetle ölçülmesi mümkün olmaz. Bu oran 1:4 olduğunda sapma %10 ve 1:2 olduğunda %30 seviyelerinde gerçekleşmektedir. Gerginlik frekansı $\sqrt{2} \omega_n$ olduğunda ise beklenen ve ölçülen gerginlik değerleri yine eşitlenmektedir. (<https://www.hitecsensors.com/technical/frequency-response-of-sensors/>, 2018).



Şekil 2.38. Beklenen ve ölçülen gerginlik eğrileri
(<https://www.novatechloadcells.co.uk/eng/e006.htm>, 2018)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu tez çalışması kapsamında tekstil proseslerinde büyük önem arz eden ve birçok uygulama alanı bulunan iplik gerginliğinin dinamik olarak ölçümünü gerçekleştiren ve kontrol sistemlerinde de kullanılabilen bir gerginlik sensörünün tasarımı ve üretimi yapıp performans testleri gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen iplik gerginlik sensörlerinin performansını ölçüp kaydeden ve daha sonra değerlendiren bir deney düzeneği oluşturulup, yazılım geliştirilmiştir. Şekil 3.1’de geliştirilen deney düzeneği şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Sistemin şematik görünümü (Çelik 2018)

Geliştirilen deney düzeneği çaklık, iplik freni, iplik gerginlik sensörleri, bobin makinesi, veri toplama kartı ve bir kişisel bilgisayardan oluşmaktadır. Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalar esnasında bobin tek üniteli çaklığa yerleştirilmektedir ve bobinle eş merkezli olarak konumlandırılan kılavuzdan geçtikten sonra iplik, iplik freninden geçmektedir. İplik freninden sonra iplik gerginliği ard arda yerleştirilen iki adet gerginlik ölçme sensörü ile ölçülmektedir ve daha sonra sarım makinesinde iplik yeni bir bobin üzerine aktarılmaktadır. C programlama dilinde geliştirilen bir yazılımla iki sensörden de okunan iplik gerginlik değerleri eş zamanlı olarak kaydedilmektedir. Birinci gerginlik ölçme sensörü olarak piyasada kullanılan Schmidth marka

(Almanya’da üretilmektedir) ticari bir gerginlik ölçme sensörü ve ikinci gerginlik ölçme sensörü olarak performansı araştırılan gerginlik ölçme sensörü konumlandırılmıştır. Deneysel çalışmalar 600 denye kontinü filaman polyester ipliği kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.1. Materyal

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında kullanılan alet, cihaz ve iplikler ilgili başlıklar altında açıklanmıştır.

Tez çalışması kapsamında kullanılan deney düzeneği mekanik donanım, elektronik donanım ve yazılım sistemi olmak üzere 3 ana kısımdan oluşmaktadır. Deney düzeneği deneysel sistemin genel görünüşü Şekil 3.2’de gösterilmektedir.



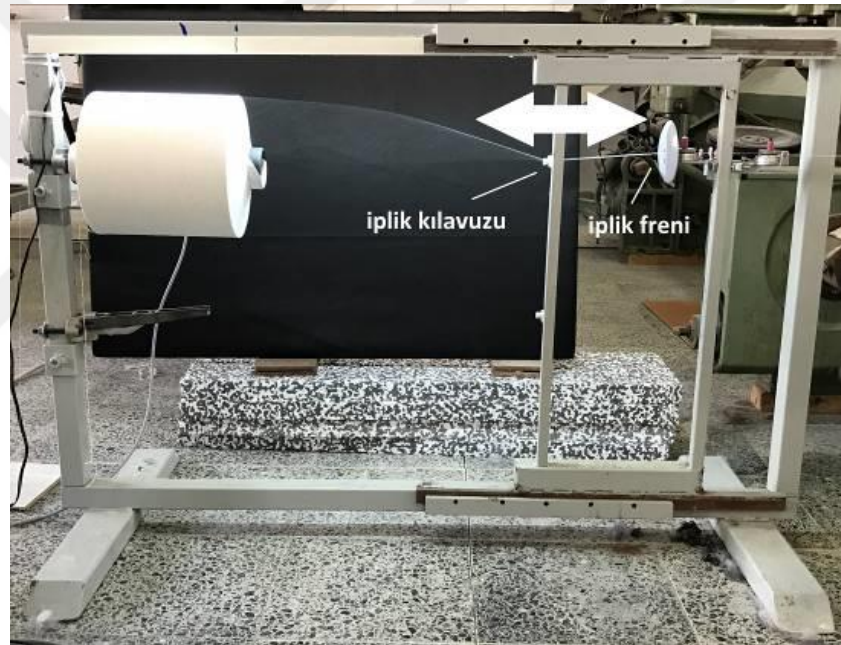
Şekil 3.2. Deney düzeneği genel görünüşü (Çelik 2018)

3.1.1. Sistemin mekanik yapısı

Sistemin mekanik yapısı, bobinin yerleştirildiği cağlık ve boşalan ipliğin yeni bir bobine sarıldığı sarım ünitesinden oluşmaktadır.

Cağlık ünitesi

Cağlık ünitesinde bobinle eş merkezli olarak konumlandırılan ve boşalan ipliğin iplik frenine yönlendirilmesini sağlayan iplik kılavuzu, iplik freni ve birinci ve ikinci iplik gerginlik sensörlerinin takıldığı montaj aparatları yer almaktadır. Tek bobinlik cağlık ünitesi Şekil 3.3'te görülmektedir.



Şekil 3.3. Tek bobinlik cağlık ünitesi (Çelik 2018)

Sarım ünitesi

Tek bobinlik cağlıktan sağılan iplik birinci ve ikinci iplik gerginlik sensörlerinden geçtikten sonra sarım ünitesinde yeni bir bobin üzerine aktarılmaktadır. Tez çalışması kapsamında kullanılan ve Şekil 3.4'te gösterilen sarım makinesi 2 ünitelidir. Bobin makinesinin bir ünitesi konik diğer ünitesi silindirik bobin sarabilmektedir. 6 inç bobin boyunda sarım yapabilen bu bobin makinesinde ulaşabilecek en yüksek bobin çapı 310 mm, ulaşılacak en yüksek hız 820 m/dak'dır. Sarım hızı 50 m/dak ile 820 m/dak

arasında elektronik olarak ayarlanabilmektedir. Kullanılabilecek bobin tipleri ise 6" boyunda $4^{\circ} 20'$ ve $5^{\circ} 57'$ koniklik açılarında konik bobinler ve silindirik bobinlerdir. Tez çalışması kapsamında yapılan deneyler esnasında bobin makinesinin silindirik bobin ünitesi kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Bobin makinesi (Çelik 2018)

3.1.2. Sistemin elektronik yapısı

Sistemin elektronik donanımında iplik frenlerinden sonra konumlanan 2 adet gerginlik ölçme sensörü bulunmaktadır. Tez çalışması kapsamında yapılan deneysel çalışmalar esnasında birinci gerginlik sensörü değiştirilmemiştir, ikinci gerginlik ölçme sensörü olarak performansı araştırılacak gerginlik sensörü konumlandırılmış ve her iki sensöründen okunan veriler karşılaştırılarak geliştirilen gerginlik ölçme sensörünün performansı karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır.

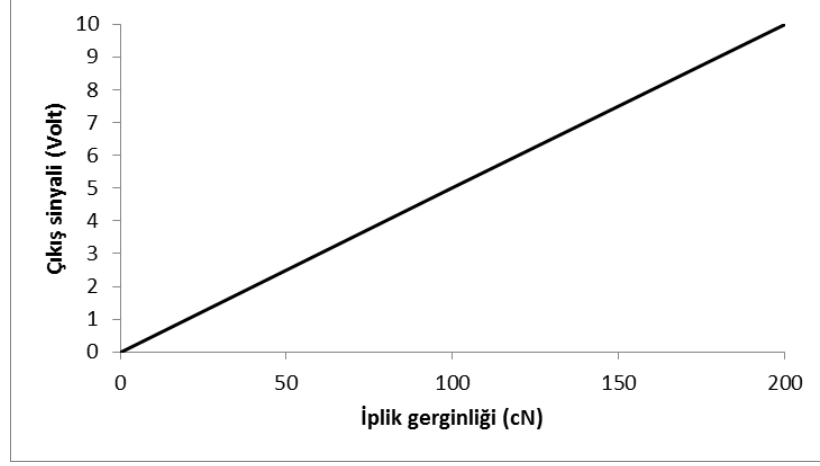
Tez çalışması kapsamında kullanılan tüm iplik gerginlik ölçme sensörleri kalibre edilip bir ara birim kartı (DAQ kartı) üzerinden bir PC ye bağlanmıştır.

Birinci gerginlik ölçme sensörü

Birinci gerginlik ölçme sensörü olarak Schmidt (Almanya) firmasına ait 0-200 cN ölçüm aralığına sahip olan bir gerginlik sensörü kullanılmıştır. Şekil 3.5'te görülen gerginlik ölçme ünitesi kuvvetlendirici devresi ile birlikte tez kapsamında kullanılmıştır. Gerginlik ölçme ünitesi prensip olarak yük hücresi kullanmakta olup 3 adet makara arasından geçen ipliğin orta makaraya etki ettirdiği bileşke kuvvet yük hücresinde direnç değişimine sebep olmakta ve direnç değişimi elektriksel sinyale dönüştürülerek iplik gerginliği ölçülmektedir. 0-200 cN arasında değişen iplik gerginliği 0-10 Volt arasında değişen çıkış gerilimi ile temsil edilmektedir. Bu gerginlik ölçme sensörünün ölçme hassasiyeti ± 1 cN sınırları içerisindeydir. Şekil 3.6'da ise bu sensöre ait çıkış sinyali-iplik gerginliği arasındaki doğrusal ilişki gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Schmidt iplik gerginlik ölçme sensörü (Çelik 2018)



Şekil 3.6. Schmidt iplik gerginlik sensörü çıkış sinyali- iplik gerginliği ilişkisi

İkinci gerginlik ölçme sensörü

İkinci gerginlik sensörü tez kapsamında tasarlanmış olup eğilmeye zorlanmayı algılayan direnç tipi (strain gauge) yük hücrelerinden oluşmaktadır. Bu amaçla farklı maliyet kategorilerinde 3 farklı yük hücresi kullanılmıştır. İkinci gerginlik ölçme sensörü olarak kullanılan yük hücreleri ile ilgili teknik bilgi ve boyutlar aşağıda verilmektedir.

1 numaralı yük hücresi

İkinci gerginlik ölçme sensörü tasarımında kullanılan 1 numaralı yük hücresi Şekil 3.7’de verilen “Laumas Elettronica S.r.l.” firması üretimidir ve 0,5 kg ölçme aralığına sahiptir.

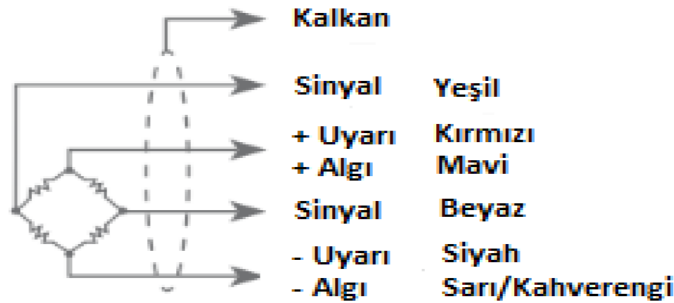


Şekil 3.7. 1 numaralı yük hücresi (<https://www.laumas.com/en/products/load-cells-and-mounting-kits/single-point-load-cells/>, 2018)

1 numaralı yük hücresine ait teknik özellikler aşağıda verilmiştir.

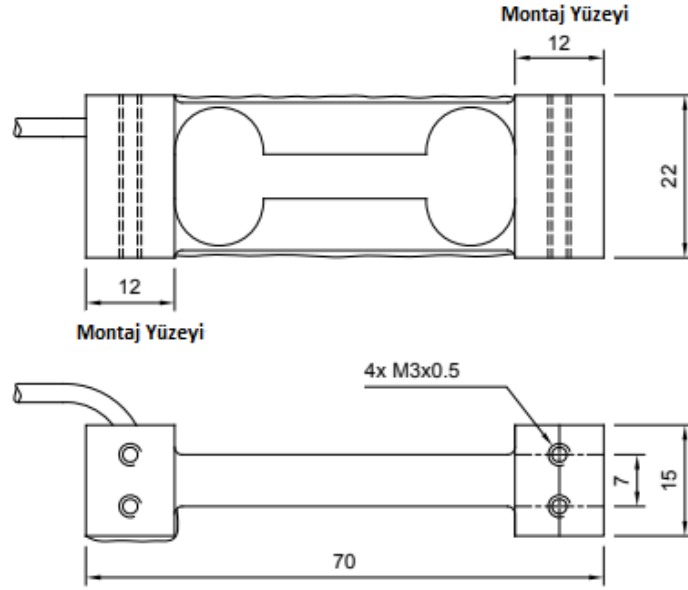
- Ölçme aralığı: 0- 0.5 kg
- Platform Boyutu: 200x200mm
- Yük Hücresi Ağırlığı: 0.1 kg
- Kod: AS05
- Malzeme : Alüminyum alaşımı
- Nominal Yük (E maks): 0.25 - 0.50 - 1.00 kg
- Hata: $\leq \pm 0.03\%$
- Koruma Sınıfı: IP65
- Nominal Çıkış: 1 mV/V $\pm 15\%$
- Giriş Direnci: 410 $\Omega \pm 10$
- Çıkış Direnci: 350 $\Omega \pm 3$
- Sıcaklık Etkisi: 0.0025% $^{\circ}\text{C}$
- Sıfır Dengesi: $\pm 2\%$
- Telafi Edilmiş Sıcaklık Aralığı: -10 $^{\circ}\text{C}$ / +40 $^{\circ}\text{C}$
- Yalıtım Direnci: >2000 M Ω
- Çalışma Sıcaklığı Aralığı: -20 $^{\circ}\text{C}$ / +60 $^{\circ}\text{C}$
- Güvenli Yük (%): 200
- Nominal Yükte 30 Dakikada Sürünme: 0.03%
- Nihai Yük (%): 400
- Hasarsız Maksimum Besleme Gerilimi: 15 V
- Nominal Yükte Sapma: 0.3 mm
- Kablo Uzunluğu: 3 m
- Kablo Çapı: 2.5 mm
- İç Çapı: 4/6 x 0.20 mm²

1 numaralı yük hücresinin elektriksel bağlantı ile ilgili özellikleri aşağıdaki gibidir ve bu yük hücresine ait elektriksel bağlantı Şekil 3.8’de verilmektedir.



Şekil 3.8. 1 numaralı yük hücresine ait elektriksel bağlantı (<https://www.laumas.com/en/products/load-cells-and-mounting-kits/single-point-load-cells/>, 2018)

1 numaralı yük hücresine ait boyutlar Şekil 3.9’da verilmektedir.



Şekil 3.9. 1 numaralı yük hücresine ait boyutlar (<https://www.laumas.com/en/products/load-cells-and-mounting-kits/single-point-load-cells/>, 2018)

2 numaralı yük hücresi

İkinci gerginlik ölçme sensörü tasarımında kullanılan yük hücresi Şekil 3.10’da verilen “ME-Meßsysteme GmbH” firması üretimi “KD45 2N” modelidir.



Şekil 3.10. 2 numaralı yük hücresi (https://www.me-systeme.de/product-pdf?product_id=1709&lang=en, 2018)

2 numaralı yük hücresine ait teknik özellikler aşağıda verilmiştir.

- Tip: Kuvvet Sensörü
- Kuvvet Yönü: Gerilim / Bası
- Ölçme aralığı Fx: 2N
- Kuvvet Giriş: İç Vida
- Boyut 1: 1xM3x0,5
- Sensör Bağlantısı: Delikten Sensör Sabitleme
- Boyut 2: 2xØ3,2
- Çalışma Kuvveti: 400% FS
- Yer Değiştirme Değeri: 0.1 mm
- Yan kuvvet limiti: % 100 FS
- Malzeme: Alüminyum Alaşımı
- Doğal Frekans: 2 kHz
- Yükseklik: 8 mm
- Uzunluk: 45 mm

Elektriksel Veri

- Giriş Direnci: 420 Ohm
- Giriş Direnci Toleransı: 30 Ohm
- Çıkış Direnci: 350 Ohm
- Çıkış Direnci Toleransı: 3 Ohm
- İzolasyon Direnci: 5×10^9 Ohm
- Tahrik Gerilimi Aralığı: f 2,5 ... 5 V
- Tahrik Gerilimi Çalışma Aralığı: f 1 ... 10 V
- Sıfır Sinyal: 0,05 mV / V
- Nominal Çıkış: 0,5 mV / V / FS
- Karakteristik Değerin Hatası: % 0.1

Hassasiyet

- Doğruluk Sınıfı: % 0,1
- Bağlı Lineer Hatası: % 0.1 FS
- Bağlı Sıfır Sinyal Histerezisi: % 0.1 FS
- Sıfır Sinyalinde Sıcaklık Etkisi: % 0,02 FS / K
- Karakteristik Değerine Sıcaklık Etkisi: % 0,01 RD / K
- Bağlı Yayılma: % 0.1 FS

Bağlantı Veri

- Bağlantı Tipi: 4 iletken açık
- Bağlantının Adı: STC-31V-4
- Bağlantı Uzunluğu: 1 m

Sıcaklık

- Nominal Sıcaklık Aralığı: -10 ile 70 ° C arası
- Çalışma Sıcaklığı: f -10 ile 85 ° C arası

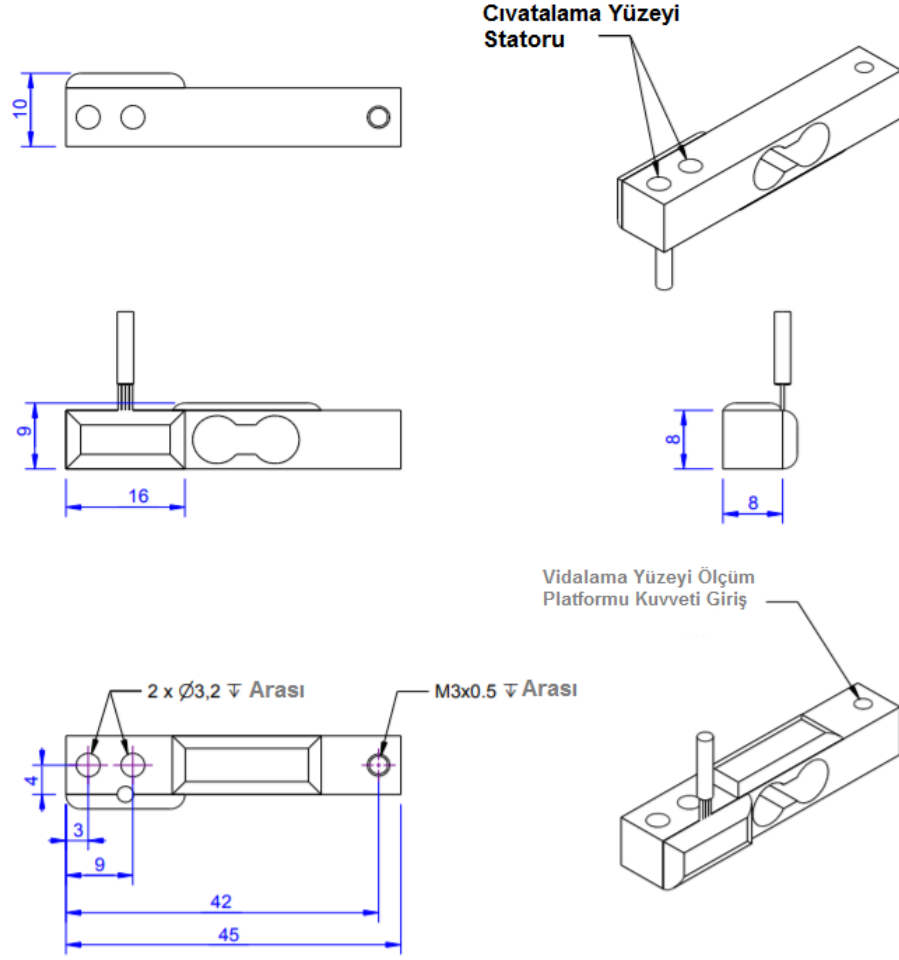
2 numaralı yük hücresine ait elektriksel bağlantı Şekil 3.11’de, bu yük hücresinin boyutları ise Şekil 3.12’de gösterilmektedir.

Pin Configuration

Symbol	Description	Wire colour
+Us	positive bridge supply	red
-Us	negative bridge supply	black
+Ud	positive bridge output	green
-Ud	negative bridge output	white

*Pressure load: positive output signal.
Shield: transenarant*

Şekil 3.11. 2 numaralı yük hücresine ait elektriksel bağlantı (https://www.me-systeme.de/product-pdf?product_id=1709&lang=en, 2018)



Şekil 3.12. 2 numaralı yük hücresine ait boyutlar (https://www.me-systeme.de/product-pdf?product_id=1709&lang=en, 2018)

3 numaralı yük hücresi

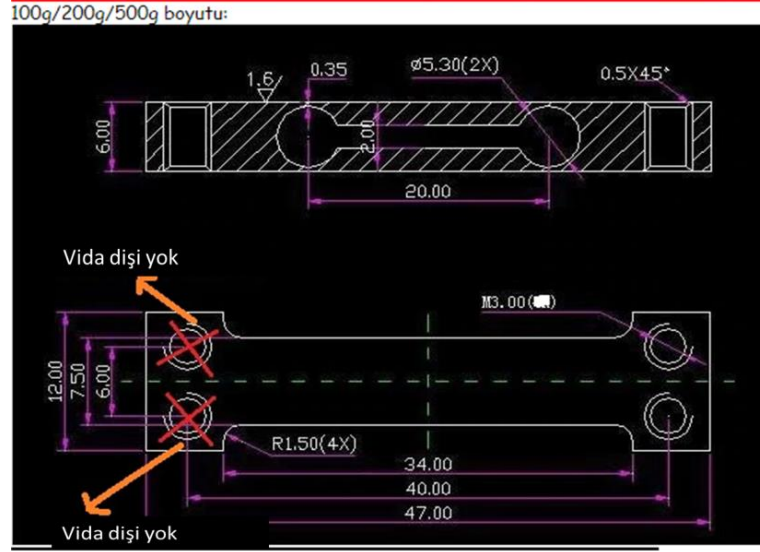
İkinci gerginlik ölçme sensörü tasarımında kullanılan 3 numaralı yük hücresi Şekil 3.13'te verilen "XNQ Electronic Company Store" markasına aittir.

3 numaralı yük hücresine ait teknik özellikler ve elektriksel bağlantı bilgileri aşağıda verilmiştir.

100g 200g 300g 500g 750g ürün bilgileri ve teknik özellikleri:

Kırmızı:Güç(+), Siyah:Güç(-), Yeşil:Sinyal(+), Beyaz:Sinyal(-)

- Ürün Adı: Tartı Yük Hücresi
- Nominal Yük: 100g/0.22Lb
- Ranted Çıkış: 1.0 +/-10% mV/V
- Olmayan Doğrusallık: % 0.02% FS.
- Histerezis: % 0.02% FS.
- Tekrarlanabilirlik: % 0.02% FS.
- Sıfır Denge: +/-% 2% FS.
- Sıcaklık Etkisi üzerinde Sıfır: 0.025% F. S./10C
- Sıcaklık Etkisi üzerinde Sıfır Çıkış: 0.025% F. S./10C
- Sünme (30 dak): % 0.03% FS.
- Giriş Empedansı: 410 +/-30 Ohm
- Çıkış Empedansı: 350 +/-3 Ohm
- Yalıtım: 2000 Megohm/50 v DC
- Telafi Sıcaklık Aralığı: -10C ~ 40C
- Çalışma Sıcaklığı Aralığı: -20C ~ 60C
- Güvenli Aşırı Yük: % 150% FS.
- Ultimate Aşırı Yük: % 300% FS.
- Giriş Ucu: Kırmızı: +, Siyah-
- Çıkış Ucu: Mavi: +, Beyaz-
- Tavsiye Uyarma: 10 V
- Maksimum Uyarma: 15 V
- Yük Hücresi Boyutu: 47x12x6mm/1.9 "x 0.47" x 0.24 "(L * W * t)
- Thead Delik Çapı: 3mm/0.12"
- Delik Merkezi Mesafesi: 40x6mm/1.6 "x 0.24" (L * Max. W)
- Kablo Uzunluğu: 8 cm/3.1"
- Ana Renk: Gümüş Ton
- Malzeme: Alüminyum Alaşım
- Ağırlık: 15g



Şekil 3.13. 3 numaralı yük hücresine ait boyutlar

Kuvvetlendirici

İkinci gerginlik ölçme sensörü tasarımında kullanılan ve yukarıda açıklanan 1, 2 ve 3 numaralı yük hücrelerinden elde edilen sinyaller 5-10 mV seviyelerindedir ve bu değerleri volt seviyesine yükseltebilmek için sistemin elektronik yapısında kuvvetlendirici kullanılmaktadır. Tez çalışması kapsamında kullanılan kuvvetlendirici Şekil 3.14’te verilen “TLE” marka yük hücresi kuvvetlendirici devresidir. Bu kuvvetlendirici devreye ait teknik özellikler aşağıda verilmiştir (<https://www.laumas.com/en/product/tle-analog-weight-transmitter-rs485/>, 2018).

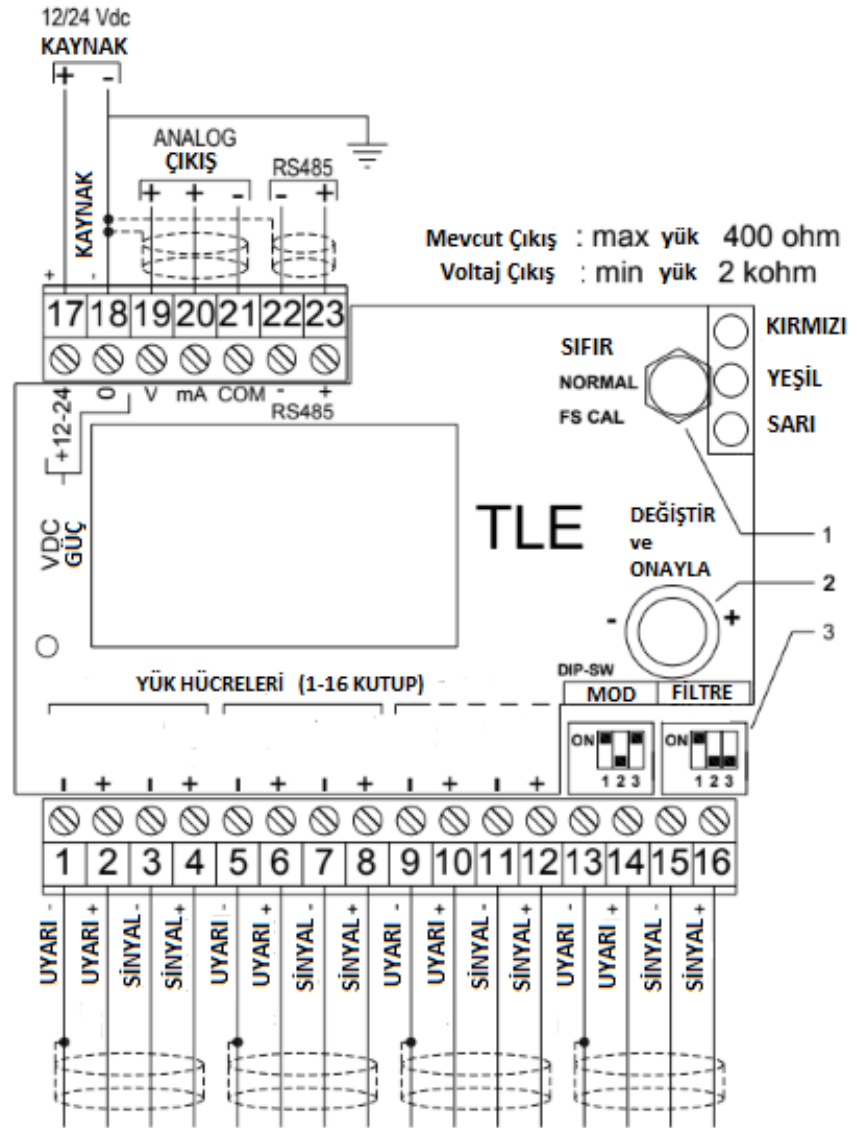
- Güç Kaynağı ve Tüketimi: 12 - 24 VDC +/- 10% ; 3 W
- Paralel ve Kaynaktaki Yük Hücresinin Numarası: max 8 (350 ohm) ; 5VDC/120mA
- Doğrusallık / Analog Çıkışın Doğrusallığı: < 0.01% Tam Ölçü / < 0.01% Tam Ölçü
- Termal Eğilimi / Analog Çıkışın Termal Eğilimi: < 0.0005 % Tam Ölçü/°C / < 0.003 % Tam Ölçü/°C
- Analog-Dijital Dönüştürücü: 24 bit (16000000 sayı) 4.8kHz
- Maksimum Bölümler (ölçüm aralığı ile: +/- 10mV = 2mV / V): ± 200000
- Ölçme Aralığı: ± 39 mV
- Maksimum Yük Hücresinin Duyarlılığı: ± 7 mV/V
- Maksimum Saniye Başına Dönüşüm: 300
- Dijital Filtre / Dönüşüm Oranı: 0.003 ÷ 4 s / 10 ÷ 300 Hz

- Seri Giriş: RS485
- Baud Hızı: 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 115200
- Rutubet: %85
- Depolama Sıcaklığı: -30°C - 80°C
- Çalışma Sıcaklığı: -20°C - 60°C



Şekil 3.14. Kuvvetlendirici devre (<https://www.laumas.com/en/product/tle-analog-weight-transmitter-rs485/>, 2018)

Kuvvetlendiriciye ait bağlantı şeması Şekil 3.15'te gösterilmektedir.



1: Seçici Anahtar 2: Topuz Kontrolü 3: DIP Anahtar

Şekil 3.15. Kuvvetlendiriciye ait bağlantı şeması
(<https://www.laumas.com/en/product/tle-analog-weight-transmitter-rs485/>, 2018)

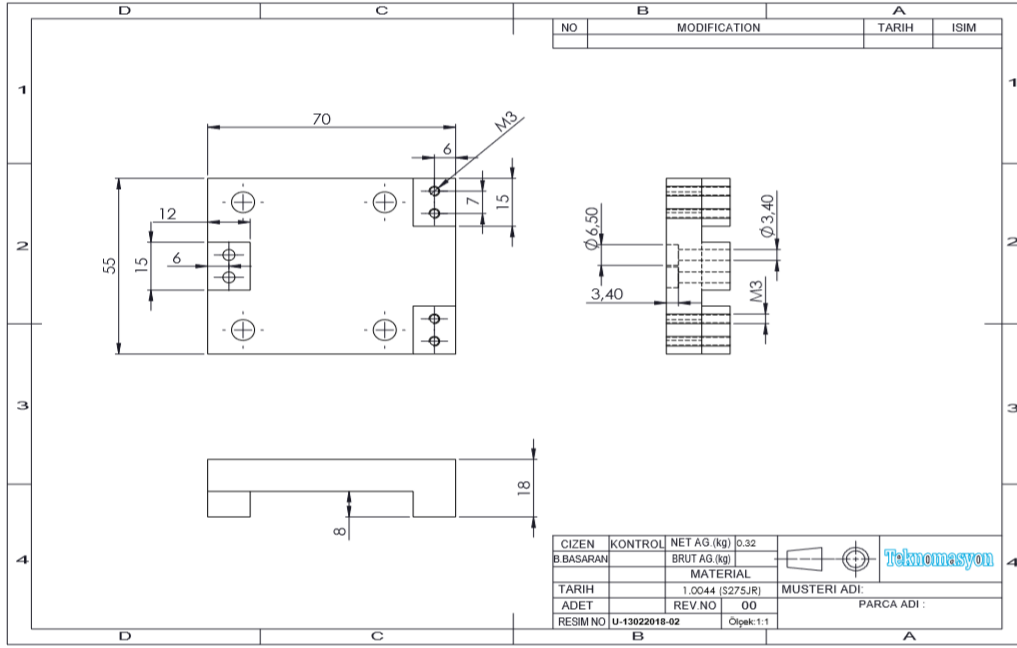
3.1.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan iplik özellikleri

Geliştirilen gerginlik sensörlerinin performans testlerinde 600 denye multifilament poliester ipliği kullanılmıştır. Silindirik bobine sarılan puntalı multifilament ipliğin sarımında kaba sarım yöntemi kullanılmıştır.

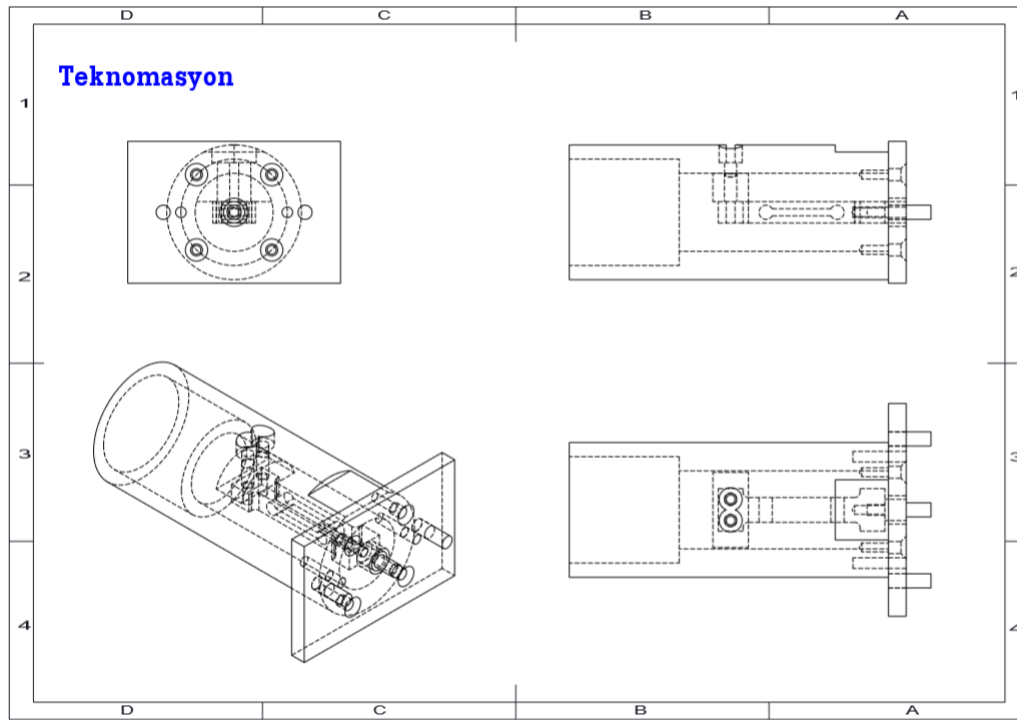
3.2. Yöntem

3.2.1. Gerginlik ölçme sensörü tasarımı

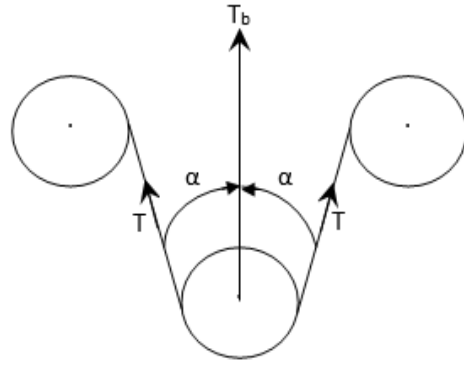
Tez çalışması kapsamında iplik gerginliğinin dinamik olarak ölçümünü gerçekleştirebilecek iplik gerginlik sensörünün tasarımında Materyal başlığı altında açıklanan 1, 2 ve 3 numaralı yük hücreleri kullanılarak 3 farklı iplik gerginlik sensörü tasarımı yapılmıştır. Yük hücrelerinin monte edilebileceği şekilde gerçekleştirilen sensör tasarımlarına ait teknik çizimler Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de verilmektedir. Sensör tasarımına ait teknik çizimler Solidworks bilgisayar programında gerçekleştirilmiştir. Sensörlerin imalatında düşük kuvvetlerin ölçümü söz konusu olduğu için alüminyum malzeme kullanılmıştır. Tüm tasarımlarda yük hücreleri etkileyen iplik gerginliğinin neticesinde eğilmeye zorlanarak ölçüm yapmaktadır. Bu amaçla tasarımda yük hücrelerinin bir ucu gövdeye sabitlenmiş olup diğer ucuna ipliğin etrafından dolanarak kuvvet uyguladığı makara serbestçe kendi ekseni etrafında dönecek şekilde mafsallanmıştır. İplik ölçme ünitesi, gövdesine kendi ekseni etrafında dönecek şekilde monte edilmiş iki adet makara ile yük hücrelerinin ucuna takılıp yer değiştirmesine olanak sağlanan ve kendi ekseni etrafında dönebilen üçüncü makaradan oluşmaktadır. İplik baş ve sondaki makaraların kılavuzluğunda ortadaki makara etrafından dolanarak ilerlemektedir. Buna göre orta makaraya dikey doğrultuda etkileyen kuvvet (T_b) Şekil 3.18’deki gibi ortadaki makaraya gelen ve giden iplik gerginliklerinin bileşkesi olarak belirlenmektedir.



Şekil 3.16. 1 ve 2 numaralı sensörün teknik çizimi ve boyutları



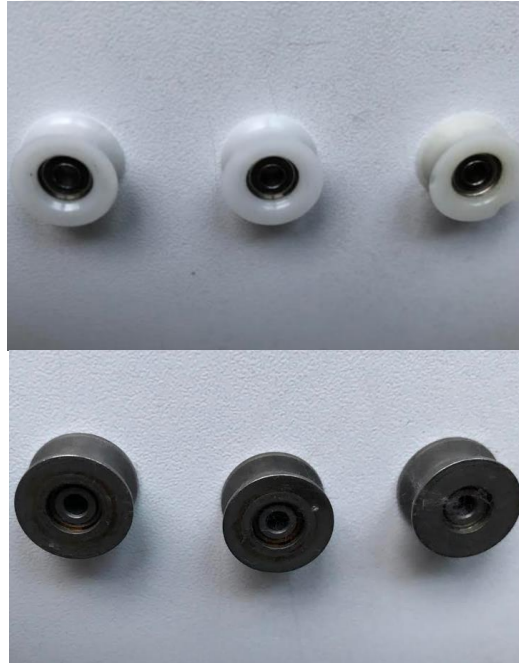
Şekil 3.17. 3 numaralı sensörün teknik çizimi



Şekil 3.18. Gerginlik sensöründe orta makaraya etkiyen bileşke kuvvet

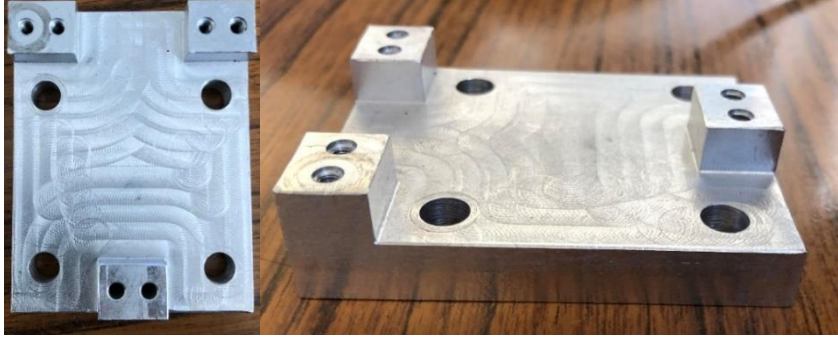
$$T_b = 2T \cos \alpha \dots \dots \dots (3.1)$$

Tasarlanan gerginlik sensörlerinde plastik ve metal rulmanlı yatağa sahip olmak üzere iki farklı tipte makara kullanılmıştır. Metal makaralar plastik tipte olanlara nazaran daha ağır olduklarından makara ağırlığının gerginlik sensörü ölçme performansına etkisini görmek açısından deneysel çalışmalara dahil edilmiştir. Şekil 3.19’da beyaz renk ile plastik makaralar, koyu renkli olarak metal makaralar görülmektedir.

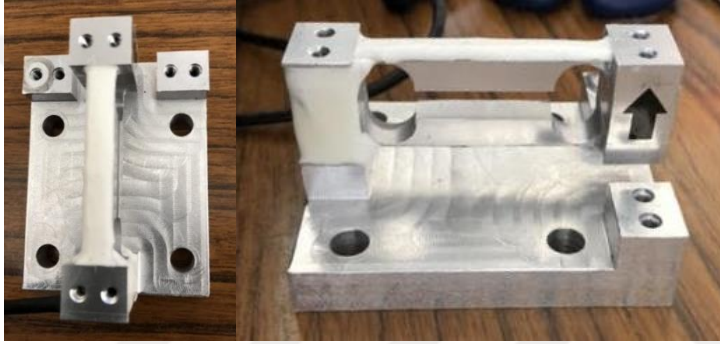


Şekil 3.19. Metal ve plastik makaraların görünüşü

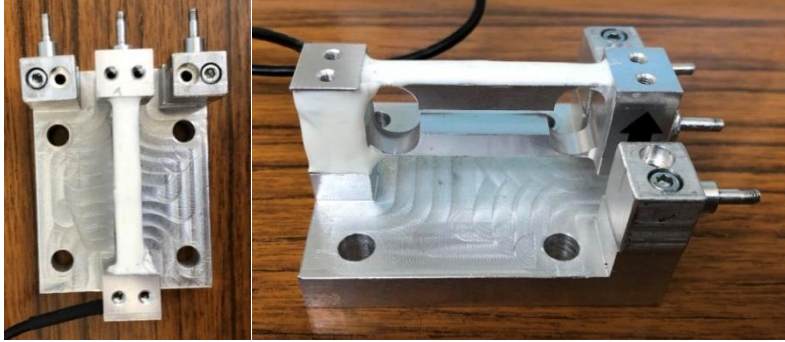
Tasarlanan ve üretimi gerçekleştirilen 1 ve 2 nolu gerginlik ölçme sensörlerine ait montaj aşamaları Şekil 3.20’de aşamalı olarak gösterilmektedir.



a) Yük hücresi takılmamış durum



b) Yük hücresinin gövdeye takılmış durumu



c) Sensöre makara millerinin takılmış durumu



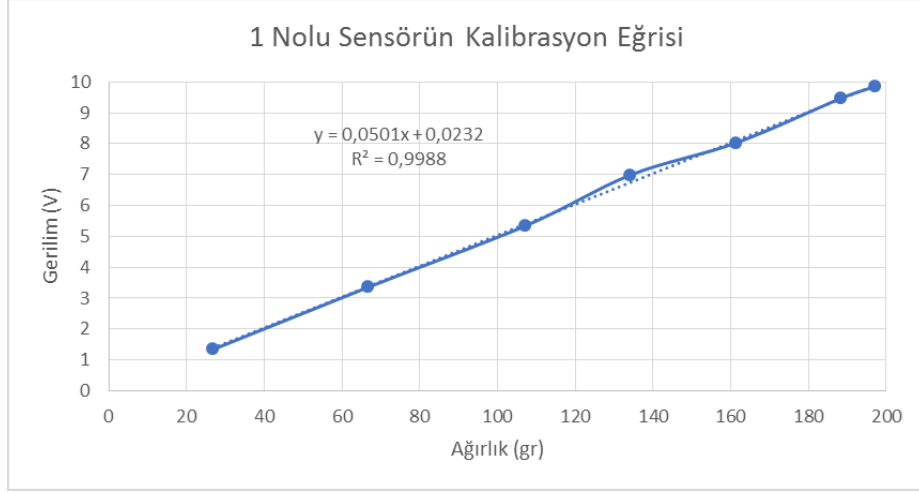
d) Makaralar takılmış halde 1 ve 2 nolu gerginlik sensörünün genel görünüşü

Şekil 3.20. 1 ve 2 nolu sensörlere ait montaj adımları

3.2.2. Gerginlik sensörlerinin kalibrasyonu

Tasarımı gerçekleştirilen ve imalatı yapılan 1, 2 ve 3 gerginlik ölçme sensörleri ile ölçüm işlemine geçilmeden önce kalibrasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Tüm gerginlik ölçme sensörlerine de 0-200 cN arasında gerginlik ölçümü gerçekleştirecek şekilde kalibrasyon işlemi uygulanmıştır. Kalibrasyon işlemi esnasında standart ağırlıklar bulunmadığından dolayı halka şeklindeki ağırlıklar hassas terazide ölçülüp 0-200 cN arasında 9 farklı ağırlık değeri elde edilerek kalibrasyon işlemi uygulanmıştır. Kullanılan ağırlıklar her bir gerginlik sensörü için kalibrasyon tablolarında verilmektedir.

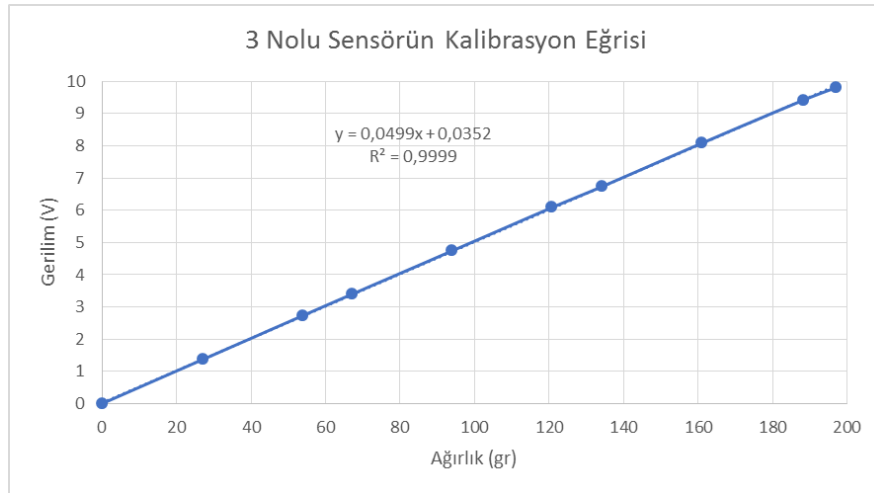
Kalibrasyon işlemi 3 adet makaradan oluşan ölçme kafasındaki 3 adet makara etrafından dolanan ipliğin bir ucunu sabitleyip diğer ucuna ağırlıklar asarak iplikte gerginlik oluşturulması şeklinde gerçekleştirilmiştir. İpliğe etkiyen ağırlık iplik gerginliğini temsil ettiği için uygulanan ağırlıklar direk olarak iplik gerginliği olarak alınmıştır. Kalibrasyon işleminin başlangıcında gerginlik uygulanmadığında çıkış sinyali kuvvetlendiricide bulunan ayar olanağı ile sıfır olarak ayarlanmıştır. Daha sonra 200 cN dan bir miktar küçük bir ağırlık uygulanarak (188,323 g) çıkış sinyali 9,416 V olacak şekilde kazanç ayarı yapılmıştır. Bu ayar 0-200 cN ölçme aralığının 0-10 V çıkış sinyali ilişkisinin lineer olması esas alınarak yapılmıştır. Uygulanan her ağırlığın sonunda elde edilen kuvvetlendirici çıkış sinyali kaydedilip grafik çizilerek kalibrasyon eğrisi elde edilmiştir. Şekil 3.21’de görüldüğü gibi tasarlanan 3 gerginlik ölçme sensörüne ait kalibrasyon grafikleri doğrusal bir değişim göstermekte olup R-kare değeri 1 seviyesindedir. Kalibrasyon işleminde uygulanan ağırlıklar ve çıkış sinyalleri değerleri her bir sensör için sırasıyla Çizelge 3.1, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3’te verilmektedir.



a) 1 nolu sensör için kalibrasyon eğrisi



b) 2 nolu sensör için kalibrasyon eğrisi



c) 3 nolu sensör için kalibrasyon eğrisi

Şekil 3.21. Sensörlere ait kalibrasyon eğrileri

Çizelge 3.1. 1 Nolu sensörün kalibrasyonuna uygulanan ağırlık ve çıkış sinyalleri

Ağırlık (gr)	Gerilim (V)
26,824	1,34
66,84	3,36
107,224	5,344
134,24	6,99
161,43	8,03
188,323	9,47
197,043	9,85

Çizelge 3.2. 2 Nolu sensörün kalibrasyonuna uygulanan ağırlık ve çıkış sinyalleri

Ağırlık (gr)	Gerilim (V)
26,824	1,35
66,826	3,32
93,846	4,72
107,196	5,35
134,216	6,72
161,408	8,06
188,051	9,37
196,771	9,79

Çizelge 3.3. 3 Nolu sensörün kalibrasyonuna uygulanan ağırlık ve çıkış sinyalleri

Ağırlık (gr)	Gerilim (V)
27,02	1,37
53,88	2,73
67,04	3,40
93,90	4,74
120,72	6,09
134,27	6,74
161,09	8,09
188,32	9,43
197,04	9,81

Sistemde yer alan ve analog sinyal üreten birinci ve ikinci iplik gerginlik sensörleri bir arabirim kartı ile masa üstü bilgisayara bağlanmıştır. Ara birim kartı 40 kHz veri iletim kapasitesine sahip olup 16 analog giriş, 1 analog çıkış, 16 dijital giriş, 16 dijital çıkış ile 3 adet sayaç/zamanlayıcı devresine sahiptir. Analog çıkış için 12 bitlik dijital analog dönüştürücü (DAC) kullanılırken analog giriş için 12 bitlik bipolar analog dijital

dönüştürücü (ADC) kullanılmaktadır. ADC'nin 12. biti işaret biti olarak kullanıldığından analog sensör sinyalleri 11 bit kullanılarak dönüştürülmektedir.

Bu durumda tüm iplik gerginlik sensörleri 0-200 cN aralığında ölçme yapacak şekilde 0-10 V aralığında çıkış sinyali üreterek ölçme gerçekleştirdiğinden ADC den okunan değerden hareketle iplik gerginliği değeri aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

$$\text{Ölçülen gerginlik (cN)} = (\text{okunan değer} / (2^{11} - 1)) \times 200 \dots \dots \dots (3.2)$$



4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Tez konusu ile ilgili deneysel çalışmalar kapsamında 3 farklı yük hücresi ile yapılan tasarımlara göre üretilen gerginlik sensörlerinden elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuş ve değerlendirmeler yapılmıştır. Gerginlik ölçümleri ve değerlendirmeler 1,5 milisaniye aralıklarla alınan anlık gerginlik ölçümü sonuçları ve anlık 10.000 adet gerginlik değerinin ortalaması kullanılarak sunulmuş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Aşağıda bu sonuçlar sunulmaktadır.

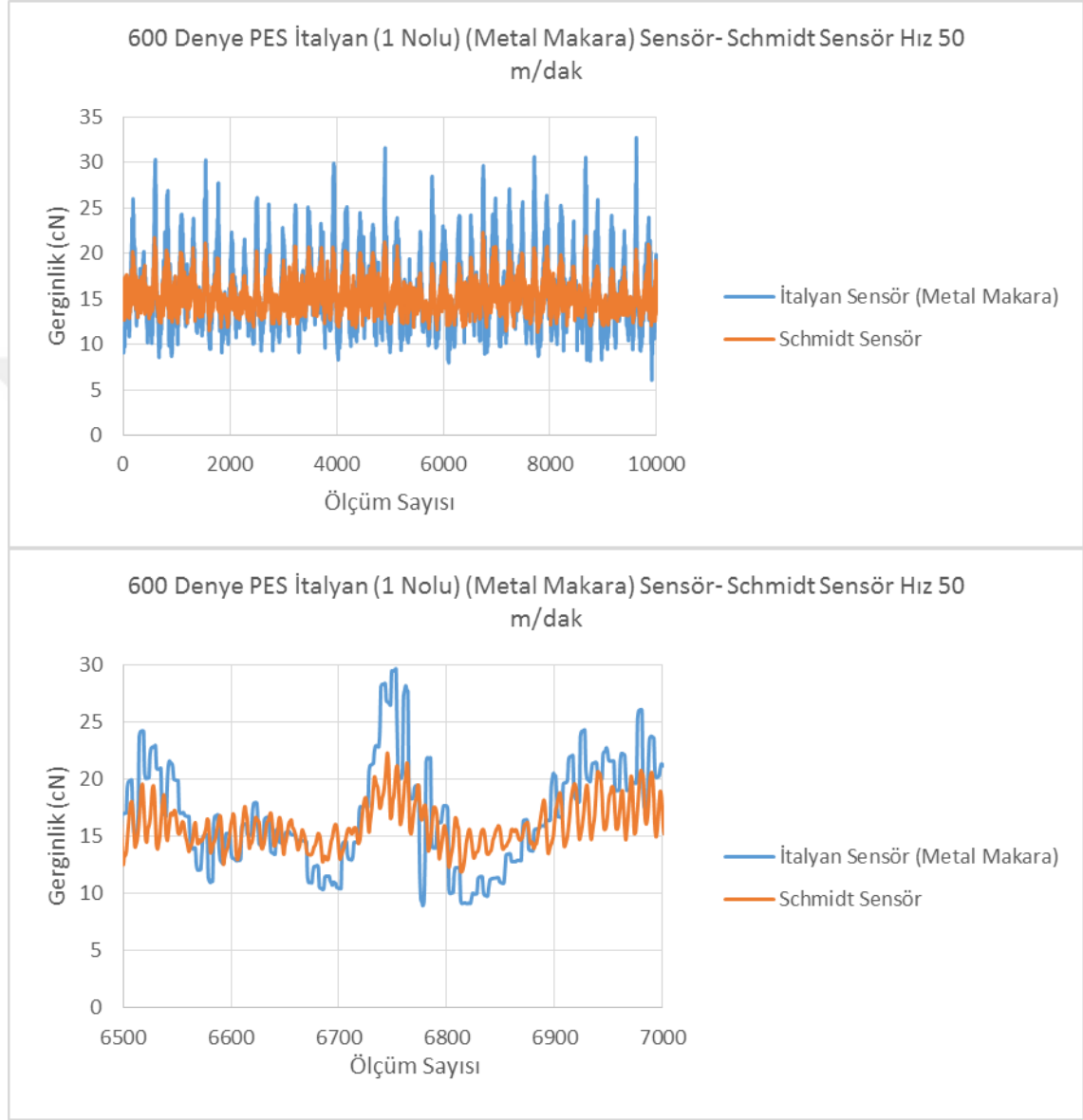
4.1. 1 Nolu Yük Hücresi Kullanılan Gerginlik Sensörü Sonuçları

Materyal ve Yöntem kısmında bahsedildiği ve teknik özellikleri verildiği gibi 1 nolu yük hücresi İtalyan Laumas Elettronica S.r.l. firmasından kuvvetlendirici devresi ile birlikte satın alınmıştır. Bu yük hücresi (0-500 cN ölçme aralığı) kullanılarak tasarlanan gerginlik sensörü 0-200 cN aralığında ölçüm yapacak şekilde kalibrasyon yapıldıktan sonra gerginlik ölçümleri gerçekleştirilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

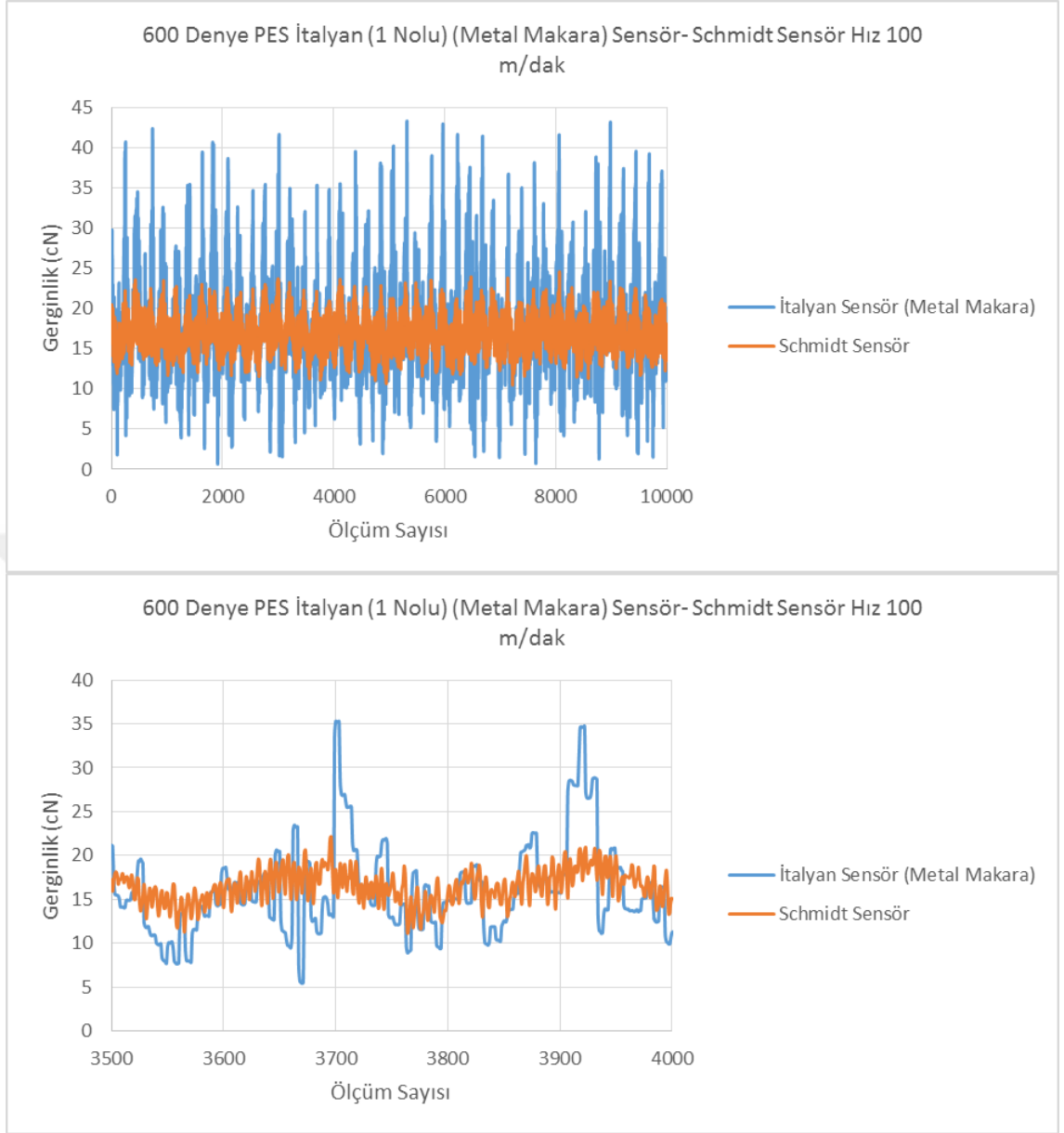
Şekil 4.1- Şekil 4.6 arası grafikler metal makara kullanılması durumunda 1,5 milisaniye aralıklarla alınan 10 000 adet gerginlik değeri ile her bir hıza ait yaklaşık 500 adet gerginlik değerinin değişimini göstermektedir. Aynı grafikte çizilen eğrilerden açıkça görüldüğü gibi ticari gerginlik sensörüne göre tez kapsamında geliştirilen gerginlik sensörü çok daha yüksek genlikte salınım yapan bir değişim göstermektedir. 50 m/dak ile 800 m/dak arasındaki hızlara ait gerginlik eğrileri incelendiğinde düşük hızlarda (200 m/dak' ya kadar) 2 gerginlik sensöründen elde edilen gerginlik değişimlerinin farklı genliklerde olsa da aynı karakteristiğe sahip olduğu görülmektedir. Ancak artan hızlarda (400 m/dak-800 m/dak arası) ticari sensöre göre test kapsamında geliştirilen sensör çok daha yüksek genlikte salınım yapan bir ölçüm gerçekleştirmiştir. Ayrıca 2 sensörün gerginlik değişim şekilleri de ciddi oranda sapma göstermiştir. Bunun sebebinin artan hızlarda gerginlikte meydana gelen yüksek frekanslı değişimlerin yük hücresinde meydana getirdiği titreşim olduğu değerlendirilmektedir.

Şekil 4.7'de her birin 10 000 adet gerginlik değerinin ortalaması olan ortalama gerginlik değerlerinin hıza bağlı olarak değişimi görülmektedir. Her iki denemede de artan hızla birlikte 2 sensör tarafından ölçülen ortalama gerginlik değerlerinde yaklaşık %10

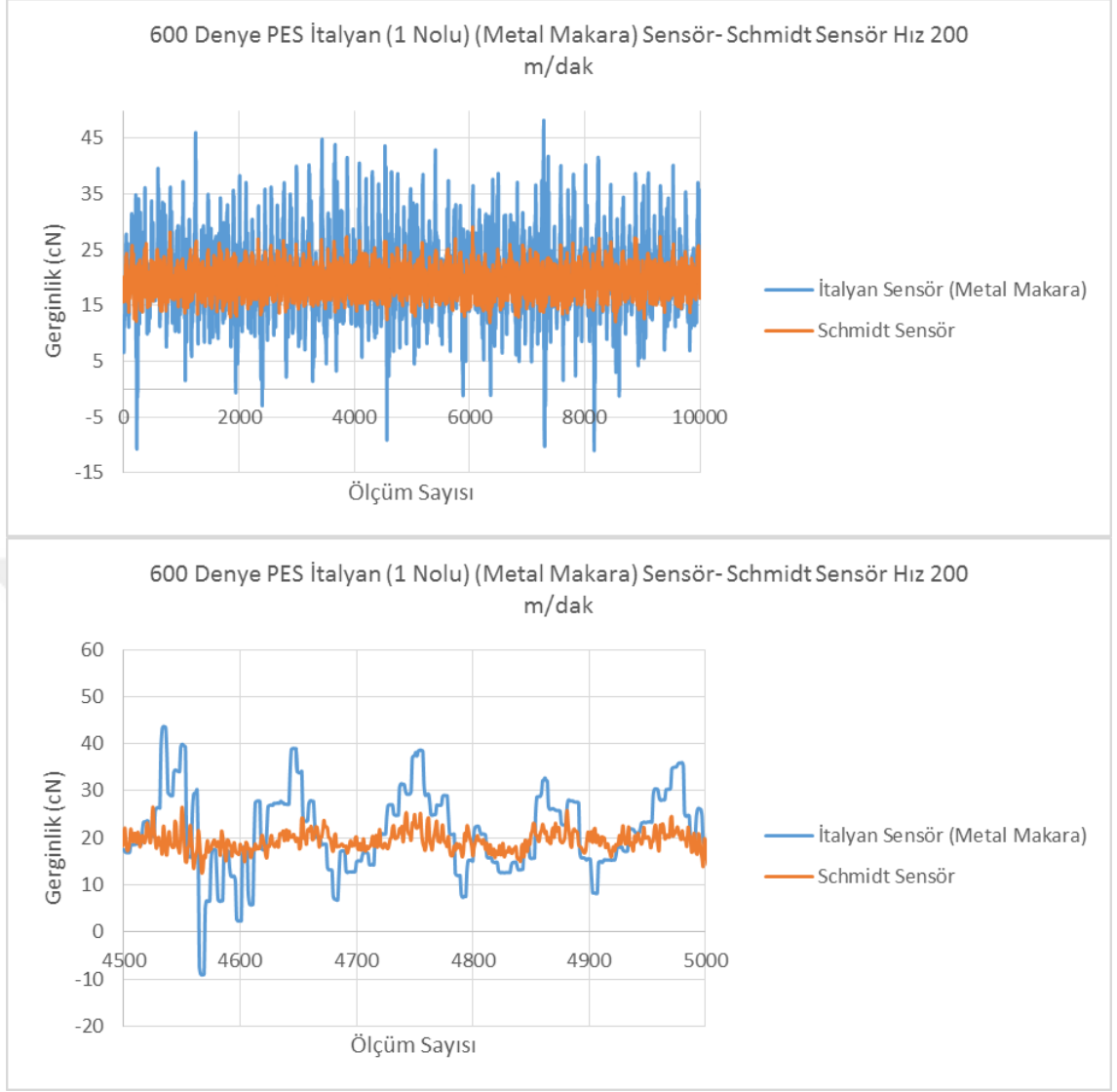
seviyelerinde farka karşılık gelen 3,5 cN sapma ortaya çıkmıştır. Bu sapma 2 denemede de aynı şekilde elde edilmiştir. Artan hızla birlikte meydana gelen sapmanın gerginlik sinyalinin titreşimli yapıda değişiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.



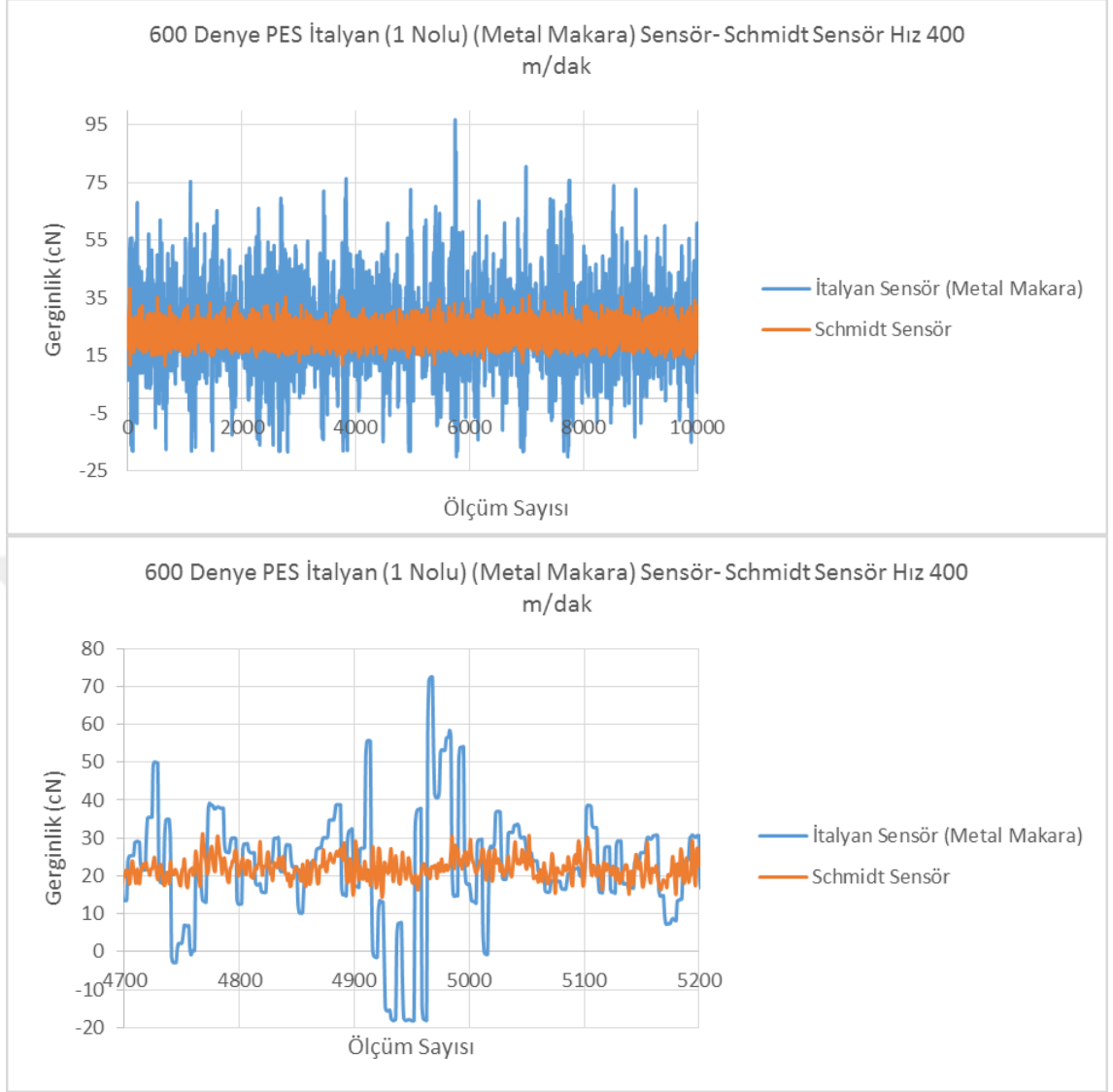
Şekil 4.1. 1 Nolu yük hücresine sahip gerginlik sensörü 50 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları (metal makara ile)



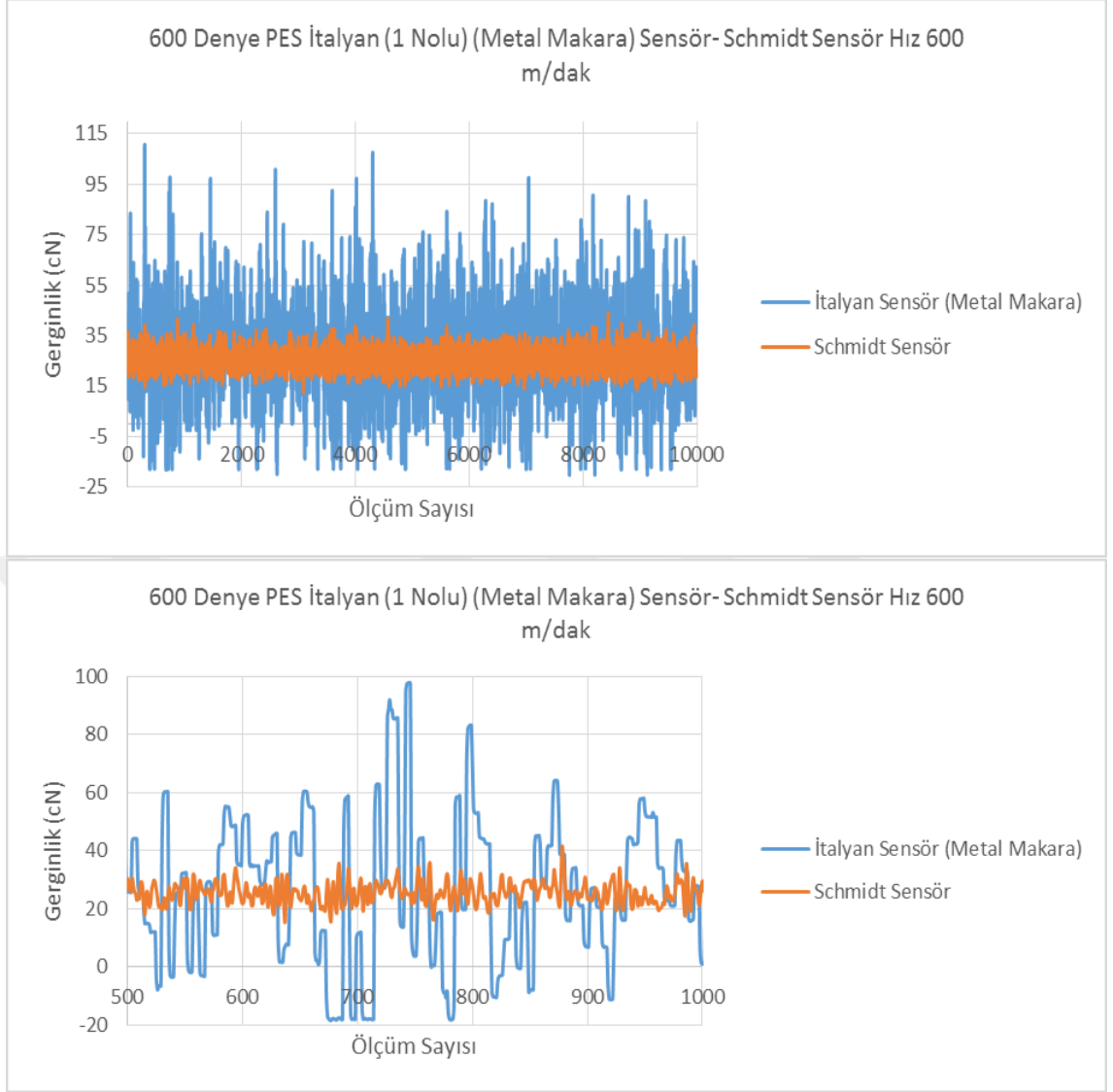
Şekil 4.2. 1 Nolu yük hücresine sahip gerginlik sensörü 100 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları (metal makara ile)



Şekil 4.3. 1 Nolu yük hücresine sahip gerginlik sensörü 200 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları (metal makara ile)



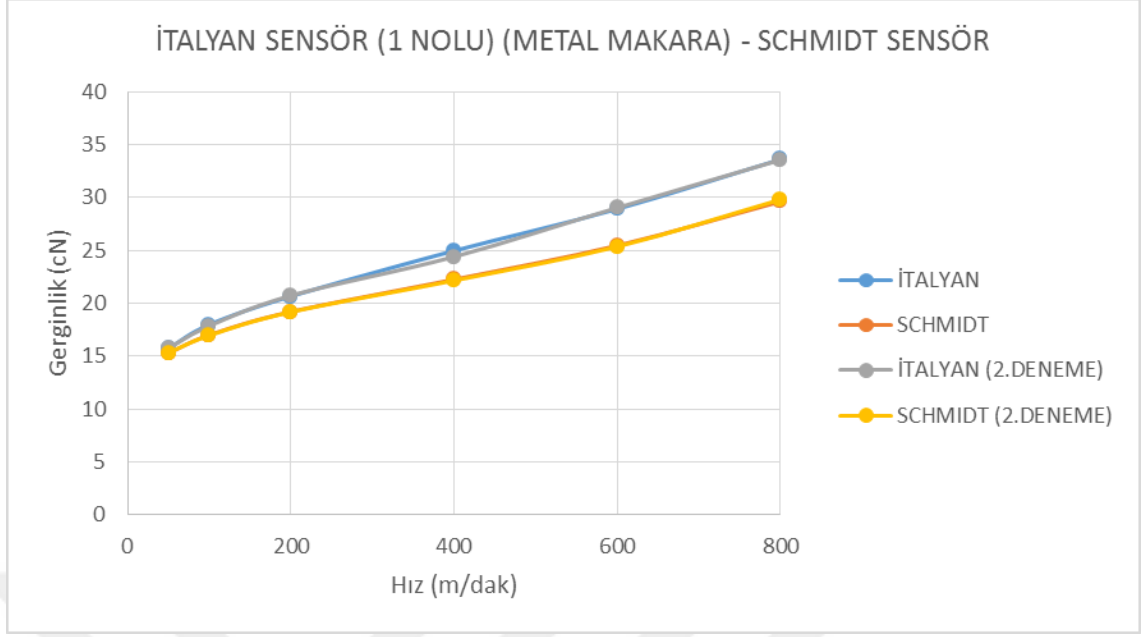
Şekil 4.4. 1 Nolu yük hücresine sahip gerginlik sensörü 400 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları (metal makara ile)



Şekil 4.5. 1 Nolu yük hücresine sahip gerginlik sensörü 600 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları (metal makara ile)

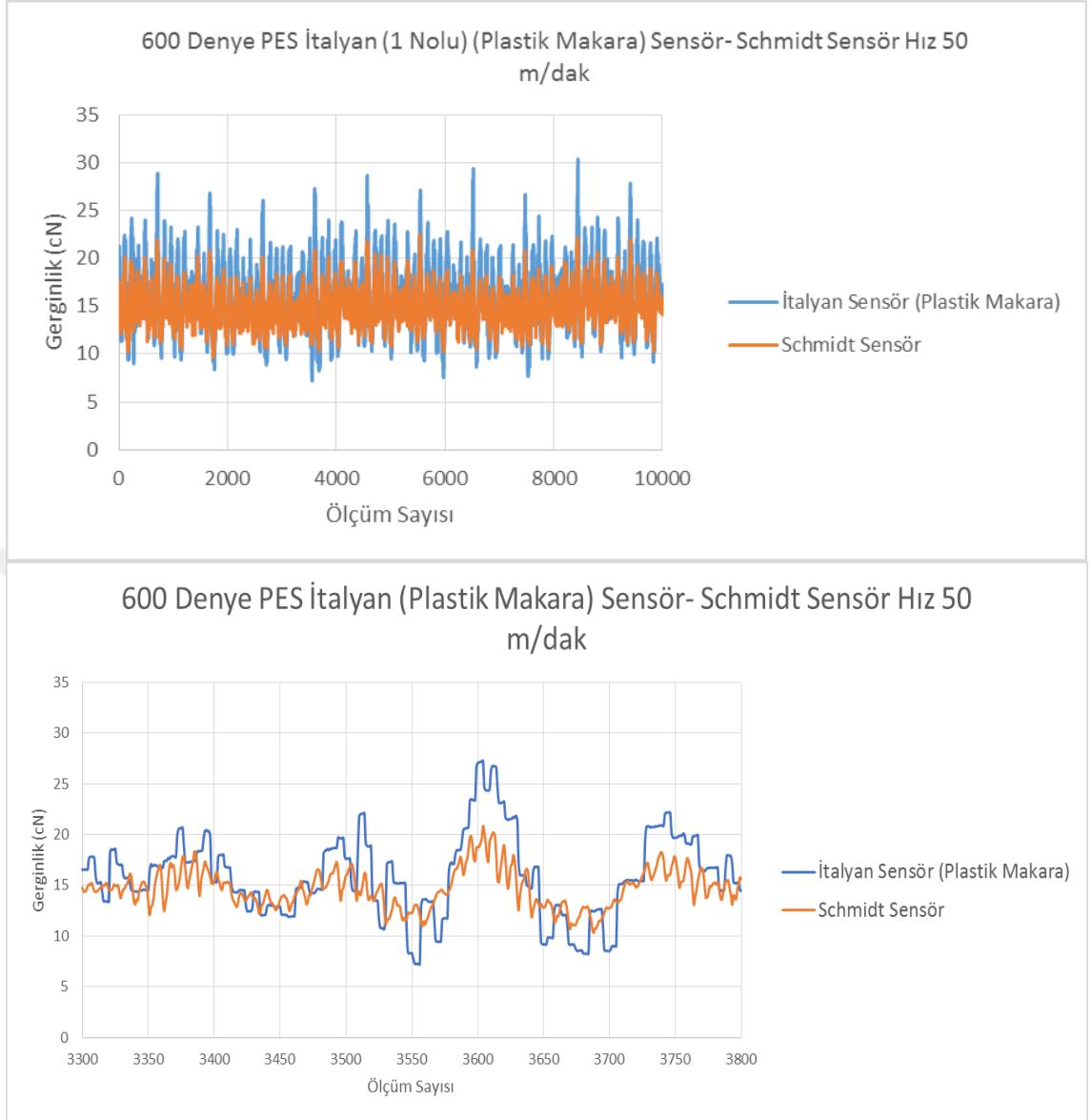


Şekil 4.6. 1 Nolu yük hücresine sahip gerginlik sensörü 800 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları (metal makara ile)

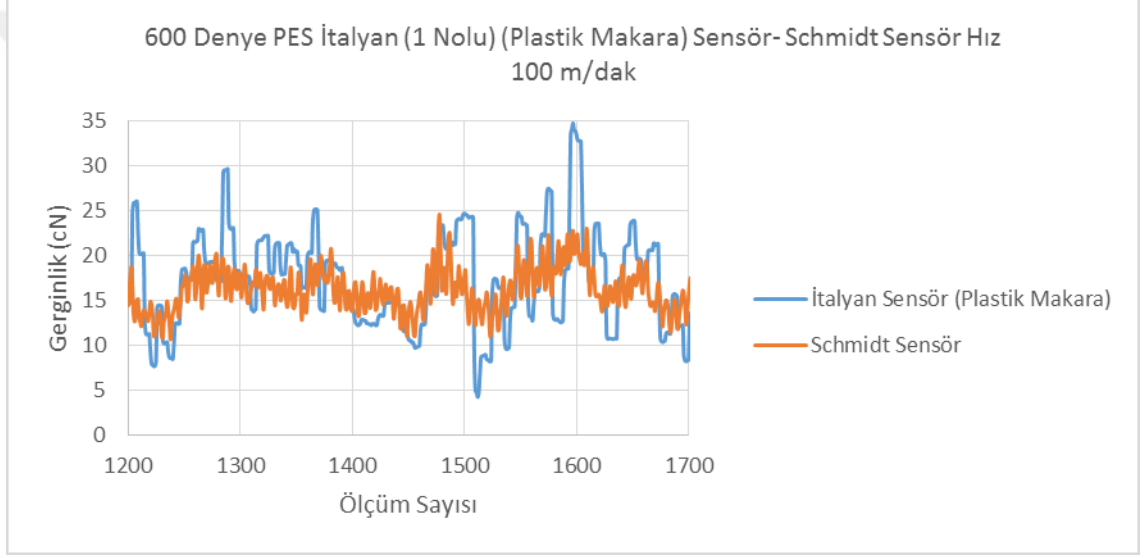
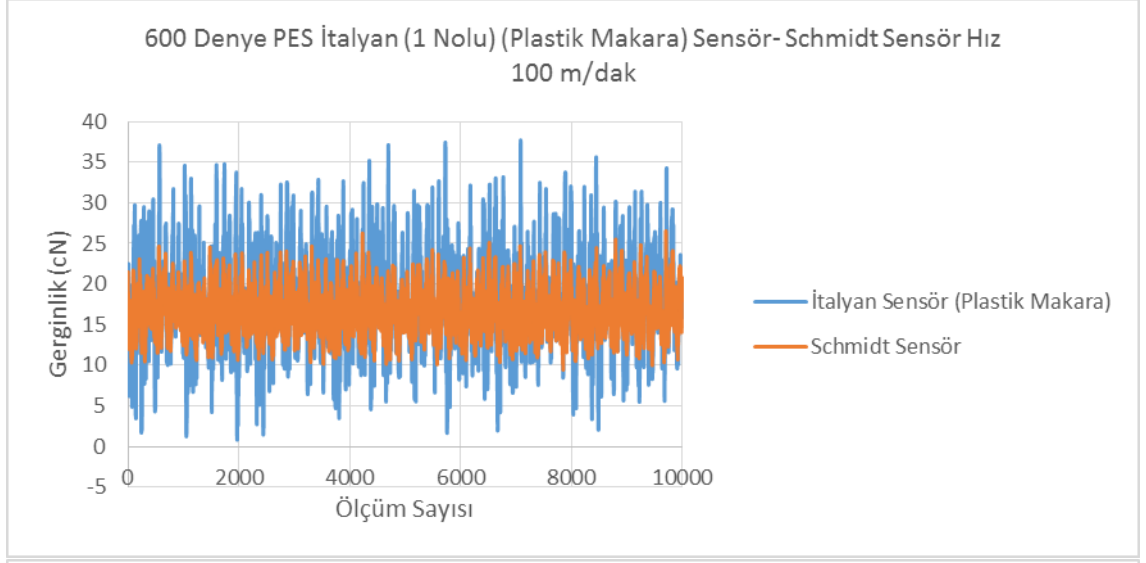


Şekil 4.7. 1 Nolu yük hücresine sahip metal makaralı gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişimi sonuçları

Şekil 4.8-Şekil 4.13 arası gerginlik eğrileri plastik makara kullanılması durumunda 50-800 m/dak arası hızlarda iplik gerginlik değişimini göstermektedir. Her bir grafik geliştirilen sensör ile ticari sensörden 1,5 milisaniye aralıklarla elde edilen gerginlik değişimlerini içermektedir. Plastik makara kullanıldığında da metal makara durumundakine benzer şekilde 50-100 m/dak gibi düşük hızlarda 2 sensörden elde edilen gerginlik eğrileri birbirine benzer şekilde değişim göstermektedir. Ancak ticari sensöre göre plastik makaralı sensör daha fazla gerginlik dalgalanması ölçmektedir. Yüksek hızlarda ise gerginlik değişim şeklinin farklılaşması yanında gerginlik dalgalanması da artmıştır. Bunun sebebi ölçülmesi beklenen gerginlik değişiminin uyarısıyla yük hücresinde meydana gelen titreşim olarak değerlendirilmektedir. Şekil 4.14'teki hıza bağlı olarak ortalama gerginlik değerleri artan hızla birlikte ticari sensörden elde edilen sonuçlara göre bir miktar daha yüksek elde edilmiştir. Metal makara kullanılması durumunda olduğu gibi 2 sensör arasındaki ortalama gerginlik değerlerinde meydana gelen sapma %10-15 seviyelerinde ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.8. 1 Nolu yük hücreesine sahip plastik makaralı gerginlik sensörü 50 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



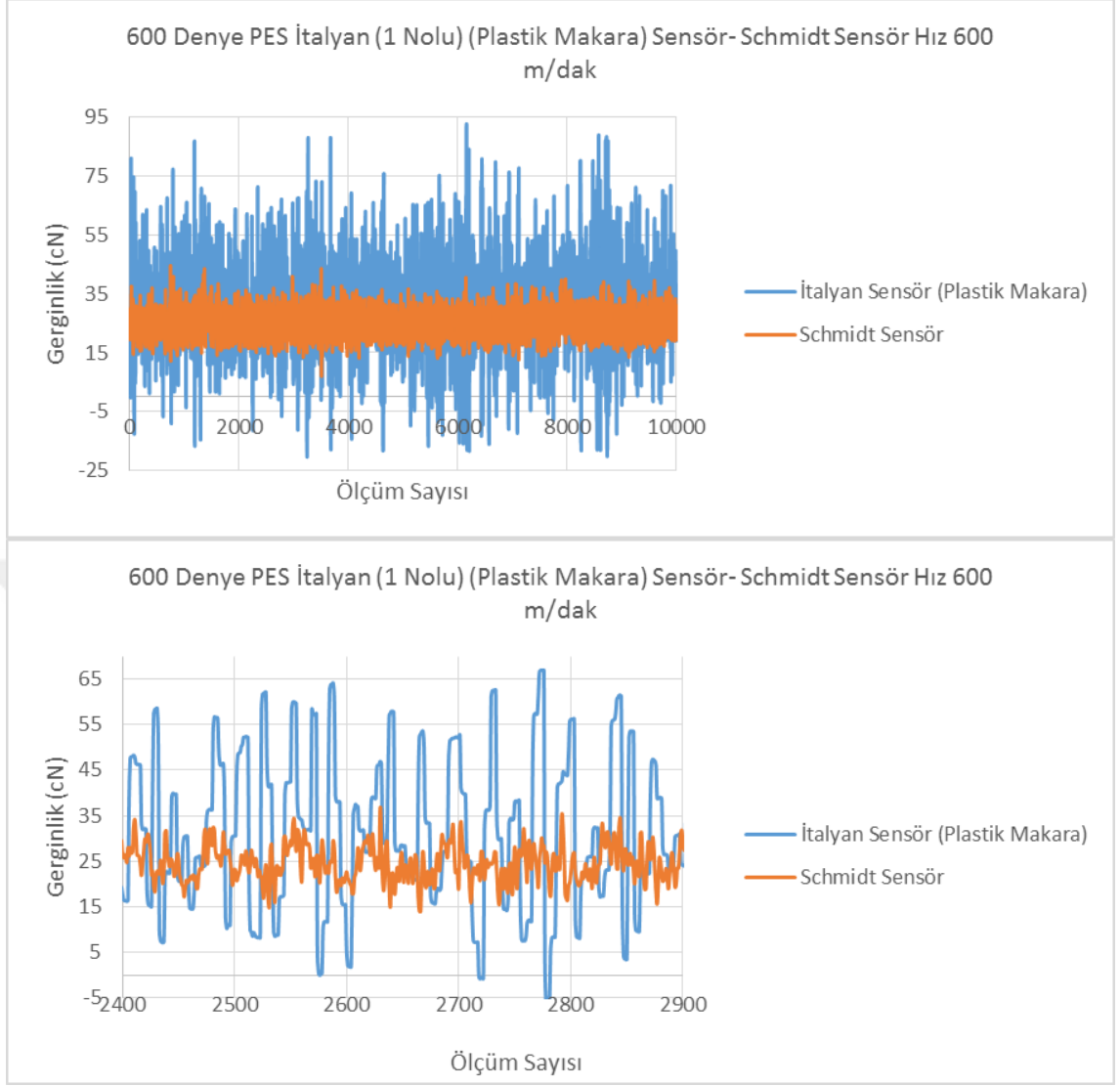
Şekil 4.9. 1 Nolu yük hücresine sahip gerginlik sensörü 100 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları (plastik makara ile)



Şekil 4.10. 1 Nolu yük hücresine sahip gerginlik sensörü 200 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları (plastik makara ile)



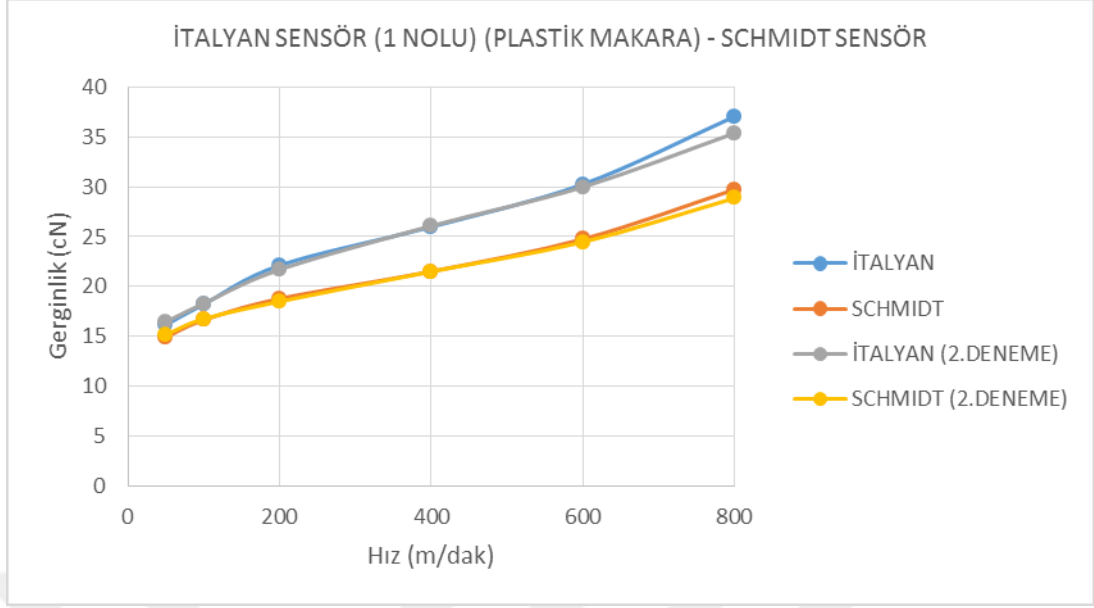
Şekil 4.11. 1 Nolu yük hücresine sahip gerginlik sensörü 400 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları (plastik makara ile)



Şekil 4.12. 1 Nolu yük hücresine sahip gerginlik sensörü 600 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları (plastik makara ile)

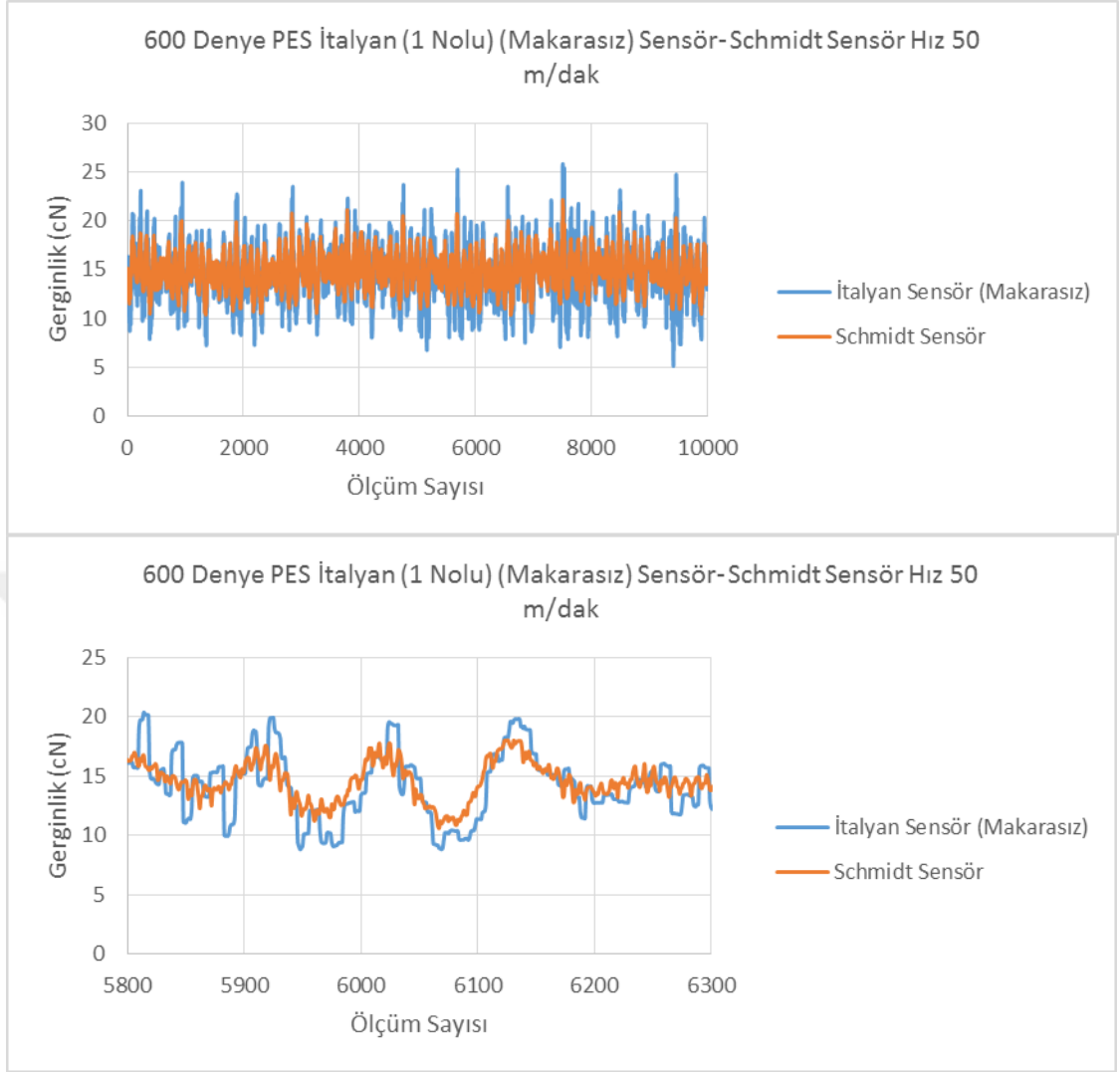


Şekil 4.13. 1 Nolu yük hücresine sahip gerginlik sensörü 800 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları (plastik makara ile)

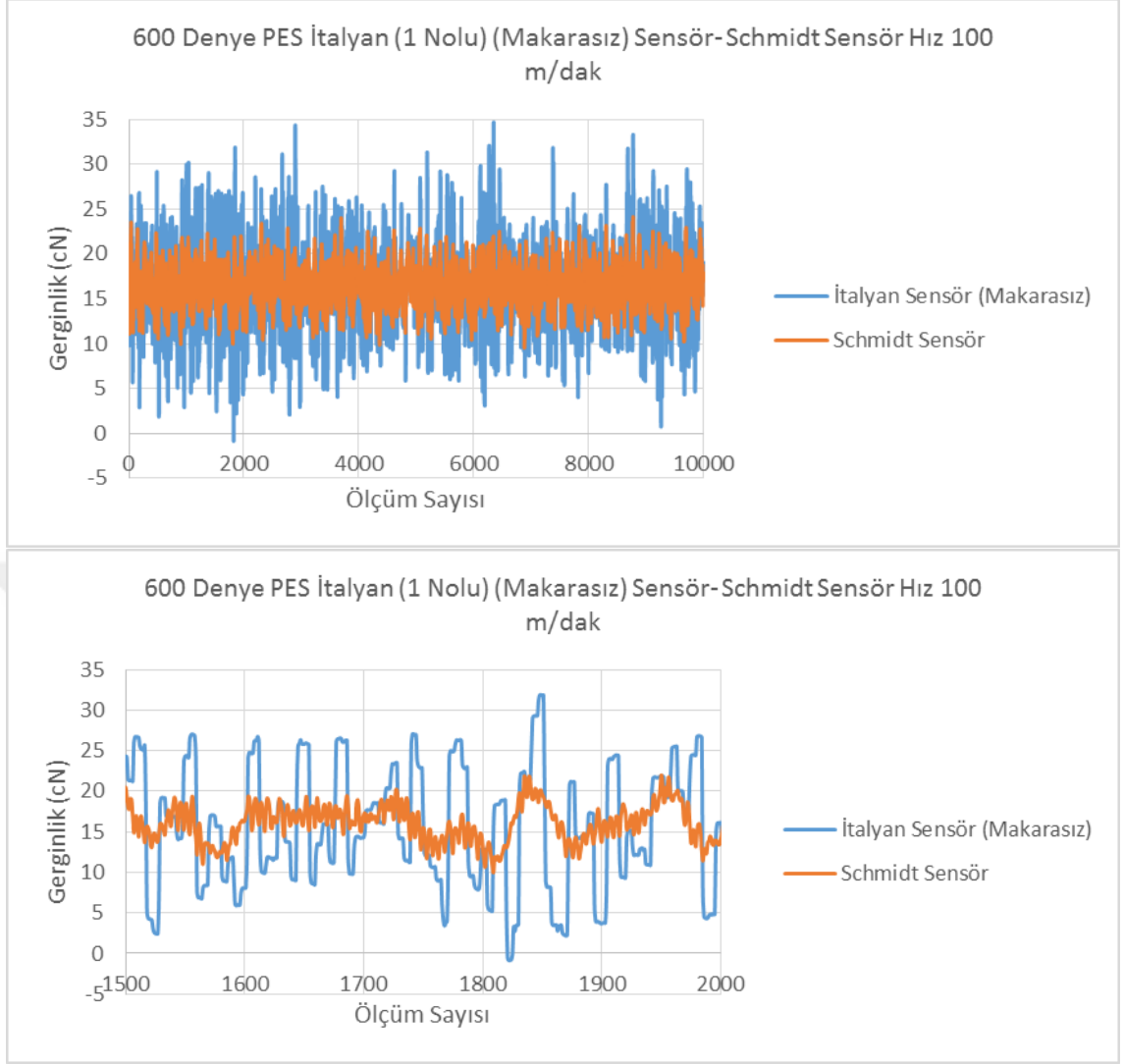


Şekil 4.14. 1 Nolu yük hücresine sahip plastik makaralı gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişimi sonuçları

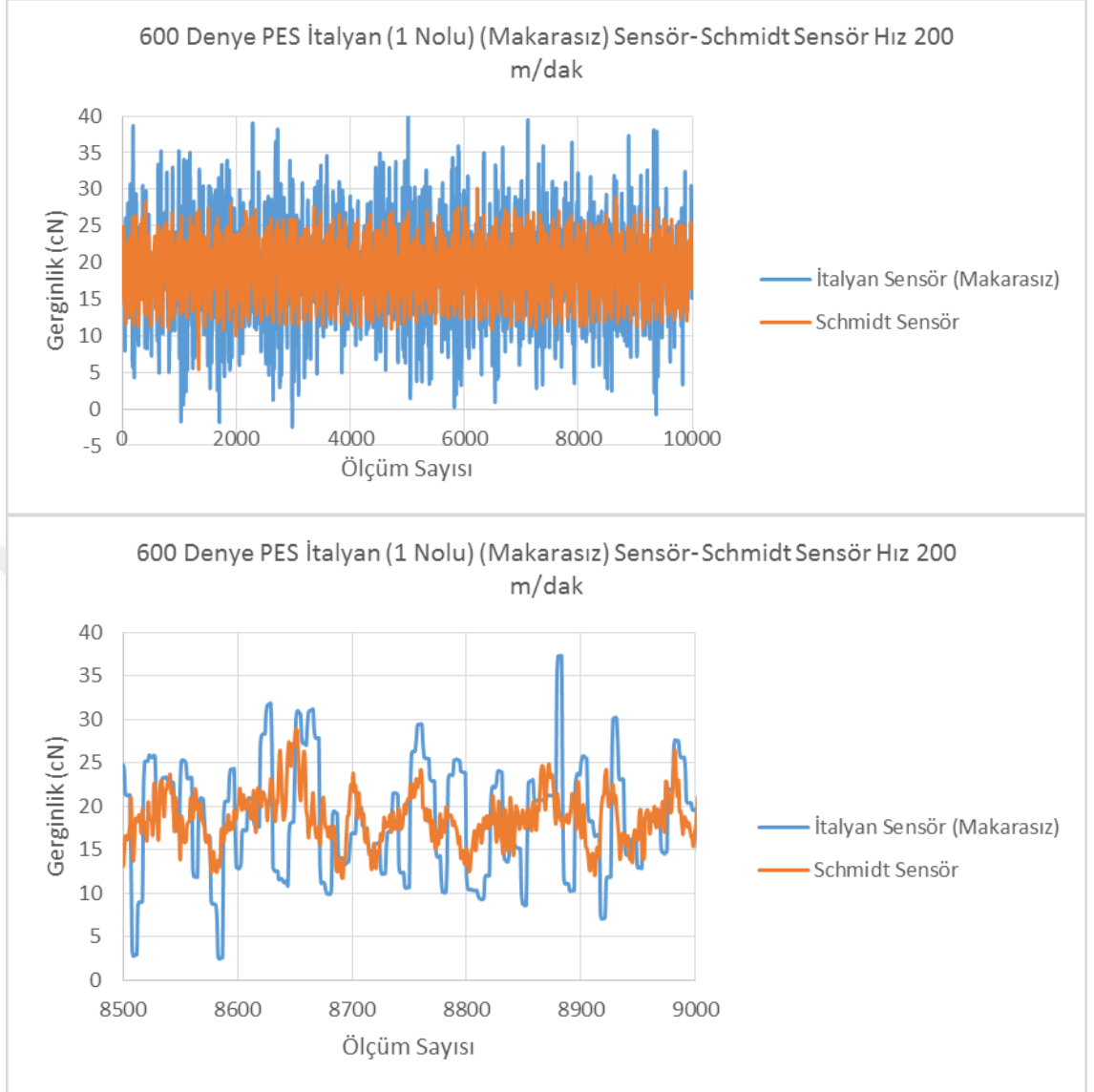
Şekil 4.15-Şekil 4.20 arası gerginlik eğrileri makara kullanılmaması durumunda 50-800 m/dak arası hızlarda iplik gerginlik değişimini göstermektedir. Her bir grafik geliştirilen sensör ile ticari sensörden 1,5 milisaniye aralıklarla elde edilen gerginlik değişimlerini içermektedir. Makara kullanılmaması durumunda da düşük hızlarda 2 sensörden elde edilen gerginlik eğrileri birbirine benzer şekilde değişim göstermektedir. Ancak ticari sensöre göre makarasız sensör durumunda da daha fazla gerginlik dalgalanması ölçülmektedir. Yüksek hızlarda ise gerginlik değişim şeklinin farklılaşması yanında gerginlik dalgalanması da artmıştır. Şekil 4.21'deki hıza bağlı olarak ortalama gerginlik değerleri artan hızla birlikte ticari sensörden elde edilen sonuçlarla 600 m/dak hıza kadar örtüşmektedir. 800 m/dak hızda ortalama gerginliklerde iki sensör arasında %10 seviyelerinde bir sapma ortaya çıkmıştır. Plastik ve metal makaralı durum ile karşılaştırıldığında elde edilen gerginlik eğrileri arasında anlamlı sayılabilecek bir fark ortaya çıkmamıştır.



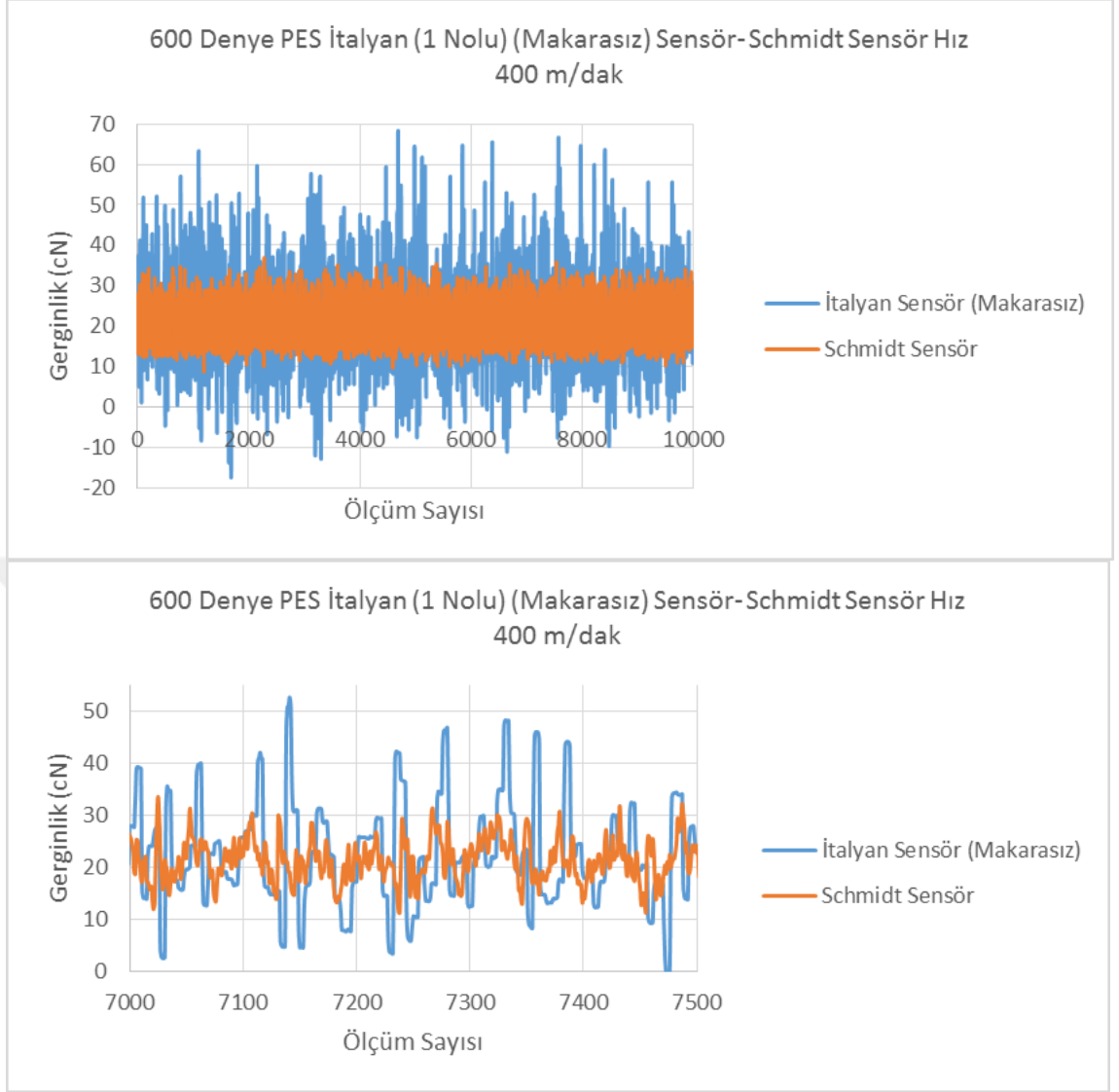
Şekil 4.15. 1 Nolu yük hücresine sahip makarasız gerginlik sensörü 50 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



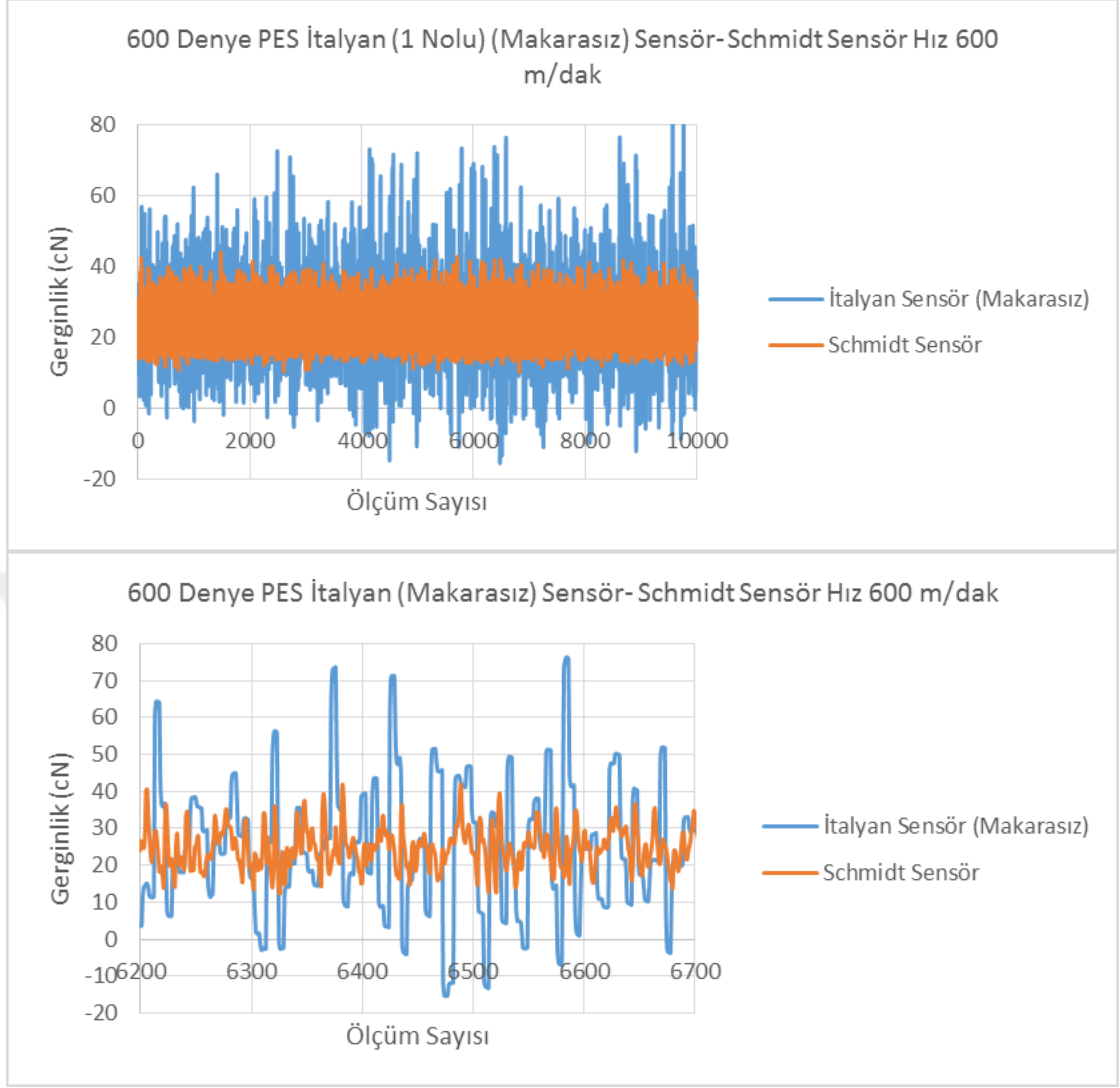
Şekil 4.16. 1 Nolu yük hücresine sahip makarasız gerginlik sensörü 100 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



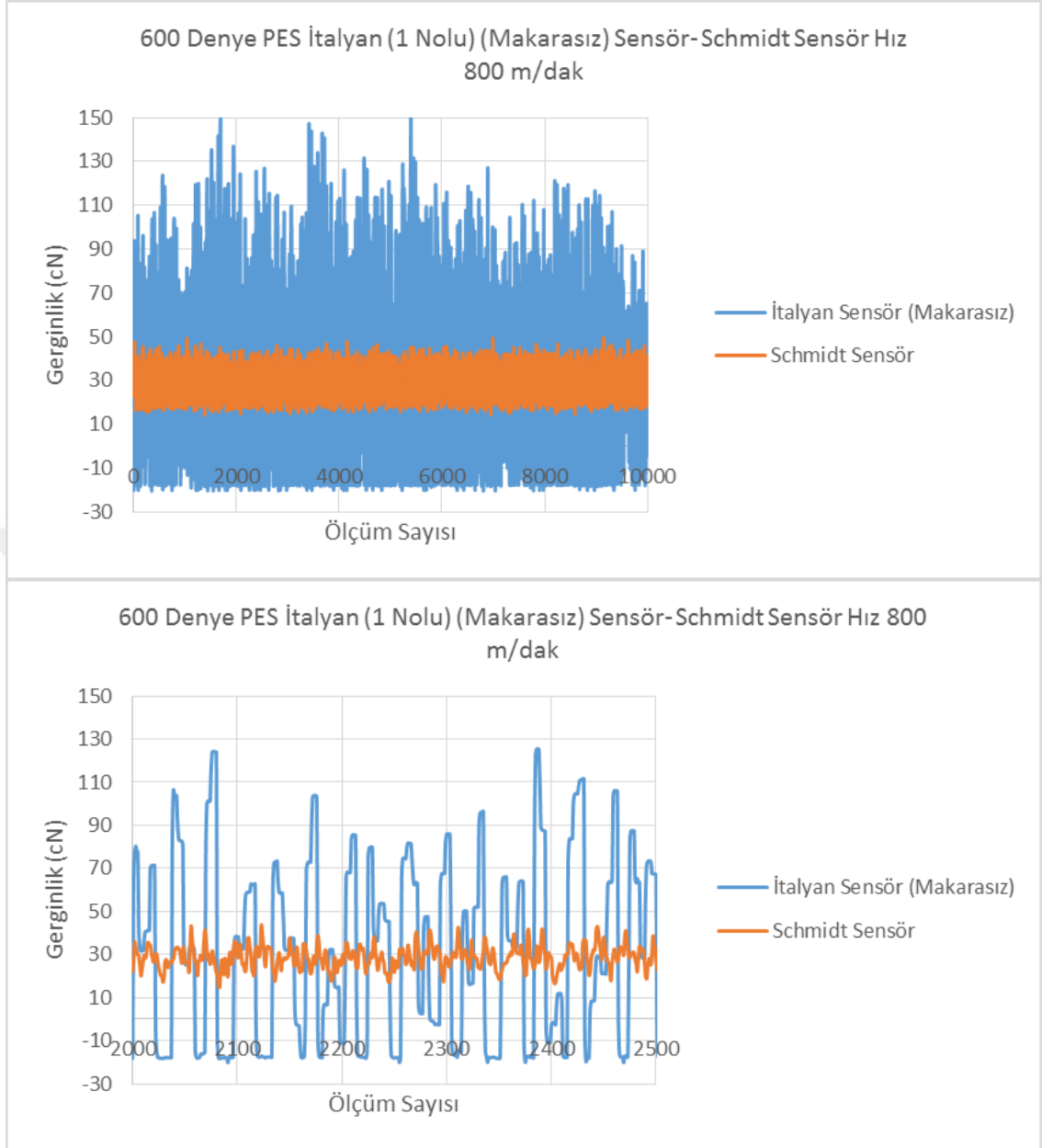
Şekil 4.17. 1 Nolu yük hücresine sahip makarasız gerginlik sensörü 200 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



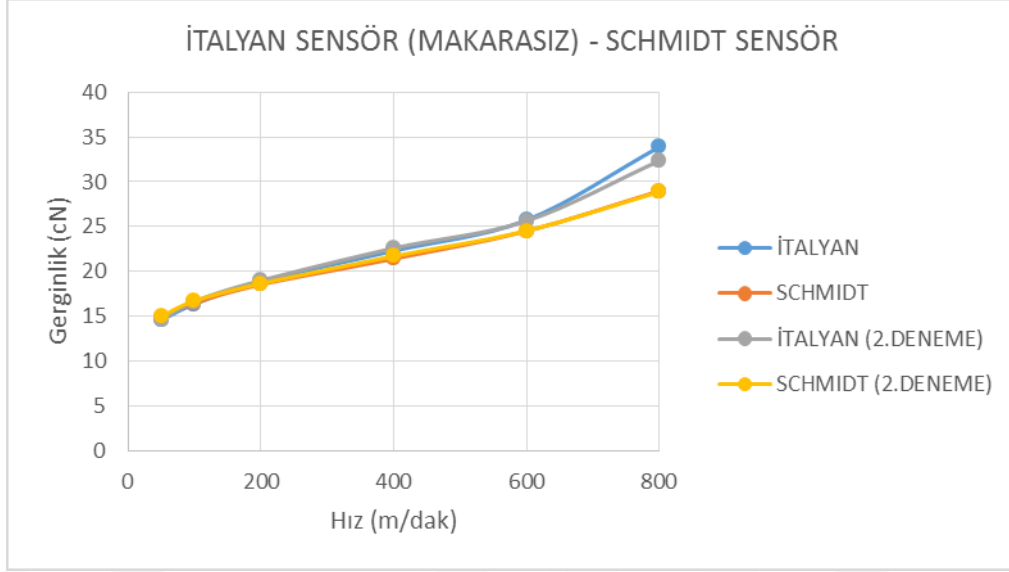
Şekil 4.18. 1 Nolu yük hücreesine sahip makarasız gerginlik sensörü 400 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



Şekil 4.19. 1 Nolu yük hücresine sahip makarasız gerginlik sensörü 600 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları

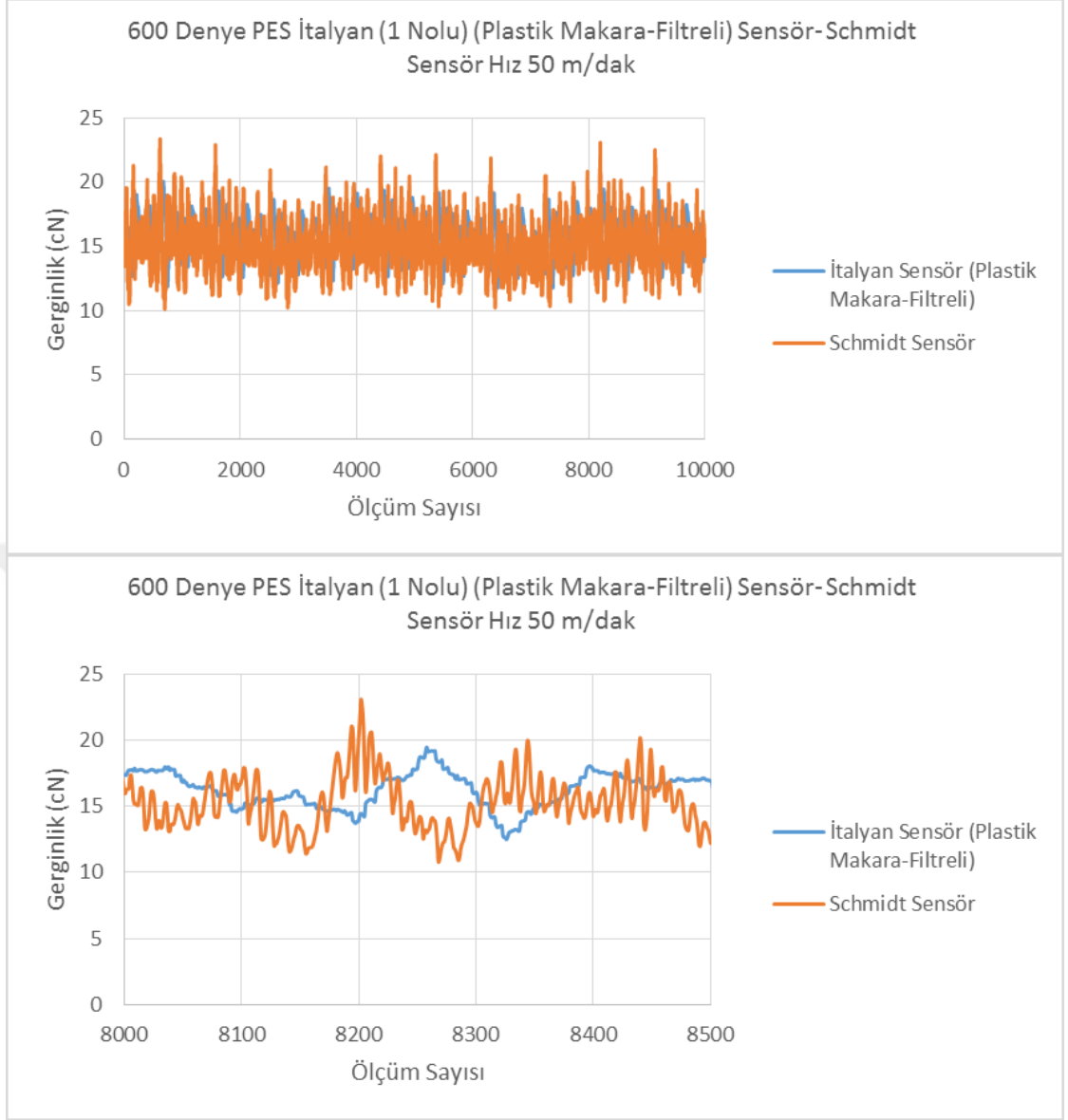


Şekil 4.20. 1 Nolu yük hücresine sahip makarasız gerginlik sensörü 800 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları

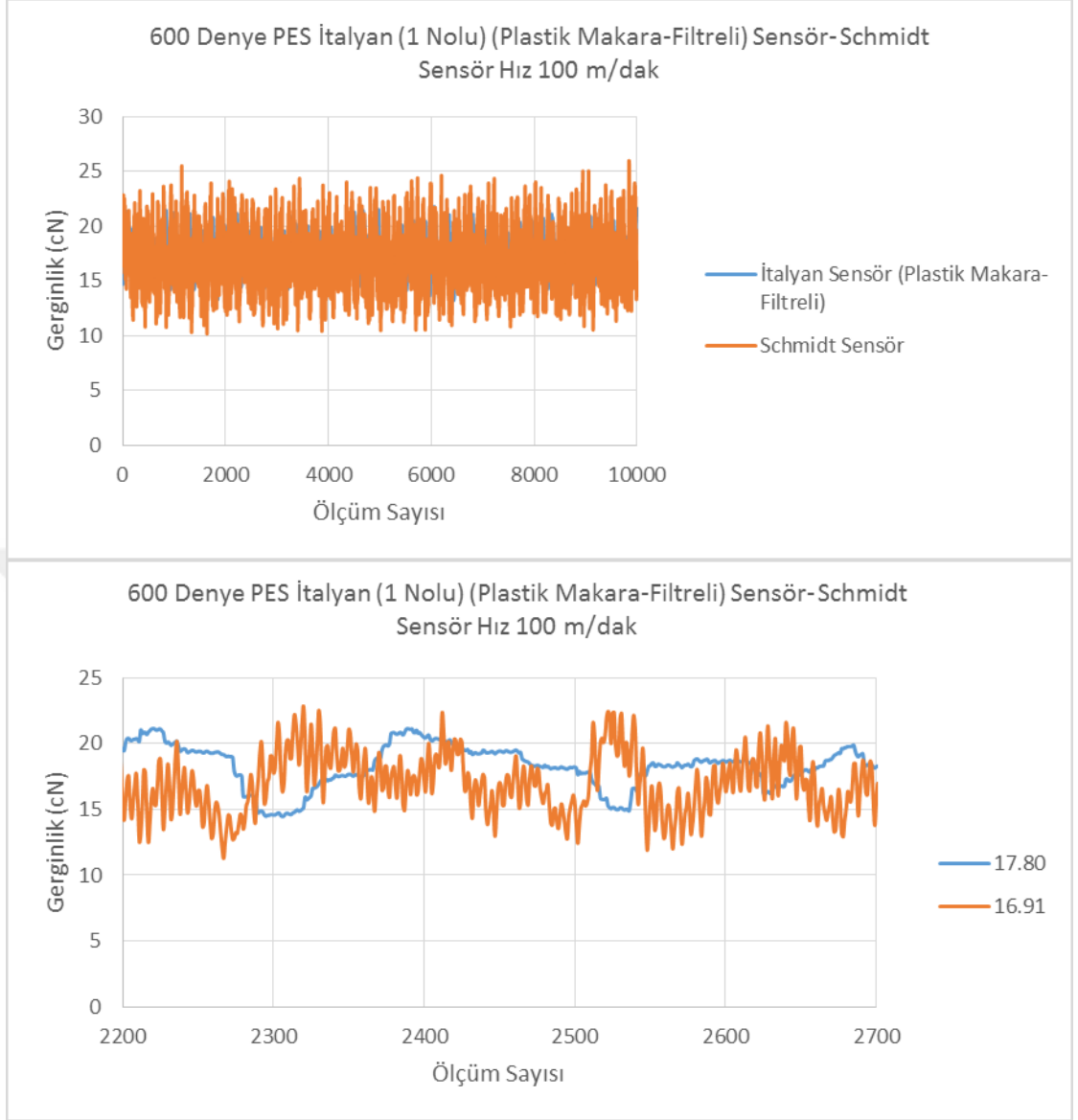


Şekil 4.21. 1 Nolu yük hücresine sahip makarasız gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişim sonuçları (makarasız)

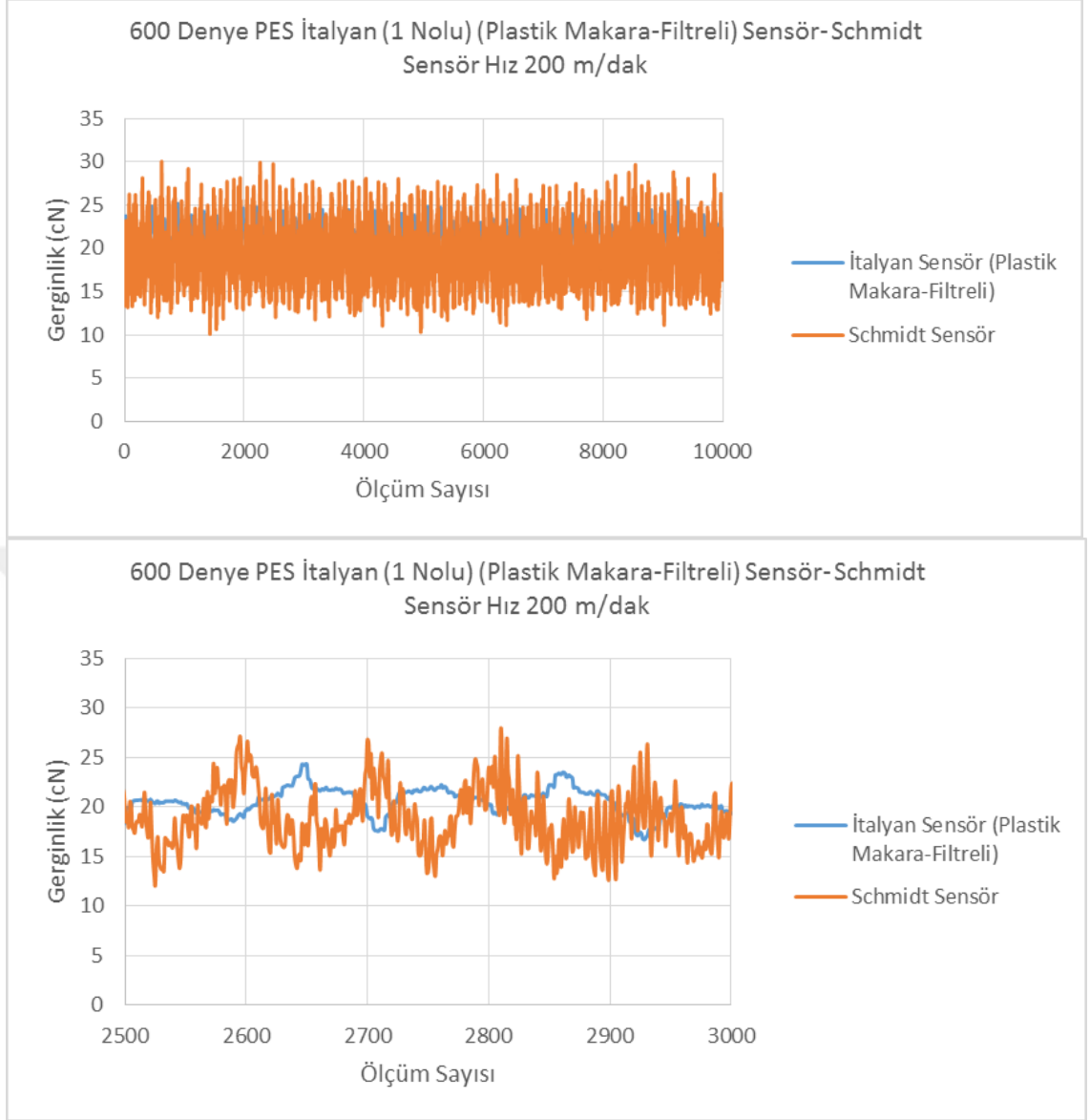
Şekil 4.22-Şekil 4.27 arası grafikler test kapsamında geliştirilen sensörden elde edilen sinyale uygulanan filtrenin arttırılması (sinyal geçiş periyodunun 3 milisaniyeden 150 milisaniyeye çıkarılması) ve plastik makara kullanılması durumunda elde edilen gerginlik eğrilerini göstermektedir. Artan hızla birlikte filtre edilmiş gerginlik sensörü çıkış sinyali dalgalanması ciddi oranda azalmaktadır. Bu beklenen bir durumdur. Dolayısıyla bu durumda iki sensörün çıkış sinyallerini karşılaştırmak ve sinyal değişim şekilleri hakkında yorum yapmak anlamlı olmamaktadır. Ancak Şekil 4.28'deki ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişimi incelendiğinde artan hızla birlikte yukarıda açıklanan 3 durumda olduğu gibi bir sapma ortaya çıkmakta ve bu sapma %10 seviyelerinde gerçekleştirilmektedir.



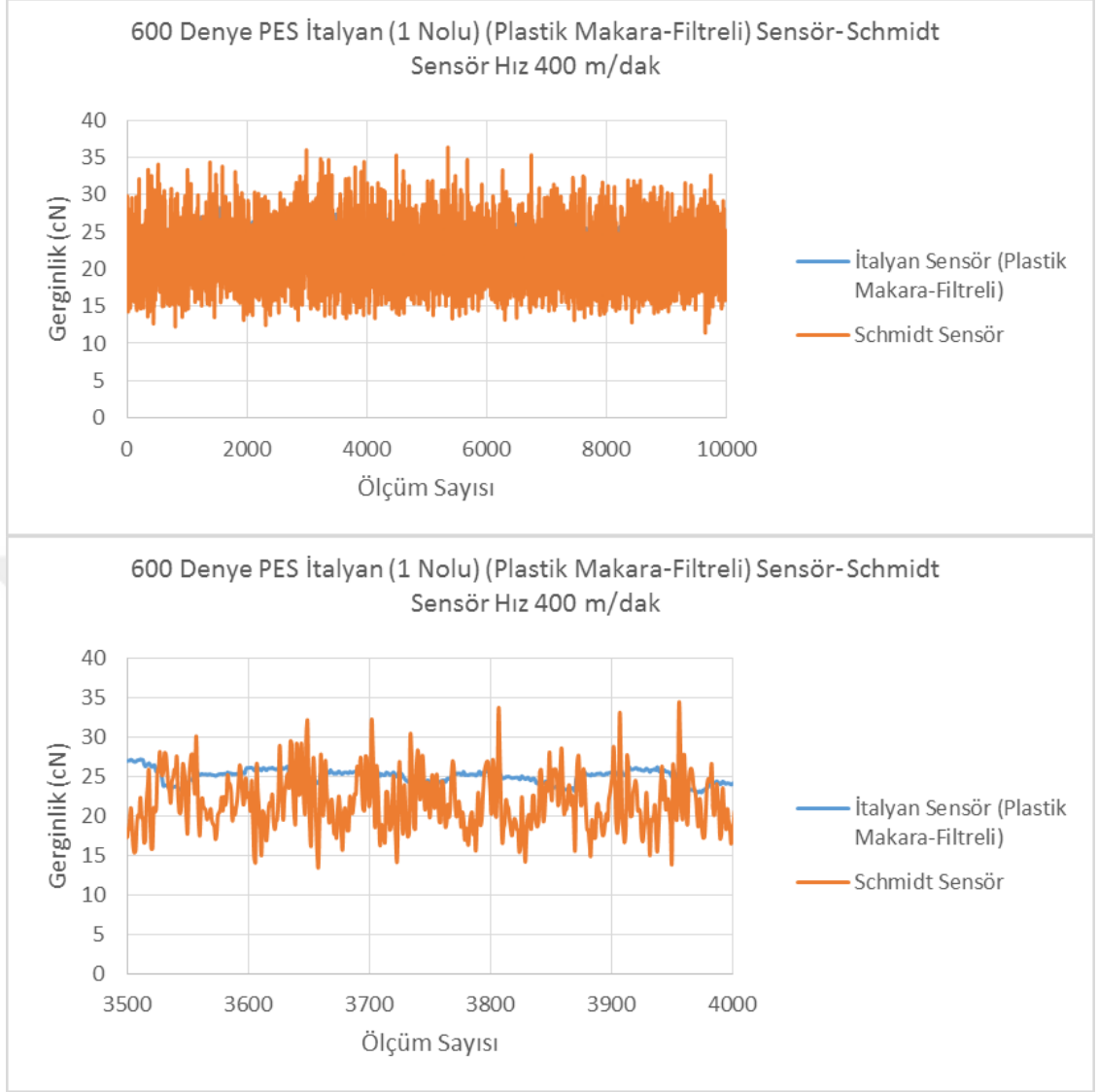
Şekil 4.22. 1 Nolu yük hücresine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 50 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



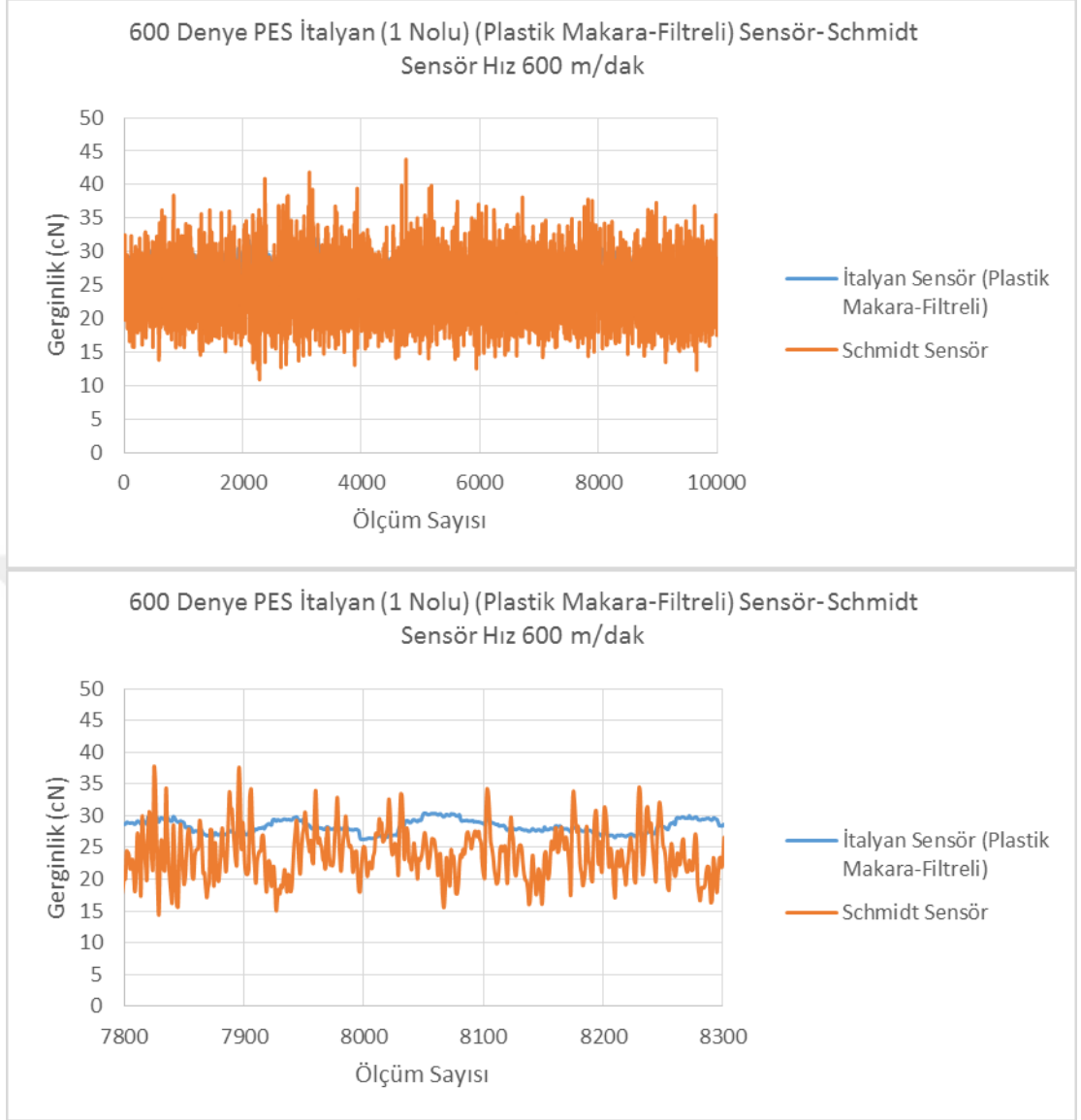
Şekil 4.23. 1 Nolu yük hücreesine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 100 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



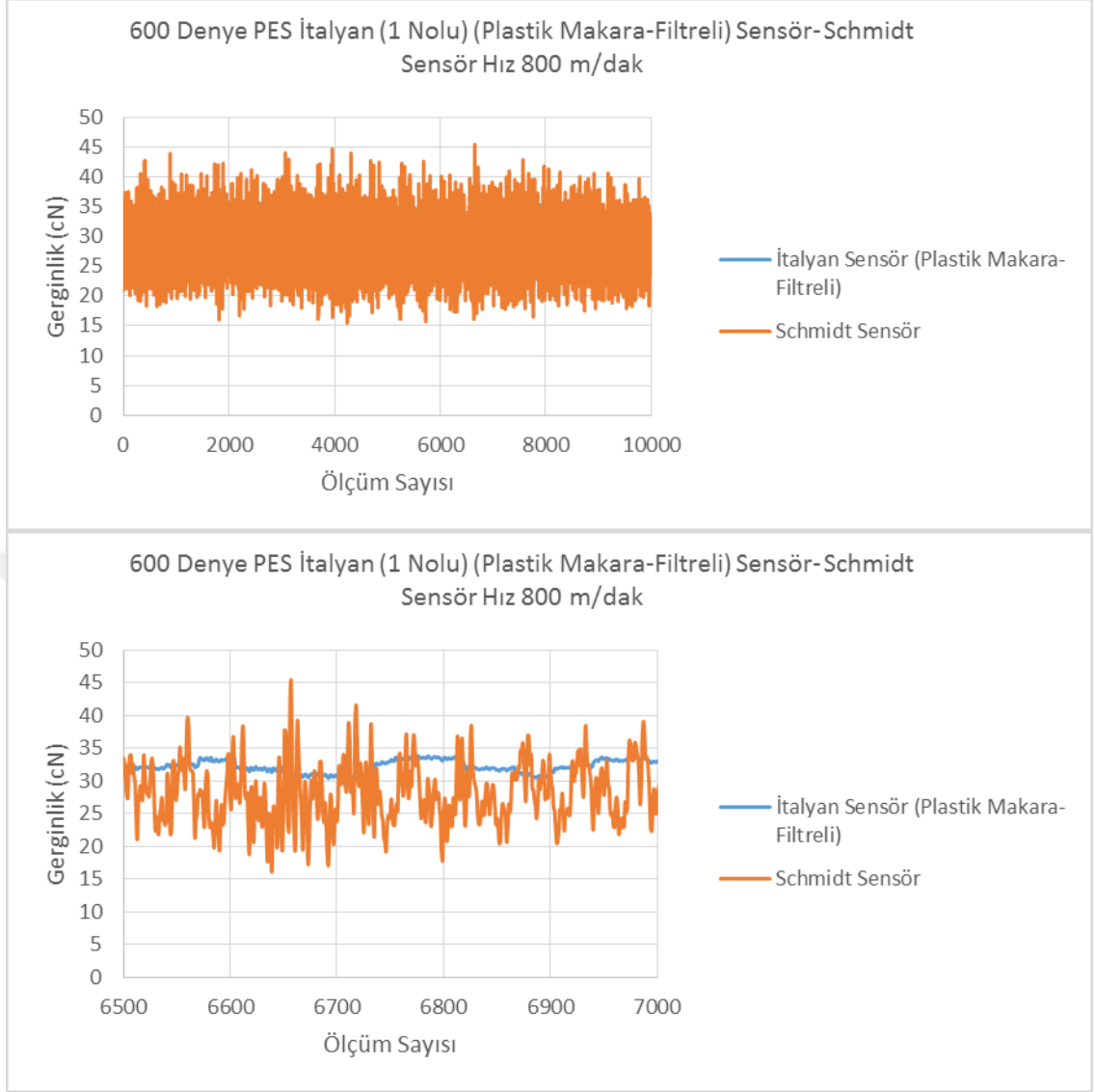
Şekil 4.24. 1 Nolu yük hücreesine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 200 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



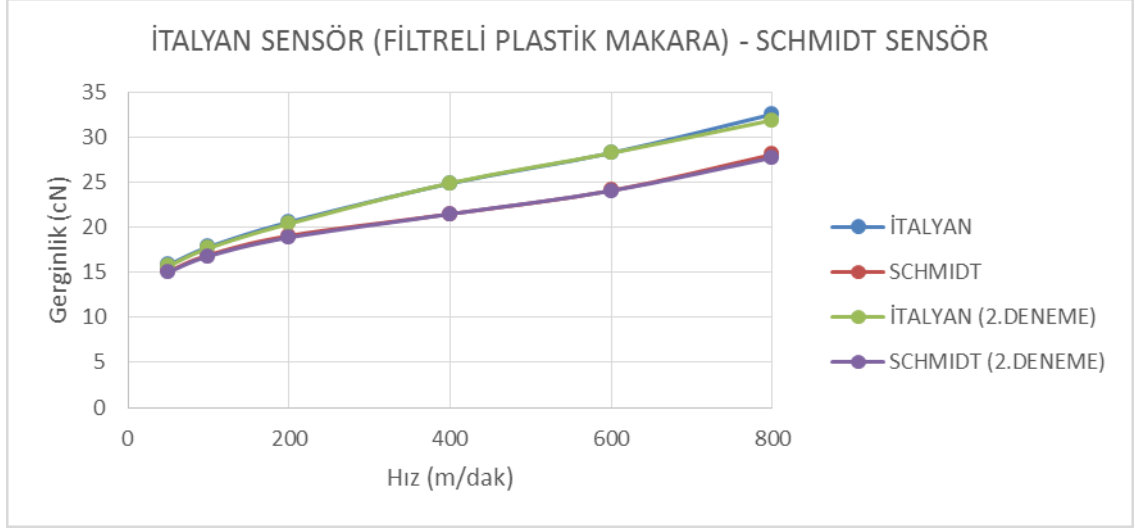
Şekil 4.25. 1 Nolu yük hüresine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 400 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



Şekil 4.26. 1 Nolu yük hücreesine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 600 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



Şekil 4.27. 1 Nolu yük hüresine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 800 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları

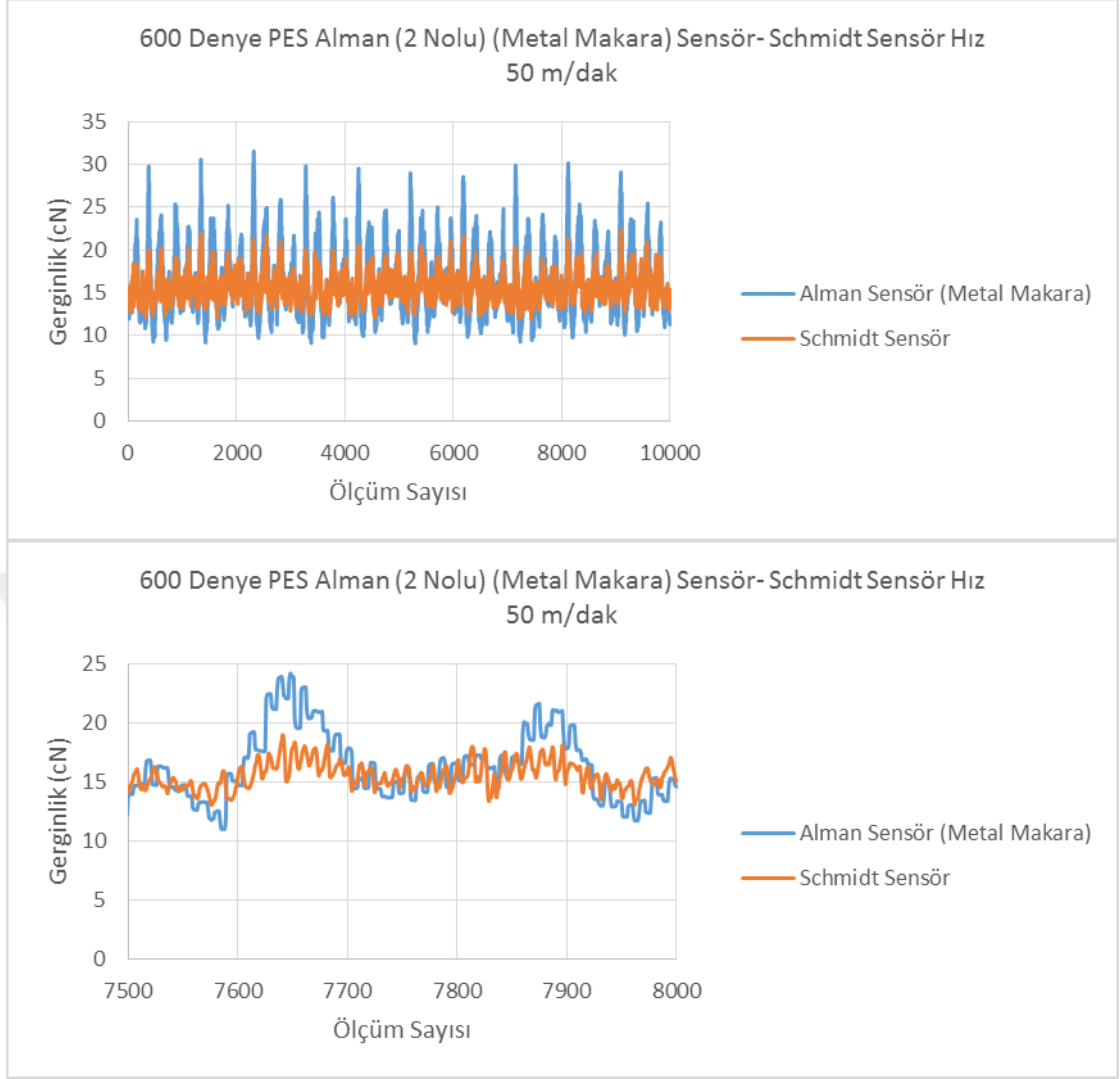


Şekil 4.28. 1 Nolu yük hücreesine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişim sonuçları

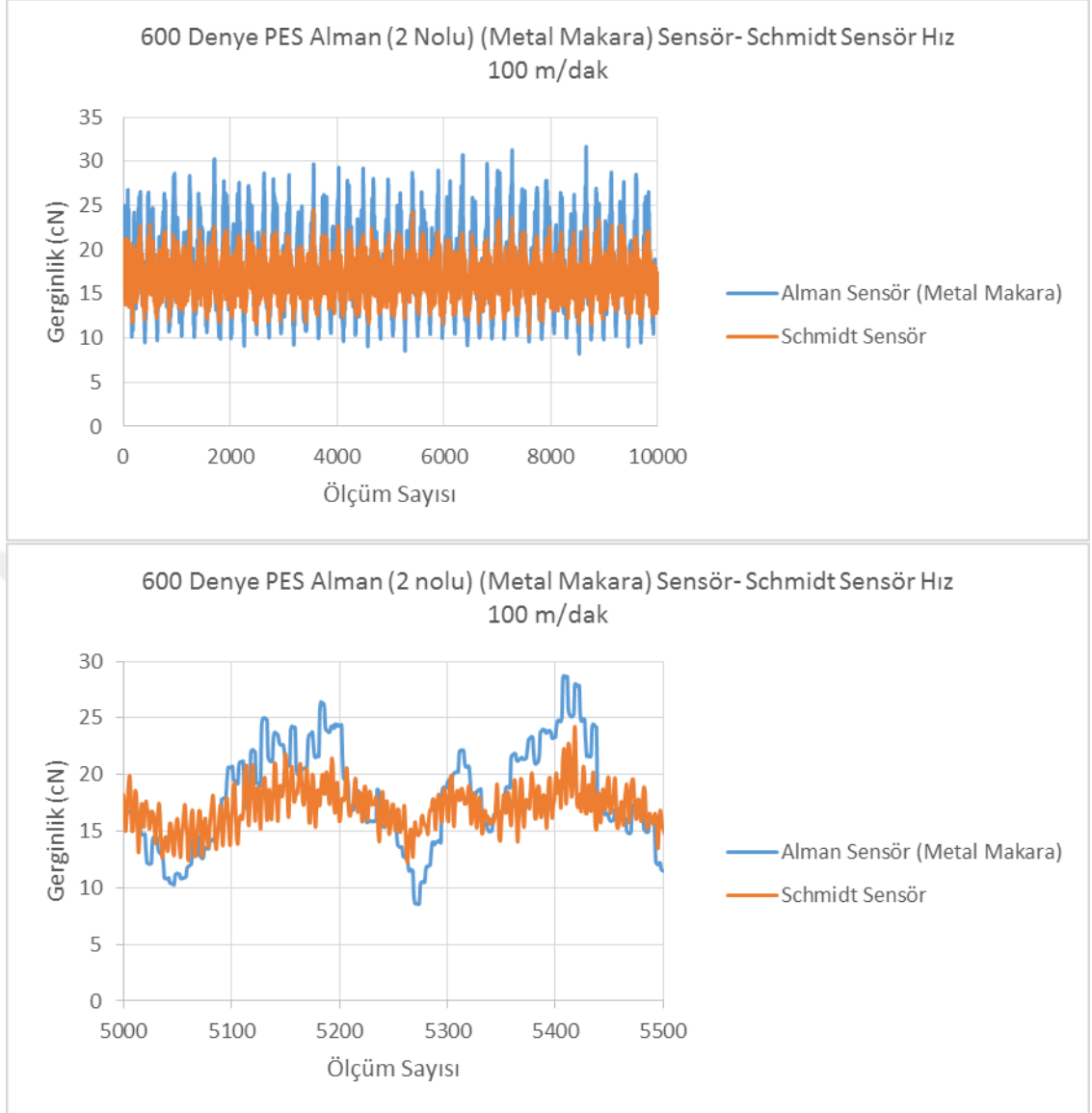
4.2. 2 Nolu Yük Hücreesi Kullanılan Gerginlik Sensörü Sonuçları

Şekil 4.29- Şekil 4.34 arası grafikler metal makara kullanılması durumunda 1,5 milisaniye aralıklarla alınan 10 000 adet gerginlik değeri ile her bir hıza ait yaklaşık 500 adet gerginlik değerinin değişimini göstermektedir. Aynı grafikte çizilen eğrilerden açıkça görüldüğü gibi ticari gerginlik sensörü ile tez kapsamında geliştirilen gerginlik sensörü 200 m/dak' ya kadar olan hızlarda birbirine çok benzer değişim göstermekte ancak 200 m/dak üzerindeki hızlarda değişim şekli benzerlik gösterse de geliştirilen gerginlik sensörü ölçüm sonuçları daha yüksek dalgalanma göstermektedir. Ancak 1 nolu sensöre ait ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırıldığında 2 nolu sensörden elde edilen ölçüm sonuçlarında dalgalanmanın daha az olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin 2 nolu sensöre ait yük hücresinin sertliğinin ve dolayısıyla doğal frekansının daha yüksek olması gösterilebilir.

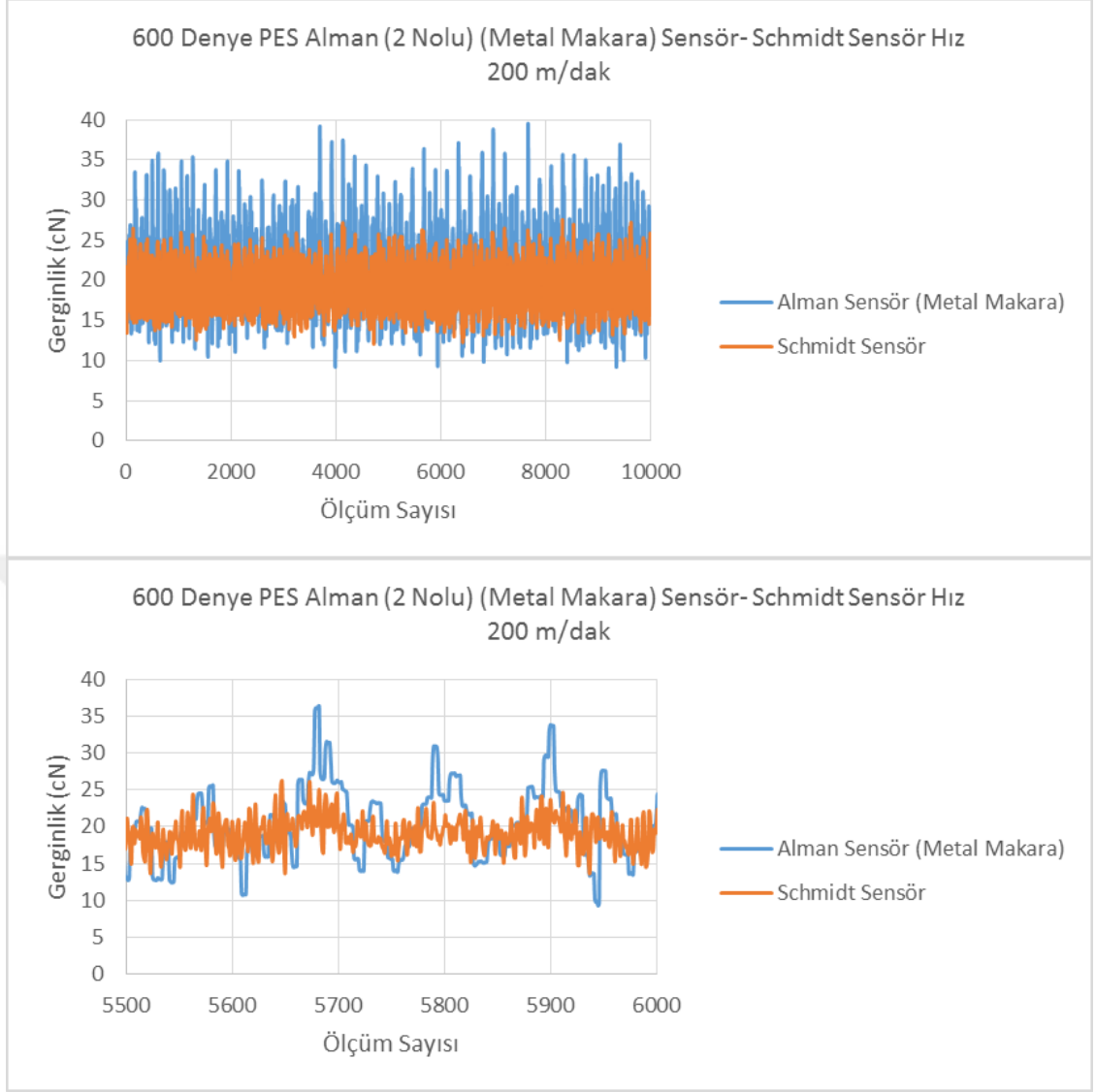
Şekil 4.35'te her birin 10 000 adet gerginlik değerinin ortalaması olan ortalama gerginlik değerlerinin hıza bağlı olarak değişimi görülmektedir. Her iki denemede de artan hızla birlikte 2 sensör tarafından ölçülen ortalama gerginlik değerlerinde yaklaşık %10-15 seviyelerinde farka karşılık gelen 3-5 cN sapma ortaya çıkmıştır. Bu sapma 2 denemede de aynı şekilde elde edilmiştir. Artan hızla birlikte meydana gelen sapmanın gerginlik sinyalinin titreşimli yapıda değişiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.



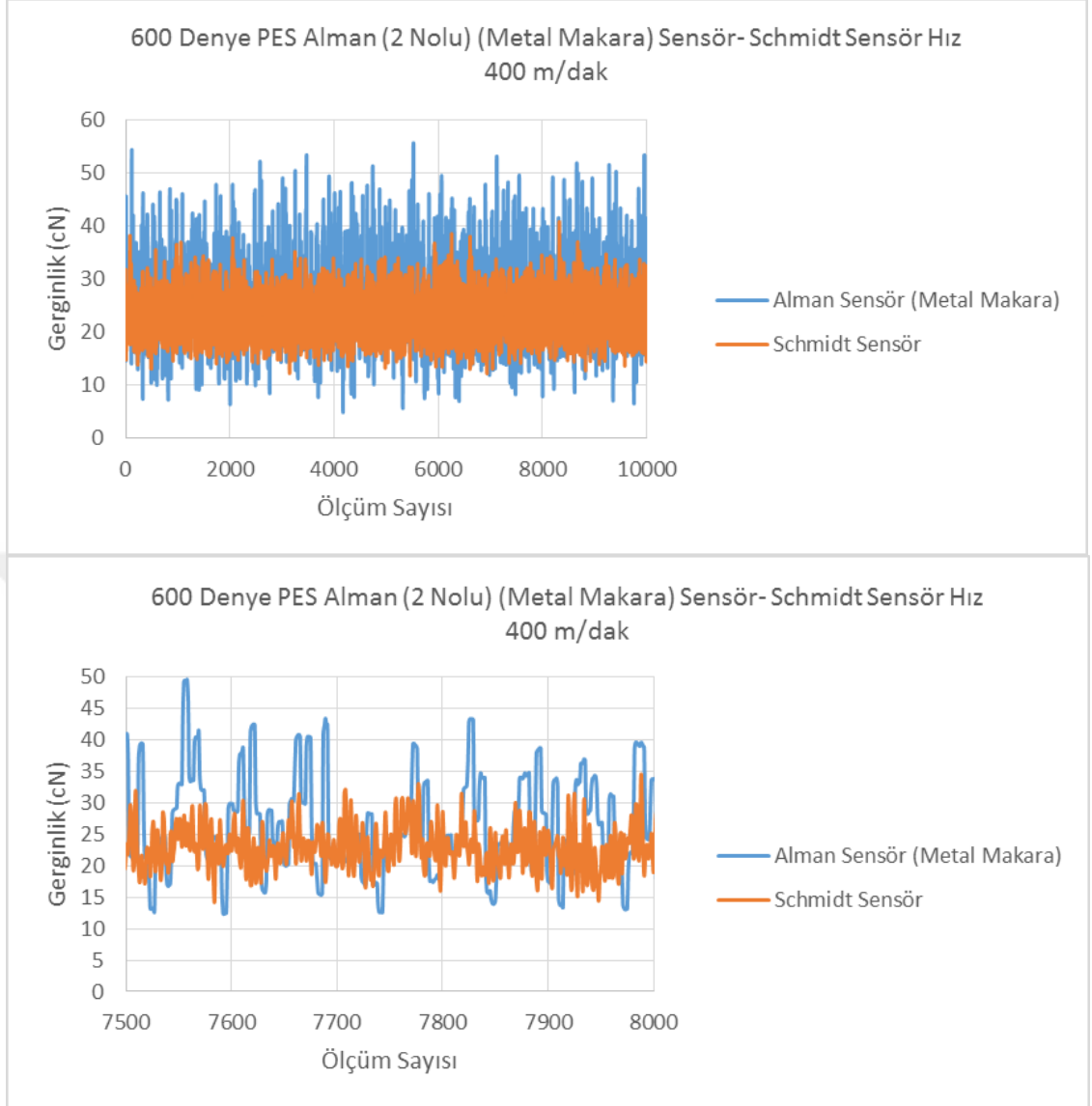
Şekil 4.29. 2 Nolu yük hücreesine sahip metal makaralı gerginlik sensörü 50 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



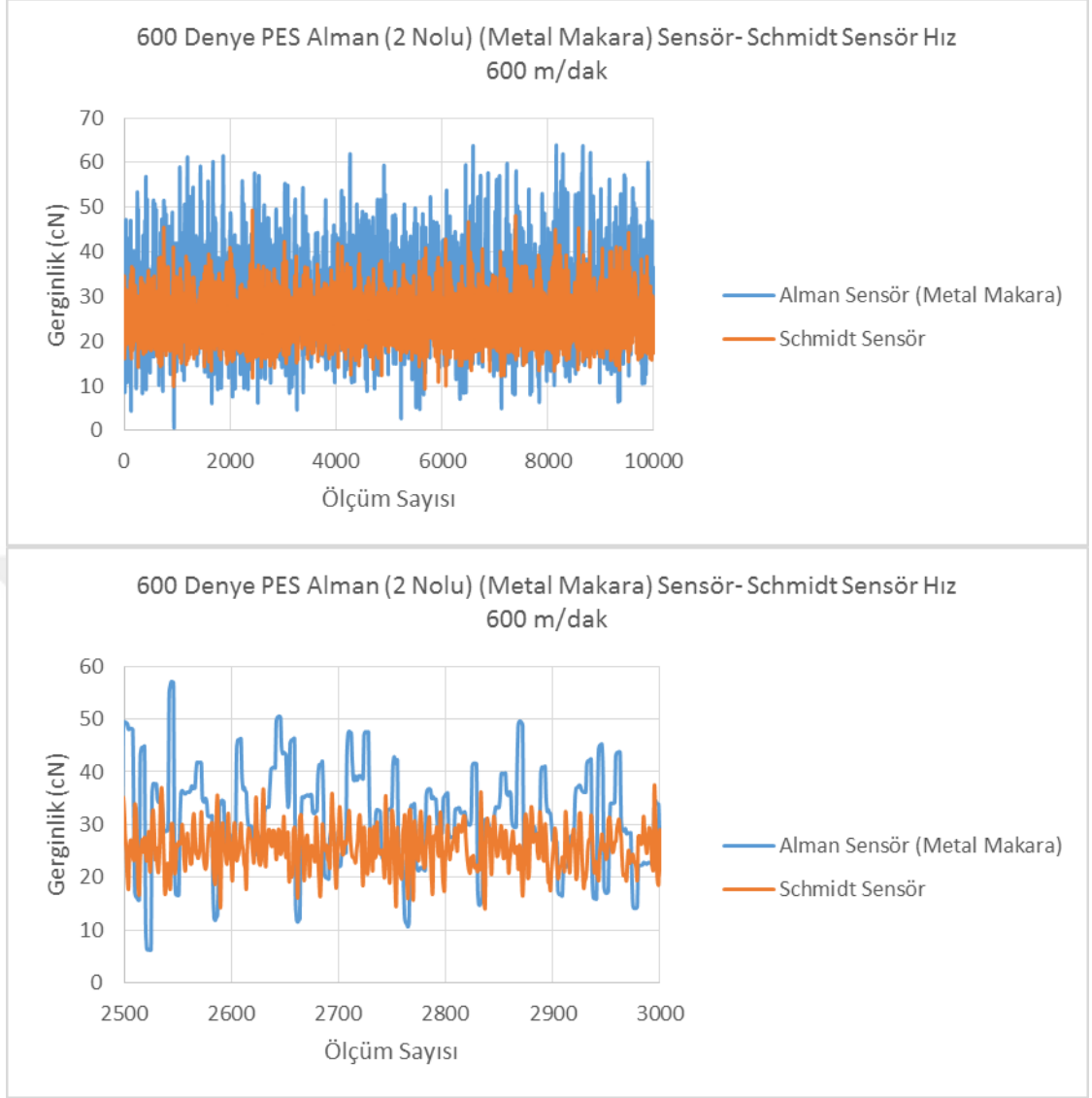
Şekil 4.30. 2 Nolu yük hücreesine sahip metal makaralı gerginlik sensörü 100 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



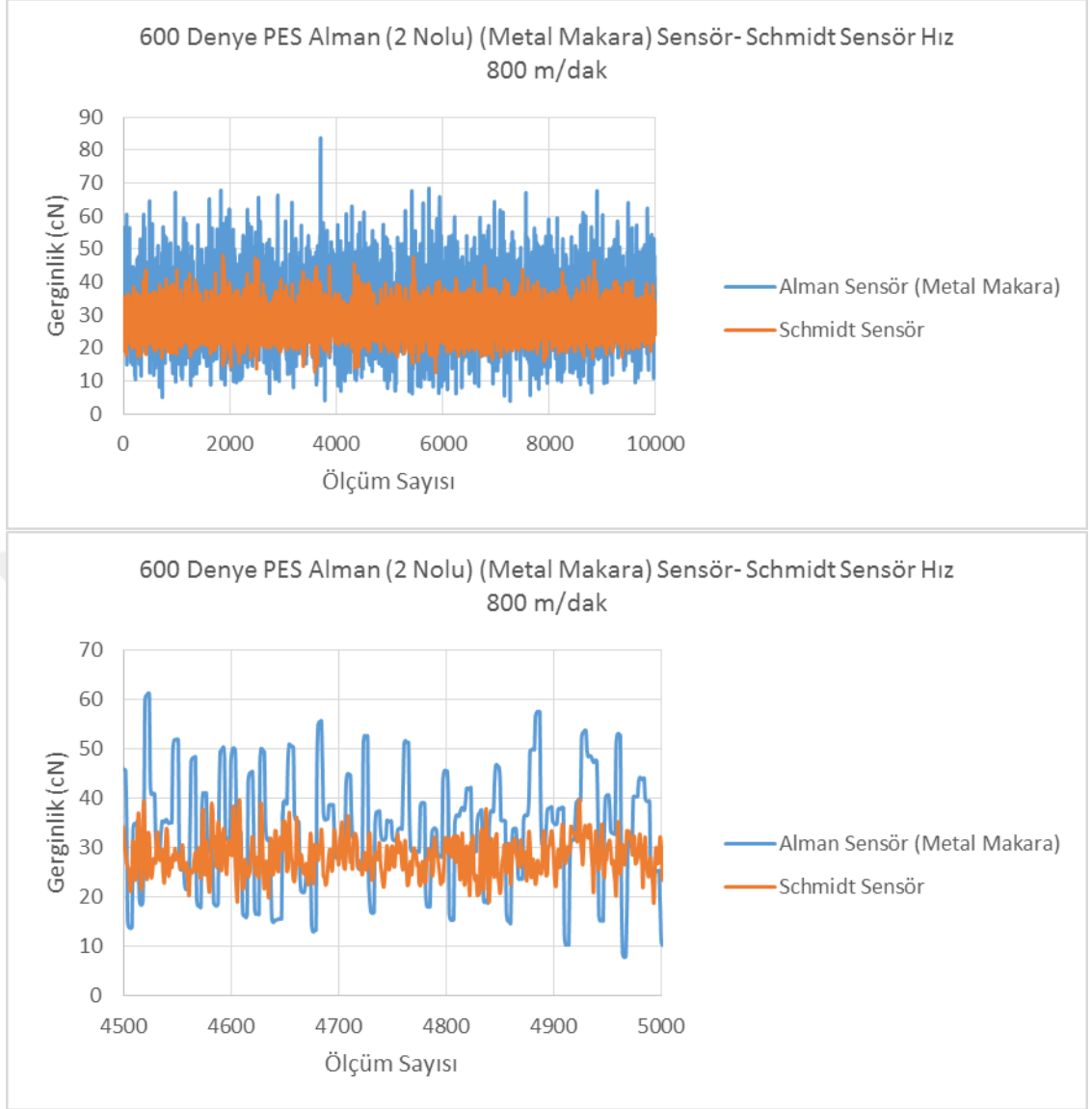
Şekil 4.31. 2 Nolu yük hücreesine sahip metal makaralı gerginlik sensörü 200 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



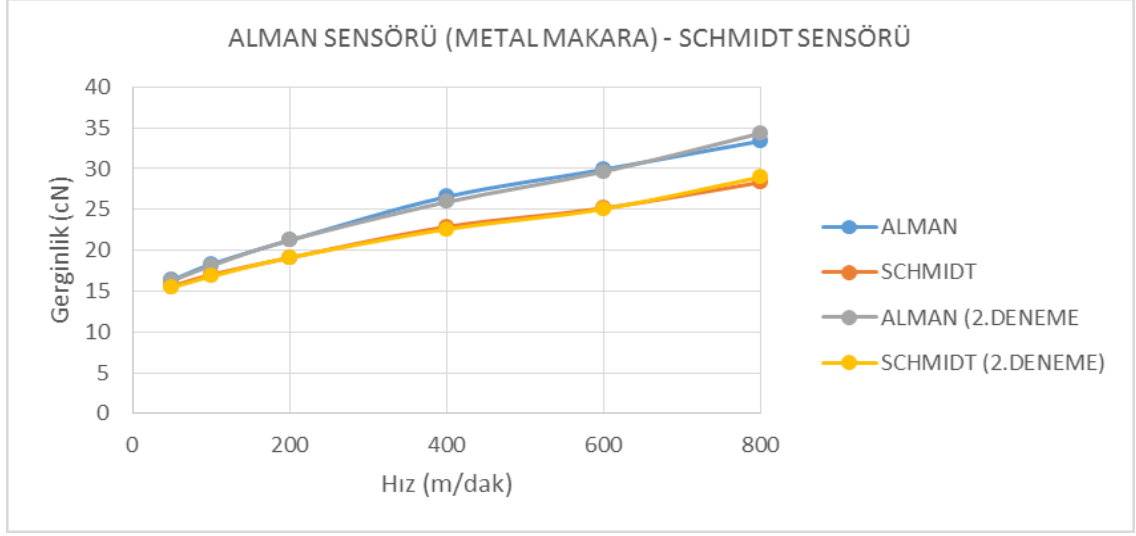
Şekil 4.32. 2 Nolu yük hücresine sahip metal makaralı gerginlik sensörü 400 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



Şekil 4.33. 2 Nolu yük hücreesine sahip metal makaralı gerginlik sensörü 600 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



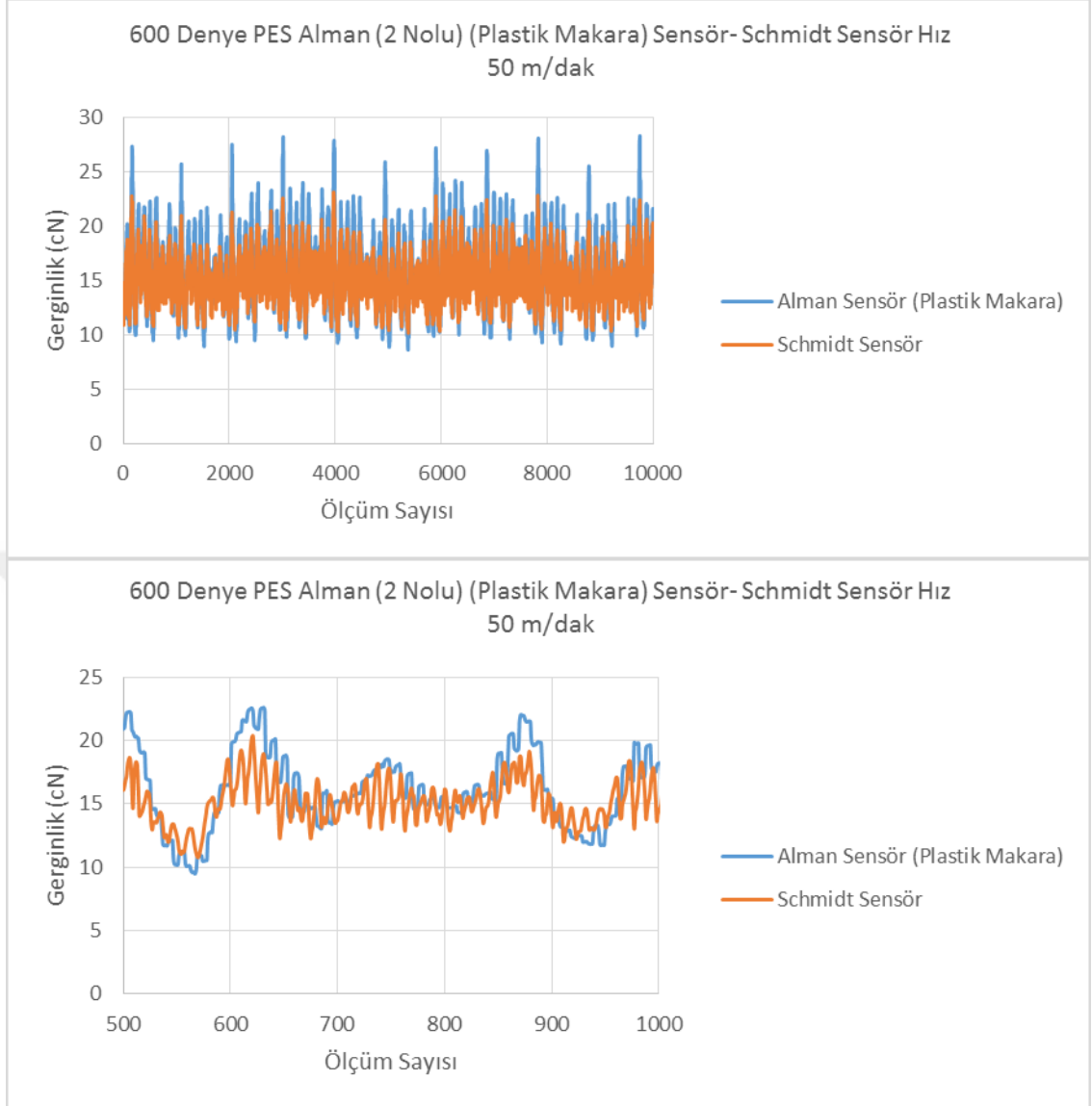
Şekil 4.34. 2 Nolu yük hücresine sahip metal makaralı gerginlik sensörü 800 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



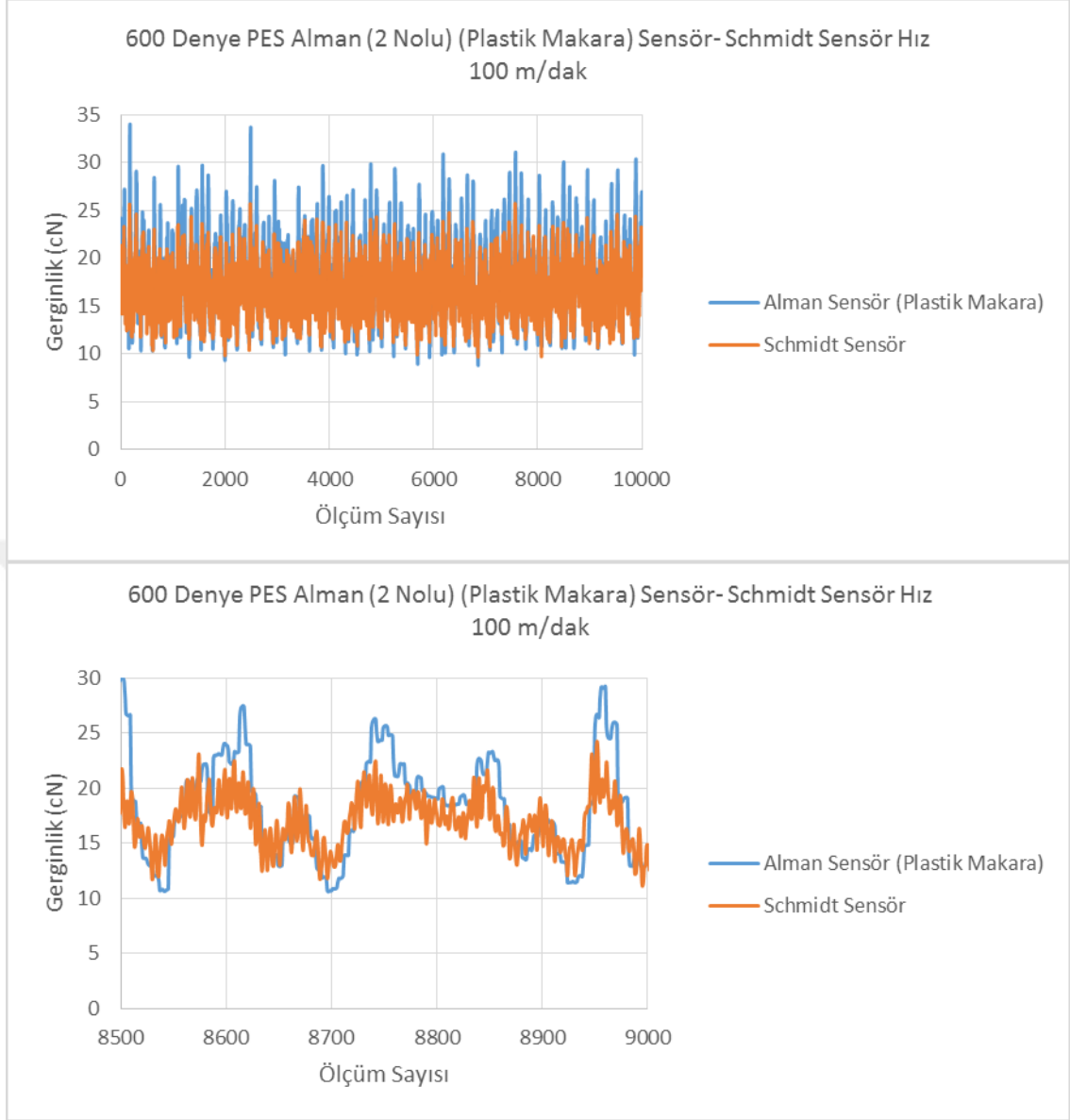
Şekil 4.35. 2 Nolu yük hücresine sahip metal makaralı gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişim sonuçları

Şekil 4.36-Şekil 4.41 arası gerginlik eğrileri plastik makara kullanılması durumunda 50-800 m/dak arası hızlarda iplik gerginlik değişimini göstermektedir. Her bir grafik geliştirilen sensör ile ticari sensörden 1,5 milisaniye aralıklarla elde edilen gerginlik değişimlerini içermektedir. Plastik makara kullanıldığında 50-400 m/dak arası hızlarda 2 sensörden elde edilen gerginlik eğrileri birbirine benzer şekilde değişim göstermektedir. Ancak 600-800 m/dak gibi yüksek hızlarda geliştirilen sensör çıkış sinyali ticari sensöre nazaran daha yüksek oranda dalgalanma göstermektedir. 1 nolu sensörde plastik makara kullanılması durumuyla karşılaştırıldığında daha yüksek hızlarda daha düşük salınımla gerginlik ölçmeye olanak sağlamaktadır. Bu durum 2 nolu sensörde kullanılan yük hücresinin daha rijit bir yapıya ve dolayısıyla daha yüksek bir doğal frekansa sahip olması ile açıklanabilir.

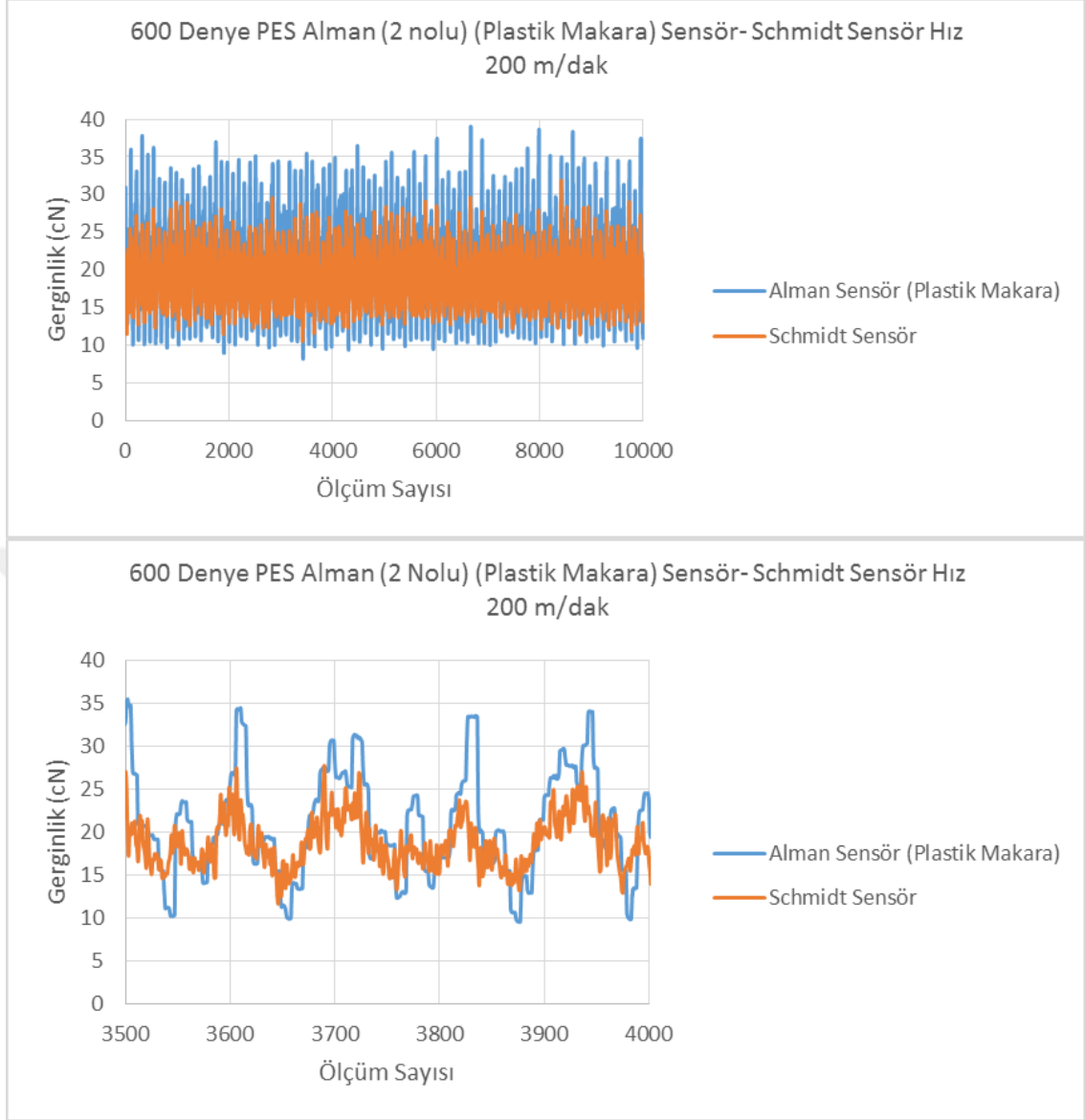
Şekil 4.42'deki hıza bağlı olarak ortalama gerginlik değerleri artan hızla birlikte ticari sensörden elde edilen sonuçlara göre bir miktar daha yüksek elde edilmiştir. Metal makara kullanılması durumunda olduğu gibi 2 sensör arasındaki ortalama gerginlik değerlerinde meydana gelen sapma %10-15 seviyelerinde ortaya çıkmaktadır.



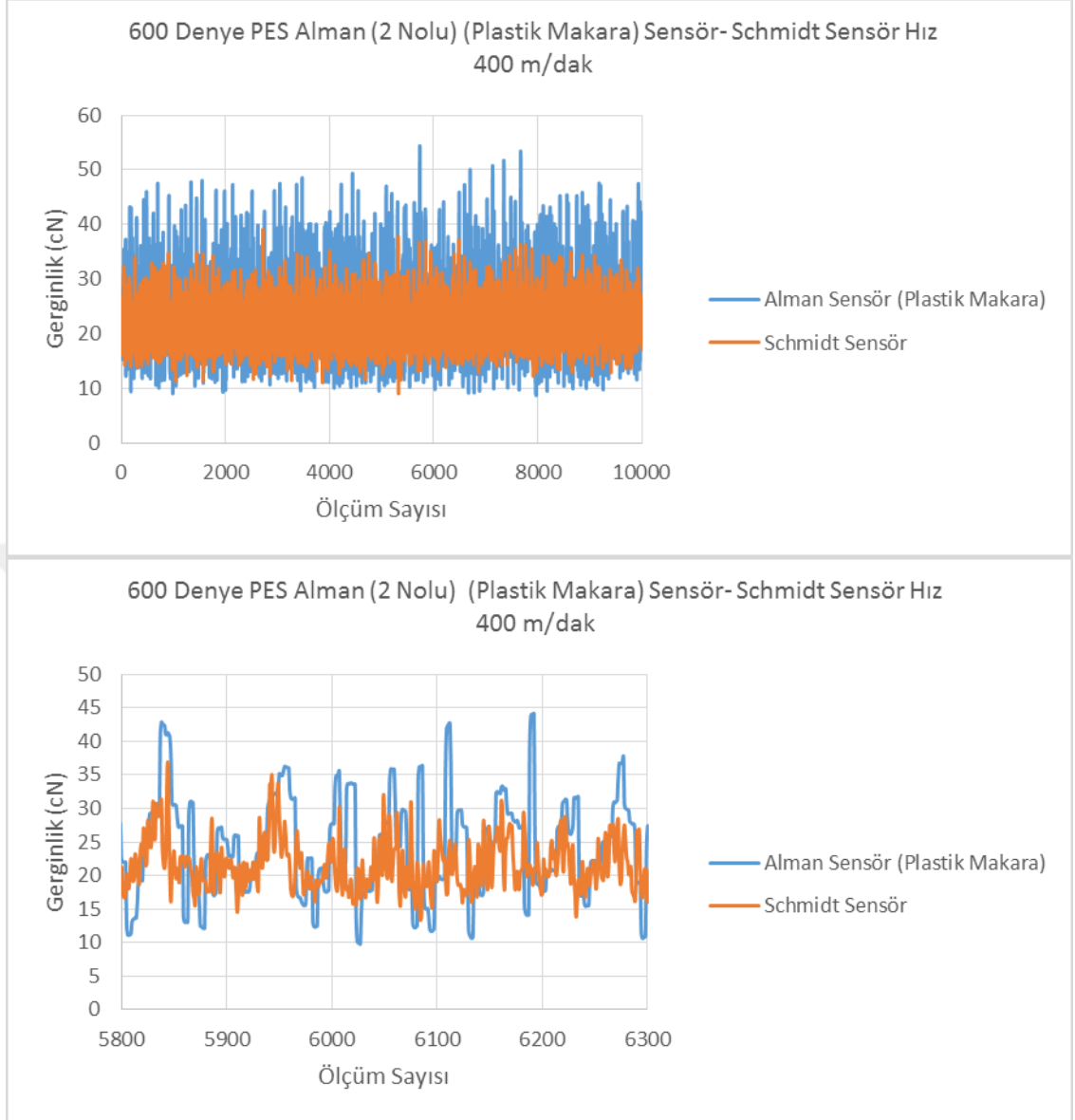
Şekil 4.36. 2 Nolu yük hücresine sahip plastik makaralı gerginlik sensörü 50 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



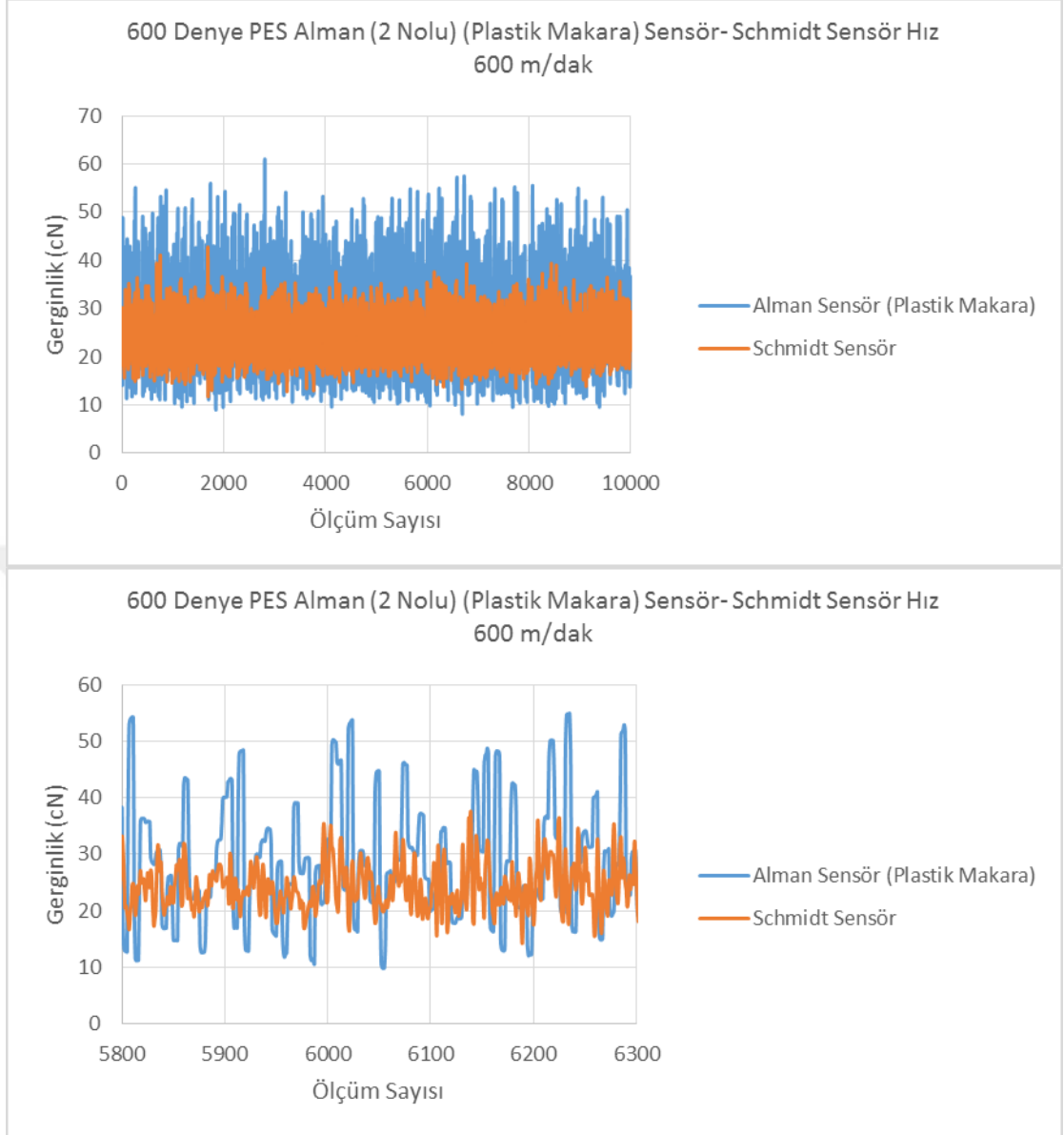
Şekil 4.37. 2 Nolu yük hücresine sahip plastik makaralı gerginlik sensörü 100 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



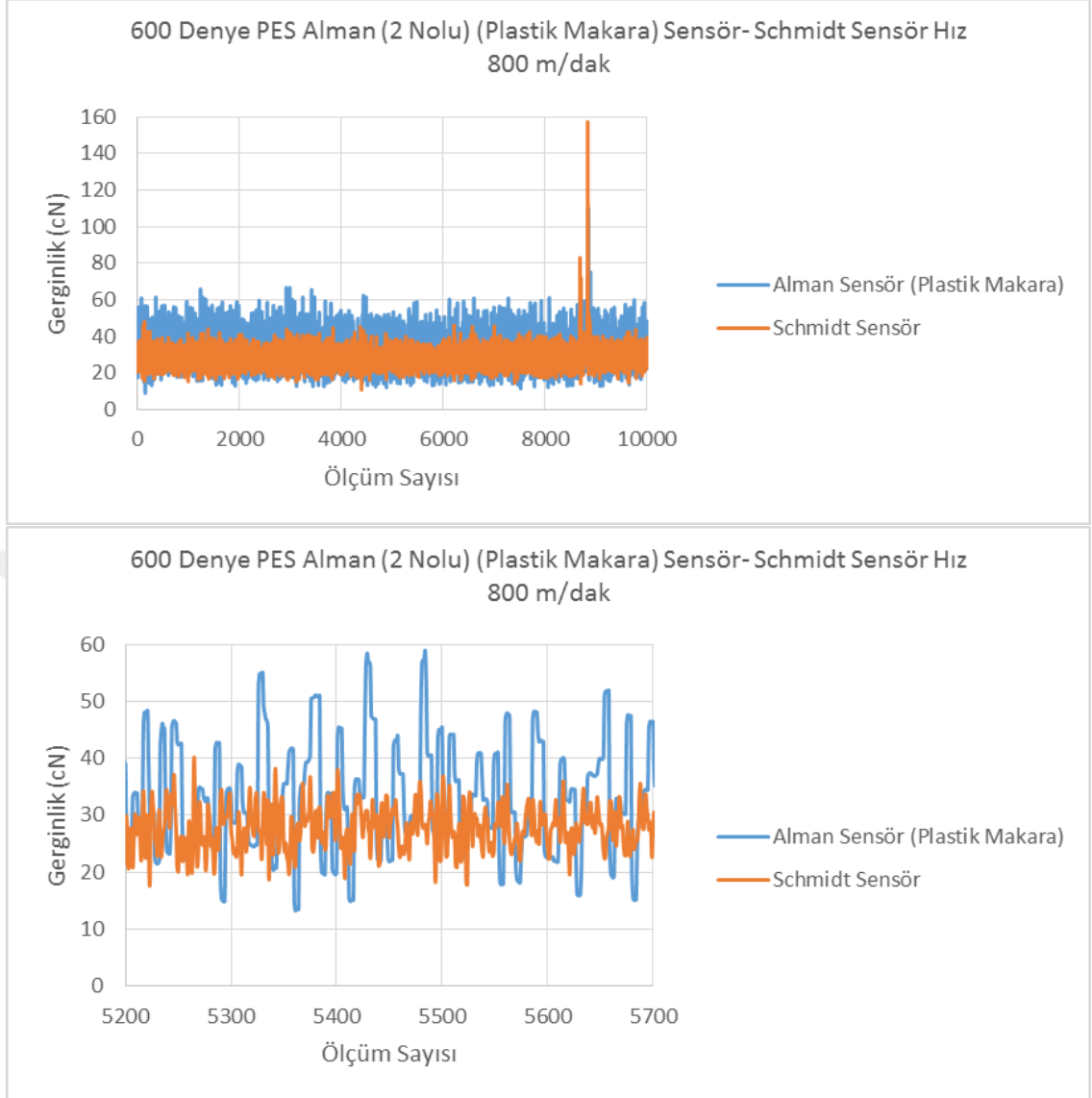
Şekil 4.38. 2 Nolu yük hücreesine sahip plastik makaralı gerginlik sensörü 200 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



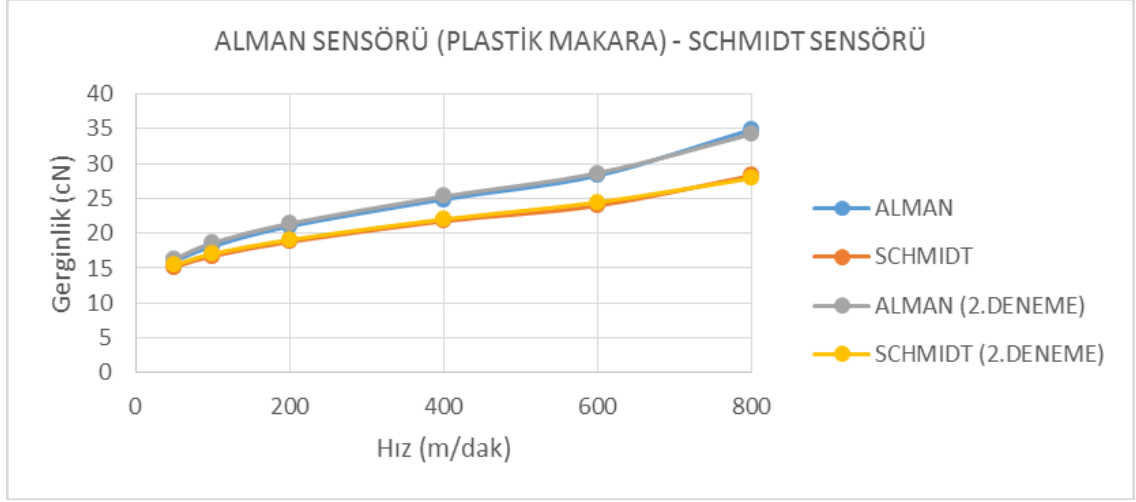
Şekil 4.39. 2 Nolu yük hücresine sahip plastik makaralı gerginlik sensörü 400 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



Şekil 4.40. 2 Nolu yük hücreesine sahip plastik makaralı gerginlik sensörü 600 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları

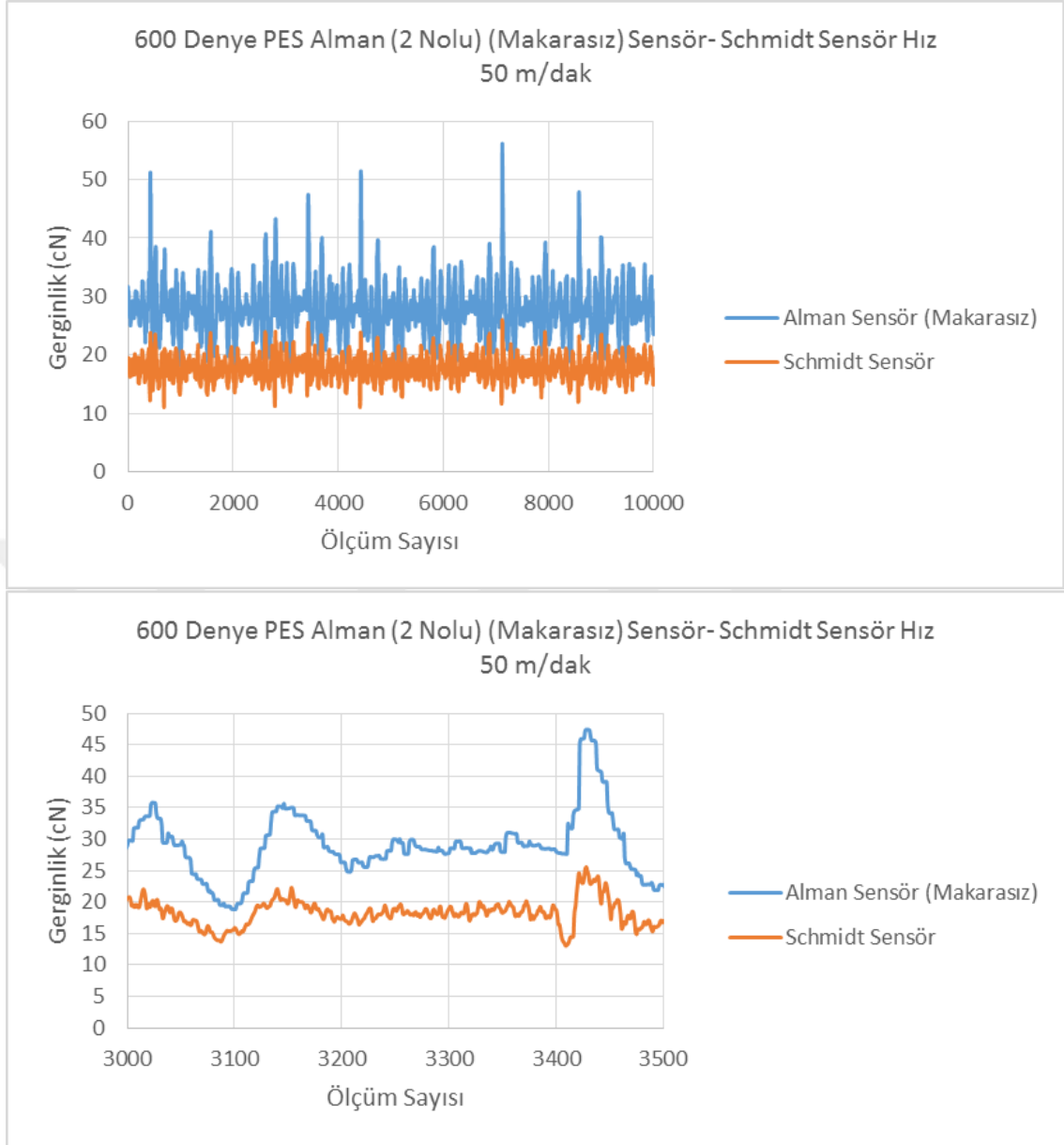


Şekil 4.41. 2 Nolu yük hücresine sahip plastik makaralı gerginlik sensörü 800 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları

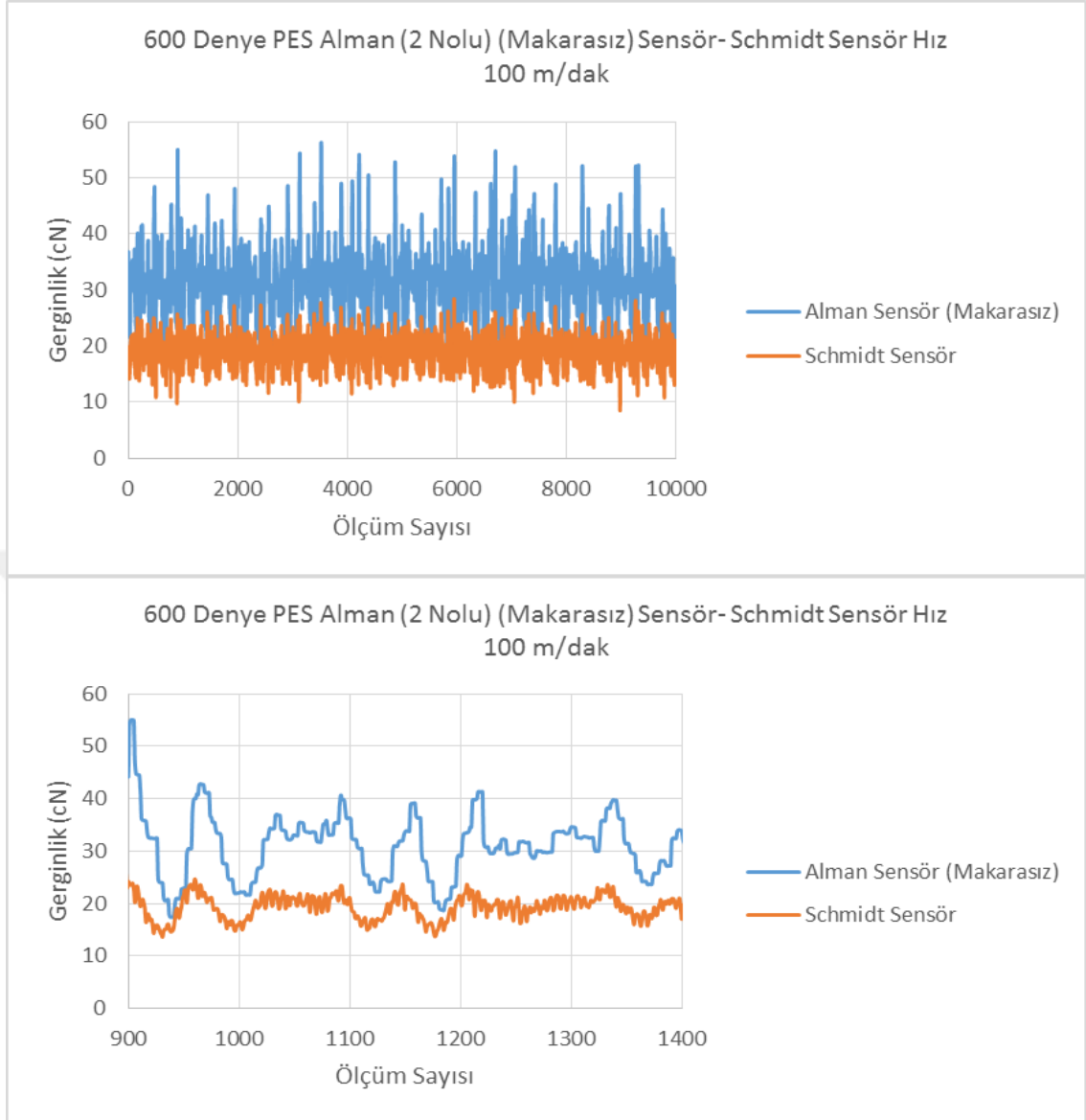


Şekil 4.42. 2 Nolu yük hücreesine sahip plastik makaralı gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişim sonuçları

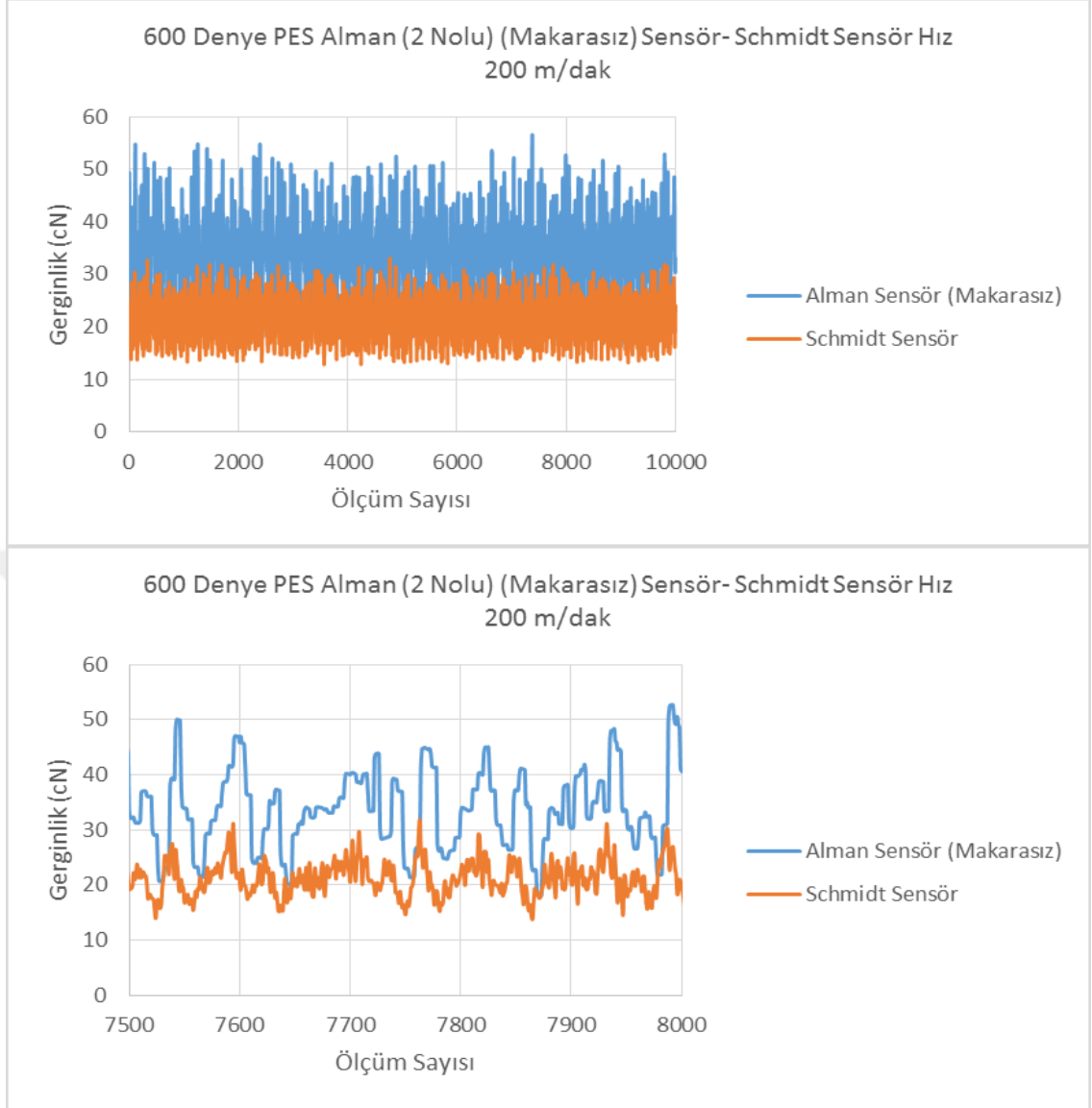
Şekil 4.43-Şekil 4.48 arası gerginlik eğrileri 2 nolu sensörde makara kullanılmaması durumunda 50-800 m/dak arası hızlarda iplik gerginlik değişimini göstermektedir. Her bir grafik geliştirilen sensör ile ticari sensörden 1,5 milisaniye aralıklarla elde edilen gerginlik değişimlerini içermektedir. Makara kullanılmaması durumunda da gerginlik değişim eğrisi ticari sensörden elde edilen gerginlik eğrisiyle büyük oranda benzerlik göstermektedir. Metal ve plastik makara kullanılması durumunda olduğu gibi artan hızlara paralel olarak gerginlik daha büyük genliklerle değişen bir eğri olarak ortaya çıkmaktadır. Geliştirilen ve ticari gerginlik sensörlerinden elde edilen gerginlik seviyelerindeki fark kalibrasyon esnasında ağırlıkların bağlı olduğu iplik ile sensördeki metal çubuklar arasındaki sürtünme kuvvetinden kaynaklanmaktadır. Şekil 4.49'daki hıza bağlı olarak ortalama gerginlik değerleri artan hızla birlikte ticari sensörden elde edilen sonuçlarla gittikçe artan bir sapma meydana getirmektedir. Makara kullanılmamasından dolayı iplik ile alüminyum çubuklar arasındaki sürtünme bu sapmanın sebebi olarak değerlendirilebilir.



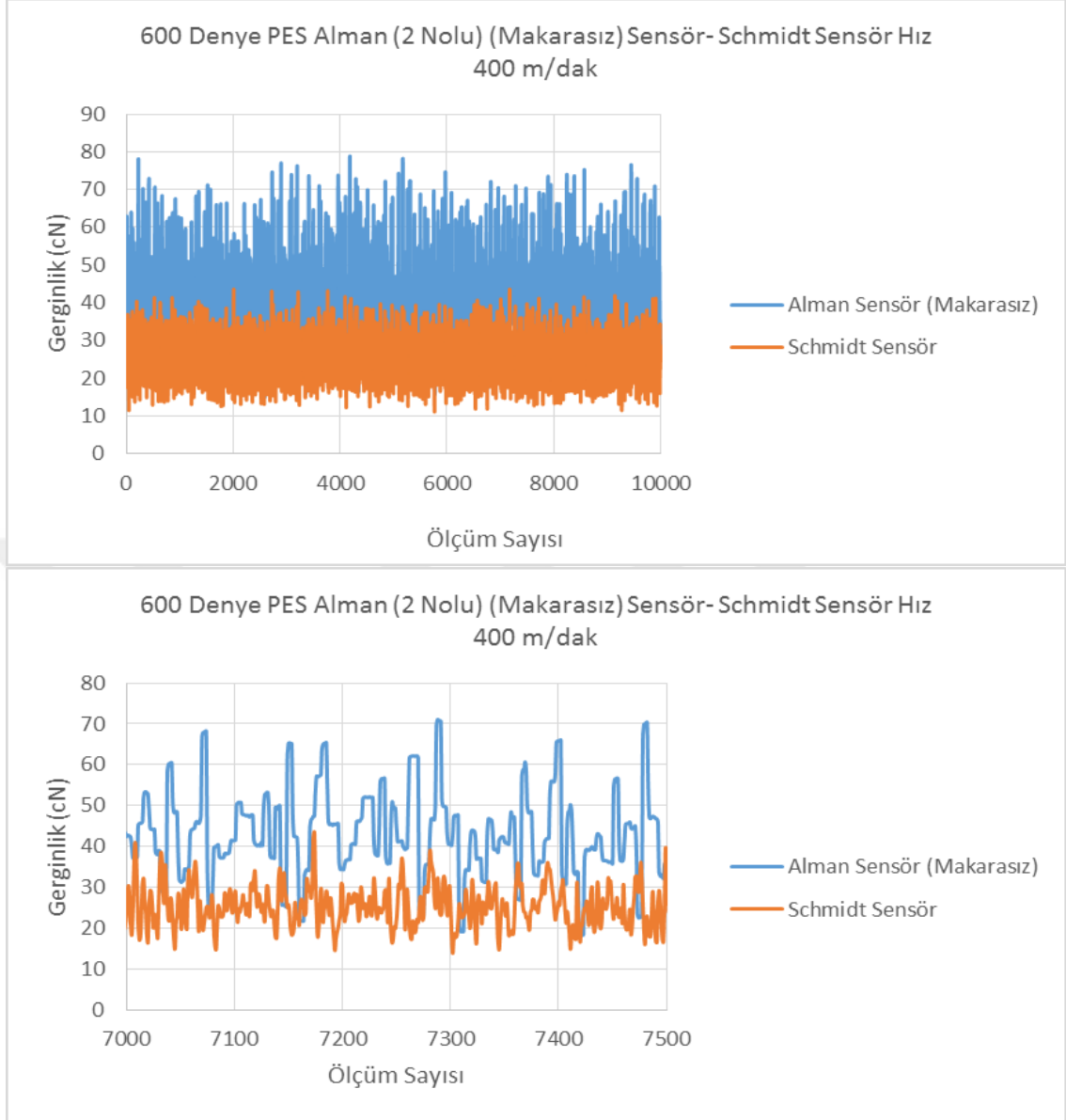
Şekil 4.43. 2 Nolu yük hücresine sahip makarasız gerginlik sensörü 50 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



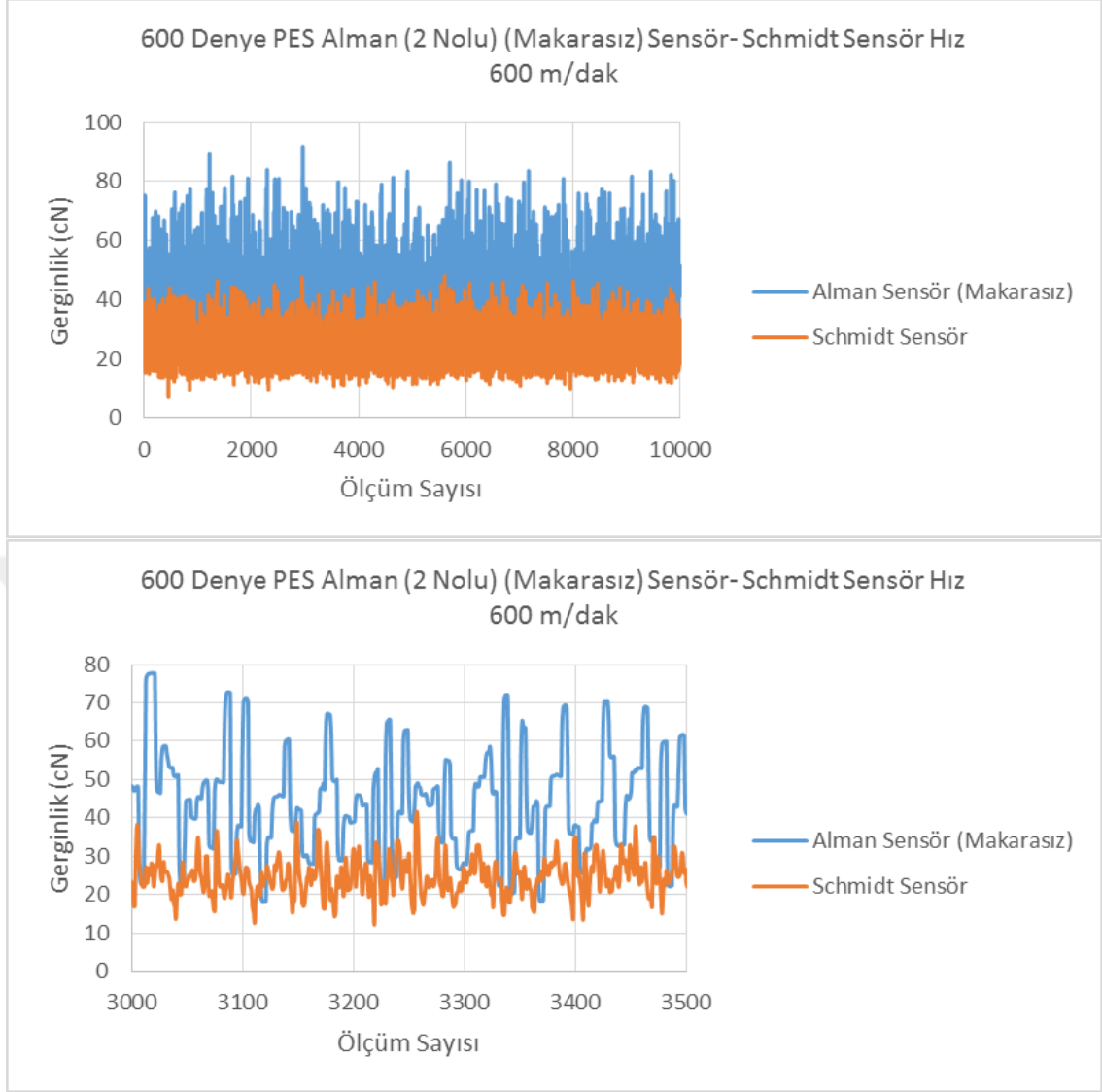
Şekil 4.44. 2 Nolu yük hücreesine sahip makarasız gerginlik sensörü 100 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



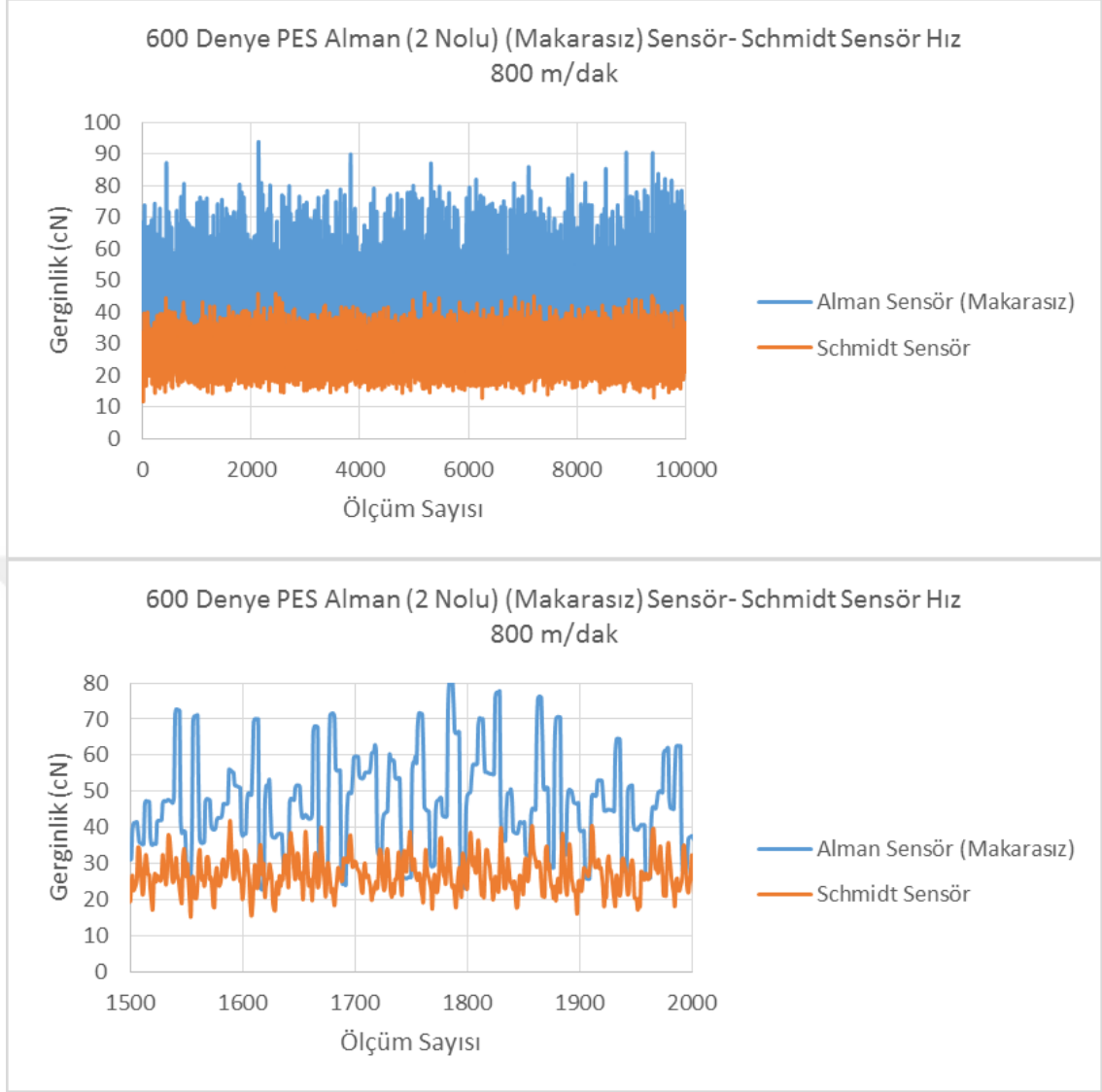
Şekil 4.45. 2 Nolu yük hücreesine sahip makarasız gerginlik sensörü 200 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



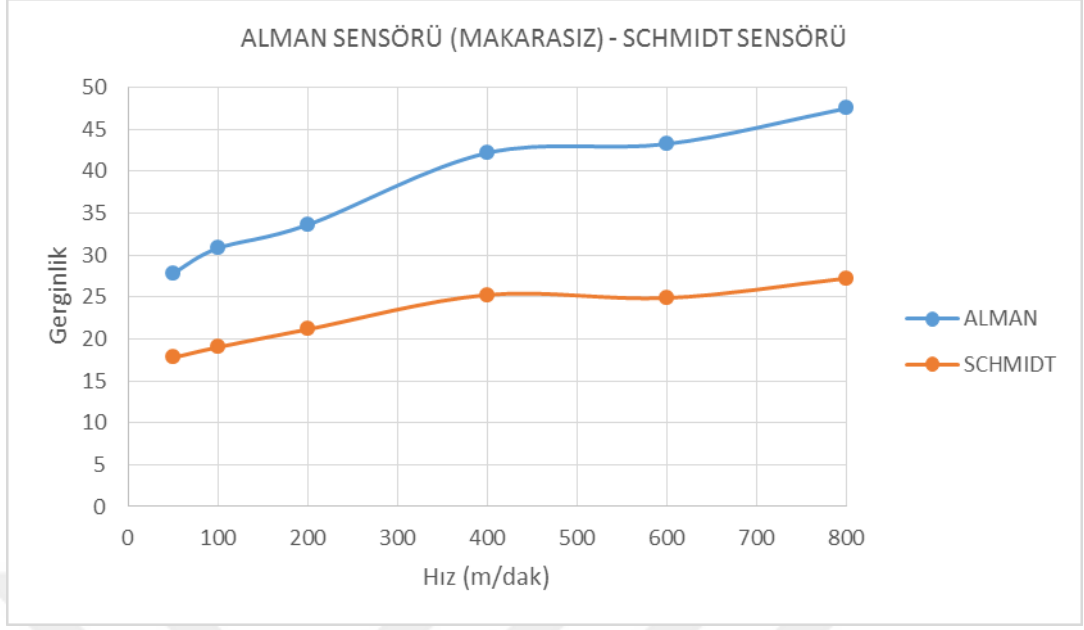
Şekil 4.46. 2 Nolu yük hücreesine sahip makarasız gerginlik sensörü 400 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



Şekil 4.47. 2 Nolu yük hücreesine sahip makarasız gerginlik sensörü 600 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları

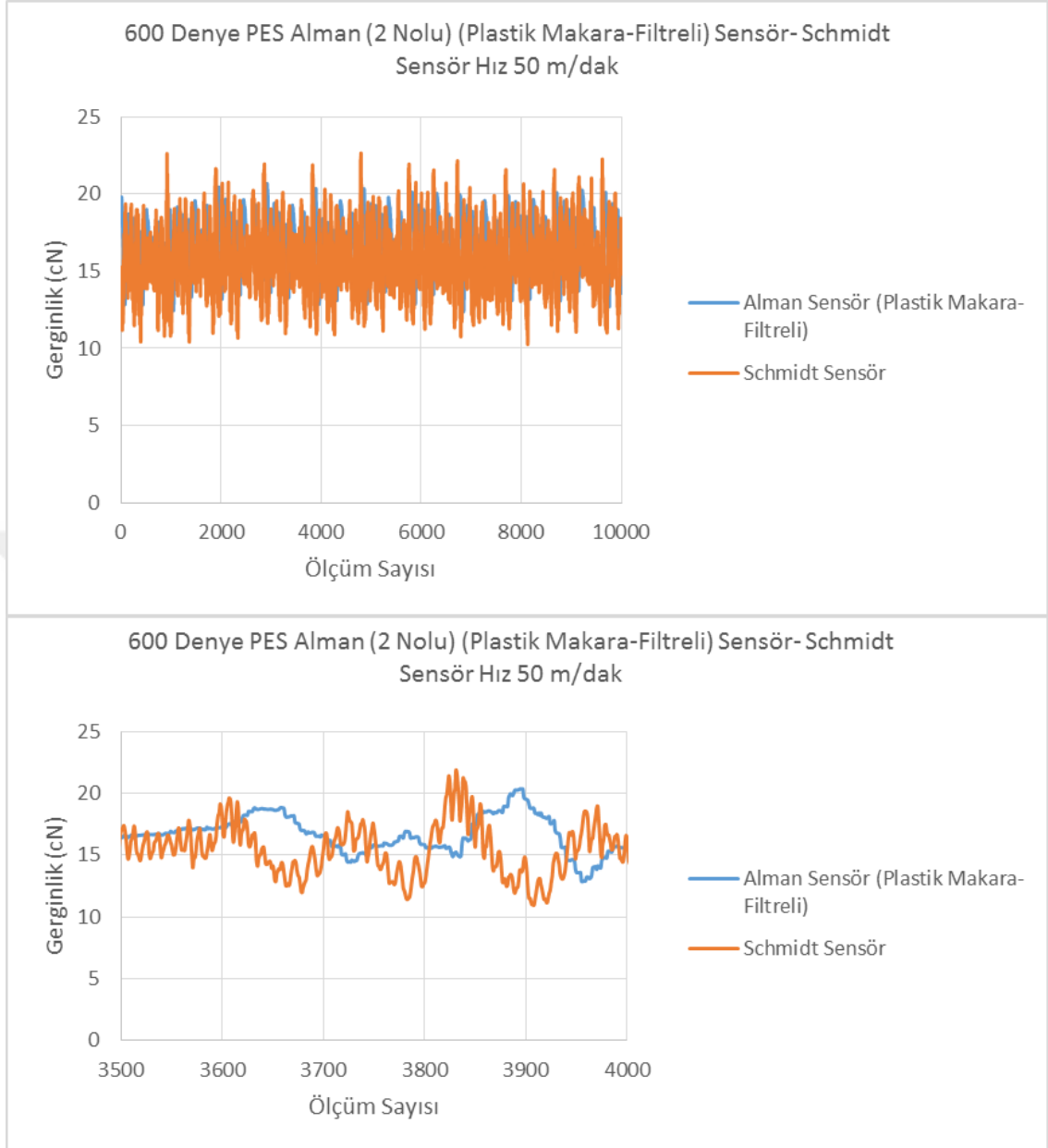


Şekil 4.48. 2 Nolu yük hücreesine sahip makarasız gerginlik sensörü 800 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları

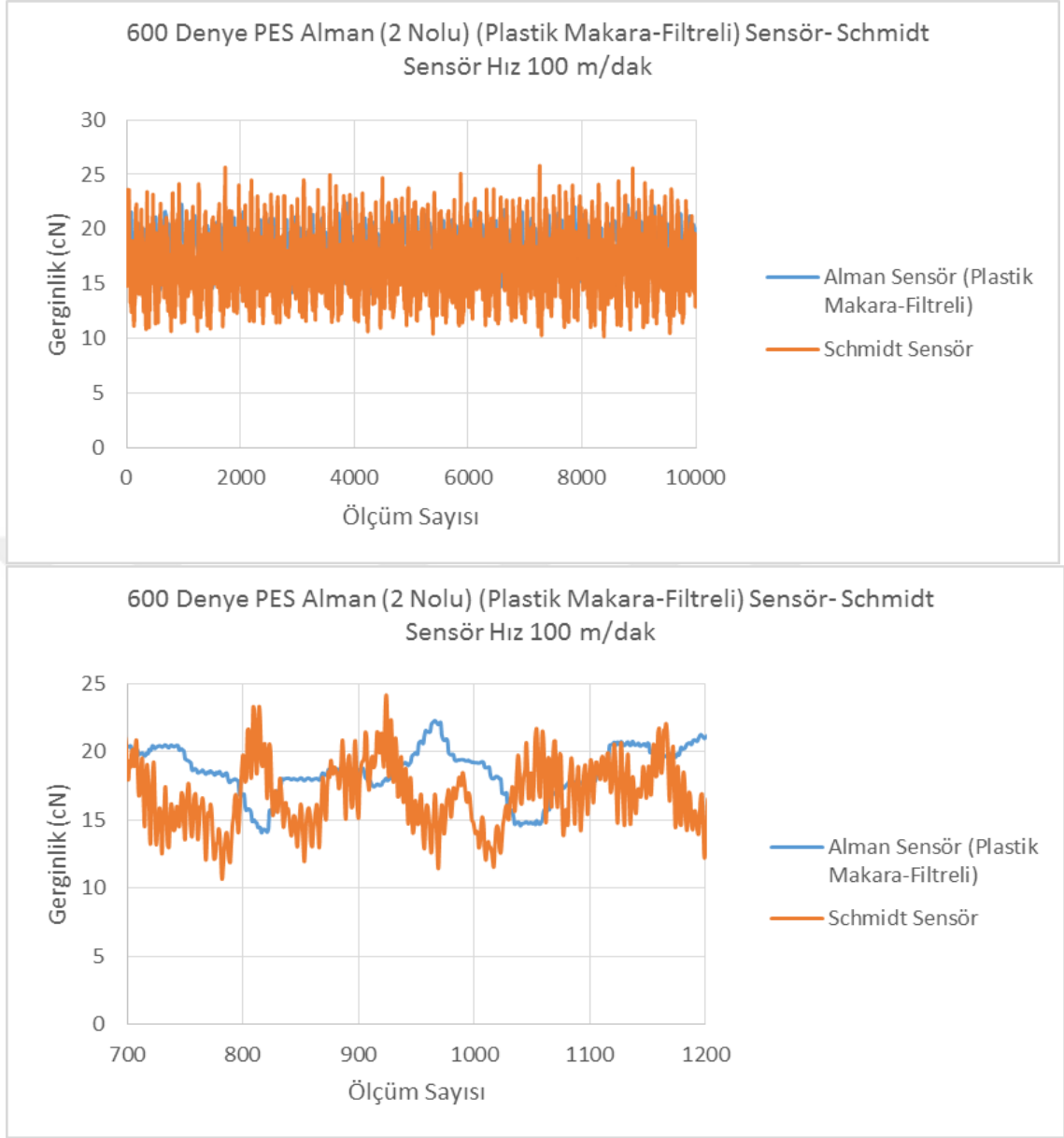


Şekil 4.49. 2 Nolu yük hücreesine sahip makarasız gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişim sonuçları

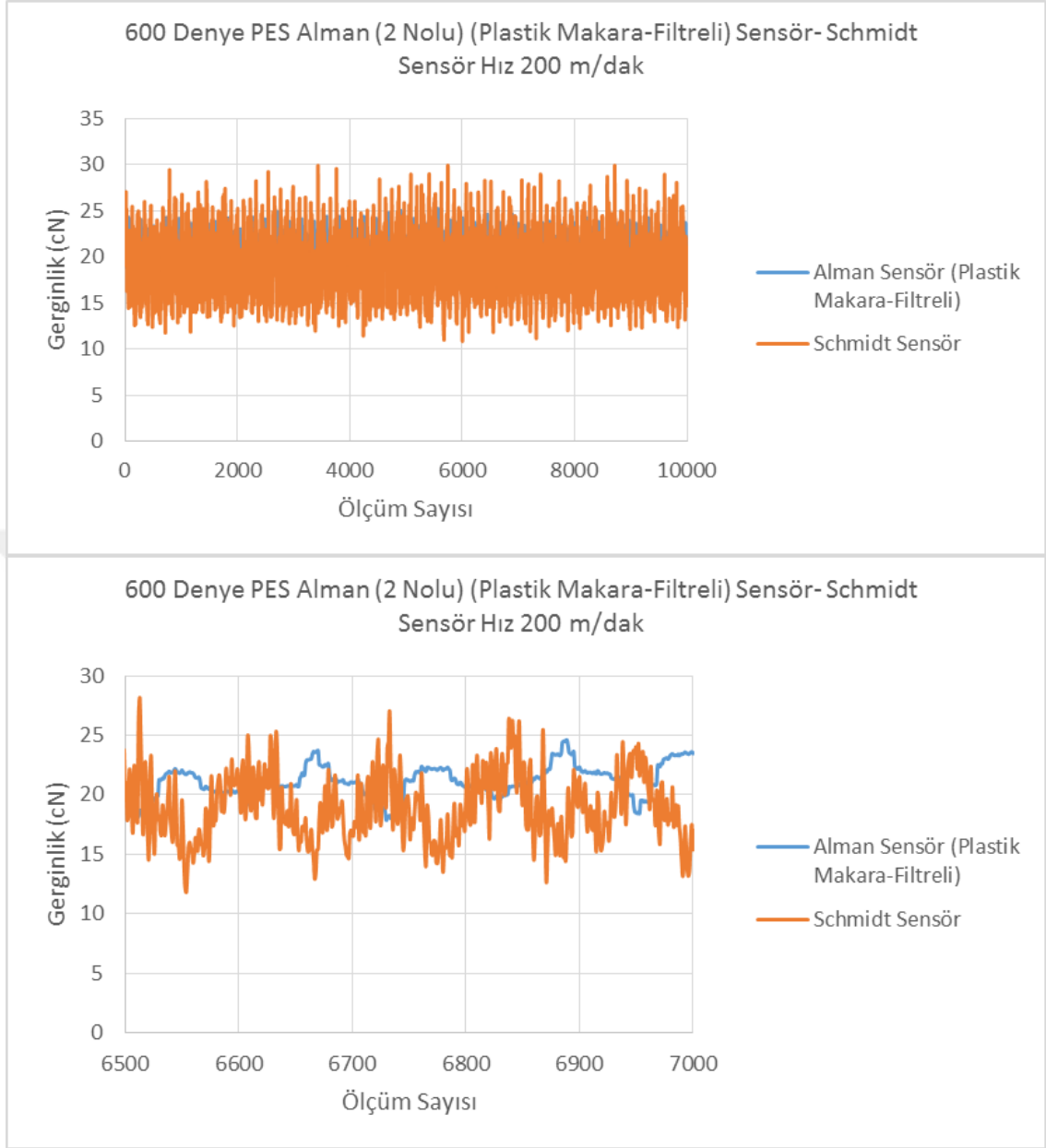
Şekil 4.50-Şekil 4.55 arası grafikler tez kapsamında geliştirilen sensörden elde edilen sinyale uygulanan filtrenin artırılması (sinyal geçiş periyodunu 3 milisaniyeden 150 milisaniyeye çıkılması) ve plastik makara kullanılması durumunda elde edilen gerginlik eğrilerini göstermektedir. Artan hızla birlikte filtre edilmiş gerginlik sensörü çıkış sinyali dalgalanması ciddi oranda azalmaktadır. Bu beklenen bir durumdur. Dolayısıyla bu durumda iki sensörün çıkış sinyallerini karşılaştırmak ve sinyal değişim şekilleri hakkında yorum yapmak anlamlı olmamaktadır. Ancak Şekil 4.56'daki ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişimi incelendiğinde artan hızla birlikte yukarıda açıklanan 3 durumda olduğu gibi bir sapma ortaya çıkmakta ve bu sapma %10-15 seviyelerinde gerçekleştirilmektedir.



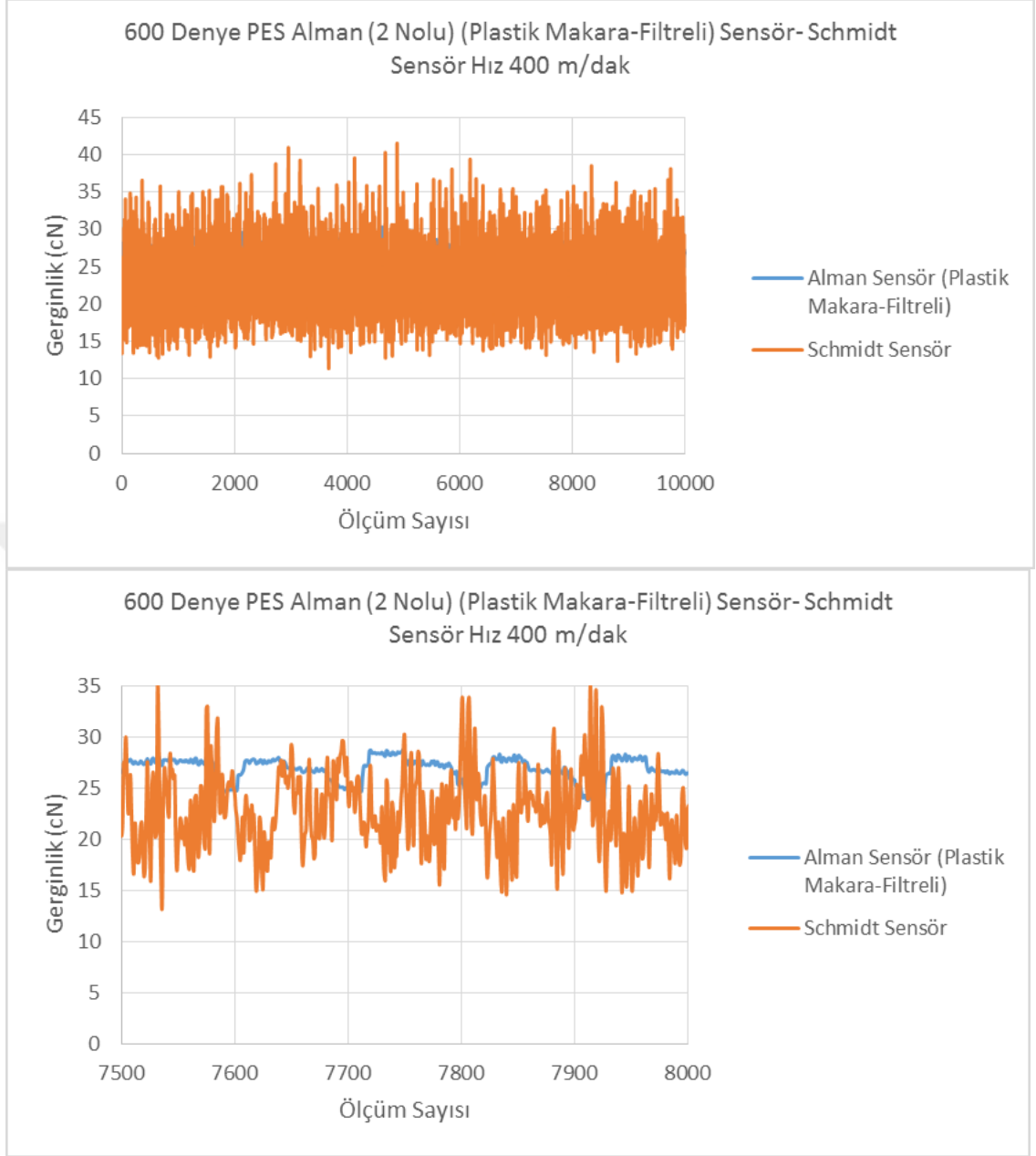
Şekil 4.50. 2 Nolu yük hücresine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 50 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



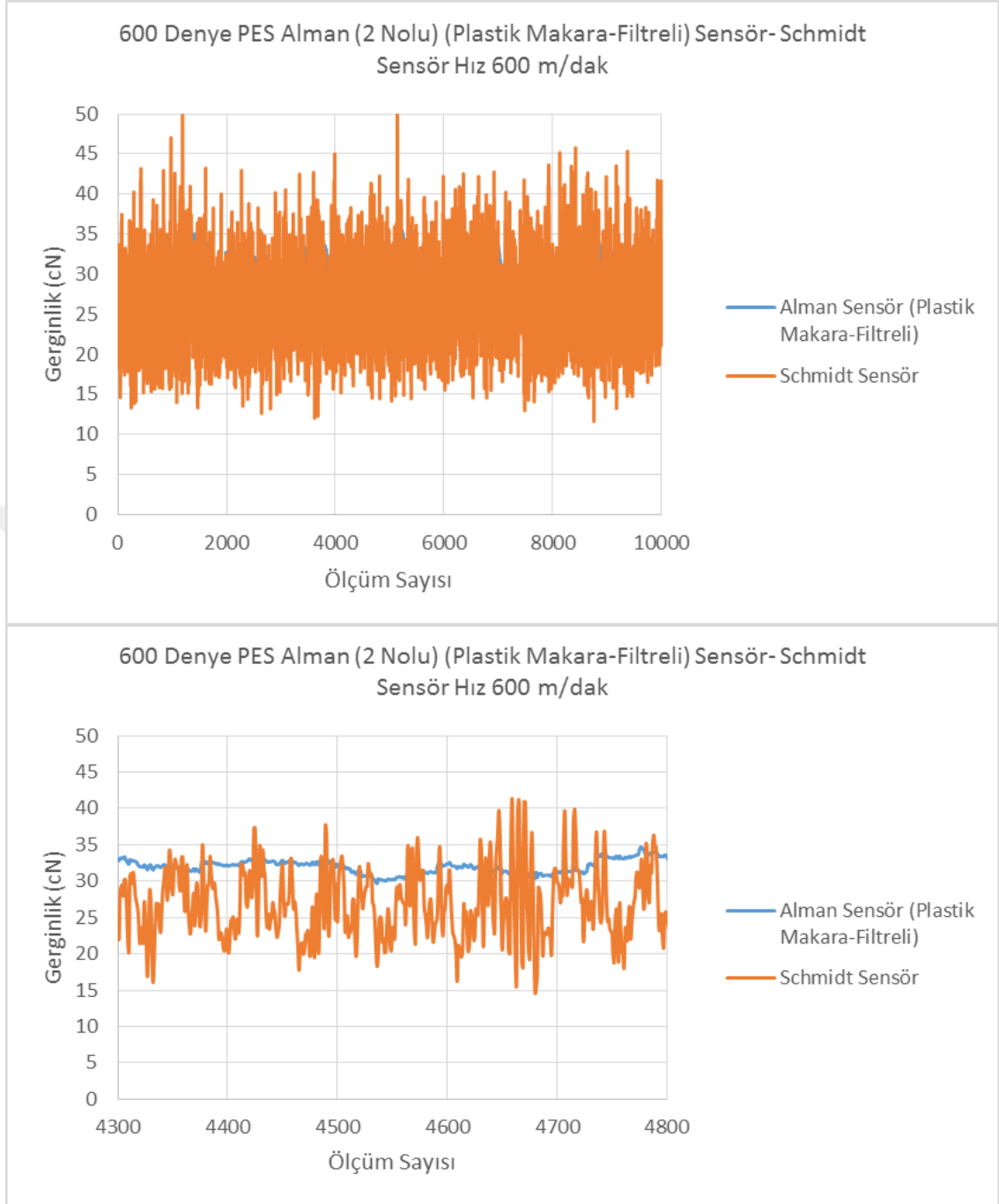
Şekil 4.51. 2 Nolu yük hüresine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 100 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



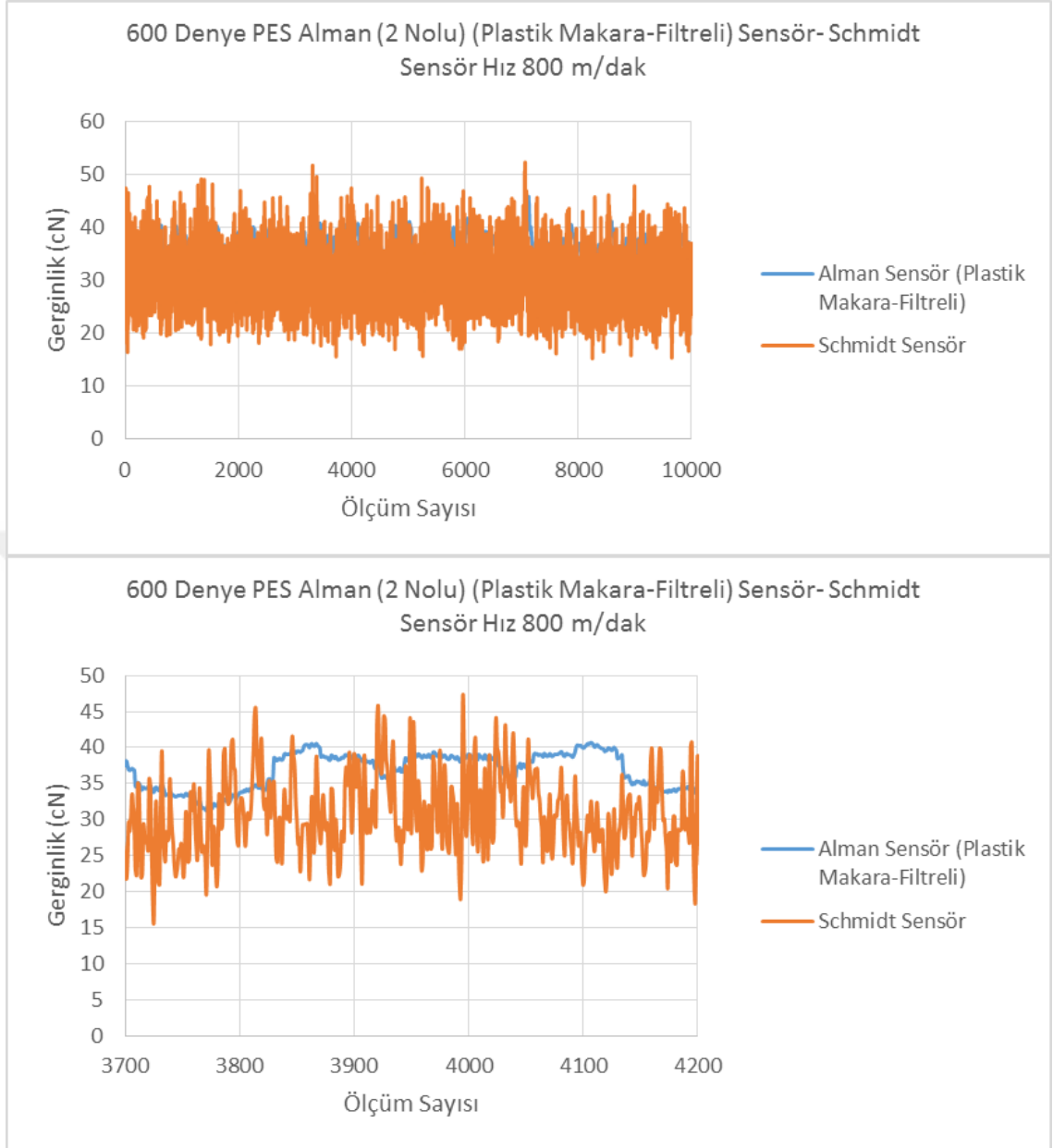
Şekil 4.52. 2 Nolu yük hücresine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 200 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



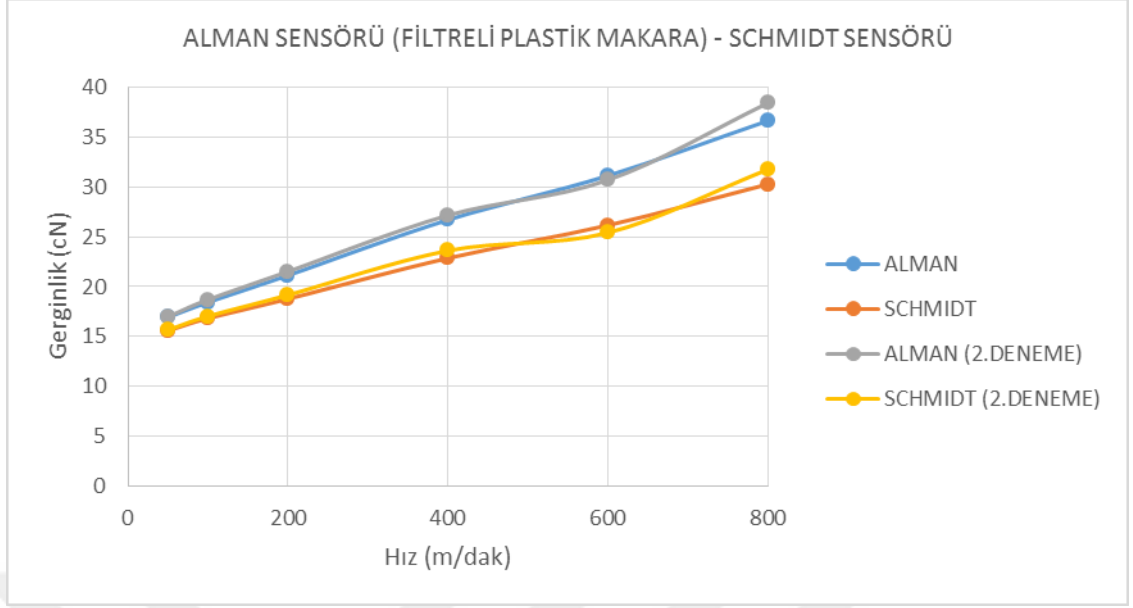
Şekil 4.53. 2 Nolu yük hüresine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 400 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



Şekil 4.54. 2 Nolu yük hücreesine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 600 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



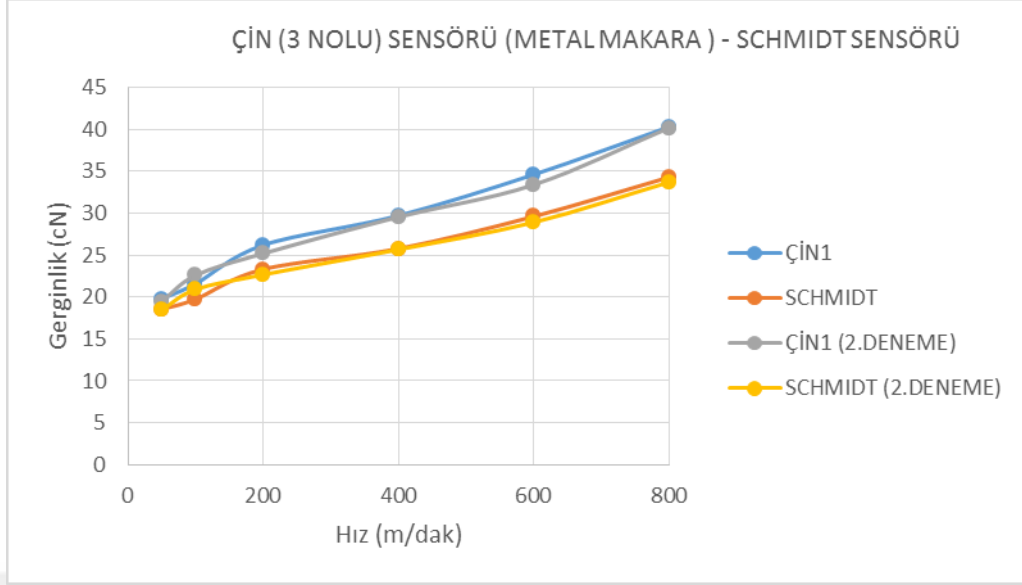
Şekil 4.55. 2 Nolu yük hücresine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü 800 m/dak hız ile çalışmada gerginlik değişimi sonuçları



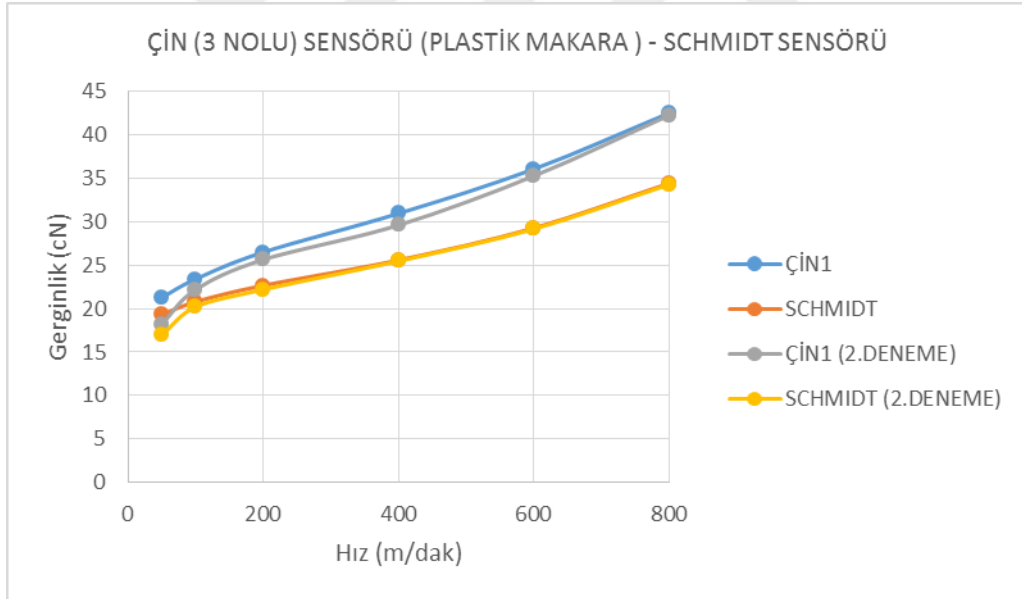
Şekil 4.56. 2 Nolu yük hücresine sahip plastik makara-filtreli gerginlik sensörü gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişim sonuçları

4.3. 3 Nolu Yük Hücresi Kullanılan Gerginlik Sensörü Sonuçları

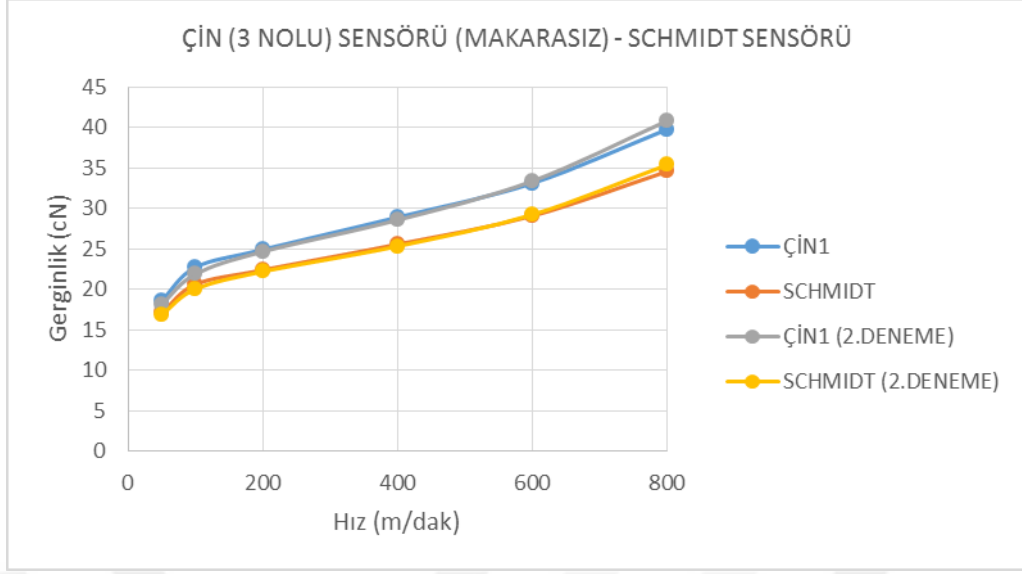
Şekil 4.57-Şekil 4.60 3 nolu sensör tarafından 50-800 m/dak arası hızlarla elde edilen ortalama gerginliklerin iplik hızına bağlı olarak değişimini 2 tekrar durumu için göstermektedir. Hıza bağlı olarak sunulan a-d arası ortalama gerginlik değişim eğrileri sırasıyla metal makara, plastik makara, makarasız ve filtreli-metal makaralı sensörlerden elde edilmiştir. Bütün durumlarda hızdaki artışa bağlı olarak ticari sensör ile bu tez çalışmasında geliştirilen sensörden elde edilen ortalama gerginlik değerleri arasında 3-5 cN arası ölçüm sapmaları bulunmaktadır. Bu sapmaların sensörün gerginlik değişimleri esnasında titreşimli hareketinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir.



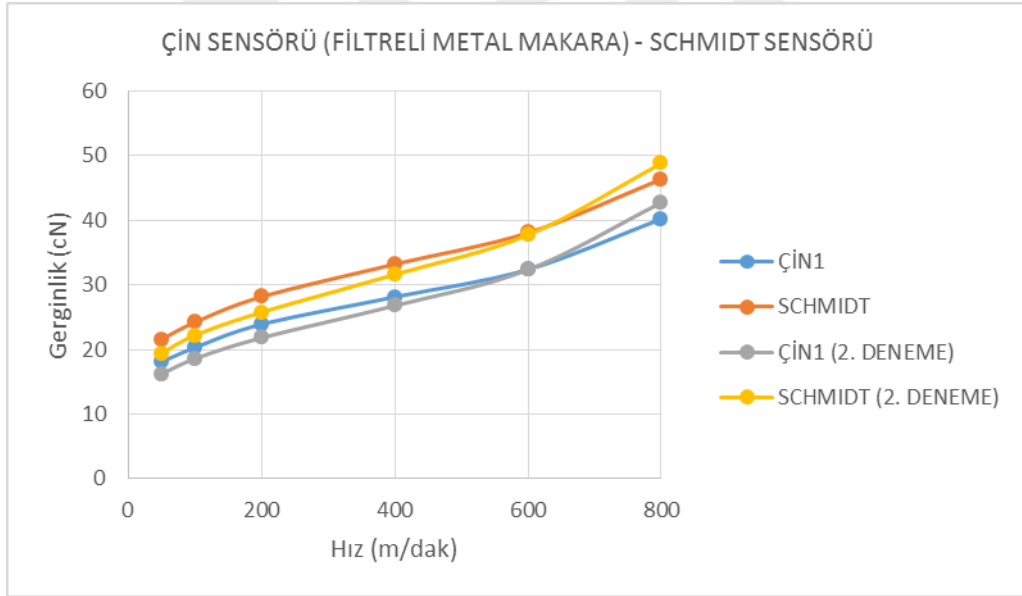
Şekil 4.57. 3 Nolu yük hücreesine sahip metal makaralı gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişim sonuçları



Şekil 4.58. 3 Nolu yük hücreesine sahip plastik makaralı gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişim sonuçları



Şekil 4.59. 3 Nolu yük hücresine sahip makarasız gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişim sonuçları



Şekil 4.60. 3 Nolu yük hücresine sahip filtreli metal makaralı gerginlik sensörüyle ölçülen ortalama gerginliklerin hıza bağlı olarak değişim sonuçları

5. SONUÇ

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında ülkemizde üretimi yapılmayan ve yurtdışından ithal edilen iplik gerginlik ölçme sensörleri araştırılmış ve direnç tipi yük hücresi kullanılarak tasarım yapılarak üretimleri ve takiben gerginlik ölçme performansları araştırılmıştır. Birçok tekstil prosesinde özellikle artan hızlarla birlikte iplik gerginliğindeki değişimler yüksek frekanslarda gerçekleşmekte ve bu değişimleri hassas bir şekilde ölçebilmek için gerginlik sensörlerinin de artan çalışma hızları ile uyumlu olarak çalışması gerekmektedir.

Tez çalışmasında öncelikle iplik gerginlik ölçümünde kullanılan yöntemler ve fiziksel esaslar incelenmiş olup kapasitif, optik, Hall etki ve direnç değişimini esas alan yöntemlerin tamamının iplik gerginlik ölçümünde kullanıldığı görülmüştür. Ancak bu yöntemler arasında kapasitif ve direnç değişimine esas alan sensörlerin daha yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür. Dünyanın değişik ülkelerinde üretilen iplik gerginlik sensörleri arasında direnç değişimine esas alan yöntemlerin daha da ön planda olduğu ortaya çıkmış olup bunun sebebinin mekanik ve elektronik anlamda imalat yöntemlerinin kolaylığı olduğu değerlendirilmiştir.

Tez çalışmasında piyasada mevcut, yurtiçi ve yurtdışı piyasalardan satın alınabilecek direnç tipi yük hücreleri kullanılarak gerginlik sensörü tasarımı, imalatı ve performans testleri yapılarak ülkemizde gerginlik sensörlerinin üretilebilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla değişik özellik ve boyutlarda yük hücreleri kullanılarak gerginlik sensörleri tasarlanmış, rulmanlı makaralar kullanılarak iplik kılavuz sistemi oluşturulmuş ve 3 makaradan ortadakine etkiyen bileşke gerginliğin sebep olduğu yük hücresi direnç değişimi kullanılarak gerginlik ölçme gerçekleştirilmiştir. Yük hücresinde gerginliğe bağlı olarak meydana gelen direnç değişimi bir Wheatstone köprü devresi ile mV seviyesinde elektriksel sinyale dönüştürülmüş ve daha sonra bu sinyal kuvvetlendirilerek gerginliği temsil eden elektriksel sinyal elde edilmiştir. Kuvvetlendirme devresinde 3 milisaniye geçiş periyoduna sahip düşük frekanslı sinyalleri geçiren bir filtre kullanılmıştır. Bu değer birçok tekstil prosesinde iplik gerginliğinde meydana gelen gerginlik değişimlerinin algılanması için yeterli bir ölçme frekansı olarak değerlendirilebilir.

Geliştirilen 3 adet gerginlik sensörü performans testlerine tabi tutulmadan önce kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon işleminde 3 adet makara etrafından dolanan bir ipliğin ucuna 180 gr (200 gr ve 200 cN maksimum ölçme aralığı) asılarak sensöre ait kazanç ayarı yapılmış ve daha sonra 0 ile maksimum ölçme değeri arasında değişen 9 farklı ağırlık ipliğin ucuna takılarak çıkış sinyali ölçülmüştür. Bu şekilde sensörlere ait kalibrasyon eğrileri elde edilmiş ve yapılan analizde kalibrasyon eğrisinin 3 sensör için sırasıyla 1, 0,999 ve 0,998 R^2 değeri ile doğrusal olduğu görülmüştür. İplik gerginliğinin dinamik olarak ölçümü esas olduğundan daha önceki bir doktora tez çalışması kapsamında geliştirilen tek bobinlik çalgık ve bir bobin makinesinden oluşan bir deney düzeneği kullanılarak iplik hızları 50 m/dak ile 800 m/dak arasında değiştirilmiştir. Tek bobinlik çalgık çıkışında tez kapsamında geliştirilen sensörler ve ticari bir sensörden oluşan gerginlik ölçme ünitesi yerleştirilmiş ve her bir hızda gerginlik ölçme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Endüstride hali hazırda kullanılmakta olan bir ticari sensörün deneysel çalışmalara dahil edilmesi karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır. Gerginlik ölçümleri 1,5 milisaniye aralıklarla birbirini takip eden 10 000 adet veri alınarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca 10 000 adet verinin ortalaması alınarak da değerlendirme yapılmıştır.

Gerginlik değişimi incelendiğinde tez kapsamında geliştirilen gerginlik sensörleri ticari sensöre nazaran çok daha yüksek genlikte değişim gösteren bir ölçüm gerçekleştirmiştir. Ayrıca gerginlik ölçüm sonuçları sunulan 2 sensörden 1 nolu sensör 2 nolu sensöre nazaran daha yüksek genlikte değişen dalgalanmalar göstermiştir. İki sensörde kullanılan yük hücreleri karşılaştırıldığında 1 nolu sensöre ait yük hücresinin daha düşük eğilme rijitliğine ve dolayısıyla daha düşük doğal frekansa sahip olduğu görülmüştür. Üç adet sensörün her bir hızda ölçülen ortalama gerginlik değerleri ticari sensörün sonuçlarıyla karşılaştırıldığında artan hıza bağlı olarak daha yüksek oranda sapmaların oluştuğu ve bu sapmaların %10-15 seviyesinde gerçekleştiği görülmüştür. Bu sapmaların 3 sensörde de yaklaşık olarak aynı seviyede görülmüş olması artan hıza bağlı olarak oluşan gerginlik dalgalanmalarından dolayı ortaya çıktığı değerlendirilmektedir. Yapılan tekrarlı ölçümlerde aynı sapmaların ortaya çıkması bir düzeltme faktörü kullanılarak ortalama gerginliğin geliştirilen sensörlerle ölçülüp kontrol sistemlerinde bu sensörlerin kullanılabilceği düşüncesinde oluşturmaktadır.

Ancak özellikle artan hızlarda iplik gerginliğinin daha net olarak elde edilmesi için gerginlik sensörlerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada piyasada mevcut yük hücreleri kullanılarak iplik gerginlik ölçme olanakları araştırılmıştır. İstenilen ölçüm sonuçlarının özellikle yüksek hızlarda elde edilememesinden dolayı bundan sonraki çalışmalarda sensör tasarımında kullanılan yük hücrelerinin tasarım üzerine yoğunlaşılması önerilmektedir. Bu amaçla yük hücrelerinin mümkün olduğu kadar yüksek doğal frekans veya eğilme rijitliğine sahip olacak şekilde tasarlanması ve bu amaçla geliştirilen ve üretilen değişik doğal frekanslarda yük hücrelerinin sensör tasarımında kullanılarak gerginlik sensörlerinin üretilmesi ve performans testlerin yapılmasının istenilen hassasiyette iplik gerginlik ölçümü yapan sensörlerin geliştirilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2015.** INAx126 MicroPower instrumentation amplifier single and dual versions. Texas Instrumentations, <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina126.pdf>-(Erişim tarihi: 22.11.2018).
- Anonim, 2017a.** Dynamic force measurement. Novatech Measurements Limited, <https://www.novatechloadcells.co.uk/eng/e006.htm>-(Erişim tarihi: 26.11.2018).
- Anonim, 2017b.** Strain gauge type transducers. Tokyo Sokki Kenkyujo Limited, https://www.tml.jp/e/download/catalog/Transducers_E2020B.pdf-(Erişim tarihi: 22.11.2018).
- Anonim, 2018a.** Choosing the right load cell. Honeywell, http://www.alliantech.com/pdf/coin_des_experts/choix_capteur_de%20force.pdf-(Erişim tarihi: 24.11.2018).
- Anonim, 2018b.** Hall efekt sensors. Electronics Tutorials, <https://www.electronicstutorials.ws/electromagnetism/hall-effect.html>-(Erişim tarihi: 23.11.2018).
- Anonim, 2018c.** Hall effect sensing and application. Honeywell, <https://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-sensors-magneto-resistive-hall-effect-applications-005715-2-en2.pdf>-(Erişim tarihi: 24.11.2018).
- Anonim, 2018d.** Load cell working principle. Instrumentation Tools ,<https://instrumentationtools.com/load-cell-working-principle/>-(Erişim tarihi: 25.11.2018).
- Anonim, 2018e.** Piezoelectric materials. Steminc, <https://www.steminc.com/PZT/en/>-(Erişim tarihi: 23.11.2018).
- Anonim, 2018f.** Strain gages. Kyowa, http://www.kyowa-ei.com/eng/download/technical/strain_gages/pdf_index_001_eng.pdf-(Erişim tarihi: 18.11.2018).
- Anonim, 2018g.** Torque transducers and torque sensors. Applied Measurements Limited, <https://appmeas.co.uk/products/torque-sensors/>-(Erişim tarihi: 24.11.2018).
- Anonim, 2018h.** What is a Strain gage. Kyowa, <https://www.kyowa-ei.co.jp/english/products/gages/pdf/whats.pdf>-(Erişim tarihi: 18.11.2018).
- Barat, E., Salles, A. 1996.** Method and contactless measurement device for the tension of a filament. US patent, Patent No:5493918.
- Brendel, A. E. 2018.** Frequency response of sensors. Technical Articles, <https://www.hitecsensors.com/technical/frequency-response-of-sensors/>-(Erişim tarihi: 26.11.2018).
- Çelik, Ö. 2018.** Bobin sağımında iplik gerginliğine etki eden faktörlerin deneysel araştırılması. *Doktora Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Eren, R. 1996.** Dokuma makinalarında çözgü salma mekanizmalarının gelişimi ve atkı sıklığının kontrolü. *tekstil maraton*, 5: 31-39.
- Ergün, A. 2018.** Gerilme transduserleri sunumu. Dokuz Eylül Üniversitesi. <http://kisi.deu.edu.tr//asli.ergun/4-Basinc%20Transduserleri.pdf>-(Erişim tarihi: 23.12.2018).
- Hartel, R., Hoehne, K., Hermanns, F., Henze, H., Knors, H., Engelhardt, D., Zitzen, W., Veyes, M., Merckens, H., Weissenfels, W., Ruetten, H., Jaegers, D., Pommer, B. 1994.** Yarn tension for a textile machine. USOO5329822, USOO5329822A, Patent Number: 5329822 all of Federal Republic of Germany.

- Jain, P. 2017.** Load cell. Engineers Garage, <https://www.engineersgarage.com/articles/load-cell->(Erişim tarihi: 25.11.2018).
- Nakayama, T., Yamazaki, C., Ohno, M. 1980.** Yarn tension meter. Patent No:4182167, US4182167, Japan.
- Narayana, V. P. S. 2005.** Novel method for dynamic yarn tension measurement and control in direct cabling process. North Carolina State University, USA, pp:7-9.
- Özada, Ç. 2015.** Piezoelektrik olay. Mühendis Beyinler, [https://www.muhendisbeyinler.net/piezoelektrik-nedir-piezoelektrik-olay/-](https://www.muhendisbeyinler.net/piezoelektrik-nedir-piezoelektrik-olay/)(Erişim tarihi: 22.11.2018).
- Özgen, G. 2015.** Smart structures and materials. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, [http://courses.me.metu.edu.tr/courses/me493/files/02_ME493_PIEZOELECTRIC_MATERIALS_Spring_2015_v1.pdf-](http://courses.me.metu.edu.tr/courses/me493/files/02_ME493_PIEZOELECTRIC_MATERIALS_Spring_2015_v1.pdf)(Erişim tarihi: 20.11.2018).
- Palitha, B. 2005.** Tension measurement. International Publication Number: WO2005040746A2.
- Pierson, J. 2018.** Load cell principles. Sensorland Article, [http://www.sensorland.com/HowPage005.html-](http://www.sensorland.com/HowPage005.html)(Erişim tarihi: 20.11.2018).
- Sandalcı, T. 2018a.** Gerilme ve basınç algılayıcıları. Yıldız Teknik Üniversitesi, [http://www.yildiz.edu.tr/~sandalci/dersnotu/alg/2strain.pdf-](http://www.yildiz.edu.tr/~sandalci/dersnotu/alg/2strain.pdf)(Erişim tarihi: 26.11.2018).
- Sandalcı, T. 2018b.** Algılayıcılar(sensörler). Yıldız Teknik Üniversitesi, [http://www.yildiz.edu.tr/~sandalci/dersnotu/alg/1sensors.pdf-](http://www.yildiz.edu.tr/~sandalci/dersnotu/alg/1sensors.pdf)(Erişim tarihi: 26.11.2018).
- Shankam, V. P., Oxenham W, Seyam A.M., Grant E., Hodge G. 2009.** Wireless yarn tension measurement and control in direct cabling process. *The Journal of The Textile Institute*, pp 400-411.
- Wessolowski, B., Mink, W. 1987.** Yarn tension sensor. US4677860.

EKLER

EK 1. 1.Yazılım

EK 2. 2.Yazılım



,

EK 1. 1.yazılım

```
#include<stdio.h>
#include<conio.h>
#include<dos.h>

int x,i,k1,k2,u,v;

long int ttl1=0,ttl2=0;

FILE *veri1;
FILE *veri2;

main()
{
clrscr();

veri1=fopen("s2P6020.dat","w+");
veri2=fopen("r2P6020.dat","w+");

printf("Baslamak icin bir tusa bas□n□z\n");

getch();

for(i=0;i<3000;i++)
{

outportb(0X302,0);
outportb(0X301,0);
outportb(0X309,0);
outportb(0X300,0);

while(((inportb(0x308))&16)==0);
u=inportb(0x300)&240;
v=inportb(0x301)-128;

for(x=0;x<10;x++)
{
outportb(0X302,0);
outportb(0X301,0);
outportb(0X309,0);
outportb(0X300,0);

while(((inportb(0x308))&16)==0);
u=inportb(0x300)&240;
v=inportb(0x301)-128;
```

```

k1=u/16+v*16;
ttl1=ttl1+k1;

}

delay(1);

outportb(0X302,1);
outportb(0X301,3);
outportb(0X309,0);
outportb(0X300,0);

while(((inportb(0x308))&16)==0);
u=inportb(0x300)&240;
v=inportb(0x301)-128;

for(x=0;x<10;x++)
{

outportb(0X302,1);
outportb(0X301,3);
outportb(0X309,0);
outportb(0X300,0);

while(((inportb(0x308))&16)==0);
u=inportb(0x300)&240;
v=inportb(0x301)-128;
k2=u/16+v*16;
ttl2=ttl2+k2;

}

k1=ttl1/10.0;k2=ttl2/10.0;

fprintf(veri1,"%d\n",k1);
fprintf(veri2,"%d\n",k2);
ttl1=0;ttl2=0;k1=0;k2=0;
}

fclose(veri1);
fclose(veri2);
}

```

EK 2. 2.yazılım

```
#include<stdio.h>
#include<conio.h>
#include<dos.h>

unsigned int x,i;

long int k1,k2,u,v,t1=0,t2=0;

/*
FILE *veri1;
FILE *veri2;
*/

main()
{
clrscr();

/*
veri1=fopen("ml3p10b.dat","w+");
veri2=fopen("ms3p10b.dat","w+");
*/

printf("Baslamak icin bir tusa bas□n□z\n");

getch();

for(i=0;i<6000;i++)
{

outportb(0X302,0);
outportb(0X301,0);
outportb(0X309,0);
outportb(0X300,0);

while(((inportb(0x308))&16)==0);
u=inportb(0x300)&240;
v=inportb(0x301)-128;

for(x=0;x<100;x++)
{

outportb(0X302,0);
outportb(0X301,0);
outportb(0X309,0);
outportb(0X300,0);
```



```

while(((inportb(0x308))&16)==0);
u=inportb(0x300)&240;
v=inportb(0x301)-128;
k1=u/16+v*16;
ttl1=ttl1+k1;

}

outportb(0X302,1);
outportb(0X301,0);
outportb(0X309,0);
outportb(0X300,0);

while(((inportb(0x308))&16)==0);
u=inportb(0x300)&240;
v=inportb(0x301)-128;

for(x=0;x<100;x++)
{

outportb(0X302,1);
outportb(0X301,0);
outportb(0X309,0);
outportb(0X300,0);

while(((inportb(0x308))&16)==0);
u=inportb(0x300)&240;
v=inportb(0x301)-128;
k2=u/16+v*16;
ttl2=ttl2+k2;

}

k1=ttl1/100.0;k2=ttl2/100.0;

printf("k1=%d  k2=%d\n",k1,k2);

/*
fprintf(veri1,"%d\n",k1);
fprintf(veri2,"%d\n",k2);
*/

ttl1=0;ttl2=0;
delay(1);

}

```

```
/*  
fclose(veri1);  
fclose(veri2);  
*/  
}
```



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hüseyin Nizam MUTLU
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa-31.07.1991
Yabancı Dil : İngilizce (İleri Seviye)
Rusça (Temel Seviye)
Bulgarca (Temel Seviye)

Eğitim Durumu

Lise : Özel Tunçsiper Lisesi (Haziran-2010)
Lisans : Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Tekstil Mühendisliği Bölümü (Haziran-2014)
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı (Temmuz-2019)

Çalıştığı Kurum : Biltim Ltd. Şti.

İletişim (e-posta) : huseyinmutlu@biltim.com