

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
DOKTORA TEZİ

PLASTİK ÖRTÜLÜ SERALARDA RÜZGAR VE KAR YÜKÜ İZLEME SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Sefa AKSU

Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

ÇANAKKALE

T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

PLASTİK ÖRTÜLÜ SERALARDA RÜZGAR VE KAR YÜKÜ İZLEME SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Sefa AKSU

Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Tezin Sunulduğu Tarih: **17/08/2020**

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Ünal KIZIL

ÇANAKKALE

Sefa AKSU tarafından Prof. Dr. Ünal KIZIL yönetiminde hazırlanan ve **17/08/2020** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan "**Plastik Örtülü Seralarda Rüzgar ve Kar Yükü İzleme Sisteminin Geliştirilmesi**" başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı**'nda **Doktora TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

Prof. Dr. Ünal KIZIL ……
Başkan

Prof. Dr. Levent GENÇ ……
Üye

Prof. Dr. Bilal CEMEK …….
Üye

Doç. Dr. Gökhan ÇAMOĞLU …….
Üye

Dr. Öğr. Üyesi Nefise Yasemin TEZCAN …….
Üye

Doç. Dr. Pelin KANTEN
Müdür V.
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Sıra No: ……

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Sefa AKSU

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Ünal KIZIL, çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen sevgili eşim Gizem AKSU ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sefa AKSU

Çanakkale, Ağustos 2020

SİMGELER VE KISALTMALAR

SEM	Sonlu elemanlar metodu
m	Metre
HAD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
mm	Milimetre
N	Newton
%	Yüzde oranı
m^2	Metrekare
CO^2	Karbondioksit
RMSE	Tahmin Hatasının Standart Sapması
PVDF	Poliviniliden florid
PET	Polietilen teraftalat
PVAc	Polivinil asetat
ETG	Elektronik terapi eldiveni
DIW	Direkt mürekkep yazdırma
PCB	Baskı devre kartı
μm	Mikrometre (mikron)
(^{o})	Derece
YSA	Yapay sinir ağları
HMM	El izleme modülü
LED	Işık yayıcı diyot
GSM	Küresel mobil haberleşme sistemi
ASCII	Amerikan standart bilgi değişim kodlama sistemi
WSN	Kablosuz sensör ağı
GPS	Küresel konum belirleme sistemi
KF	Kalman filtresi
km	Kilometre
cm	Santimetre
TS-EN	Türk Standartları – Avrupa Normu
cm^2	Santimetrekare
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
sa	Saat

kg	Kilogram
lt	Litre
^{o}C	Santigrad derece
Ω	Ohm
V	Volt
Cu	Bakır
Al	Alüminyum
Sn	Kalay
Pb	Kurşun
EMI	Elektromanyetik parazitlenme
RFI	Radyo frekansı parazitlenmesi
PVC	Polivinil klorür
LCD	Sıvı kristal ekran
USB	Evrensel seri veriyolu
PWM	Darbe genlik modülasyonu
ICSP	Devre üzeri seri programlama
TTL	Transistörden transistöre mantığı
TWI	İki kablolu arayüz
I^2C	Entegre devreler arası
SPI	Seri çevre denetim arayüzü
SRAM	Statik rasgele erişim belleği
EEPROM	Sadece okunabilir bellek
w	Watt
IDE	Entegre geliştirme ortamı
mAh	Miliampersaat
rH	Bağıl nem
RTC	Gerçek zaman saati
s	Saniye
KB	Kilobayt
MHz	Megahertz
bps	Saniyedeki bit değeri
mA	Miliamper
gr	Gram

SMS	Kısa mesaj servisi
GPRS	Genel paket radyo servisi
TCP	Aktarma protokol kontrolü
UDP	Kullanıcı veri bloğu iletişim kuralları
Ah	Ampersaat
A	Amper
µF	Mikrofarad
nF	Nanofarad
ABS	Akrilonitril bütadien stiren
hPa	Hektopaskal
PHP	Hiper metin önişlemcisi
KΩ	Kiloohm
R^2	Belirlilik katsayısı
dk	Dakika

ÖZET

PLASTİK ÖRTÜLÜ SERALARDA RÜZGAR VE KAR YÜKÜ İZLEME SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Sefa AKSU
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı Doktora Tezi
Danışman: Prof. Dr. Ünal KIZIL
17/08/2020, 116

Bitkisel üretimde ürün kalite ve miktarının arttırılması için üretim alanlarının çevresel etkenlerden korunması gerekmektedir. Üretim alanlarını kaplayan, fotosentez için gereken güneş ışığını geçiren fakat dolu, zirai don, vb. fiziksel etkenlerden korunmasını sağlayan örtü malzemelerinin kullanıldığı seralar bu amaca hizmet etmektedir. Ülkemizde özellikle küçük aile işletmeciliği şeklinde yapılan seracılık faaliyetlerinde en çok tercih edilen sera şekli boru profilinin kullanıldığı plastik örtülü seralardır. Yapı maliyetinin az olması, çeşitli arazi koşullarında kolay ve hızlı bir şekilde kurulabilmesi tercih sebebi olmuştur. Buna karşın, kullanımı son 50 yılda hızla artmakta olan plastik örtülü seralarda özellikle rüzgar ve kar yükünden dolayı büyük yapısal problemler yaşanmaktadır.

Çalışma kapsamında boru profilli plastik örtülü seraların gerçek koşullarda rüzgar ve kar yükü kaynaklı yapısal tepkileri izlenmek istenmektedir. Literatürde kontrollü ortamda ve gerçek boyutlu modellerde gerçekleştirilen bükülme testleri sonucunda, çeşitli mimari şekillere göre mukavemet eşitlikleri belirlenmiştir. Arazi koşullarında öngörülemeyen etken kuvvetler ve malzeme yorgunluğundan ileri gelen deformasyonun bu eşitliklerle açıklanamıyor olması saha test ekipmanlarının kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

Otomotiv, güvenlik, biyomedikal, inşaat vb. sektörlerin ihtiyaçları doğrultusunda çeşitli sensörler üretilmektedir. Bu sensörlerden birisi de pasif rezistif esneklik sensörleridir. Genel yapısı itibariyle karbon bileşenli iletken materyal üzerinden geçen akımın dijital olarak ifade edilmesini sağlamaktadır. Plaka şeklindeki iki iletken yüzey arasına yerleştirilen karbon bileşen, plakaların bükülmesi sonucunda çatlaklar oluşturarak iç direncini arttırır ve sensör üzerinden iletilen akım azalır. Teorik olarak bu sensörler, üzerine sabitlendiği materyalin eğilme miktarını dijital olarak ifade edebilmektedir.

Buradan hareketle sera örtü ve iskelet malzemesi üzerine sabitlenen esneklik sensörleri, rüzgar ve kar yükü altında esneyen malzemenin açısal değişiminin izlenmesini sağlayabilmektedir. Bunun için Arduino tabanlı bir geliştirme kartı kullanan esneklik sensörü ağı oluşturulmuştur. Öncelikli olarak laboratuvar koşullarında performans testi yapılan sistem, ardından bitkisel üretim yapılan bir serada veri kaydedecek şekilde kurulmuştur. Yaz ve kış olmak üzere iki sezon veri kaydedilen sistemin, rüzgar yükü altındaki sera yapı materyalinin tepkilerini anlık olarak web arayüzüne aktarması sağlanmıştır.

Anahtar sözcükler: Tarımsal Yapılar, Seralar, Malzeme Mukavemeti, Sarkı, Esneklik Sensörü, Arduino.

ABSTRACT

DEVELEOPMENT OF WIND VE SNOW LOAD MONITORING SYSTEM FOR PLASTIC COVERED GREENHOUSES

Sefa AKSU

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Doctoral Dissertation in Agricultural Structures and Irrigation

Advisor: Prof. Dr. Ünal KIZIL

17/08/2020, 116

Plantation areas must be protected from environmental factors in order to increase quality and quantity in crop production. This is the purpose of the greenhouses that cover the production area, which passes the sunlight required for photosynthesis, but protect them from physical factors such as hail, agricultural frost, etc., with the cladding material. The most common type is pipe-framed plastic covered greenhouses among small family businesses in our country. Due to the low cost of construction, it is preferable to plant them easily and quickly in various terrains. However, there are major structural drawbacks with plastic covered greenhouses, whose usage has been increasing rapidly by the last 50 years, especially due to wind and snow loads.

Within the scope of the study, it is aimed to observe the structural responses of the pipe-framed plastic covered greenhouses against wind and snow load under field conditions. According to literature, results of the buckling tests carried out in the controlled environments and real size models, the resistance equations are determined relevant to various architectural forms. The fact of unforeseeable forces in field conditions and deformation due to material fatigue cannot be explained by these equations, which makes it necessary to use field testing equipment.

Various sensors are produced in line with the needs of the automotive, security, biomedical, construction, etc. sectors. One of these sensors is passive resistive flexibility sensors. It provides a digital representation of the current passing through the carbon-containing conductive material in its general structure. The carbon component, which is placed between the two flat shaped conductive plates, creates cracks with the bending action of the plates, increasing the internal resistance and reducing the current delivered

through the sensor. Theoretically, these sensors can digitally express the angular movement of the material, which they are fixed on. The flexibility sensors have fixed on the greenhouse cladding and frame material. Monitoring the angular movement of the material under wind and snow loads will be available. Network of flexibility sensors using an Arduino based developer board has created for this purpose. The system, which first subjected to performance tests under laboratory conditions, then installed in such a way as to record data in a crop production greenhouse. The system, which recorded data along two seasons in summer and winter, transferred the responses to the web interface instantly of the greenhouse frame and cladding material under the wind and snow load.

Keywords: Agricultural Structures, Greenhouses, Strength of Materials, Deflection, Flexibility Sensor, Arduino.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ SINAVI SONUÇ FORMU ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI iii
TEŞEKKÜR iv
SİMGELER VE KISALTMALAR v
ÖZET viii
ABSTRACT x
ŞEKİLLER DİZİNİ xiv
ÇİZELGE VE TABLOLAR DİZİNİ xvi
BÖLÜM 1
GİRİŞ 1
BÖLÜM 2
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 6
2.1. Seralarda Rüzgar ve Kar Yüklerinin İncelenmesi 6
2.2. Esneklik Sensörü Araştırmaları 13
2.3. Tarımsal Amaçlı Kullanılan Sensör Sistemleri Geliştirme Çalışmaları 19
BÖLÜM 3
MATERYAL VE YÖNTEM 24
3.1. Çalışma Alanları 24
3.1.1. Deneme Serası 25
3.2. Basma ve Eğme Deney Seti Tasarımı 27
3.3. Esneklik Sensörü Tasarımı ve Üretimi 33
3.3.1. Esneklik Sensörlerinin Üretimi 39
3.3.2. Esneklik Sensörü için Uygun Direncin Belirlenmesi 42
3.3.3. Esneklik Sensörlerinin Sıcaklık Tepkisinin Belirlenmesi 44
3.4. Prototip Cihaz Tasarımı ve Üretimi 46
3.4.1. Prototip Cihazın Üretimi 50
3.5. Meteoroloji İstasyonu 55
3.6. Web Arayüzü 57
3.7. Yöntem 57
3.7.1. Basma ve Eğme Deneyleri 60
3.7.2. Prototip Cihaz ve Meteoroloji İstasyonunun Seraya Montajı 60
BÖLÜM 4
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA 64

4.1. Esneklik Sensörü için Uygun Direnç ve Sıcaklık Tepkisinin Belirlenmesi 64
4.2. Basma ve Eğme Deney Sonuçları 65
4.2.1. Birinci Deney Sonuçları 71
4.2.2. İkinci Deney Sonuçları 74
4.2.3. Üçüncü Deney Sonuçları 79
4.2.4. Dördüncü Deney Sonuçları 84
4.2.5. Erken Uyarı Limitlerinin Belirlenmesi 87
4.3. Seradan Elde Edilen Sensör Kayıtları 88
4.3.1. Sensör 1'in Kayıtları 90
4.3.2. Sensör 2'nin Kayıtları 92
4.3.3. Sensör 3'ün Kayıtları 93
4.3.4. Sensör 4'ün Kayıtları 96
4.3.5. Sensör 5'in Kayıtları 99
4.3.6. Sensör 6'nın Kayıtları 101
4.4. Prototip Cihaz Yazılımı 103
BÖLÜM 5
SONUÇ VE ÖNERİLER 105
KAYNAKLAR 108
EKLERİ I
EK 1. Sensör dirençlerinin belirlenmesi için üretilen düzeneğin yazılım satırları I
EK 2. Sensörlerin sıcaklık tepkisinin belirlenmesi için üretilen düzeneğin yazılım satırları II
EK 3. Prototip cihazın yazılım satırları IV
Ek Tablo 1. Birinci deney basma testi sonuçları IX
Ek Tablo 2. Birinci deney eğme testi sonuçları X
Ek Tablo 3. İkinci deney sonuçları XI
Ek Tablo 3 devam. İkinci deney sonuçları XII
Ek Tablo 3 devam. İkinci deney sonuçları XIII
Ek Tablo 4. Üçüncü deney eğme testi sonuçları XIV
Ek Tablo 5. Üçüncü deney eğme fazla yükleme testi sonuçları XV
Ek Tablo 6. Dördüncü deney sonuçları XVI
Ek Tablo 6 devam. Dördüncü deney sonuçları XVII
ÖZGEÇMİŞ I

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Rüzgar sebebiyle kullanılamaz hale gelmiş bir fide serası 1
Şekil 2. Sera maketi rüzgar tüneli test aşamaları 2
Şekil 3. Esneklik sensör tasarımı 4
Şekil 4. Arduino geliştirme kartı çeşitleri 5
Şekil 5. Çalışma alanları 24
Şekil 6. Sera detayları I 26
Şekil 7. Sera detayları II 26
Şekil 8. Sera detayları III 26
Şekil 9. Çanakkale Merkez ilçe rüzgar yönü esme sayıları grafiği 27
Şekil 10. Basma ve Eğme Deney Seti 28
Şekil 11. Basma ve Eğme Deney Seti yükleme konumları ve varil bağlantısı 29
Şekil 12. Basma ve Eğme Deney Seti kontrol ünitesi 32
Şekil 13. Arduino Uno R3 SMD komponent ve terminalleri 37
Şekil 14. Sensör bileşenlerinin hazırlanması 41
Şekil 15. Esneklik sensörünün üretim aşamaları 42
Şekil 16. Direnç test düzeneğinin bağlantı şeması 44
Şekil 17. Sıcaklık test düzeneğinin bağlantı şeması 46
Şekil 18. Arduino Mega R3 komponent ve terminalleri 47
Şekil 19. Kablosuz modül üniteleri 53
Şekil 20. Prototip cihazın bağlantı şeması 54
Şekil 21. Prototip cihaz için kullanılan muhafaza kutusu 55
Şekil 22. Meteoroloji istastonu ve sürücü kartı muhafazası 56
Şekil 23. Laboratuvarda yürütülen deney aşamalarını açıklayan akış şeması 58
Şekil 24. Sistem tasarım ve test aşamalarını açıklayan akış şeması 59
Şekil 25. Esneklik sensörleri için belirlenen montaj bölgesi 61
Şekil 26. Prototip cihaz ve esneklik sensörlerinin sera içerisindeki konumları 61
Şekil 27. Meteoroloji istasyonunun seraya göre konumu ve yönü 63
Şekil 28. Sensör-sıcaklık kalibrasyon grafiği 65
Şekil 29. İlk deneye ait bantlama şeması 65
Şekil 30. Profil üzerine 120 kg'lık yükleme sonucunda oluşan sarkı miktarı 67
Şekil 31. İkinci deneye ait bantlama şeması 67
Şekil 32. Profil üzerine sabitlenen karabin ve zincir düzeneği 68
Şekil 33. Üçüncü deneye ait bantlama şeması 69
Şekil 34. Üçüncü deneyde tekrar düzenlenen bantlama şeması 69
Şekil 35. Birinci deney basma testi sonuçları 71
Şekil 36. Birinci deney basma testi burkulma basıncına kadar yapılan yükleme 72
Şekil 37. Birinci deney eğme testi sonuçları 73
Şekil 38. Birinci deney eğme testinin 40 – 110 kg yüklemesi 73
Şekil 39. İkinci deney eğme testi sonuçlarını 74
Şekil 40. İkinci deney eğme testi için fazla yükleme sonuçları 75
Şekil 41. İkinci deneyde sensör 2'nin ilk yükleme sonuçları 75
Şekil 42. İkinci deneyde sensör 2'nin ilk boşaltma sonuçları 76
Şekil 43. İkinci deneyde sensör 2'nin ikinci yükleme sonuçları 77
Şekil 44. İkinci deneyde sensör 2'nin ikinci boşaltma sonuçları 77
Şekil 45. İkinci deneyde sensör 2 için fazla yük yükleme sonuçları 78
Şekil 46. İkinci deneyde sensör 2 için fazla yük boşaltma sonuçları 79
Şekil 47. Üçüncü deney eğme testi sonuçları 80

Şekil 48. Üçüncü deney eğme testi yükleme aşaması 80
Şekil 49. Üçüncü deney eğme testi boşaltma aşaması 81
Şekil 50. Üçüncü deney eğme testi fazla yükleme sonuçları 82
Şekil 51. Üçüncü deney fazla yük altında 0 - 25 kg yükleme sonuçları 82
Şekil 52. Üçüncü deney fazla yük altında 70 - 170 kg yükleme sonuçları 83
Şekil 53. Dördüncü deney sonuçları 84
Şekil 54. Dördüncü deneyde sensör 3'ün ilk yükleme sonuçları 85
Şekil 55. Dördüncü deneyde sensör 3'ün ilk boşaltma sonuçları 85
Şekil 56. Dördüncü deneyde sensör 3'ün ikinci yükleme sonuçları 86
Şekil 57. Dördüncü deneyde sensör 3'ün ikinci boşaltma sonuçları 87
Şekil 58. Prototip yazılımı akış şeması 104

ÇİZELGE VE TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1. Deney materyali karakteristik özellikleri 30
Çizelge 2. Değişen direnç değerlerinde minimum ve maksimum sensör okumaları..... 64
Tablo 1. Sensör 1'in kış sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri..... 90
Tablo 1 devam. Sensör 1'in kış sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri 91
Tablo 2. Sensör 1'in yaz sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri..... 91
Tablo 2 devam. Sensör 1'in yaz sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri 92
Tablo 3. Sensör 2'nin kış sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri..... 92
Tablo 3 devam. Sensör 2'nin kış sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri 93
Tablo 4. Sensör 2'nin yaz sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri..... 93
Tablo 5. Sensör 3'ün kış sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri..... 94
Tablo 5 devam. Sensör 3'ün kış sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri 95
Tablo 6. Sensör 3'ün yaz sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri..... 96
Tablo 7. Sensör 4'ün kış sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri..... 97
Tablo 7 devam. Sensör 4'ün kış sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri 98
Tablo 8. Sensör 4'ün yaz sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri..... 98
Tablo 8 devam. Sensör 4'ün yaz sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri 99
Tablo 9. Sensör 5'in kış sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri..... 100
Tablo 9 devam. Sensör 5'in kış sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri 101
Tablo 10. Sensör 6'nın kış sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri..... 102
Tablo 11. Sensör 6'nın yaz sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri..... 102
Tablo 11 devam. Sensör 6'nın yaz sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri 103

BÖLÜM 1
GİRİŞ

Artan nüfus sebebiyle besin gereksinimi de artmaktadır. Kalite ve miktar açısından birincil üretim araçlarının iyileştirilmesi de bu bağlamda zorunlu olmaktadır. Buna karşın, kısıtlı olan üretim alanları ise büyüyen yapılaşma ihtiyacı karşısında daha da azalmakta, miras kanunu ve benzeri sebeplerle parçalanarak etkili kullanımını zorlaştıran boyutlara ulaşmaktadır. Bitkisel üretimin büyüme dönemlerine bağlı olması bir diğer sınırlayıcı faktördür. Seralarda ise büyüme mevsimi dışında da üretim yapılabilmektedir ve geleneksel tarıma göre birim alandan elde edilen ürün daha fazladır. Üretim alanlarına kurulan bir iskelet ve bu iskeleti kaplayan ışık geçirgenliği yüksek bir kaplama malzemesi sayesinde fotosentez için gerekli olan koşullar yapı içerisinde oluşturulabilmektedir. Bununla birlikte çevre koşulları da dış ortamdan bağımsız olarak düzenlenebilmektedir (Yüksel ve Yüksel, 2012). Üretim amacına uygun olarak çeşitli yapı malzemelerinden (ahşap, çelik, alüminyum) imal edilebilen seraların en yaygın kullanılanı boru profilli plastik örtülü seralardır. Düşük inşaat maliyeti ve birçok arazi koşulunda kolay kurulabilmesi bu tür seraların kullanımını yaygınlaştırmıştır. Son 50 yılda hızla yaygınlaşan plastik örtülü seraların, rüzgar ve kar yüküne karşı düşük dirence sahip olduğu bilinmektedir (Hoxey ve Richardson, 1984) (Şekil 1).



Şekil 1. Rüzgar sebebiyle kullanılamaz hale gelmiş bir fide serası

Bu bağlamda seraların mukavemetiyle ilgili çalışmalar önem kazanmaktadır. Laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen eğilme testleri ve matematiksel modellerle rüzgar ve kar yüklerinin seralara uyguladığı kuvvetleri teorik olarak belirlemek mümkün olmaktadır (Wells ve Hoxey, 1980; Hoxey ve Richardson, 1983). Ancak, gerçek boyutlu yapılarda uygulanan bu testler, yüksek maliyetli ekipman ve çok fazla iş gücü gerektirmektedir (Mathews ve Meyer, 1987). Ayrıca, doğal koşulları taklit eden rüzgar tüneli testlerinde ise istatistiksel verilerin yetersiz olmasından dolayı düzeltme ve doğrulamaya gerek duyulmaktadır (Yang, Li, Xue, Huang ve Zhang, 2013) (Şekil 2). Düzeltme ve doğrulama yöntemleriyle en uygun sonuçları verdiği bilinen sonlu elemanlar metodu (SEM) dahi doğrudan izlemeyle elde edilen sonuçlardan farklılık göstermektedir (Moriyama, Mears, Sase, Kowata ve Ishii, 2003). Yapı elemanlarında zamana bağlı olarak görülen yorgunluk, matematiksel modellerin kullanımını sınırlamaktadır (Hur ve Kwon, 2017). Buna göre rüzgar ve kar yüklerinin seralara uyguladığı kuvvetlerin gerçek koşullarda izlenmesi, geliştirilecek modelin doğruluğunu artıracaktır. Öte yandan, yapı elemanlarına sabitlenecek ve veri alacak cihazlar, yüksek maliyetleri nedeniyle üreticiler tarafından çoğunlukla tercih edilmemektedir.

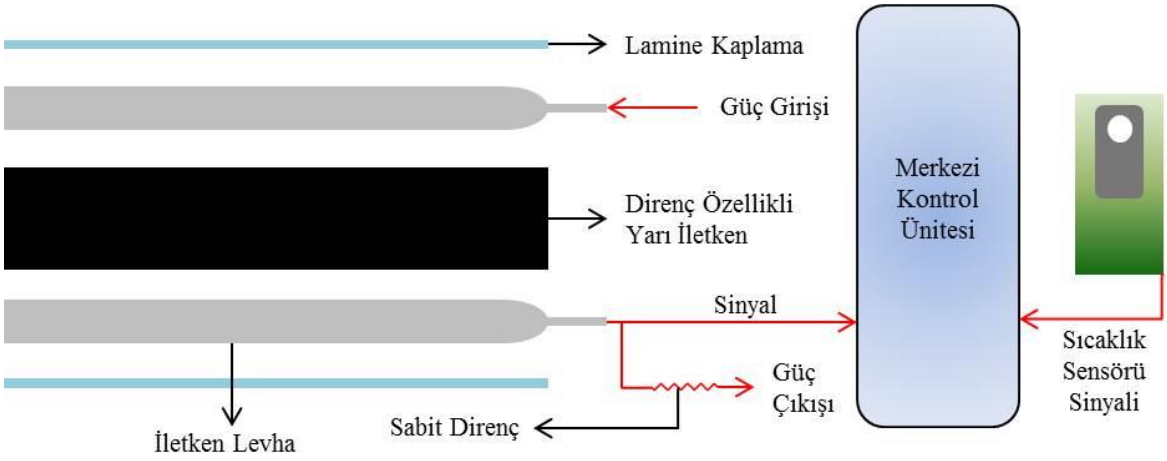


Şekil 2. Sera maketi rüzgar tüneli test aşamaları
(Kwon, Kim, Kim, Ha ve Lee, 2016)

Günümüz teknolojisi, üreticilerin düşük maliyetlerle elde edebilecekleri sistemlerin tasarlanmasına, seralarının rüzgar ve kar yüküne karşı durumunu eşzamanlı izlemelerine olanak sağlamaktadır. Bu işlem, seranın iskeletine ve örtü malzemesine sabitlenen ve bu yapı elemanlarının hareketlerini dijital sinyallere dönüştüren elektronik aparatlar tarafından gerçekleştirilebilir. Bu aparatlara genel bir ifadeyle esnek elektronikler denmektedir (Rosset ve Shea, 2013). İnsan-makine arayüzleri (Sekitani ve diğerleri, 2009; Garner, Glaesemann ve Li, 2014), dokunmatik ekranlar (Zhou ve diğerleri, 2006; Dua ve diğerleri, 2010), antenler (Shin, Hong ve Jang, 2011), radyo frekans tanımlayıcıları (Jalil, Rahim ve Samsuri, 2016) ve hasta teşhis devreleri (Kim, Lu, Ma, Kim ve Wang, 2011) günümüzde bu teknolojiyi kullanmaktadır. Sabitlendiği nesnenin açısal hareketine göre dijital sinyaller üreten sensörlerin geliştirilmesi, Bragg fiber optik derecelendirme (Rocha, Silva, Carmo ve Correia, 2011; Al-Fakih, Abu Osman ve Mahamd Adikan, 2012) ve atalet ölçüm ünitesi (IMU) cihazlarıyla (Willemsen, Van Alste ve Boom, 1990; Williamson ve Andrews, 2001; Bonnet ve Héliot, 2007; Luinge, Veltink ve Baten, 2007) mümkündür. Ancak bu cihazlar, parazit oluşturduklarından (Hansson, Balogh, Ohlsson, Rylander ve Skerfving, 1996) elektromanyetik alanlardan tamamen izole edilmelidirler (Ma ve diğerleri, 2011).

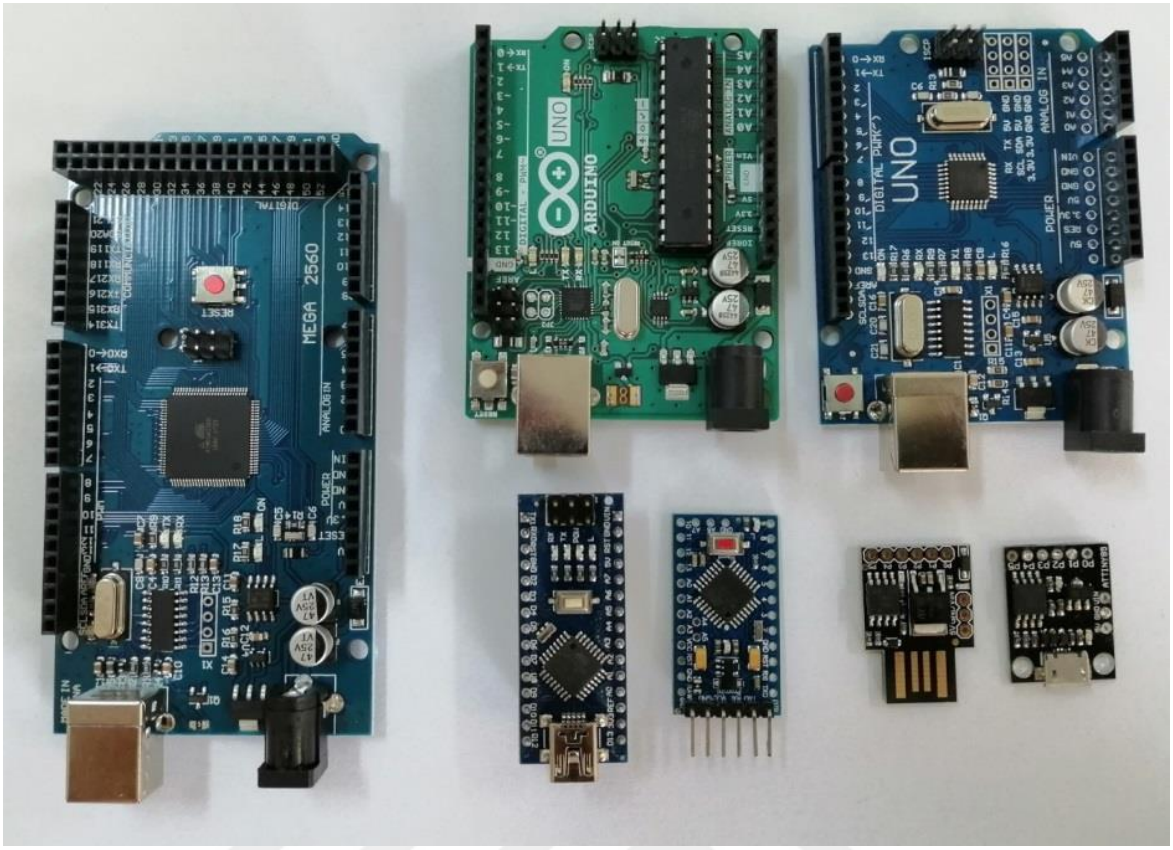
Rezistif esneklik sensörü, açısal hareketlenmeyi tespit eden cihazların kullanım alanını sınırlayan tüm bu olumsuzlukların üstesinden gelebilen sensör türüdür. Bu sensör fiziksel enerjiyi elektrik enerjisine çevirir ve açısal hareketi elektriksel direnç değişimlerine dönüştürür (Saggio, Bocchetti, Pinto ve Orengo, 2010). İki iletken plaka arasında direnç gösteren başka bir yarı iletkenin açısal değişikliklerin sonucunda direnç miktarında artışa neden olan boşluklar oluşturması prensibi üzerine çalışır (Saggio, 2012). Dirençli iletken malzeme genellikle karbon tozu, grafit, geçiş metalleri ve elektro-iletken kauçuktan yapılır. Malzeme seçimi uygulama alanına, ortam koşullarına ve tepki süresi gereksinimlerine bağlı olarak yapılır. Yaygın kullanım örnekleri arasında otomobil hava yastığı mekanizmaları ve pnömatik hasta yatakları bulunmaktadır (Flexpoint Sensor Systems, 2005). Öte yandan, betonarme yapıların sismik hareketler neticesinde hasar alma durumlarının belirlenmesinde kullanılması devam eden çalışmalar arasındadır (Sasikala ve Selvakumar, 2014). Geniş uygulama yelpazesine rağmen, oda sıcaklığı esneklik sensörleri için ideal tepki ortamıdır ve sıcaklıktaki artış dirençte bir azalma olarak geri döner (Jurgens ve Patterson, 1997). Bu nedenle, ortam sıcaklığını dengeleyebilecek birimlerle kullanılması önerilir. Birçok çalışmada, sensörün lamine katmanlarla kaplanmasının doğrusal sonuçlar sağladığı (Saggio, 2012) ve sinyal tepki süresini azalttığı (Gentner ve

Classen, 2009; Oess, Wanek ve Curt, 2012) görülmüştür. Benzer şekilde, sabit bir dirence bağlamanın, çalışma voltajı aralığını eşit parçalara böldüğü ve açısal hareketin değerinin doğrudan okunmasına izin verdiği bildirilmiştir (Saggio ve diğerleri, 2010). Elde edilecek verilerin güvenilirliği ve tekrarlanabilirliği açısından tavsiye edilen esneklik sensör tasarımı Şekil 3'te şematize edilmiştir.



Şekil 3. Esneklik sensör tasarımı

Yukarıda belirtilen tüm iyileştirmeleri sağlamak için, sensörlerin bir mikroişlemcinin kontrolü altında çalıştırılması gerekmektedir (Dhepekar ve Adhav, 2016). Ticari olarak elde edilebilen esneklik sensörleri çeşitli mikroişlemcilerle haberleşebilir niteliktedirler (Lee ve diğerleri, 2010; Zheng ve Yunus, 2014). Fakat mikroişlemcilerin basit komutları dahi işletebilmesi için direnç, regülatör, kapasitör gibi temel elektronik elemanlarla kullanılması gerekmektedir. Benzer şekilde temel yazılım dili olan 8 bitlik komut satırları, amaca özgü olarak düzenlenmelidir. Başlı başına bir uzmanlık gerektiren bu işlem, teknolojik gelişmeler çerçevesinde basitleşmiş ve üretim hacminin genişlemesiyle kolay ulaşılabilir hale gelmiştir (Kojima ve diğerleri, 2016). Donanım ve yazılımın birleştirilerek kolaylaştırıldığı bu üniteler geliştirme kartları olarak ifade edilmektedir. Bilinen en yaygın kullanıma sahip geliştirme kartı, açık kaynaklı yazılım kütüphaneleri kullanan Arduino (Arduino LLC, Milan, Lombardy, İtalya) modelleridir (Kushner, 2011) (Şekil 4).



Şekil 4. Arduino geliştirme kartı çeşitleri

Esneklik sensörleri vasıtasıyla boru profilli plastik örtülü seraların, rüzgar ve kar yükü altında eğilme durumlarının izlenebileceği öngörülmüştür. Arazi koşullarında sera iskelet elemanlarıyla örtü malzemesinin izlenmesini sağlayabilecek bu sensörlerin düşük maliyetli olması ve Arduino gibi geniş kullanım alanı olan geliştirici kartlarıyla uyumlu olması sistemin tasarımını ve yaygın kullanılabilme potansiyelini artırmaktadır. Bu bağlamda çalışmanın hedefleri;

- Üretilen esneklik sensörlerinin amaç doğrultusunda kullanılabilirliğinin test edilmesi. Bu hedef doğrultusunda ekipmanlı laboratuvar testleri yapmak,
- Arazi koşullarında sensör tepkilerinin uzun vadeli kayıt edilmesini sağlayacak bir sistemin tasarlanması. Bu hedef doğrultusunda sistemin beynini oluşturan cihaz yazılımının, veri transferi mekanizmalarının ve web tabanlı depolama arayüzünün de oluşturulması,
- Arazi koşullarında kayıt edilen sensör verileri, meteoroloji verileriyle birlikte kaydedilerek elde edilen sonuçların değerlendirilmesi sonucunda yapısal zorlanmaların başladığı durumlarda üreticinin akıllı telefonlar üzerinden uyarılmasını sağlamaktır.

BÖLÜM 2
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Seralarda Rüzgar ve Kar Yüklerinin İncelenmesi

Yapısal olarak kararlı durumdaki seraların, değişkenlik gösteren meteorolojik koşullar altında dayanımının araştırılması çeşitli teknikler kullanılarak yapılabilmektedir (Mathews ve Meyer, 1988). Rüzgar ve kar dayanımının diğer çeşitlerine göre kısıtlı olması sebebiyle plastik örtülü seralar için çalışmalar çoğunlukta olsa da, yatırım maliyetleri yüksek cam örtülü seralarda da tasarımın önemli bir bileşenidir. Genel olarak bu teknikler; sayısal modellemeler, bilgisayarlı modellemeler, istatistiki modellemeler, ölçekli modellemeler, gerçek boyutlu ve ölçekli rüzgar tüneli testleri, arazi ölçüm cihazlarıyla izleme yöntemlerini kullanmaktadırlar.

Sayısal modellemeyle plastik örtülü seralarda rüzgar yükünün hesaplanabilirliğini araştıran Mathews ve Meyer (1987), araştırmanın sürdüğü yıllarda arazi ölçüm aletlerinin pahalı olması ve uygulanmalarının çok zor olması sebebiyle alternatif yöntemlerin kullanılması gerekliliğinden bahsetmişlerdir. Çalışmada, plastik örtülü seraların yaygınlaşması sonucu yapısal hasarların görülme sıklığının artması temel alınmış ve yapıların rüzgar etkisinde aerodinamik tepkilerinin ampirik olarak ortaya konulması hedeflenmiştir. Yapı mühendisliği alanındaki çalışmaların binalar için akış modelleri oluşturduklarını fakat bu araştırmaların keskin kenarlı binalar için uygun sabitler kullandıklarını dile getiren araştırmacılar, seralar gibi oval kenarlı yapılar için bu katsayıların kullanılamayacağını belirtmişlerdir. Plastik örtülü seralar için düzenlenmiş katsayıları, matematiksel modelleri içinde kullanan araştırmacılar, elde ettikleri sonuçların rüzgar tüneli testleri ya da arazi ölçüm tekniklerinin yerine kullanılabilir olduğunu ifade etmişlerdir.

Plastik örtülü seralarda, rüzgarın yapıya etkisinin ortaya konması için sayısal modellemelerin görsel sonuçlarla desteklenemiyor olması sebebiyle Mathews ve Meyer (1988) bilgisayar destekli modeller geliştirmişlerdir. Model tahminlemeleri için eni 3,2 m ve mahya yüksekliği 6,3 m olan yarım çember biçimli bireysel plastik örtülü bir serayı kullanmışlardır. Kısmi diferansiyel eşitliklerde Reynolds katsayısını değiştirerek yaptıkları hesaplamalarda oluşturdukları grafikler üzerinden modellemenin performansını tartışmışlardır. Ardından oluşturdukları bir bilgisayar programı içerisine örnek sera yapısını ekleyerek rüzgar hareketlerini kareler ağı şeklinde görsellemeyi başarmışlardır. Ortaya çıkan görüntü üzerinden, modelin şeklin tamamı için açıklayıcı olamadığını ve

seranın toprağa yakın kısımlarında hesaplanamayan bölgeler olduğunu fark etmişlerdir. Çeşitli eşitliklerle bu alanların tahminlenebilmesini sağlasalar da hata oranını kabul edilebilir seviyeye ulaştıramamışlardır. Sonuç olarak, bir önceki çalışmalarının aksine, matematiksel modellemelerin, rüzgar tüneli ve gerçek boyutlu model çalışmalarının yerini asla alamayacağını belirtmişlerdir.

Rüzgar tüneli testlerinin, uygulaması zor ve maliyetli olmasıdan dolayı sayısal modelleme parametrelerinin sürekli düzenlenerek iyileştirilmesini savunan Mistriotis ve Briassoulis (2002) alternatif bir modelleme yöntemi ortaya koyarak bu modelin performansını test etmişlerdir. Bu amaçla yarım çember biçimli bireysel bir serayı ele alan araştırmacılar hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) simülasyonu oluşturmuşlardır. Sonlu eleman metodunu bu simülasyon içinde işleterek aldıkları görsel sonuçlar ışığında modellerinde gerçek koşulları yansıtmalarını engelleyen bilinmeyenler olduğunu fark etmişlerdir. Arazi koşullarında mevcut havalandırma açıklıklarının ve örtü malzemesinin bu noktalardaki bağlantılarının oluşturacağı aerodinamik etkinin çözümlenilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, çalışmalarının devamında çeşitli boyut ve konumlarda havalandırma açıklıkları simüle ederek akışkanlar dinamiği kapsamında hesaplamalar yapmışlardır. Aldıkları sonuçlar ışığında, havalandırma açıklıklarının konum ve boyutlarının önemli farklar oluşturduğunu ortaya koymuşlardır.

Boru profilli seralarda kar yükü de en az rüzgar yükü kadar etkili zorlayıcı bir faktördür. Soğuk iklimin hakim olduğu coğrafi bölgelerde, ihtiyaç duyulan bitkisel üretim için seralar sıklıkla kullanılmaktadır ve kurulum maliyeti bakımından en çok tercih edilen türü plastik örtülü seralardır. Kar yükünün sebep olduğu sera yıkılmalarını araştırmak üzere Japonya'da Moriyama ve diğerleri (2003) gerçek boyutlu modeller üzerinde laboratuvar testleri yapmışlardır. Çalışmada test edilmek üzere seçtikleri sera boru profildir. Yapının iskeletini oluşturan profiller 22,2 mm çapında ve 1,2 mm et kalınlığına sahiptir. Profillerin mahya bağlantıları 22,8 mm çaplı başka bir profilin içine alınarak sabitlenmiştir. Araştırmacılar, genişliği 5,4 m ve yüksekliği 3,2 m olan bu seranın Japonya'da tipik ölçü olarak esas alınması sebebiyle seçildiğini ifade etmişlerdir. Laboratuvarda gerçek ölçülerinde kurulan sera modelinin üzerinden pnömatik baskı test cihazıyla basınç uygulanarak yapının bütünlüğünü kaybettiği andaki basıncı kaydeden araştırmacılar kar yükü etkisini ortaya koyabilmişlerdir. Buna göre belirtilen ölçülerdeki bir seranın kar yükü altında yıkılması için 192 N/m^2 lik bir basınç oluşması gerektiğini belirtmişlerdir.

Mistriotis ve Briassoulis (2002)'in çalışmalarına benzer şekilde boru profilli seralarda rüzgar yüküne havalandırma açıklıklarının etkisi, Uematsu, Nakahara, Tanaka, Moriyama ve Sase (2009) tarafından araştırılmıştır. Araştırma kapsamında, Japonya'da tipik ölçüler olarak kabul edilen boru profilli sera 1:40 oranında küçültülerek rüzgar tünelinde test edilmiştir. Seraların rüzgar direncini arttırmak için önerilen kaplama malzemesinin kalınlaştırılması sonucu oluşacak maliyet artışını önlemek için alternatif bir çözüm arayan araştırmacılar, havalandırma açıklıklarının gözenekli plakalarla kapatılabileceğini düşünmüşlerdir. Rüzgar tüneline yerleştirilen ölçekli sera modelinin havalandırma açıklıklarına farklı gözenekliliğe sahip plakalar yerleştiren araştırmacılar test verilerini toplamışlardır. Rüzgar tünelinde, farklı zamanlarda değişen yönlerden rüzgar yüküne maruz bırakılan modelin içinde ve dış yüzeyinde oluşan türbülansı gözlemlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre hakim rüzgar yönünde ve tam karşısındaki duvarların havalandırma açıklıklarına yerleştirilen gözenekli plakalar, seranın rüzgar direncini %20 arttırmıştır. Bununla birlikte sera modeli içinde elde edilen türbülans verileri de seranın içinde bitkisel üretime engel teşkil edecek bir artış olmadığını ortaya koymuştur.

Gelişmekte olan ülkelerde tarımsal yatırım maliyetleri göz önüne alındığında, projeleme payının düşük olduğu görülmektedir. Kızıl ve Saçan (2010), karmaşık mühendislik hesaplamalarını da içeren projeleme aşamasının neredeyse göz ardı edilmesi sonucu, kurulan boru profilli seralarda rüzgar yükü zararının sıklıkla görüldüğünü ifade etmişlerdir. Projelemenin hesaplama aşamalarını kolaylaştırmak isteyen araştırmacılar, yapı iskelet malzemesi olarak kullanılan profillerin iç ve dış çaplarının belirlenmesinde YSA modellerinin kullanım potansiyelini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında MS Excel içinde çalışan bir istatistik modülü kullanarak, matematiksel modeller ve YSA modelleri sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Uygun YSA parametrelerinin belirlenmesinin ardından hatayı en aza indiren model ortaya konulmuştur. Araştırmacılar, elde edilen veriler ışığında, karmaşık matematiksel hesaplama aşamalarının, YSA modelleri kullanılarak kolaylaştırılabileceğini belirtmişlerdir.

Ülkemizde boru profilli seraların, herhangi bir projeleme işlemine tabii olmaksızın, sadece sektör deneyimi olan kişilerce kurulması sebebiyle sıklıkla rüzgar zararına uğradığını belirten Kızıl, Genç ve Saçan (2010), kullanımı kolay bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Program, tepki kuvvetleri ve momentin hesaplanmasında Kleinlogel eşitliklerini kullanmaktadır. Buna göre belirsiz çerçeve yapılarında moment dağılımını yer değiştirme metoduyla hesaplanmıştır. Model olarak bireysel seraların seçildiği çalışmada, çatı ve sütunlar için değiştirilebilen malzeme özellikleri ve boyutlarının kullanılmasıyla

kritik noktaların belirlenebilmesi sağlanmıştır. Ardından, statik olarak dengesiz noktaların iyileştirilebilmesi için malzeme özelliklerinin farklı seçilmesiyle yapının rüzgar dayanımını arttırmışlardır. Bu sayede deneme yanılma yöntemiyle uygun profillerin belirlenebilmesi istenmiştir. Geliştirilen yazılımın kolay kullanımı ve değişen profil özelliklerine bağlı olarak hızlı hesaplamalar yaparak sonuçların karşılaştırılabilir olması sebebiyle geniş kullanım potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir.

Cam örtülü seraların kirişlerinde, yük altındaki momentum Zhang ve Tong (2011) tarafından ampirik olarak araştırılmıştır. Çeşitli amaçlar doğrultusunda kullanılan cam örtülü seralarda kolonların dörtgen profilli çelikten imal edildiğini belirten araştırmacılar, üreticilerin gölgeleme etkisini azaltmak için çapraz kirişlerle desteklemekten kaçındıklarını belirtmişlerdir. Çapraz kirişlerle desteklenmeyen kolonların ise rüzgar yüküne karşı yapıyı zayıflattığı bildirilmiştir. Araştırmacılar ampirik yaklaşımla kirişlenmiş ve kirişlenmemiş kolonların burkulma sınırlarını test etmişlerdir ve sonuç olarak kolonların boyları uzadıkça profilin kalınlaştırılması ya da çapraz olarak kirişlenmesi gerektiğini ortaya koymuşlardır.

Rüzgar yükünün seralara etkisi araştırılırken bölgesel ihtiyaçlar doğrultusunda üretilmiş tiplerinin de incelenmesi gerekmektedir. Yapısal farkların rüzgar direncine etkisini araştıran Yang ve diğerleri (2013), Çin'in kuzey bölgelerinde sıkça tercih edilen ve solar seralar olarak adlandırılan yapıları rüzgar tüneli testlerine tabii tutmuşlardır. Gündüz-gece sıcaklık farkının yüksek olduğu bölgelerde yapının belirli bir kısmının güneş ısısını depolayıp gece boyunca yapı içini ısıtması esasına göre kurulan seralar yapısal olarak plastik örtülü seralardan farklıdırlar. Bu farkın rüzgar direncine etkisini görmek isteyen araştırmacılar, rüzgar tüneline yerleştirdikleri iki tip ölçekli sera modelini teste tabi tutmuşlardır. Her yönden çeşitli hızlarda rüzgar altında testleri yapılan sera modellerinin aerodinamik özellikleri belirlenmiştir. Araştırmacıların vurgulamak istediği sonuçlardan birisi solar seraların rüzgar direncinin, plastik örtülü seralardan daha yüksek olduğudur. Ancak yapılan rüzgar tüneli testinin yeterli istatistik oluşturacak veriye sahip olmadığını bu yüzden sayısal modelleme eşitlikleriyle güçlendirilmesi gerektiğini belirterek sonuçların teorik olmaktan öteye geçemeyeceğini bildirmişlerdir.

Plastik örtülü seralarda rüzgar yükü etkisini SEM kullanarak test eden bir başka çalışma Nayak ve Ramana Rao (2014) tarafından yürütülmüştür. Araştırmanın amacı; sera tasarımından önce hesaplanması gereken değişkenlerin önemini sayısal eşitliklerle ortaya koymaktır. Birçok Avrupa ülkesi ve Amerika'nın aksine, araştırmacıların anavatanı olan Hindistan'da seralara özgün yapı standartları olmadığını bildirerek tip seraların kullanılmasının sakıncalarından bahsetmişlerdir. Seraların, tasarım aşamasında hesaba

katılmayan ölü ve hareketli yüklerin etkisiyle kısa ömürlü olduğunu ya da gereğinden büyük profil seçimiyle maliyetlerinin arttırıldığı bildirilmiştir. Üstelik tasarım için ulusal meteoroloji haritalarının esas alındığını, dolayısıyla değişen yüzey şekilleri etkisiyle hesaplamalarda hatalar oluştuğunu belirtmişlerdir. Rüzgar yükü karşısındaki dayanımını test etmek için 560 m^2 taban alanına sahip, çift bloklu, plastik örtülü, boru profilli bir serayı esas almışlardır. Seranın bulunduğu konumdan alınan meteoroloji verileri, ölü yükleri oluşturan etkenler ve iskelet malzemesini oluşturan malzemenin katalog verilerine göre analiz edilen yapının modifiye edilmesi gereken noktaları belirlenmiştir. Analiz için kullanılan yöntemin ise ülkenin sera yapı standartlarının temelini oluşturması gerektiğini vurgulamışlardır.

Plastik örtülü sera tasarımıyla alakalı çalışmalardan birini de Moriyama, Sase, Okushima ve Ishii (2014) yürütmüşlerdir. Araştırmacılar, çalışmada SEM'a dayanan modelleri ve rüzgar tünelinde ölçekli modelleri kullanmışlardır. Beşik çatılı, yay çatılı, çeşitli mahya yüksekliklerinde ve değişen havalandırma açıklığı konumlandırmalarının bulunduğu 7 farklı sera tasarımı incelenmiştir. Testlerin bir kısmında seraların sadece kar yüküne karşı dayanımı incelenirken geri kalan kısmı üzerinde rüzgar yükü incelenmiştir. Farklı tasarımlara sahip bu seralarda kar yükünün etkisini görebilmek için SEM'de stres ve burkulma analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda, yapılara kirişler eklemenin kar yüküne karşı dayanımı önemli miktarda arttırdığı ve kirişlerin nereye eklenmesi gerektiği belirtilmiştir. Elde edilen bir diğer sonuç ise mahya yüksekliğindeki değişikliğin kar yükü karşısında dayanıma etkisinin önemli derecede olmadığıdır. Sayısal model analizlerinin ardından uygulanan rüzgar tüneli testleriyle elde edilen önemli sonuçlardan birisi de sera çatı şeklinin rüzgar yükü karşısında direncini kayda değer miktarda etkilemesidir. Araştırmacılar ayrıca üreticiler arasında çift kat boru profil olarak adlandırılan şişirilmiş örtü malzemeli seraların yapısal olarak rüzgar direncinin yüksek olabileceği ve takip eden araştırmalarda dikkate alınması gerektiğini bildirmişlerdir.

Çeşitli ülkelerin sera yapımına dair standartlarını belirli periyotlarla güncellediğini görmekteyiz. Bu güncellemeyi sağlayan ülkelerden biri olan Güney Kore'de Kwon ve diğerleri (2016) tarafından yürütülen araştırma, özellikle yüzey şekilleri bakımından düzenlenmiş sahil şeridine yakın bölgelerde yeni standartların rüzgar dayanımı açısından test edilmelerini konu almaktadır. Araştırmaya konu olan bölgede sıklıkla kullanılan 2 adet cam ve 2 adet plastik örtülü sera çeşidinin rüzgar yükü karşısındaki aerodinamik tepkilerini belirlemek için rüzgar tüneli testleri yürütülmüştür. Seçilen seraların ortak özellikleri, her iki gruptan da birer seranın mahyaları çatının ortalarında diğerlerinin mahyaları ise sera

genişliğinin 3 çeyreklik kısmında bulunmasıdır. Rüzgar tüneline yerleştirilen seraların 1:20 ölçekli olmasının yanında, bahsi geçen sahil şeridinin yüzey şekillerini de simule etmesi için tünelin geri kalanına aynı ölçekli küp bloklar belirli bir desen izlemeksizin yerleştirilmiştir. Bu şekilde deniz üzerinden etkili olan rüzgarın, arazi koşullarında olduğu gibi seralara ulaşana kadar çeşitli türbülans noktalarına maruz kalması sağlanmak istenmiştir. Tünel testlerinin verileri toplanıp analizleri yapıldığında dikkat çeken bir sonuç ortaya çıkmıştır. Buna göre bölgedeki diğer yapılar, rüzgarın yönünü değiştirmeden kanallara ayırarak seraya etkiyen kuvvetini bir çok noktadan uygulamasına neden olmaktadır. Bu durumu hava akımının ayırıcı fenomeni olarak nitelendiren araştırmacılar, duvar ve çatıyı birleştiren noktaların basınç noktaları olduğunu bildirmişler ve güçlendirilmeleri gerekliliğini ortaya koymuşlardır.

Seraların rüzgar ve kar yüküne karşı yapısal olarak incelenmesi gereken durumlardan birisi de sigorta ödemeleri söz konusu olduğu kaza analizleridir. Briassoulis, Dougka, Dimakogianni ve Vayas (2016) tarafından yürütülen, Yunanistan'ın Atina şehrinde çöken bir plastik örtülü seranın sayısal analizlerle çökme nedeninin belirlendiği araştırma bu duruma bir örnektir. Araştırmaya konu olan seranın 7500 m^2 kapalı alanı olan 10 bloklu bir plastik örtülü sera olduğu ve Avrupa standartlarına göre projelendirildiği belirlenmiştir. Çökmenin gerçekleştiği zamana ait meteorolojik kayıtlar ise civardaki başka bir sabit tesisten elde edilebilmiştir. Meteorolojik veriler ışığında rüzgar şiddetinin ya da kar yağışının, yapı standartlarında belirtilen miktarı aşmadığı anlaşılmıştır. Bu sonuç, durumun detaylı incelenmesini zorunlu kılmıştır. Yıkılan seranın enkazında yapılan araştırmalarda ise yapısal olarak herhangi bir zayıf noktaya rastlanmadığı bildirilmiştir. Çalışmalarına tekrar meteoroloji verileri ve yapı standartları kapsamında devam ettiren araştırmacılar, sayısal modelleme aşamalarında dikkat çeken bir noktaya değinmişlerdir. Buna göre yapı standartları ısıtılan seralara göre düzenlenilmiş ve ısıtılmayan seralara göre kar yükü dayanımı 1,5 kat fazla hesaplanmıştır. Tekrar enkaza dönen araştırmacılar ısıtma sisteminde arıza olduğunu tespit ederek ısıtılmayan sera koşullarına göre sayısal analizlerini tekrar yapmış ve seranın yıkılma sebebinin kar yükü dayanımının aşılması olduğunu bildirmişlerdir.

Rüzgar ve kar yükü altında seraların statik durumunun zamanla değiştiği bilinmektedir. Hur ve Kwon (2017) tarafından bu değişim hesaplanmaya ve sera ömrü belirlenmeye çalışılmıştır. Araştırmacılar, çalışma bölgelerinde bulunan 560 m^2 taban alanına sahip 6 bloklu plastik örtülü bir sera üzerinde bilgisayar modellemeleri yapmışlardır. Yapı elemanlarının zamana bağlı değişen mukavemet değerlerini belirlemek

için kullanılan modelleme parametreleri istatistiksel metotlarla ortaya konulmuştur. Bu işlem için Weibull dağılımı kullanılan çalışmada rüzgarın etkisiyle zamana bağlı olarak statik yüklerin dinamik hale geçmesi noktasına kadar sürdürülmüştür. Çalışmada karar verici olarak kullanılan parametrelerin bazıları kabulleniş yoluyla elde edilmiştir. Buna göre rüzgar yükünün etkisiyle ölü ağırlıkların yıllık deformasyonu stres normalizasyonu modeliyle %21 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak sera üzerindeki ölü yüklerin zamana bağlı yorgunluğunun belirlenmesinde önerilen modelleme serilerinin hatayı azalttığını belirtmişlerdir.

Plastik örtülü seralarda incelenen rüzgar yükü etkisi her zaman yapı bileşenlerinin mukavemetiyle ilgili olmamaktadır. Kuroyanagi (2017) çalışmasında karbondioksit (CO_2) ile gübrelenen seralar için örtü malzemesinde oluşabilecek kaçakları ve bunun rüzgar hızıyla bağlantısını araştırmıştır. Çalışma bölgesinde bulunan bireysel plastik örtülü bir sera seçilmiş ve bu sera modeli aynı bölgede iki farklı doğrultuda yerleştirilerek HAD simülasyonunda incelenmiştir. Simulasyon verilerine göre iç ve dış basınç verileri ve buna bağlı olarak CO_2 sızma miktarları belirlenmiştir. Araştırmacı, rüzgar yönünün sızma miktarını doğrudan etkilediğini belirttiği çalışmada elde ettiği sonuçların istatistiki olarak önemli olduğunu tahmin hatasının standart sapması (RMSE) tablosuyla ortaya koymuştur. Çalışmaya ek olarak arazi koşullarında yapılan ölçümler sonucunda potansiyel kaçak noktalarının tahminlenmesi sağlanmıştır. Buna göre örtü malzemesini iskelete sabitlemede kullanılan kelepçelerin şekil itibariyle aerodinamik türbülans oluşturabileceği kaydedilmiştir.

Sera yapı standartlarının güncellenmesi gerektiğini belirten Kim, Lee, Kwon (2017), yaptıkları çalışma için 3 farklı çatı şekline sahip bireysel plastik örtülü seraları ele almışlardır. Bölgede yaygın kullanıma sahip çatı şekillerindeki seraların ölçüleri standartlara uyarlanarak seçilmiştir. İncelenmek istenen seraların ölçekli modellerini rüzgar tüneli testlerine tabii tutarak elde ettikleri verileri, HAD simülasyonunda karşılaştırmalı olarak kullanmışlardır. Simülasyonu oluşturmak için seçilen parametrelerin standart olarak 100 yıllık iklim verilerine dayandırıldığını belirten araştırmacılar, mikroklimatik bölgeleri temsil edecek meteoroloji istasyon verisi olmamasının öngörülemez hatalar oluşturacağını vurgulamışlardır. Benzer şekilde denize yakın alanlarda inşa edilen seraların; rüzgarın hızlanma sıklığı, şiddeti ve atmosferik türbülansının nispeten fazla olması sebebiyle anakarada inşa edilenlerden farklı değerlendirilmesi gerektiğini bildirmişlerdir. Çalışmaları doğrultusunda model ortaya koymak isteyen araştırmacılar, rüzgar tüneli testleriyle çeşitli modellerin performanslarını

karşılaştırmış ve kabul edilebilir hata oranındaki modeli oluşturmuşlardır. Araştırmacılar ayrıca arazi testleri yapmanın, gerçek boyutlu sera modelleri kullanılması anlamında çok güvenilir sonuçlar vereceğini, fakat düzensiz ve öngörülemez hava koşullarının aerodinamik çalışmaları zorlaştırdığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde eşzamanlı ölçümlerin yapılması zorunluluğunun da modelleme yapmayı kısıtlayan önemli bir faktör olduğu vurgulanmıştır.

2.2. Esneklik Sensörü Araştırmaları

Teknolojinin, insani ihtiyaçlar doğrultusunda üretilmesi ve geliştirilmesi çalışmaları sonucunda kullanım alanlarının da genişlemesi kaçınılmazdır. Buna göre özgün amaçlar doğrultusunda yararlanılan elektronik malzemelerin farklı bir ihtiyacı karşılamak üzere uyarlanması bilgi birikimi ve öngörü gerektirmektedir. Esneklik sensörleri olarak adlandırılan aparatların kullanımı da bu bağlamda yaygınlaşmaktadır. Genel olarak esneyebilen elektronikler olarak adlandırılan bu sensörler açısal değişimin dijital sinyallere dönüştürülmesini sağlar (Saggio, Riillo, Sbernini ve Quitadamo, 2016). Geliştirilmeye devam eden bu sensörler günümüzde pasif dirençli, kapasitif ve optik yansıtmalı olarak üç farklı metotla üretilmektedirler (Sanca, Rocha, Eugenio, Nascimento ve Alsina, 2018). Bu sensörler, günlük kullandığımız birçok cihazda bulunmakla birlikte, geliştirilecek birçok cihazda yardımcı ya da esas bileşen olarak kullanılması potansiyeli oldukça yüksektir. Üreticiler tarafından çeşitli boyutlarda piyasaya sürülen bu aygıtların, araştırmalara özgü ihtiyaçlar doğrultusunda uyarlananan ve yeniden imal edilen en yaygın türü pasif dirençli olanlardır.

Esneklik sensörlerinin uyarlandığı araştırmalar arasında genellikle medikal araç geliştirme çalışmaları vardır. Mori ve diğerler (2014) yayınladıkları çalışmada üst kol ampütasyonu yaşamış bireyler için uygun fiyatlı bir protez tasarımı yaptıklarını bildirmişlerdir. Mevcut protezlerin, kullandıkları algılayıcıların ağır olması ve ısı üreterek çalışmaları yüzünden kullanıcıya zarar verebileceğini belirten araştırmacılar, pasif rezistif esneklik sensörlerinin bu noktada kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Esneklik sensörlerinin büyük dirençler kullanarak ısıyı bölgeden uzaklaştırabildiğini ve böylece deri dokusuna etki etmediğini kaydetmişlerdir. Çalışma kapsamında ticari bir esneklik sensörü kullanan ve bu sensörlerle uyumlu bir prototip geliştiren araştırmacılar kas hareketlerini taklit eden yapay bir el ile bu prototipi birleştirmeyi başarabilmişlerdir. Sensörlerden gelen veriler üzerinde parazit filtreleyici bir algoritma kullanarak teorik olarak sorunsuz protezi ürettiklerini ve testlerinin sürdüğünü bildirmişlerdir.

Sensörlerin sadece kullanımı değil üretimine dair geliştirme çalışmaları da devam etmektedir. Amaç doğrultusunda istenilen uzunluk ve kalınlıkta üretilebilirliğini gösteren bir çalışma Sajid, Dang, Na ve Choi (2015) tarafından yürütülmüştür. Mürekkepli bir baskı üretim yöntemi olan makaralar arası mikro gravür baskı yöntemiyle çeşitli kimyasal karışımların üst üste bindirilmesi sağlanmıştır. Genel olarak iki iletken arasına direnç oluşturan bir yarı iletkenin yerleştirilmesiyle oluşturulan esneklik sensörü, bu çalışmada tabakaların birbiri üzerine sürülmesiyle bütünleştirilmiştir. Bu sayede üretilen sensör gövdesi istenilen şekilde kesilerek elektrik kontakları sabitlendikten sonra kullanılabilir duruma gelmiştir. Araştırmacılar, aktif tabaka adını verdikleri direnç oluşturan tabakayı Poliviniliden Florid (PVDF) olarak adlandırılan plastik türevi bir tabakaya aktif karbon ekleyerek elde etmişlerdir. Sıvı formda oluşturdukları bu karışımı homojenize ederek standartlaştırdıklarını belirten araştırmacılar, bu solüsyonu Polietilen Tereftalat (PET) bir zemin üzerine baskı makinesi marifetiyle eşit kalınlıkta uygulamışlardır. Ardından yapıya direnç kazandırması ve uzun ömürlü olmasını sağlamak adına üzerini Polivinil asetatla (PVAc) kaplamışlardır. Üretim süreci ve baskı makinesi ayarlarından bahsedilen çalışmada standartlaştırma aşamaları detaylı bir şekilde verilmiştir. Üretilen sensör gövdeleri mikroskop altında incelenerek katman kalınlıkları gözlemlenmiş ve hatalar giderilmiştir. Üretilen sensörler eşit parçalarda kesilerek Arduino tabanlı bir eldiven prototipine yerleştirilmiş ardından test edilmiştir.

Elektronik eldivenler olarak bilinen ve el hareketlerini dijital sinyallere çeviren cihazlar, çeşitli eklemelerle birçok alanda kullanılmaktadır. Hasta teşhis aracı olarak kullanılmaları süregelen araştırmalar arasındadır. Felç geçirmiş hastaların fizik tedavi süreçlerinde gelişimlerinin izlenmesi için geliştirilen elektronik eldivenli bir prototip Hidayat, Arief ve Happyanto (2015) tarafından yapılan çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Araştırmacıların aktardığı üzere, felç sonrası fizik tedavi gören hastaların gelişiminin izlenmesi adına rutin kontroller, hekimler tarafından bir açıölçer araçla yürütülmektedir. Hekimlerin bu araçla elde ettikleri verileri LOVETT derecelendirmesi aracılığıyla hesaplaması ve sonuçları yorumlaması gerekmektedir. Bu işlemin uzun sürdüğünü ve kesin sonuçlar vermediğini bildiren araştırmacılar, elde baskı ve dönme yeteneğinin hesaba katılmadığını bildirmişlerdir. Önceki çalışmalarından elde ettikleri elektronik terapi eldiveni (ETG) prototipine ticari bir kablosuz kas hareketi takipçisi olan MYO kol bandı (Thalmic Labs, Waterloo, Ontario, ABD) ve ivme ölçer adapte ederek taşınabilir bir derecelendirme cihazı üretmişlerdir. Cihazla yapılan

denemeler sonucunda %66,6 olan derecelendirme güvenilirliğini %83,4 e çıkarttıklarını bildirmişlerdir.

Esneklik sensörü üretim teknolojilerini araştıran bir çalışma da Sajid ve diğerleri (2015)'ne benzer baskı tekniği kullanan Abas ve Rahman (2016) tarafından yürütülmüştür. Abas ve Rahman (2016) çalışmalarında farklı olarak direkt mürekkep yazdırma (DIW) tekniğini tercih etmişlerdir. Söz konusu tekniğin elektronik endüstrisinde baskı devre kartları (PCB) üretiminde kullanıldığını ve dolayısıyla mikron seviyesinde hassasiyetle çalıştığını belirtmişlerdir. Yarı iletken materyal olarak iletken karbon macun kullanan araştırmacılar, esnek PET malzeme üzerine çeşitli kalınlıkta sarmal desende baskı yapmışlardır. Baskı sonrası elektrik konnektörü olarak gümüş levhalar sabitlenen sensörler mikroskop altında hatalara karşı kontrol edilmiş ve ardından performans testlerine geçilmiştir. Sensörleri 0 - 90^o arasında tekrarlamalı olarak test eden araştırmacılar sensörlerin istenildiği gibi çalıştığını bildirmişlerdir. Baskı tekniğinin performans testi için baskı başlığının hava basıncı değerleriyle yazdırılan materyalin kalınlığı istatistiksel olarak değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Yazdırılan materyalin kalınlığı arttıkça hava boşlukları oluşturduğunu ve elektrik iletme karakterinin bozulduğu bildirilmiş, buna karşın elde edebildikleri minimum kalınlığın 251 – 253 μm olduğunu kaydetmişlerdir.

Esneklik sensörleri, robotik cihazlarda kontrol üniteleri olarak insan arayüzünü taklit edebiliyor olmaları dolayısıyla fazla insan gerektiren işlemleri bir kişinin yapabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu kabiliyetleri yönünden ameliyathane gibi steril ortamlarda kullanıma uygun oldukları Dhepekar ve Adhav (2016) tarafından geliştirilen sistemle ortaya konmuştur. Araştırmacılar, operasyon esnasında teması ve personel gerekliliğini azaltabilecekleri sistemi kablosuz çalışacak biçimde tasarladıklarını bildirmişlerdir. Üç parmağı üzerinde esneklik sensörü bulunan ve bir Arduino ile haberleşen elektronik eldiven, kablosuz olarak parmak hareketlerini iki eksenli hareket eden bir robot kola transfer etmektedir. Robot kolun ucundaki kavrama-bırakma hareketini yapabilen kıskaç ise eldivenin üzerindeki 3. sensörle kontrol edilebilmektedir. Ticari esneklik sensörleri kullanmayı tercih eden araştırmacıların bildirdikleri üzere kablosuz veri aktarımı sorunsuz şekilde çalışmaktadır. Sensörlerin 0 – 90^o aralığında lineer sonuçlar verdiğini ve prototipin, muadili olduğu yüksek maliyetli robot kollar kadar etkili oldukları bildirilmiştir.

Sistemlerde sadece yönlendirici olarak değil aynı zamanda test üniteleri olarak da görev yapabilen esneklik sensörleri, mekanizmalara adapte edilerek basınç altındaki elektriksel tepkileri vasıtasıyla sınırlayıcı eleman görevi görmektedirler. Tasarımlarında hassas bir basınç algılama elemanı olmasını isteyen Elgeneidy, Lohse ve Jackson (2016)

çalışmaları kapsamında pasif rezistif esneklik sensörlerini kullanmışlardır. Hassas parmak adını verdikleri prototip cihaz, insan parmakları gibi katlanabilsin diye pnömatik valflerle hareket ettirilen silikon kalıplardan oluşmaktadır. Narin nesneleri dahi kavrayabilmesi ve zarar vermemesi için ise dokunma hassasiyetine ihtiyaç duymuşlardır. Bu noktadan hareketle esneklik sensörlerinin basınç altındaki elektronik tepkilerinden istifade etmek istemişlerdir. Prototipin içine yerleştirilen esneklik sensörleri, parmağın değişen açılardaki hareketlerinde veri sağlamıştır. Bununla birlikte yüksek hızlı kameralarla cihazın görüntülenmesi zamana bağlı olarak sağlanmıştır. Esneklik sensörü verileriyle birlikte toplanan kamera görüntüleri yapay sinir ağları (YSA) modelleriyle analiz edilmiştir. Parmağın farklı basınçlar altında ve hareket edebildiği tüm açılarda bu işlemler tekrarlanmıştır. Sonuç olarak YSA model çıktılarının, hatayı kabul edilen miktarlara indirebilmesini sağlamış ve çalışmanın hedefine ulaştığını belirtmişlerdir.

Geniş kullanım alanlarından birisi de spor dallarında kontrol ve izleme olan esneklik sensörleri, giyilebilir elektronikler olarak adlandırılan ve sporcuların üzerinden veri alınmasını sağlayan cihazlarda bulunmaktadır. Bu kapsamda en yaygın bilinen esneklik sensörlü cihazlar elektronik eldivenlerdir. Jacob, Zakaria, Tomari, Sek ve Suberi (2017)'nin çalışmalarında elektronik eldivenler, badminton oyuncularının raket tutuş şekillerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Çalışmada, badminton oyuncuları için kritik olduğu söylenen beş farklı tutuş şeklinin, geliştirilen elektronik eldiven vasıtasıyla eşzamanlı olarak belirlenebilmesi hedeflenmiştir. Araştırmacılar tarafından çok maliyetli olduğu bildirilen ve sporcuların tutuş şekillerini yüksek hızlı kameralar vasıtasıyla analiz eden sistemin yerine, geliştirdikleri elektronik eldivenin kullanılabilirliği test edilmek istenmiştir. Bu hedef doğrultusunda üç parmağına ticari esneklik sensörü bağlanmış bir eldiven üzerine, sensör tepkilerini kablosuz olarak aktarabilecek Arduino tabanlı bir mikrokontrol devresi yerleştirilmiştir. Araştırmacıların el izleme modülü (HMM) olarak adlandırdıkları bu sistem, belirlenen tutuş şekillerinin tekrarlanmasıyla elde edilen veriler doğrultusunda oluşturulan modeli içermektedir. Çalışmada üretilen modelin testi sonucunda beş farklı tutuş şeklinin %70 oranında belirlenebildiği bildirilmiştir.

Giyilebilir elektroniklerin günlük ihtiyaçlar doğrultusunda üretildikleri birçok uygulama bulunmaktadır. Bu uygulamaların bir örneği de Liou ve Fang (2017) tarafından yürütülen çalışmada görülmektedir. Araştırmacılar, felç geçirmiş hastaların iyileşme süreçlerinde dizlerini arzu edilen açıdan fazla bükerek eklemlerine zarar vermelerini önlemek istemişlerdir. Fizik tedavi esnasında tekrarlanan hareketlerin, diz ekleminde yük oluşturarak tedavi sürecini uzattığını bildiren araştırmacılar, bu durumdaki hastaların

dizlerine sabitledikleri esneklik sensörlerinin, LED (ışık yayıcı diyot)'ler vasıtasıyla uyarılar oluşturmalarını hedeflemişlerdir. Bu hedef doğrultusunda gerekli ölçülerde bir esneklik sensörü üreten araştırmacılar, bu sensörü diz eklemine bir sargıyla sabitlemişlerdir. Sensörden alınan verilerin Arduino tabanlı bir mikroişlemcide açısal sınır değerlerle karşılaştırılması sonucunda $0 - 90^{o}$ arasında beş sınıfta derecelendirilmesi ve ilgili LED ile kullanıcının uyarılması sağlanmıştır.

Taşınabilir elektronik aletler düşünüldüğünde akıllı telefonlar ve dizüstü bilgisayarlar ilk akla gelen cihazlardır. Geniş kullanım alanına sahip bu cihazlar, yoğun olarak iletişim kurmak için kullanılmaktadır. Fakat birçoğu görme ya da duyma engelli bireyler için kullanılması zor cihazlardır. Engelli bireylerin iletişim kurmak için kullandıkları Braille alfabesinin (Braille, 1821), küresel mobil haberleşme sistemi (GSM) üzerinden iletilmesini sağlamak üzere bir prototip akıllı eldiven tasarlanmıştır (Priya ve Chitra, 2017). Prototip cihazın eldiven kısmının bir tarafında esneklik sensörleri diğer yüzünde ise titreşim motorları bulunmaktadır. Bu sayede Braille alfabesini kullanan iki bireyin, GSM şebekesinin kısa mesaj hizmetinden faydalanarak birbirleriyle anlaşabilecekleri belirtilmiştir. Sistem genel itibariyle esneklik sensörlerinden, el hareketi marifetiyle oluşturulan yazılı mesajları Braille alfabesine çevirerek karşı tarafın da bu mesajı eldiven üzerindeki titreşim motorlarının hareketleriyle okumasını sağlayacak ve cevap vermek istediğinde aynı işlem tersi yönlü çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Araştırma kapsamında Android (Google Inc., Menlo Park, Kaliforniya, ABD) işletim sistemi kullanan akıllı cihazların Bilgi Değişimi İçin Amerikan Standart Kodlama Sistemi (ASCII) kodları ve Braille alfabesini birbirine dönüştürmesini sağlayacak ek bir mikrokontrol entegresi çalıştırması istenmiştir. Son halini alan sistemin, engelli bireylere denetilmesi neticesinde alınan sözlü geribildirimlerde, test grubu üyelerinin sistemin kullanımını konforlu olarak niteledikleri bilgisi verilmiştir.

Esneklik sensörleri, birçok çalışmada mevcut cihazların çok daha uygun fiyatlı muadillerinin üretilmesinde kullanılmıştır. Sanca ve diğerleri (2018) kalça ve diz eklemi hareketlerini dijital sinyallere dönüştürebilecekleri bir ortez cihaz geliştirmek istemişlerdir. Çalışma kapsamında, günümüzde animasyon, askeri ekipman ve hasta destek aygıtları gibi alanlarda kullanılan ve dış iskelet olarak da isimlendirilen bir cihazın çok daha uygun fiyatlı versiyonunu üretmek için eklem noktalarına pasif rezistif sensörler yerleştirilmiştir. Sensörlerin sabitlenebilmesi için üç boyutlu tasarlanan ve eklemin açısal hareketini taklit eden mafsallar geliştirilmiştir. Esneklik sensörlerinden okunan verilerin doğrulanabilmesi adına mafsalların içine dijital kodlayıcılar yerleştirilmiş ve sistemin bir bütün olarak

yönetilebilmesi adına beş adet mikrodenetleyici birim eklenmiştir. Ticari esneklik sensörlerinin kullanılması ve bu sensörlerin sadece $0 – 90^o$ arasında lineer sonuçlar veriyor olması sistemin zayıf noktası olarak kaydedilmiştir. Prototipin üretilmesinin ardından her bir eklemde, artan hızlarda hareketlerin sensör verileri incelenmek istenmiştir. Sonuç olarak oluşabilecek sapmaları belirlemek için Kalman filtre algoritması (KF) kullanıldığı ve en yüksek sapmanın esneklik sensörlerinden kaynaklandığı ortaya konulmuştur. Araştırmacılar bu sonuç ışığında, amaca özgü esneklik sensörlerinin üretilerek cihaz performansının arttırılmasını tavsiye etmişlerdir.

Esneyebilen elektroniklerin birçoğu basınç algılama yetenekleri sebebiyle kullanılmaktadır. Günümüzde elektronik tartılar, otomobil hava yastığı mekanizmaları, yoğun bakım hasta yatakları ve sismik hareket algılama cihazları gibi birçok kullanım alanları vardır. Algılayabildikleri aralığın çok geniş olması, uzun süreli kullanımda deformasyon yaşamamaları ve kolay üretim metodları sebebiyle kapasitif basınç sensörleri endüstriyel olarak en çok tercih edilen çeşitleridir. Üretim yöntem ve malzeme çeşitlerinin performanslarının karşılaştırıldığı bir araştırma Pignanelli, Schlingman, Carmichael, Rondeau-Gagne ve Ahamed (2019) tarafından yürütülmüştür. Kapasitif basınç sensörleri, yapısal olarak iki iletken arasındaki dielektrik materyalin depolayabildiği enerji miktarının, basınç altında iletkenlerin birbirine yaklaşması sebebiyle azalması mantığıyla çalışmaktadır. Araştırmacılar bu noktadan hareketle iletkenlerin yüzey şekillerinin farklı geometrik yapılarda olmasının sensör performansına etkisini ortaya koymak istemişlerdir. Buna göre iletkenlerin dielektrik malzemeye bakan yüzeylerini dört farklı şekilde üretmişlerdir. Artan basınç altında sensör tepkileri kaydedilmiş ve grafik oluşturularak incelenmiştir. Sonuç olarak en geniş yüzey alanına sahip şekilde üretilen iletkenin kullanıldığı sensörün en yüksek hassasiyeti sağladığı bildirilmiştir. Buna ek olarak, iletken yüzey şekillerinin doğrudan basınç algılama aralıklarında değişime neden olduğunu kaydetmişlerdir.

Pasif rezistif esneklik sensörlerinin, felç geçirmiş hastalarda iyileşme sürecinin izlenmesi için kullanıldığı bilinmektedir. Hidayat, Arief ve Happyanto (2015)'nun çalışmalarında bahsedilen elektronik eldivenler bu anlamda en çok tercih edilen yöntemdir. Doktorların süreci izlemesi adına önemli bir gelişme olan bu cihaz, Garda ve diğerleri (2018)'nin çalışmasında görsellenmek istenmiştir. Bu hedef doğrultusunda Microsoft Visual Studio (Microsoft Corporation, Albuquerque, New Mexico, ABD) ortamında oluşturulan bir program, elektronik eldiven ve Arduino mikroişlemciyle bağlanarak eldiven hareketlerinin göstergelerde izlenmesini mümkün kılmıştır. Araştırmacılar,

hastanın el hareketlerinin hız ve şiddetinin doktorlar tarafından eşzamanlı olarak takip edilebileceğini bildirmişlerdir. Buna ek olarak verilerin Ms Excel (Microsoft Corporation, Albuquerque, New Mexico, ABD) ortamında kaydedilerek daha sonra zamana bağlı grafikler oluşturulabileceğini göstermişlerdir.

Esneklik sensörlerinin potansiyelinin çok yüksek olduğunu, fakat doğru tekniklerle uygulanmadığını savunan Saggio ve Orengo (2018), uygulama hatalarını ortaya koyarak çözümlerinin geçerliliğini ispat etmeye çalışmışlardır. Çalışma için biyomedikal amaçlarla kullanılan pasif rezistif esneklik sensörlerinin karakteristik özelliklerini ortaya koyan araştırmacılar, özellikle eklem hareketlerinin sayısal sinyallere dönüştürülmek istendiği çalışmalarda ortak sorunu belirtmişlerdir. Buna göre sensörlerin taşıyıcı materyalinin, açısal hareketin etki ettiği noktada yığılma etkisi sebebiyle çıkış voltajında bozulmalar oluşturduğunu belirtmişlerdir. Bunu kanıtlamak için ticari bir esneklik sensörünü ortasından kıvrılacak şekilde bükerek elde edilen verileri grafik yöntemlerle analiz ederek doğrusal sonuçların bozulmalara uğradığını göstermişlerdir. Ardından aynı sensör üzerinde tam orta noktalardan içeriye doğru üçgen şekilli parçaları keserek testi tekrarlamışlardır. Sonuç olarak elde edilen grafik verilerinde doğrusal sonuçların daha az bozulduğunu göstermişlerdir. Sensörden kesilen üçgen parçaların boyutunu büyüterek tekrar edilen test sonucunda, doğrusal verilerin bir önceki testten daha da az bozulmaya maruz kaldığını bildirmişlerdir. Bu bulgular ışığında yığılma etkisinin sonuçlarının kesinleştirmişlerdir. Bu testlerinin bir diğer sonucunun ise, genellikle kısa üretilen esneklik sensörlerinin küçük açısal hareketleri algılayamaması sebebiyle, modellemelerde tekrarlanabilirlik etkisinin de araştırılması zorunluluğunu, deneysel modellerle ortaya koymuşlardır. Buradan hareketle, özellikle biyomedikal çalışmalarında parmak, diz ve sırt eklemlerinin hareketlerinin algılanmasında aynı sensörlerin kullanılamayacağını, teşhis edilmek istenen bölgenin büyüklüğüne bağlı olarak özgün uzunluk ve genişlikte sensörlerin üretilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

2.3. Tarımsal Amaçlı Kullanılan Sensör Sistemleri Geliştirme Çalışmaları

Teknoloji kullanımı, hayatın her alanında olduğu gibi birincil üretim araçlarında da zorunlu hale gelmiştir. Özellikle tarıma dayalı ekonomilerde üretim kapasitesinin genişleme ihtiyacını karşılamak üzere yardımcı elemanlar olarak görev almaları kaçınılmazdır. Buna göre tarımsal amaçlı kullanılan elektronik cihazlar, canlı materyalin ve çevre şartlarının izlenmesi aşamalarında anahtar rollerde kullanılmaktadır. İzleme ve değerlendirmeye konu olan bu değişkenlerin, çok çeşitli olmaları sebebiyle tamamının ele

alınması mümkün değildir. Ancak, üretim hacmine etki eden en temel birkaçının izlenmesiyle büyük fark yaratılabileceği bilinmektedir. Buradan hareketle, üretim araçlarının belirli bazı özelliklerini sayısal olarak ifade edebilecek sensör sistemlerinin kullanılmasının, hedeflenen sonuca ulaşılmasını sağlayacağı söylenebilir. Kullanılacak sensör sistemlerinin oluşturulması ve varolan sistemlerin geliştirlmesi ise her daim devam eden bilimsel çalışmalar gerektirmektedir.

Bitkisel üretim alanında birçok avantaj sağlayan seralarda, iç ortam değişkenlerinin izlenmesini ve merkezi bir istasyondan gözlemlenebilmesini sağlayan sistem Liu, Meng ve Cui (2007) tarafından tasarlanmıştır. Çalışmalarında, Liu ve diğerleri (2007) sistemin kablosuz olarak haberleşmesini sağlamışlardır. Kablosuz sensör ağı (WSN) olarak nitelendirilen sistemde, çeşitli noktalardan sensörler vasıtasıyla elde edilen verilerin kablosuz olarak tek bir üniteye aktarılması ve bu üniteden de yönetim birimine iletilmesi sağlanmaktadır. Araştırmacılar, inceledikleri bir bağcılık tesisinde kurulmuş olan toprak nemi izleme sisteminin, kurulumun yapıldığı seneden sonraki hasadı iki katına çıkarmış olması sebebiyle benzer bir uygulama yapmak istemişlerdir. Bu sebeple oluşturdukları kablosuz sensör ağı sistemini, sera içerisindeki sıcaklık, bağıl nem ve toprak nemi verilerini toplayacak şekilde tasarlamışlardır. Sistemi oluşturan bileşenler, ticari olarak elde edilen ünitelerden oluşmaktadır. Sensörlerin ve kısa mesafe kablosuz iletişim aygıtlarının bulunduğu sensör ünitelerinden her 5 dk'da bir anlık olarak alınan veriler merkezi üniteye iletilmektedir. Seranın çeşitli noktalarında bulunan sensör ünitelerinin bütün verilerini toplayan merkezi ünite ise verilerim yönetim birimine aktarılmasında kısa mesaj servisini kullanmaktadır. Son olarak yönetim birimindeki bilgisayar vasıtasıyla çözümlenen veriler depo edilebilmektedir. Sistemlerinin kurulumunu yapıp çalıştığını gören araştırmacılar, sera içerisinde aktarılan verinin iletim performansını test ederek gerekli bazı düzeltmeleri de uygulamışlardır. Sonuç olarak kablosuz sensör ağı sistemlerinin sorunsuz çalıştığını ifade eden araştırmacılar, sistem bileşenlerinin maliyeti sebebiyle üreticiler tarafından kullanılamaz olduğunu da bildirmişlerdir. Buna göre sistemin, dizayn ve işlevsellik bakımından geliştirilmesi gerektiğini kaydetmişlerdir.

Kablosuz sensör ağı uygulamaları birçok araştırmada irdelenmiş olsa da ünite sayıları arttıkça kullanımının zorlaştığını bildiren Sun ve Wu (2013), teorik olarak sistem tasarımını açıkladıkları bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar, akademik çalışmalar sonucunda üretilen sensör sistemlerinin üreticiler tarafından tercih edilmediğini ve ticari olanlarının da kullanım alanlarının sınırlı olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle tasarladıkları sistemin, birçok üretici için cazip olmasını istemişlerdir. İlk olarak açık

kaynaklı bir yazılım platformu belirleyerek bu platformun sorunlarının çözüm yolunu açıklamışlardır. Ardından oluşturuldukları kablosuz sensör ağı sistemini sanal bir sürücüde test etmişlerdir. Sistem yazılımının testlerde sorun çıkarmadan çalıştığını ispat eden araştırmacılar, nispeten uygun fiyatlı ticari bileşenlerden oluşan bir çoklu sensör düzeneği oluşturmuşlardır. Düzeneğin test edilmesi için üç farklı nem seviyesinde toprak doldurulmuş bardakları kullanmışlardır. Düzeneğin, toprak nem içeriklerine uygun veriler toplaması sayesinde sistemin sorunsuz çalıştığını göstermiş olsalar da, gerçek koşullarda test edilmesi zorunluluğunu da belirtmişlerdir.

Kablosuz sensör ağı sistemlerinin gerçek koşullarda test edildiği ve ampirik modeller yerine kullanım kapasitesinin ortaya konulduğu bir çalışma Yuhan ve diğerleri (2016) tarafından yürütülmüştür. Araştırmacılar, sensör sistemleriyle elde edilen verilerin üretim planlamasında kullanılabileceğini göstermek istemişlerdir. Araştırmacıların belirttiği üzere, CO_2 gübrelemesi için gereken miktarının belirlenmesinde birçok model varolmasına karşın model parametrelerinin değişimlerinin izlenmesi gerekliliği gözardı edilmektedir. Buradan hareketle, yetiştirilen bitkinin her bir yaprağı için gereken CO_2 miktarının belirlendiği bir çalışma planlanmıştır. Bunun için, karbondioksit gübrelemesiyle domates üretimi yapılan bir serada kablosuz sensör ağı sistemi kurarak, bitkinin ilk büyüme evresinde üç farklı yöntemle veri toplamışlardır. Belirtilen yöntemlerden ilki sensörlerden elde edilen hava sıcaklığı, bağıl nem, CO_2 konsantrasyonu ve ışık yoğunluğudur. Diğer yöntemler ise doğrudan bitki fotosentez miktarının LI-6400XT (LI-COR Biosciences, Lincoln, Nebraska, ABD) marifetiyle ölçülmesi ve fenolojik ölçümlerdir. Sensörlerle toplanan veriler her 30 dk'da bir alınırken, fenolojik ölçümler haftada bir ve fotosentez miktarının ölçülmesi ise deneme süresince üç kez yapılmıştır. Denemenin sonunda her üç yöntemle elde edilen toplam 135 veri seti, yapay sinir ağı modelleriyle tahminlenmeye çalışılmıştır. Araştırmacılar, elde edilen 135 veri setinin 123 tanesini eğitim verisi olan kullanan model ile net fotosentez miktarının belirlenebileceğini vurgulamışlardır.

Sabitlendikleri bölgede ölçüm yapan sensörler haricinde mobil bir şekilde veri toplayan sistemlerden oluşan cihazların üretilmesi de tarımsal amaçlı çalışmalar arasındadır. Buna göre, Kızıl, Genç ve Aksu (2016), hayvansal üretim tesislerinden kaynaklanan koku probleminin belirlenmesi için geliştirdikleri elektronik burun sistemini test etmişlerdir. Çalışmada kullanılan elektronik burun sistemi, 10 adet Figaro metal oksit gaz sensörü (Figaro Engineering Inc., Mino, Japonya) ve bir adet sıcaklık nem sensöründen oluşmaktadır. Sensör bileşenlerinden veri toplayan bir mikroişlemci kartı ve onu yöneten bir bilgisayar yazılımı aracılığıyla, laboratuvar kullanımı için üretilmiş cihaz,

donanım modifikasyonları sayesinde mobil hale getirilmiştir. Çalışma alanı olarak seçilen büyükbaş hayvancılık işletmesi ve gübre depolama alanının, yerleşim yerlerine yakın olması sebebiyle koku problemi yarattığı bilinmektedir. Buna bağlı olarak planlanan çalışmada, bölgenin koku haritası oluşturulmak istenmiştir. Sistemin her iki saniyede bir bütün sensörlerden veri alarak toplamda 2 dk'lık ölçümlerle noktasal gaz yoğunluklarının belirlenmesi sağlanmıştır. Barınak ve gübre depolama alanının bulunduğu hat üzerinde toplam 69 noktada ölçümler sürdürülmüş ve herbir noktadaki rüzgar hızı el anemometresiyle kaydedilmiştir. Ölçüm yapılan noktaların koordinatları da el tipi GPS ile kayıt altına alınarak, bölgenin uydu görüntüsü üzerine yerleştirilmesi sağlanmıştır. Konumları belirlenmiş ölçüm noktalarından elde edilen sensör verileri, gerekli düzeltme işlemlerinin ardından uydu görüntüsü üzerine eklenerek, 3 boyutlu bir koku haritası oluşturulmuştur. Elektronik burun sisteminin, hayvan barınaklarından kaynaklanan koku probleminin belirlenmesinde kullanılabileceğini kanıtlayan araştırmacılar, sisteme entegre edilecek birkaç bileşenle otomatik koku haritalarının üretilebileceğini kaydetmişlerdir.

Elektronik bileşenler kullanılarak, çok spesifik ihtiyaçları karşılayacak düzenek ve cihazların üretilmesi işlemi gün geçtikçe kolaylaşmakta ve bunun sonucu olarak sensör çeşitleri artmaktadır. Bitkisel üretim için gereken toprak nem düzeyi takibi için kullanılan toprak nem sensörleri de bu bağlamda çeşitlenmektedir. Bu sensörlerin, makul fiyatları ve kolay bulunabilir olmaları sebebiyle rezistif toprak olanları ise en çok tercih edilen türleridir. Bilimsel çalışmalarda kullanılmak üzere, saksılardaki toprak nemini takip etmek için üretilen prototip cihaz çalışması Kızıl, Aksu ve Çamoğlu (2018) tarafından yürütülmüştür. Araştırmacılar, saksı denemelerinde kullanılmak üzere 72 sensörün verisinin anlık olarak izlenebildiği ve kayıt altına alındığı bir cihaz geliştirmişlerdir. Cihaz için tercih edilen bileşenlerin oldukça uygun fiyatlı parçalar olmaları sebebiyle yaygın kullanıma sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bilimsel yöntemlerle belirlenen toprak neminin, işgücü gereksinimini azaltan sistemin performansı test edilmiştir. Test için, nem miktarı nispeten hızlı bir zamanda değişen kum ortamı tercih edilmiş olup 90 günlük bir sürede 46 sensörden veri toplanmıştır. Ortamın su tutma kapasitesi laboratuvar koşullarında belirlenerek, sensör sonuçlarının yüzde (%) nem cinsinden anlık olarak okunabilmesi sağlanmıştır. Sensör verilerinin kayıt altına alınmasıyla eşzamanlı olarak saksılar tartılmış ve gerçek nem miktarı belirlenmiştir. Deneme sonunda tartım sonuçlarıyla karşılaştırılan sensör sonuçları, literatürde belirtilen belirlilik miktarından az olmasına karşın istatistiksel olarak yeterli bulunmuştur. Sistemin, istenilen şekilde çalıştığını bildiren araştırmacılar,

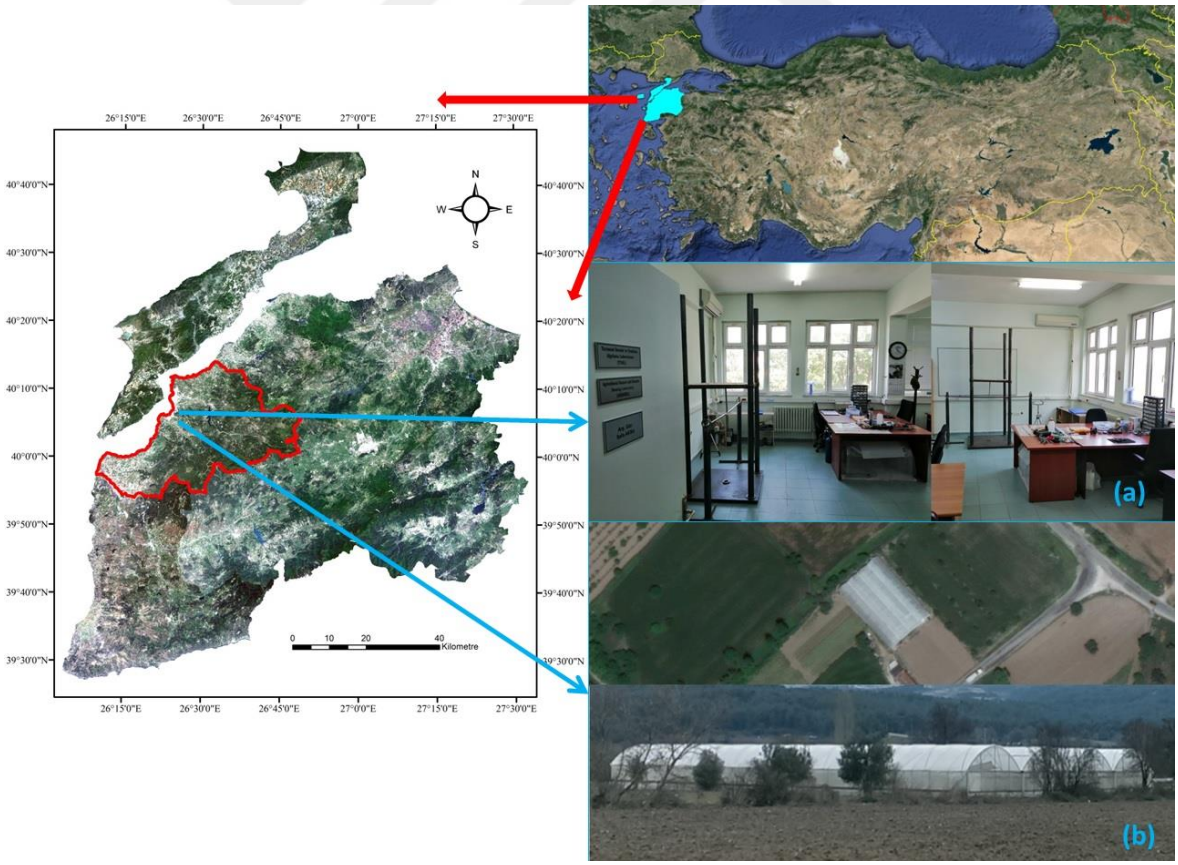
uzun süreli kullanımda sensörlerde oksidasyona bağlı deformasyonlar görüldüğünü de kaydetmişlerdir.

Sensör ve bileşenlerinin fiyatlarının gün geçtikçe azalması ve buna bağlı olarak cihaz üretim maliyetlerinin düşmesi, hayvansal üretim için göz ardı edilen çevre şartları izleme sistemlerinin yaygınlaşmasına olanak sağlamaktadır. Hayvan barınaklarında iç ortam psikrometrik özelliklerinin anlık takibini sağlamak ve hayvan refahını sağlayacak önlemlerin alınabilmesine olanak verecek bir prototip cihaz geliştirme çalışması, Kızıl ve Aksu (2019) tarafından yürütülmüştür. Geliştirilen cihaz, sıcaklık-nem ve barometrik basınç sensöründen elde ettiği verilerle bulunduğu konumdaki havanın psikrometrik özelliklerini hesaplamakta ve üzerindeki ekrandan sunmaktadır. Cihaza entegre GSM modülü vasıtasıyla, internet veritabanına kaydedilen verilerin uzaktan erişimine de imkan vermektedir. Cihazın üzerindeki sensörlerin yeterli hassasiyete sahip olduğunun test edilmesi için cihazdan elde edilen sensör verileri, TFA 35.105 kablosuz hava istasyonu (TFA-Dostmann GmbH & Co., Wertheim, Reicholzheim, Almanya) verileriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak üretilen prototip cihazın, tarımsal üretim yapılarının iç ortam psikrometrik özelliklerinin belirlenmesinde yeterli olduğu bildirilmiştir.

BÖLÜM 3
MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanları

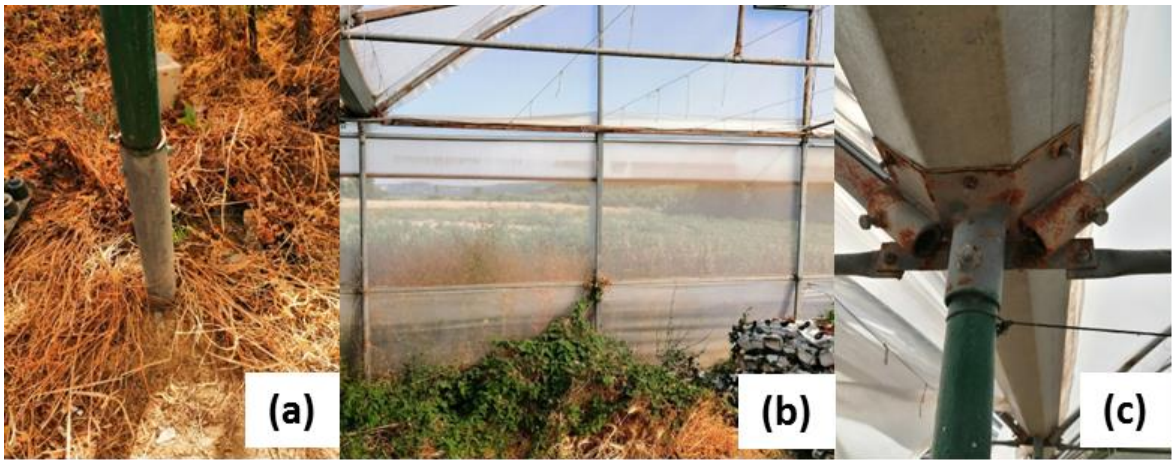
Tez çalışması, iki farklı konumda yürütülen üretim, test ve veri toplama aşamalarını içermektedir. Konumların ikisi de 39^{o} $54^{'}$ - 40^{o} $14^{'}$ Kuzey paralelleri ve 26^{o} $10^{'}$ - 26^{o} $49^{'}$ Doğu meridyenleri arasında kalan Çanakkale ili Merkez ilçesi sınırlarında bulunmaktadır. Sistem tasarımı, üretimi ve testi işlemleri Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nde bulunan Tarımsal Sensör ve Uzaktan Algılama Laboratuvarı'nda yürütülmüştür (Şekil 5a). Çalışmanın bir diğer kısmı olan profil üzerinde basma ve eğme deneyleri de mevcut laboratuvar dahilinde yürütülmüştür. Arazi testi için prototip cihazın kurulup veri toplandığı bitkisel üretim amaçlı plastik örtülü sera ise Çanakkale şehir merkezinin 7 km güneyinde kalan Kalabaklı Köyündedir (Şekil 5b). Sera içerisinde bitkisel üretim devam ederken prototip cihaz, sensör ve meteoroloji verilerini kaydetmiştir.



Şekil 5. Çalışma alanları
a) Tarımsal Sensör ve Uzaktan Algılama Laboratuvarı fotoğrafları, b) sera uydu ve saha fotoğrafları

3.1.1. Deneme Serası

Çanakkale Merkez ilçesine bağlı Kalabaklı Köyü merkezine 900 m mesafede bulunan sera da topraklı ve topraksız tarım faaliyetleri yapılmaktadır. Çalışmanın materyalini oluşturan sera, çelik boru profilden oluşmaktadır. Sera dörtlü blok sera şeklinde imal edilmiş olup yay çatılıdır. Seranın bir blok genişliği 8 m olup eni 32 m, boyu 46 m, yan duvar yüksekliği 2,3 m, mahya yüksekliği 4,2 m ve kolonlar arası mesafe 2 m'dir. Taban alanı 1500 m^2 olan seranın 750 m^2'lik kısmında topraksız tarım yapılmaktadır. Çapı 38 mm olan TS-EN 10255 çelik çekme borular, kolonları ve damlalık aşığı hizasından kıvrılarak çatı yayının yarısını oluşturmaktadır. Toprak içinde 70 cm'lik ankraj çukurlarına beton ile sabitlenen kolonlar, mahya hizasında sera boyunca devam eden sekmanlı kutu profillere sabitlenmiştir. Blok birleşim yerlerinde kalan kolonlar ise 50 mm çapında TS-EN 10255 çelik çekme borular olup, metal olukların altına kaynaklanmış kaset ayaklarına somunlarla sabitlenmiştir. Aynı kasetlere yandan somunlarla sabitlenen çatı yay çubuğu da 38 mm çapında TS-EN 10255 çelik çekme borulardır. Çatı makasını oluşturan yatay ve düşey çubuklar 25 mm çapında TS-EN 10255 çelik çekme borulardır. Bu çubuklar uçlarından düzleştirilerek, bağlantı noktalarına kaynaklanmış kulaklara somunlarla sabitlenmiştir. Düşey çubuklar 2 m aralıklarla yay çatı makasını desteklemektedir. Sera ön ve arka duvarları 5 cm'lik kare profilden imal edilmiş olup çatı makası bileşenleri seranın kalanıyla aynı özelliktedir. Yapının sadece 4 köşesinde 50 mm'lik çapraz destek çubukları olup bunlar mafsallı bağlantıyla sabitlenmiştir. Tüm duvar yüzeylerinde damlalık seviyesine kadar uzanan havalandırma pencereleri, kremayer dişlisine bağlı sargı mekanizmasıyla açılmaktadır. Havalandırma açıklıkları, 50 mesh (200 göz/cm^2) sineklik tülleriyle sabitlenmiştir. Örtü malzemesi olarak 200 µm kalınlığında tek kat PE malzeme kullanılmıştır. Bu malzemenin %700 - 750 uzama dayanımı vardır. Sera detayları Şekil 6-8'de verilmiştir.



Şekil 6. Sera detayları I
a) iç kolonun ankraj çukuruna sabitlenmesi, b) kare profil ön duvar, c) çelik oluk altı kolon ve çatı bağlantısı

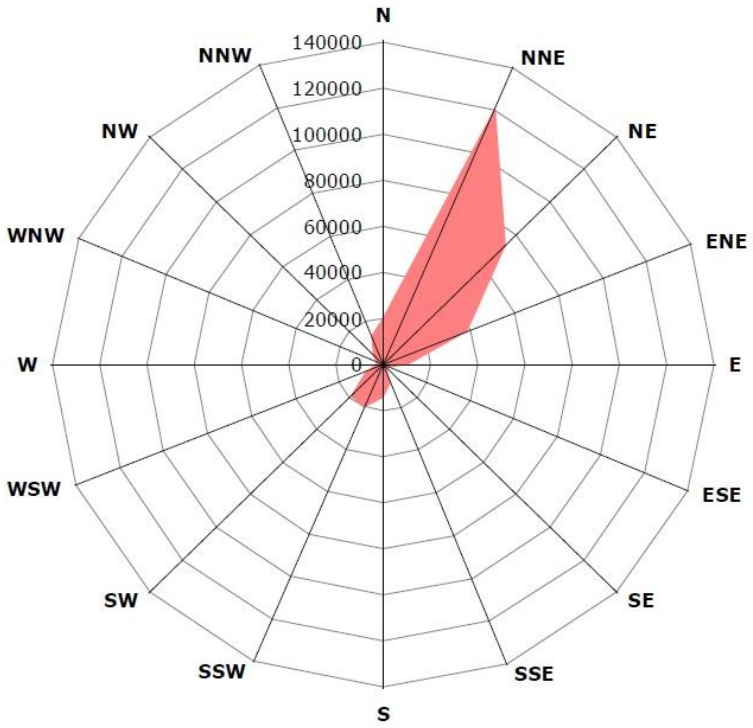


Şekil 7. Sera detayları II
a) düşey çatı makası bağlantıları, b) orta blok çatı makası, c) dış duvar kolonundan çatı yayı ve yatay kirişin bağlandığı düğüm noktası



Şekil 8. Sera detayları III
a) iç kolon görünüşü, b) kapalı havalandırma açıklıkları c) açık havalandırma açıklıkları ve kremayer dişlisine bağlı sargı

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'nün 2019 verilerine göre yapının bulunduğu bölgede hakim rüzgar yönü Kuzey-Kuzeydoğudur (Şekil 9) ve uzun yıllar rüzgar hızı ortalaması 14,04 km/sa'tir. Bölgede şimdiye kadar kaydedilmiş en yüksek rüzgar hızı ise 15.02.1991 tarihinde 139,3 km/sa olarak ölçülmüştür.

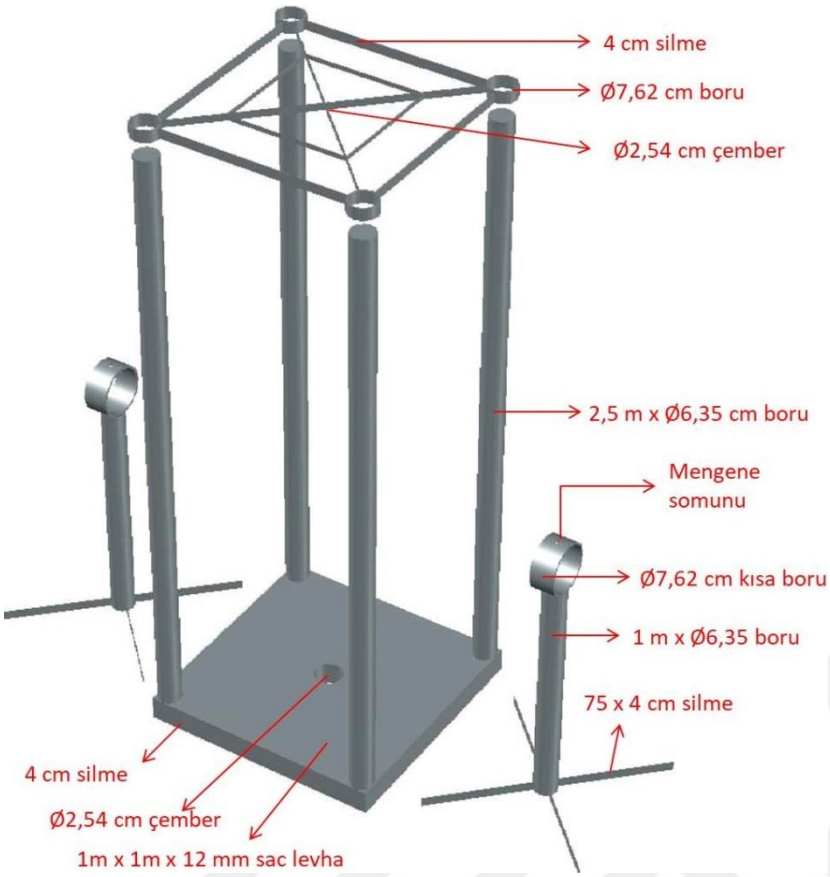


Şekil 9. Çanakkale Merkez ilçe rüzgar yönü esme sayıları grafiği
(MGM, 2019)

Seranın bulunduğu arazinin çevresinde rüzgar kesici herhangi yapı bulunmaması ve Kuzey-Kuzeydoğu yönünde rüzgarı karşılayan uzun cephesinin bulunması nedeniyle rüzgar yükü etkisinin gözlemlenebilmesi için idealdir. Sera örtü malzemesi üzerinde basınç oluşturacak bir diğer faktör ise kar yüküdür. Bölgede uzun yıllar kar yağışı ortalaması (Ocak-Şubat-Mart ayları için) 14,77 cm'dir ve şimdiye kadar kaydedilmiş en yüksek kar yağışı 26.01.2006 tarihinde 63 cm olarak ölçülmüştür (MGM, 2019).

3.2. Basma ve Eğme Deney Seti Tasarımı

Esneklik sensörlerinin sera iskelet materyali üzerinde verdiği tepkileri test edebilmek için basma ve eğme düzeneklerinden oluşan bir deney seti tasarlanmıştır. Bölgede genel olarak boru profilli seraların kolon yüksekliklerinin 2 - 2,5 m arasında olması göz önünde bulundurularak deney seti maksimum yüksekliği belirlenmiş ve buna göre diğer bileşenleri oluşturulmuştur (Şekil 10).



Şekil 10. Basma ve Eğme Deney Seti

Sistem; titreşimi önleyecek bir taban, düşey hareketi yönlendirecek kolonlar, yükleme için kullanılacak bir tabla ve eğme testi için yatay konumdaki profili uçlarından sabitleyecek harici ayaklardan oluşmaktadır. Tabanın deney setini sabit tutabilmesi için ağır olması istenmiştir ve bu sebeple 12 mm kalınlığında 1 m^2'lik saç kesilmiştir. Bu saçın altına, ayak vazifesi görmesi için dörtkenarı boyunca dikine duran 4 cm eninde silmeler monte edilmiştir. Test edilen profillerin tam merkezde durabilmesi için iç çapı 2,54 cm olan çember biçimli boru parçası, tabanın üstüne merkezlenerek kaynakla sabitlenmiştir. Tabanın dört köşesine, birbirine simetrik olarak 6,35 cm çapında ve 2,5 m yüksekliğinde çelik çekme borular (Çayırova Boru San. ve Tic. AŞ, Darıca, Kocaeli), tabanın içine gömülü bir somun ve boruların altına kaynaklı bir vida sayesinde demonte edilebilir şekilde yerleştirilmiştir. Bu borular üzerinde hareket etmesi için 4 cm enindeki silmelerin çapraz olarak birbirine kaynaklanmasıyla yükleme tablası oluşturulmuştur. Bu tablanın orta noktasına gelecek şekilde alt yüzüne sabitlenen 2,54 cm iç çaplı çember biçimli boru parçası, tabandaki çember biçimli boru parçasıyla birlikte test edilen profilin merkezde kalmasını sağlamaktadır. Yükleme tablasının dört köşesine sabitlenen 7,62 cm çapında kısa boru parçaları, kolonları oluşturan boruların üzerinden geçerek tablanın dikey hareketi

esnasında tesfiyede kalmasını sağlamaktadır. Eğme testi için oluşturulan harici ayaklar 6,35 cm çap kalınlığında ve 1 m boyundaki çelik çekme boruların tabanlarına 4 cm enindeki ve 75 cm uzunluğundaki silmelerin birbirlerine çapraz olarak kaynaklanmasıyla oluşturulmuştur.

Eğme testi esnasında test edilecek profilin, uçlarından sabitlenebilmesi için bu ayakların üzerlerine yatay konumda 7,62 cm çapındaki kısa boru parçalarından mengene düzeneği kaynaklanmıştır.

Yükleme tablası üzerinde ağırlık oluşturmaları için 5 kg'lık kum torbaları hazırlanmıştır. Bu torbaların basıncını sürekli olarak tablanın ortasında tutabilmek için 200 lt'lik saç bir varil, tabanından, altı noktadan delinerek somun ve vidalarla 20 mm kalınlığında bir kontraplak malzemeye sabitlenmiş, ardından bu yapı yükleme tablasıyla, etriye teliyle bağlanarak birleştirilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Basma ve Eğme Deney Seti yükleme konumları ve varil bağlantısı

Deneyler esnasında yükleme tablasının bir kenarından takılarak zemine olan paralelliğini kaybetmemesi için dört köşede bulunan kolonların üzerine makine gresi eşit olarak sürülmüştür. Ardından, yükleme tablası her aşamada su terazisiyle kontrol edilerek yere paralel duruşu korunmuştur. Çalıştırılmadığı zamanlarda yükleme tablasının yukarıda kalmasını sağlamak için kolonların uçlarına yakın noktalardan çap boyunca delikler açılarak emniyet pimi noktaları oluşturulmuştur.

Deney seti üzerinde yapılan testlerin arazi koşullarını en iyi yansıtır özellikte olması istenmiştir. Bu bağlamda test edilecek materyalin, hedef sera türünde kullanılan profilin

özelliklerine en yakın standartta olması gerekmektedir. Bölgede incelenen plastik örtülü seraların, iskelet malzemesi olarak kullanılan TS-EN 10255+A1 standardında st37 çelikten imal edilen orta (M) seri çelik çekme borular olduğu belirlenmiştir. Bu durum sera montajı yapan firmalar ve demir-çelik malzeme tedarik eden kuruluşların stokları da incelenerek teyit edilmiştir. Deney düzeneğinin maksimum yükleme kapasitesinin sınırlı olması sebebiyle boru profilli seralarda kullanılan kolon ebatlarında bir borunun kullanılması mümkün değildir. Fakat ölçeklendirme yasaları (Ghosh, 2011, s.71) dahilinde aynı özellikte farklı çaptaki bir profil kullanılarak sonuçların deneysel olarak dönüşümü sağlanabilmektedir. Buna göre aynı standart ve seriden seçilen en küçük çaplı borular, her birisi 2 m olacak şekilde tedarik edilmiştir. Seçilen profilin katalog verilerinden elde edilen ve eşitlikler (Arıcı, 2006) sonucu bulunan karakteristik değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Deney materyali karakteristik özellikleri

Özellik	**Simgesi**	**Değer**	**Birimi**
Dış çap	D	21,3	mm
İç çap	d	16	mm
Et kalınlığı	t	2,65	mm
Kesit alanı	F	1,55	cm^2
Birim ağırlık	G	1,22	kg/m
Eylemsizlik Momenti	I	0,689	cm^4
Kesit modülü	W	0,0647	cm^3
Eylemsizlik yarıçapı	i	0,667	cm
Elastisite modülü	E	210000	N/mm^2
Narinlik	λ	300,3	cm/cm
Burkulma katsayısı	W	14,21	birimsiz
Emniyet gerilmesi	σ_{em}	1400	kg/cm^2

Deney düzeneğinin kabiliyeti göz önünde bulundurularak, seçilen profil için düşey ve yatay yükleme limitleri belirlenmiştir (Arıcı, 2006). Profilin düşey konumdayken bir ucu sabitlenerek diğer ucundan uygulanan basınç için burkulma ve yatay konumdayken iki ucu da sabitlenerek ortasından uygulanan basınç için sarkı limitleri eşitliklerle hesaplanmıştır.

Burkulma testi sonuçlarının sera profillerine uyarlanabilmesi için ölçeklendirme yasası eşitliklerinin kullanılması gerekebilir. Buna göre literatürden, deney materyaline uygun ölçeklendirme yasası eşitlikleri belirlenmiştir. Ölçeklendirme yasası, basit mesnetli kirişler için Eşitlik 3.1 ve kolonlar için Eşitlik 3.2'de verilmiştir.

$$\sigma max = (3/4)\rho L^2/h \times \lambda \quad (3.1)$$

Eşitlikte; σmax=: maksimum gerilme, ρ: materyal yoğunluğu, L: uzunluk, h: kalınlık ve ƛ: küçültme ölçeğidir.

$$d = [(2/3)(\rho/\sigma u)D^3]^{1/2} \times \lambda^{3/2} \quad (3.2)$$

Eşitlikte; d: ölçekli çap, σu: nihai gerilme ve D: gerçek çaptır.

Basma ve eğme deneyleri esnasında kablo karmaşası yaratmamak ve sensör değerlerinin, yükleme sonrası tekrar eden değerlerini belirlemek için, birden çok sonucu birlikte gösteren bir cihaza ihtiyaç duyulmuştur. Uygun cihaz arayışları, Arduino geliştirme kartlarının eş zamanlı sensör sonuçlarını gösterebilen seri arayüzüne uyumlu olması gerekliliğini ortaya koymuştur. Buna göre açık kaynaklı Arduino uygulaması olan entegre geliştirme ortamı (IDE), bağlı geliştirme kartlarının analog ve dijital kanallarını seri arayüzünde kayar düzende dinleyebilmektedir. Kayar düzende sonuçların izlenebilmesi, basma ve eğme materyalinin yükleme sonrası salınımının durduğu noktayı belirlemede gereklidir. Cihazın, IDE'yi çalıştırabilmesi için Windows işletim sisteminde (Microsoft Co., Redmond, Washington, ABD) çalışıyor olması ve geliştirme kartına güç sağlayabilecek bir USB bağlantı noktası olması yeterlidir. Deney sürecince, taşınabilen bir tablet bilgisayarın tüm setin enerjisini sağlayabilecek kapasitede olduğu görülmüştür. Söz konusu Kawai WA-8116QC/Intel-Win Tablet Pc (Teclast Electronics Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, Çin), Windows 8.1 işletim sistemi çalıştırmaktadır. Tablet bilgisayarın 4200 mAh (miliamper.saat)'lık dahili bataryası, yaklaşık 24 saat çalışabilmesini sağlamaktadır. Bu kabiliyeti, deneyler esnasında gereken enerjiyi sağlaması açısından yeterlidir. Cihazın kontrolleri için 8 inç dokunmatik ekranı kullanılabilmektedir. Bununla birlikte, sensörün bağlı olduğu geliştirme kartının bağlantısı için bir USB bağlantı noktası bulunmaktadır. Değişen ortam sıcaklığına sensörlerin verdiği tepkiyi test etmek için kullanılan düzenek, USB bağlantı noktası aracılığıyla bu tablet bilgisayara bağlanarak çalıştırılabilmiştir. Tablet bilgisayara bağlanan düzeneğin üzerindeki hafıza kartı modülü sayesinde, deney süresince elde edilen sensör tepkileri de kayıt altına alınmıştır. Deneyler süresince sabit bir noktada çalışabilmesi adına arkasından bir tripoda yapıştırılan tablet bilgisayar, sensör tepkilerinin sayısal olarak okunabilmesini sağlamıştır (Şekil 12).



Şekil 12. Basma ve Eğme Deney Seti kontrol ünitesi

Sensörler tepkilerinin sıcaklığa bağlı olarak değiştiği bilindiği için düzeneğe bir de ortam değişkenlerinin sabit kaldığını kanıtlayan sıcaklık nem izleme aygıtı eklenmiştir. Bu amaçla bir sıcaklık nem sensörü, hem tablet bilgisayardan takip etmek hem de hafıza kartına verileri kaydetmek üzere üniteye eklenmiştir. Çalışmada DHT11 (Adafruit Industries, New York, New York, ABD) sıcaklık-nem sensörü kullanılmıştır. Katalog verilerinden bu sensörün, 0 ^{o}C ile 50 ^{o}C arasında ± 2 ^{o}C hatayla ve %20 ile %90 RH nem aralığında ± %5 hatayla çalıştığı bilinmektedir. Geliştirme kartına analog kanaldan bağlanan bu sensör laboratuvar koşullarında çevresel değişkenleri ölçmek için yeterli hassasiyeti sağlamaktadır.

Sensör tepkileri ve sıcaklık-nem sensörü veri iletim aralığı farklı olduğu için zamana bağlı olarak kaydedilmeleri gerekliliği ortaya çıkmıştır. Geliştirme kartı üzerindeki kristal zamanlayıcının, sürekli üzerinde enerji olmaması sebebiyle, gerçek zamanı iletmesi mümkün değildir ve bu sebeple ek bir modül kullanılmalıdır. Bu amaç doğrultusunda, üzerinde sabit pili bulunan ve bu sayede bir kol saati gibi çalışan gerçek zaman saati (RTC) modülü kullanılmıştır. Kullanılan DS1307 (Adafruit Industries, New York, New York, ABD) gerçek zaman saati modülü, I^2C bağlantı kanalıyla geliştirme kartı ile iletişim kurmaktadır.

3.3. Esneklik Sensörü Tasarımı ve Üretimi

Esneklik sensörünün temel bileşenlerinin; iletkenler, basınç altında iç direnci değişen yarı iletken malzeme ve esnek fakat sert bir kaplama olması gerektiği görülmüştür. Bu üç bileşenin kolayca temin edilebilir olması, ihtiyaç duyulması halinde aynı standartlarda ürünlerin sağlanabilmesi açısından önemlidir.

Sensörün en önemli bileşeni olan yarı iletken malzeme, karbon türevleri (Bessonov, Krikovo, Haque, Gartseev, Bailey, 2014) ve metal (Karttunen, Ruuskanen, Pitkanen, Albers, 2008) gibi iletken malzemelerin sıvılaştırılarak ya da toz halinde öğütülerek plastik filmlerin hammaddesine karıştırılmasıyla elde edilmektedir. İletkenliğinin yüksek olması ve dolayısıyla iç direncinin düşük kalması istendiğinden metal bazlı üretilenlerde altın (Jesperson ve Neuman, 1988), gümüş (Merilampi, Laine-Ma, Ruuskanen, 2009) ve platin (Skotadis, Moussadakos, Tanner, Tsoukalas, Broutas, 2013) gibi pahalı süper iletkenler kullanılmaktadır. Bu durum malzemenin maliyetinin yüksek olmasına neden olmaktadır. Karbon bazlı üretilenler ise endüstriyel ihtiyaçlar doğrultusunda sürekli talebi olması sebebiyle çeşitli şekillerde bulunabilmektedir. Özellikle elektronik kablosuz cihaz üreticileri, statik deşarj kabiliyeti dolayısıyla paketleme ürünü olarak bu malzemeden imal edilmiş iletken velostat çantaları kullanmaktadırlar. Malzemenin iç direncinin yüzey direncinden düşük olması sebebiyle, taşıma esnasında dış kaynaklı statik elektriğin yüzeyden bir başka iletkene aktarılmasını sağlanmaktadır. Bu çantaların üreticileri, hobi elektroniklerinin yaygınlaşmasıyla birlikte bu malzemenin karakteristik özelliklerinin, basınç ve esneklik sensörleri üretiminde kullanımına uygun olduğunu görerek perakende satışına başlamışlardır. Bu ürünlerin özellikle esneklik sensörü yapımı için üretilmiş olanı Velostat 1361 (Caplinq Co., Snowshoe Crescent, Orléans, Kanada) isimli üründür. Ülkemizde de hobi elektronikleri satılan hemen her kaynakta bu malzeme bulunmaktadır. Basınca duyarlı folyo olarak da bilinen bu ürün 28×28 cm ebatlarındadır ve kalınlığı 100 μm'dir. İçerdiği karbon kaynaklı madde sayesinde -45 ^{o}C ile 65 ^{o}C arasında işlevselliğini yitirmeden kullanılabilmektedir. Yüzey direnci 31000 Ω/cm^2 ve iç direnci 500 Ω.cm olan materyal, üretim standartları gereği homojen bir yapıdadır. Bu sayede gerek duyulan şekil ve uzunlukta parçalara ayrılarak da kullanılabilmektedir. Benzer şekilde birden çok parçalar halinde, birbirlerine temas ettirilmek suretiyle kullanımında da katalog verilerindeki değerlere ulaşabilmektedir.

Sensörün, 5 V ve mikroişlemci geliştirme kartından gelecek oldukça düşük akımla çalışması gerektiği için bileşenlerin en az kayıpla enerjiyi iletmeleri gerekmektedir. Üzerinden geçecek elektrik akımında kontak vazifesi görecek iletken levhaların bu

doğrultuda elektrik kayıplarını en aza indirebilecek kabiliyette olması gerekmektedir (Chen, Oliveira, Hunter, 2013). Ancak süper iletkenlerin kullanımı en doğru sonucu verse de tedarik etmek oldukça zordur (Caglar, Kaija, Mansikkamaki, 2008). Süper iletkenler kadar olmasa da yakın performans gösterebilecek materyaller ise elektrik-elektronik sanayinde sorunsuz kullanılmaktadır. Bu materyallerin başında bakır (Cu), alüminyum (Al), kalay (Sn), kurşun (Pb) ve bunların değişen oranlarda karışımları gelmektedir. Diğerlerine göre yüksek maliyetli olsa da bakır en yüksek elektriksel iletkenliğe sahiptir (Zhu, Liu, Liu, Zhsng, Zhou, 2009). Yüksek iletkenlik özelliği aynı zamanda sensör üzerinde oluşabilecek ısının da diğer elektronik bileşenlere iletilerek soğurulmasını sağlar. Kullanılacak bakırın genişlik ve kalınlık bakımından sensörün her noktasında aynı olması algılama kapasitesini arttıracaktır. Bu nedenle bir yüzeyi iletken akrilik yapışkanla kaplanmış bakır şeritler kullanılmıştır. Bu şeritler elektromanyetik (EMI) ve radyo frekansı parazitlenmesine (RFI) karşı ekranlama işlemi için kullanılmaktadır. Ekranlama işlemine cihazların çok çeşitli bölgelerinde ihtiyaç duyulması dolayısıyla değişen genişliklerde üretimleri standartlaştırılmıştır. Sensörde kullanılacak iletken malzemenin olabildiğinde az direnç yaratması istendiği için en ince genişlik olan 3 mm seçilmiştir (Holland Shielding Systems BV, Dordrecht, Hollanda). Bandın kaplaması, katlandığında kopmasını önlemek için yumuşak bakırdan üretilmiş olup kalınlığı 35 μm'dir. Kullanılan bakır 155 ^{o}C'ye kadar iletkenlik özelliğini yitirmeden çalışabilmektedir. Benzer şekilde 55 N/m'lik gerilme direncine sahip bakırın elektriksel direnci 0,003 Ω.cm'dir.

Sensörde, iletken bileşenlerini birbiriyle temas halinde tutacak ve serbest bırakıldığında ilk konumuna döndürebilecek bir yüzeye ihtiyaç vardır. Bakır bandın bir yüzeyinin yapışkan özellikte olması dolayısıyla sensörün alt ve üst yüzeylerinde birer şerit olacak şekilde planlanmıştır. Bu sayede sonuçların doğrusal olmasını sağladığı ve sinyal tepki süresinin azaldığı, önceki çalışmalardan görülmüştür (Coyle, Morris, Lau, Diamond, Moyna, 2009). Amaç doğrultusunda kullanılacak materyalin yalıtkan olması ve bu sayede kısa devre yaratarak sensörün çalışmasını engellememesi gerekmektedir. Bu bağlamda plastik türevleri materyallerden imal edilmiş olması, aynı zamanda kolay temin edilmesini sağlayacaktır. Arzu edilen bükülme direncini sağlayacak ve sensörün toplam kalınlığını arttırmayacak malzeme tanımı, farklı özelliklerdeki çok ince katmanlardan oluşan polivinil klorür (PVC) folyo ile uyuşmaktadır. İnşaat, kırtasiye, ambalaj gibi birçok sektörde sıklıkla kullanılan bu malzemenin yerel üreticilerinin de olması temin edilmesini kolaylaştırmaktadır. Fakat yüzey sürtünmesinin çok düşük olması sebebiyle Velostat 1361'in yüzeye tutunamayarak sensör içerisinde hareket etmesine neden olabileceği

görülmüştür. Bir yüzeyi, tutunmayı sağlayacak sürtünmeye sahip bir kaplama ile üretilmiş başka bir malzeme sorunu çözebilecektir. Bu bağlamda, bir başka plastik türevli malzeme olan mylar filmin (Keuffel & Esser Co., Hoboken, New Jersey, ABD) kullanılmasının uygun olacağı görülmüştür. Basılı haritaların tamamının ya da bir bölümünün aynı ölçülerde kopyalanmasını sağlayan asetat filmin bir yüzeyi polyester malzemeden diğer yüzeyi mürekkep tutmak için mat kaplamadan oluşmaktadır. Mat kaplama aynı zamanda sürtünme oluşturacak dokuya sahiptir. Film tabakaları A0 (ISO 216 standart ölçüleri, 841×1189 mm) boyutunda olduğu için bir metreyi aşan uzunluklarda parçalar dahi kesilebilmektedir. Polyester tabanının güçlü kimyasal bağları sayesinde istenen bükülme direnci de sağlanmıştır. Sadece polyester taban ve mat kaplamadan oluşması sayesinde 190 μm kalınlıktadır.

Sensörlerin temel bileşenlerini bir kaplama malzemesi içine alarak çalışmaları esnasında çevresel faktörlerden (fiziksel müdehale, nem, toz) korunması istenmiştir. Kaplama malzemesinin yalıtkan olması ve sensörün çevresini, hava boşlukları bırakmayacak şekilde kapatması gerekmektedir. Bu sayede atmosfer gazında bulunan su buharı çevre ısısının düşmesiyle yoğunlaşarak iletkenlere zarar vermeyecektir. Sensörlerin çevresini istenildiği gibi örtecek bu malzeme eksiz tek parçadan oluşmalı ve aynı zamanda sensör bileşenlerine zarar vermeden yerine yerleştirilebilmelidir. Kontak noktalarında nem sızdırmazlığı için elektrik sektöründe kullanılan ısıyla daralan makaron modeli olan SBRS-(4X)G (Shenzhen Woer Heat - Shrinkable Material Co., Ltd., Shenzhen, Çin) amaç doğrultusunda kullanılmıştır. Çeşitli çaplarda tüpler şeklinde bulunan malzeme 125 ^{o}C ısıya maruz kaldığında dört kat küçülmektedir. Malzeme, ilk ısı uygulamasıyla küçülerek son şeklini almasının ardından -45 ^{o}C ile 125 ^{o}C arasında bütünlüğünü korumaktadır. Daralmasının ardından duvar kalınlığı artarak 1,65 mm'ye ulaşmaktadır.

Mikroişlemci geliştirme kartının sensörlerle iletişim kurabilmesi için bir kablo bağlantısı yapılması gerekmektedir. Bu kabloların iletken malzemelerinin oluşturacağı iç direnç göz önünde bulundurularak aynı standartlarda, eşit uzunlukta kablolarla kullanılmaları gerekmektedir. Bu standardı sağlamak ve en düşük iç direnci elde edebilmek adına kullanılan iki telli köken telefon kablosu (Estel Kablo, İstanbul) kullanılmıştır. Telekomünikasyon hizmetleri için kullanılan bu kablonun arz sürekliliği olması bakımından temininde herhangi bir aksaklık olmayacağı bilinmektedir. Üretim standartlarını sağlamış bu kablonun iletken kısmı 500 μm çapında tavlı bakır kaplı alüminyum tek telden oluşmaktadır. Bu telin oluşturduğu iç direnç 20 ^{o}C ortamda yapılan test ile 98 Ω/km olarak belirtilmiştir. Ortalama 10 m'lik uzunlukta kullanılacak şekilde

bölünmesiyle kablo iletken direnci 0,98 Ω olacağı görülmektedir. Bununla birlikte test için 250 V nominal değer kabul edildiği için 5 V'luk sensörlerde kullanımı çok daha az olacağı bilinmektedir. İletken izolasyonu için ise 900 µm çaplı yarı sert PVC materyal kullanılmıştır. Katalog verilerine göre -30 ^{o}C ile 70 ^{o}C arasında karakteristiğini kaybetmeden kullanılabileceği belirtilmektedir.

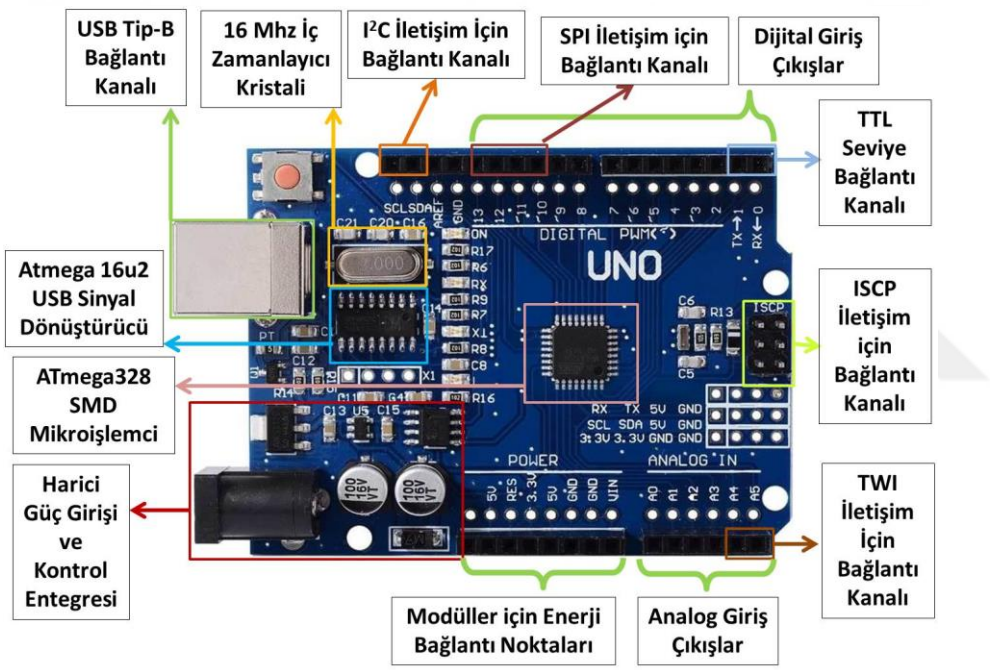
Sensörü oluşturan bileşenlerin bir araya getirilmesinin ardından sorunsuz şekilde kullanılabileceğinin anlaşılması için öncelikle sabit direncinin belirlenmesi ve ardından değişen ortam sıcaklığı tepkisi ölçülmelidir. Bu amaç doğrultusunda laboratuvar ortamında test düzenekleri geliştirilmiştir.

Pasif rezistif esneklik sensörlerinin sabit bir direnç ile kullanılmasının çalışma voltajı aralığını eşit parçalara bölerek, açısal değişimlerin doğrusal okunabilmesini sağladığı bilinmektedir (Cochrane, Koncar, Lewandowski, Dufour, 2007). Bu sebeple ilk olarak, sensörlerin düz konumdayken verdiği voltaj değeriyle eğik konumda verdiği değer aralığı en geniş olan sabit direnç belirlenmiştir. Değişen Ω değerlerine sahip dirençlerin bu iki konumda verecekleri değerlerin gözlemlenmesini sağlayacak test düzeneği; mikroişlemci geliştirme kartı, sıvı kristal ekran (LCD), direnç ve dirençlerin bağlanacağı klemensten oluşmaktadır.

Eşzamanlı voltaj değişiminin okunmasını sağlamak amacıyla Arduino Uno R3 SMD seçilmiştir. Test cihazının bir LCD ekran çalıştıracak olması bakımından daha kompakt ürünlerin kullanılması akım dalgalanmaları oluşturabileceği için bu ürün tercih edilmiştir. Kullanılan mikroişlemci geliştirme kartı, iki farklı kaynaktan enerji ihtiyacını karşılayabilmektedir. Bunlardan ilki, bilgisayar aracılığıyla hazırlanan program paketinin yüklenmesi için de kullanılan Evrensel Seri Veriyolu (USB) tip-B bağlantı noktasıdır. Bu kanal üzerinden 5 V'a regüle edilmiş güç kaynağına bağlanan kart üzerine bağlanacak modüller, sensörler, motor sürücüleri gibi bileşenlere enerji vermektedir. Fakat bu kaynaktan alınan güç, kart üzerinden enerji paylaşan bileşenlerine, bağlı kalma süreleri uzadıkça azalarak iletilebilmektedir. Bu durumda, sürekli aynı güç beslemesine ihtiyaç duyan rezistif sensörler gibi aygıtların vereceği sonuçların güvenilirliğini azaltmaktadır. İkinci güç kaynağı 7 – 12V arasında beslemeye imkan sağlayan jaktır. Harici adaptörden gelen gücü geliştirme kartı ve ondan beslenen bileşenler için regüle edebilen entegreleri bulunmaktadır. Bu sayede kart ile kullanılan bütün aygıtlar için sürekli olarak eşdeğerli akımı sağlayabilmektedir. Kartın üzerinde standart analog giriş çıkışları sağlayabilmek adına altı adet ve dijital giriş çıkışlar için ise 14 adet bağlantı noktası bulunmaktadır. Dijital bağlantı noktalarının altı tanesi Darbe Genlik Modülasyonu (PWM) ile analog

salınımlar üretebilir kabiliyettedirler. Bu sayede ses titreşimlerini taklit edebilen frekanslar üretebilmektedirler. Frekans üretebilmek ve paket programları zamana bağlı olarak işletmek için bir iç sayıcıya ihtiyaç duymaktadır. Bunun için kart üzerinde bulunan 16 Mhz'lik kuvars kristalini kullanmaktadır. Kuvars kristali, sabit basınç altında tutulduğu çelik muhafazasında her biri bir milisaniye süreye denk gelen elektrik deşarjları sağlamaktadır ve bu şekilde kartın sayıcı ihtiyacını karşılamaktadır.

Geliştirme kartının kullanım alanının geniş olması ve birçok bileşenle çalışması gerektiği için farklı iletişim sinyallerine uyum sağlayabilmesi gerekmektedir. Bu iletişim sinyallerinin bir kısmı mikroişlemcinin programlanmasıyla alakalı olsa da büyük bir kısmı giriş çıkış aygıtlarının haberleşmesi içindir (Şekil 13).



Şekil 13. Arduino Uno R3 SMD komponent ve terminalleri

USB bağlantı noktası haricinde Devre Üzeri Seri Programlama (ICSP) girişi de mikroişlemcinin programlanması için kullanılabilmektedir. Matematik bilimindeki genel mantık önermelerini dijitalleştiren transistörleri kullanan ve elektronik haberleşmenin temelini oluşturan Transistörden Transistöre Mantığı (TTL) ile haberleşen cihazlar için, dijital giriş-çıkışlardan ikisini kullanmaktadır. Benzer şekilde sadece iki kanal üzerinden haberleşen bir diğer protokol ise İki Kablolu Arayüz (TWI)'dür. Bu iletişim protokolünün en önemli özelliği ise geliştirme kartının kullandığı ATmega328 (Microchip Technology Inc., Chandler, Arizona, ABD) mikroişlemcinin üretici firması tarafından patentlenmiş olmasıdır. Esasen uzun zamandır kullanılan Entegre Devreler Arası (I^2C) haberleşme

protokolü ismiyle de bilinmektedir. Geliştirme kartı üzerinde iki isimle de kullanılan farklı kanalların bulunması bu sebepledir. Bir başka patentli haberleşme kanalı ise çok daha karmaşık ve geniş bantlı veriyi iletmede kullanılan Seri Çevre Denetim Arayüzü (SPI)'dür (Motorola Solutions, Chicago, Illinois, ABD). Zamanlama ve sıralama denetimi olmadan veri yollayıp alan bu protokol, mikroişlemci tarafından tanınsa da USB arayüzünden iletilen verilere dönüştürülememektedir. Eş zamanlı izleme gerektiren modüllerin kullanılmasında SPI protokolünü USB'ye uyarlayan ATmega 16u2 (Microchip Technology Inc., Chandler, Arizona, ABD) entegresi sayesinde bu karmaşa ortadan kalkmaktadır. Kartın 8 bit'lik altyapı ile çalışan mikroişlemcisinin, yazılım değişkenlerine ulaşmak için 2 KB Statik Rasgele Erişim Belleği (SRAM) ve iç kontrolcülere erişmek için 1 KB Sadece Okunabilir Belleği (EEPROM) bulunmaktadır. Bunlara ek olarak, yazılımın saklanabileceği 32 KB flaş depolamayı silikon devre olarak içinde barındırmaktadır.

Mikroişlemci sayesinde okunan sensör değerlerinin eş zamanlı olarak görülebilmesi için test düzeneğine bir ekran bağlı olması gerekmektedir. Kolaylıkla ve uygun maliyetli olarak temin edilebilen LCD ekranlar amaç doğrultusunda kullanılmıştır. Arkadan aydınlatmalı grafik ekranların değişen satır ve sıra sayıları bulunmaktadır. Düzeneğin çalışma mantığında tek satırlık bir ekran yeterli olsa da hali hazırda laboratuvar envanterinde bulunan iki satırlık bir ekranın kullanılması uygun görülmüştür ve TC1602A-01T (Tinsharp Industrial Co., Huongpu, Guangzhou, Çin) modeli kullanılmıştır. Bu ekranın alt alta iki satırda toplam 32 karakter gösterebilme özelliği vardır. Standart ASCII kodlarını 8 bitlik adresleme mantığıyla görüntüleyen bu ekranın baskı devre kartı üzerine entegre edilmiş ekranında her bir karakter kümesi için 40 adet monokromatik hücresi bulunmaktadır. Kümelere adreslenen karakterleri bu hücrelerdeki karşılıklarına göre karartarak oluşturmaktadır. Ekran, üzerinde bulunduğu baskı devre kartıyla birlikte 80×36 mm boyutlarındadır. Katalog verilerine göre çalışma ortamı -10 ^{o}C ile 60 ^{o}C arasındadır. Mikroişlemci üniteyle haberleşmek için kullandığı 16 terminali sebebiyle kullanımı zorlaşmaktadır. Buna karşın, kullanımının kolaylaştırılması adına sinyal dönüştürücü modüller kullanılabilmektedir. Test düzeneğinde bu modül (Feiyang Electronics Co., Ltd, Guangdong, Shenzhen, Çin) kullanılarak ekranın I^2C kanalından haberleşebilmesi sağlanmıştır. Modülün beynini oluşturan PCF8574 entegresi (NXP Semiconductors N.V., Eindhoven, Hollanda) esasen bir çıkış çoklama modülüdür. Fakat çıkış kanallarını oluştururken kullandığı mantık sinyal dönüşümünü de içermektedir ve bu sebeple grafik LCD ekranlar için kullanılan sürücü modüllerinde kullanıma uygundur.

Sensör okuma yapısı hazır düzeneğin üzerindeki dirençlerin değiştirilirken iç direncinin değişmemesi gerektiği için sinyal hattı üzerine modüler bir bağlantı elemanı yerleştirilmelidir. Basit elektronik devrelerinden endüstriyel makinalara kadar hemen her alanda kullanılan klemensler amaç doğrultusunda kullanılabilmektedir. Kolay demontaj mekanizması ve düşük iç dirence sahip kontak malzemesi sebebiyle iki pinli 7,62 mm 90c sınıfı klemens (Cixi Kaifeng Electronics Co., Ltd, Ningbo, Zhejiang, Çin) tercih edilmiştir. Akımın iletildiği kontak malzemesi bakır kaplama alaşım olan klemensin kaplama malzemesi PVC dir. Klemensin demonte parçasına vidalarla sabitlenen farklı kapasitelerdeki karbon film dirençlerden (Yuetai Electronics Co., Ltd, Yancheng, Jiangsu, Çin) , iç direncinin düşük olması sebebiyle 1/4 watt (W) versiyonları tercih edilmiştir.

Değişen ortam sıcaklığına sensörlerin verdiği tepkiyi test etmek için, direnç belirlemede kullanılan test düzeneğindeki ekranın yerine bir hafıza kartı modülü yerleştirilmiştir. Ekran gibi SPI iletişimini kullanan standart hafıza kartlarının, AMS1117 transistörü (Advanced Monolithic Systems, Livermore, California, ABD) yardımıyla voltaj ayarlamasını yapan bu modül, belirlenen aralıklarda bir metin dosyasını açarak veriyi içerisine ASCII kodlarında yazmaktadır.

3.3.1. Esneklik Sensörlerinin Üretimi

Saha denemesinin yapılacağı türde plastik örtülü seraların, genel olarak yan duvar yükseklikleri 2 m ve üzerindedir. Kolonları oluşturan boru profillerde rüzgar ve kar yükü sebebiyle meydana gelebilecek olan esneme, statik konumdan sapmanın en fazla olduğu profilin ortasından olmaktadır (Ghosh, 2011, s.72). Fakat basınç arttıkça bu sapma iki yönlü olarak uçlara doğru da artmaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan sera için ise bu durum sadece bloklar arasında kalan kolonlarda geçerlidir. Seranın uzun kenarında bulunan kolonların bir kısmı damlalık seviyesinden sonra bükülerek çatı makası yayının yarısını oluşturmaktadır. Buna göre bu kolonlar tek uçtan mesnetlenmiş olarak değerlendirilmelidirler. Tek uçtan mesnetlenmiş profillerde basınç altında statik konumdan sapmanın en fazla olduğu bölge, profil boyunun mesnet noktasına yakın 2/3'lük kısımdır (Ghosh, 2011, s.73). Sera denemesi için her iki noktadaki kolonlara da esneklik sensörlerinin yerleştirilecek olması sebebiyle, sensör boyunun olabildiğince uzun olması gerekmektedir. Ticari olarak ulaşılabilen esneklik sensörlerinin en uzunu 10 cm'dir. Buna karşı, hem Basma Eğme Deney Seti'nde test edilecek hem de sera iskelet malzemesinde izlenecek profillerin boyu en az 2 metredir. Bu uzunluktaki profillerde statik konumdan sapmanın gerçekleşeceği bölgenin tam olarak algılanabilmesi için en az profil boyunun

1/3'ü uzunluğunda bir sensöre ihtiyaç vardır. Ticari olarak elde edilebilecek ve sürekliliği sağlayacak bu boyutlarda bir sensörün olmaması, ihtiyaç duyulan uzunlukta esneklik sensörlerinin üretilmesini zorunlu kılmıştır. Aynı zamanda, sensörlerin laboratuvar koşullarında üretilmesi, ihtiyaç duyulan uzunluğun belirlenmesini de sağlayacaktır. Mikroişlemci geliştirme kartlarının enerji entegrelerini kullanmaları, üretilen esneklik sensörlerinin uzunlukları için bir başka kısıtlayıcı etkendir. İletken malzemenin boyu uzadıkça, devre üzerinden çekilen akımın artması ve sensör üzerindeki kısmının ısı enerjisine dönüşerek yok olması dolayısıyla sensörlerin körleşmesi söz konusu olacaktır. Sensörlerin körleşmeden veri sağlamaya devam edebilecekleri en uygun boy, söz konusu kriterlere göre belirlenmiştir.

Sensörlerde körleşme, elektrik kontaklarına en uzak noktada oluşacağı için, malzemelerin elverdiği en uzun sensör oluşturularak parça parça kısaltılmasıyla kullanılacak sensörün boyu belirlenmiştir. İletken malzemeyi oluşturan bakır bant 30 m uzunluğunda tek parçadan oluştuğu için sensör uzunluğunu sınırlayan bir bileşen değildir. Benzer şekilde, izolasyon için kullanılan ısıyla daralan makaron da tek parça halinde 50 m uzunluğunda bir malzemedir ve bu nedenle sensör uzunluğunu etkileyen bir bileşen değildir. Basınca bağlı olarak iç direncini değiştiren yarı iletken malzeme ise boyutları küçük olsa da yan yana konumlandırılarak kullanılabilmektedir ve bu yönüyle sensör boyunu sınırlayıcı değildir. Elektrik akımı, yarı iletken malzemenin yüzeyinden değil içinden geçerek diğer yüzeyindeki iletkene doğru ilerlediği için, sensörün eğilmesiyle değişecek iç direncine bağlı olarak iletkenliği değişmektedir. Bu sebeple, yarı iletken malzemeden kesilen parçaların bir miktar üst üste gelerek kullanılması mümkündür. Üç esas bileşenden, maksimum boyutun belirlenmesinde sınırlayıcı olan parça, polyester bileşenli lamine katmanlarıdır. Bu katmanlar için belirlenen malzemenin uzun kenarından 1 cm eninde şeritler kesilerek elde edilen uzunluk, laboratuvarda üretilebilecek maksimum uzunluktaki sensörün boyunu oluşturmuştur. Sensörün 1 cm eninde olması, değişen çaplarda profillerin oval yüzeyleri üzerine düz bir şekilde sabitlenmesini sağlamak içindir. Sensörlerin eninin daha geniş tutulması halinde profil boyuna dik eksende bükülmesi ve oluşan basınç sebebiyle kullanılamaz hale gelmesi kaçınılmazdır.

Lamine katmanlardan kesilen şeritlerin mat kaplamalı yüzeyleri sensörün içine bakacak şekilde yerleştirilerek yarı iletken malzemenin bu yüzeylere tutunması sağlanmıştır. Yarı iletken materyalden kesilen 1cm enindeki parçalar, kısa uçlarından birbirine temas edecek şekilde, küçük çift taraflı bant parçalarıyla birleştirilmiştir. Lamine katmanların tam ortasından geçen bir şerit şeklinde bakır bant yapıştırılmıştır. Bakır bandın

3 mm eninde olması, yarı iletken malzemeyle üzerinin tamamen kapatılabilmesini sağlamıştır (Şekil 14).



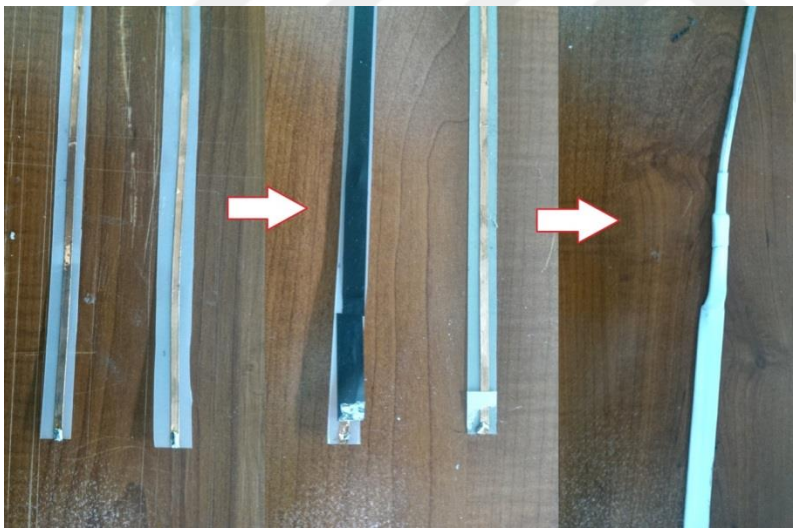
Şekil 14. Sensör bileşenlerinin hazırlanması

Bu sayede sensörün iki tarafında da bulunan iletken parçaların birbirleriyle temas ederek kısa devre oluşturması engellenmiştir. Bakır bandın uçlarından kablo kutuplarına lehimlenmesi sebebiyle kontak noktalarında, sensörün kalanından daha kalın bir bölge oluşmuştur. Sensörün üzerini kaplayacak makaronun daralmasının ardından bu kısımda oluşacak basınç, sensörün geri kalanından fazla olacaktır ve dolayısıyla aradaki yarı iletken malzeme sürekli olarak basınç altında çalışacaktır. Bu sorunu aşmak için kontak noktaları arasına denk gelecek şekilde yalıtkan sünger bant yerleştirilmiştir. Böylece sünger bandın bittiği noktadan başlayarak yerleştirilen yarı iletken malzemenin her noktasındaki basıncın eşit olması sağlanmıştır. Yarı iletken malzemenin, plastik türevli içeriği sebebiyle esnek olduğu bilinmektedir. Sensör içine yerleştirilirken bir parçasında çekme sonucu uzama oluşması durumunda o parçanın yoğunluğunun azalarak, bulunduğu bölgeden hatalı veriler iletmesi kaçınılmazdır. Şeritler halinde hazırlanarak uç uca eklenmelerinde kullanılan çift taraflı bant ise bu sorunun çözülmesinde etkili olmuştur. Her bir parçanın iki ucunda bulunan bant ile lamine yüzeylerden bir tanesine yapıştırılması ve bu sayede esneyerek uzaması engellenmiştir. Yarı iletken materyalin yerine yerleştirilmesinin ardından ikinci lamine tabakası da üzerine yerleştirilmiş ve sensörün iç mekanizması oluşturulmuştur.

Sensörün iç mekanizmasını oluşturan bileşenlerin yerleştirildikleri düzende sabit kalmalarını sağlamak için üzerine geçirilen makaron, sızdırmazlığı sağlamak için kablonun 1 cm'lik kısmını içine alacak uzunlukta kesilmiştir. Isı uygulanarak iç çapının 2 cm'ye düşürülmesi sonucu, lamine katmanların etrafını tam olarak saran düz bir şekil almıştır. Kablonun üzerinde kalan kısmı ise kablo çapından büyük olması sebebiyle hava boşluğu

oluşturmuştur. Bu nedenle daha küçük çaplı ikinci bir makaron kablonun diğer ucundan geçirilerek bu bölge üzerinde daraltılmıştır. İkinci makaron parçası hem kabloya hem de birinci makaronun boşluk oluşturan kısmına yapışarak sızdırmazlığı sağlamıştır.

Geliştirme kartı üzerine bağlanan sensör, basınç altındaki tepkileri bilgisayardan takip edilebilir durumdadır. Esneklik sensörünün basınç altında değişen değerler verdiği bilindiğinden sabit ağırlıkla çeşitli noktalarından basınç uygulanarak kontrol edilmiştir. Basınç altında sensör verilerinin değişmediği bölge, kontak noktalarına en uzak bölge olan uç kısmından başlayarak belirlenmiştir. Uç kısmından kontak noktalarına doğru 1mm aralıklarla ağırlık yerleştirilen sensörün 70 cm uzunluktan sonra basınca tepki vermediği görülmüştür. Böylece mikroişlemci kart beslemesiyle en fazla 70 cm uzunlukta sensör kullanılabileceği anlaşılmıştır. Bütün sensör bileşenleri bu uzunluğa göre parçalar halinde hazırlanarak birleştirildikten ve makaron ısıtıldıktan hemen sonra uç kısmından bir pense yardımıyla sıkıştırılarak bu noktadan sızdırmazlık sağlanmıştır (Şekil 15). Makaronun uç kısmından sıkıştırılması esnasında sensörün iç mekanizmasına zarar vermesini önlemek için pense ağzı genişliği kadar miktar fazladan kesilmiştir.



Şekil 15. Esneklik sensörünün üretim aşamaları

3.3.2. Esneklik Sensörü için Uygun Direncin Belirlenmesi

Sensörlerin tamamlanmasının ardından, üretilecek sistemde sorunsuz çalışabildiklerini görmek için bazı testlere tabii tutulmaları gerekmektedir. Bu testlerin birincisi, birlikte kullanılacakları direncin belirlenmesine yöneliktir. Sistemde sensöre bağlı çalışan sabit bir direncin bulunması, beslemede meydana gelecek enerji dalgalanmaları sebebiyle verilerde görülebilecek değişkenliği önleyecektir (Gibbs ve Asada, 2005).

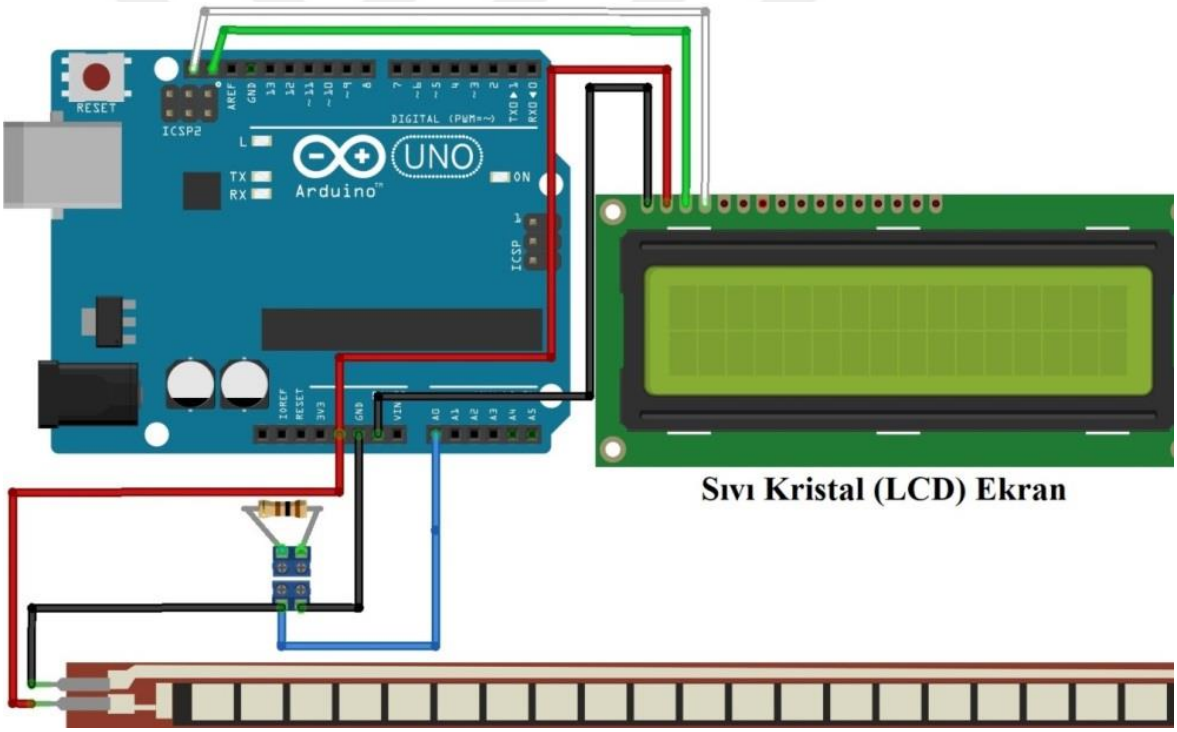
Üretici notlarına bağlı olarak ticari esneklik sensörlerinin her birisi için önerilen bir direnç vardır. Fakat üretilen sensörler, kullanılan materyaller ve boyutlar bakımından farklılık gösterdiği için genel bir direnç değeri kabul etmek mümkün değildir. Bu sebeple çeşitli dirençlerle denemeler yapılarak uygun olanın belirlenmesi gerekmiştir.

Uygun direnç değerinin belirlenmesinde kullanılacak kesin bir kriter olmaması sebebiyle, çalışmanın seyrine uygun bir kriter belirlenmiştir. Çalışmanın hedeflerine paralel olarak, sensörlerin üzerine sabitlendikleri profillerin eğilme açılarını yakalaması istenmektedir ve bu açı çok küçük değerlerde de olabilmektedir. Çok küçük eğilme açılarının dahi yakalanabilmesi istendiği için sensörlerin azami hassasiyette olması gerekmektedir. Esneklik sensörlerinde hassasiyeti belirleyecek temel etken algılama aralığıdır. Buna göre kullanılacak direncin, gelen enerjiyi mümkün oldukça çok parçaya bölmesi, yani algılama aralığının olabildiğince geniş olması gerekmektedir. Çalışma prensibi gereği sensör sonuçları 0 - 1024 arasındaki sayısal değerlerdir. Mikroişlemci geliştirme kartının analog girişleri için 10 bitlik bir saklayıcısı bulunmaktadır. Bu girişlerden okunan 0 – 5V arası değerler saklayıcıda ikili sisteme çevirilerek dijitalleştirilirler. Bu sebeple sensör verileri 0 ve 2^{10} arasında değerlerle ifade edilirler. Buna göre, uygun direnç değerinin belirlenmesinde göz önünde bulundurulacak alt ve üst değerler 1024 parçadan oluşmaktadır. Sensör gövdesi bileşenlerinin az da olsa iç dirençlerinin ve kablo kontak noktaları gibi elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüştüğü noktaların bulunması sebebiyle bütün parçalar gözlenemeyecektir. Fakat denenen direnç değerleri arasında en çok parçanın okunabildiği direncin seçilmesi uygun olacaktır.

Esneklik sensörleri, eğilme açılarına bağlı olarak oluşan basınç altında değişen sonuçlar vermeleri prensibine göre çalıştıkları için, düz konumdayken üzerine ağırlık uygulayarak sınır değerleri belirlenebilmektedir. Buna göre sensörleri düz bir zemine sabitleyerek minimum değerlerini ve daha sonra üzerine sabit bir cisim yerleştirilerek maksimum değerlerini kaydetmek mümkündür. Dirençleri test etmek için, belirlenen ölçülerde bir sensör üretilmiş ve kablo direncini azaltmak için bu sensöre 20 cm uzunluğunda bir kablo bağlanmıştır. Sensöre bağlanan iki adet kanaldan birisinden sensör içerisine gelen enerji, diğer kanal üzerinden geri dönmektedir ve dönüş kanalı üzerine bağlanan direncin devamı negatif kutuptur. Sensörden veri alınmasını sağlayacak analog giriş ise dönüş kanalının üzerinden dirence uğramadan alınan çıkıştır. Buna göre çeşitli değerlerdeki dirençlerin kolayca takılıp çıkarılmasını sağlamak üzere dönüş kanalı üzerine iki pinli bir klemens lehimlenerek sabitlenmiştir. Klemensin pinlerinden birisi üzerinde 2

kablo birbirleriyle doğrudan temas ederken diğer pine lehimlenen kablo negatif kutuba gitmektedir. Böylece analog girişe giden kanal dirence maruz kalmamıştır.

Serada kablosuz veri transferini sağlayan prototip cihaz enerji bağlantısını harici kaynak üerinden aldığı için, sensör direncini belirlemek için kullanılan düzeneğin de enerjisini güç girişinden alması gerekmektedir. Böylece sensörlerin farklı dirençlerle test edilirken ihtiyaç duyduyu akım gerçek koşullarda maruz kalacakları seviyede olacaktır. Bu durumda sensör tepkilerini takip etmek için düzenek üzerine bir LCD ekran bağlanması ihtiyacı oluşmuştur. Mikroişlemci geliştirme kartı üzerine I^2C iletişim kanalından bağlanan bir ekran, sensör tepkilerinin anlık olarak izlenmesini sağlamıştır. Düzeneğin çalışması için gereken yazılım komutları Ek 1'de verilmiştir. Bu şekilde test düzeneği kullanıma hazır son halini almıştır. Bağlantı detaylarının şematize edilmiş görseli Şekil 16'da gösterilmektedir.



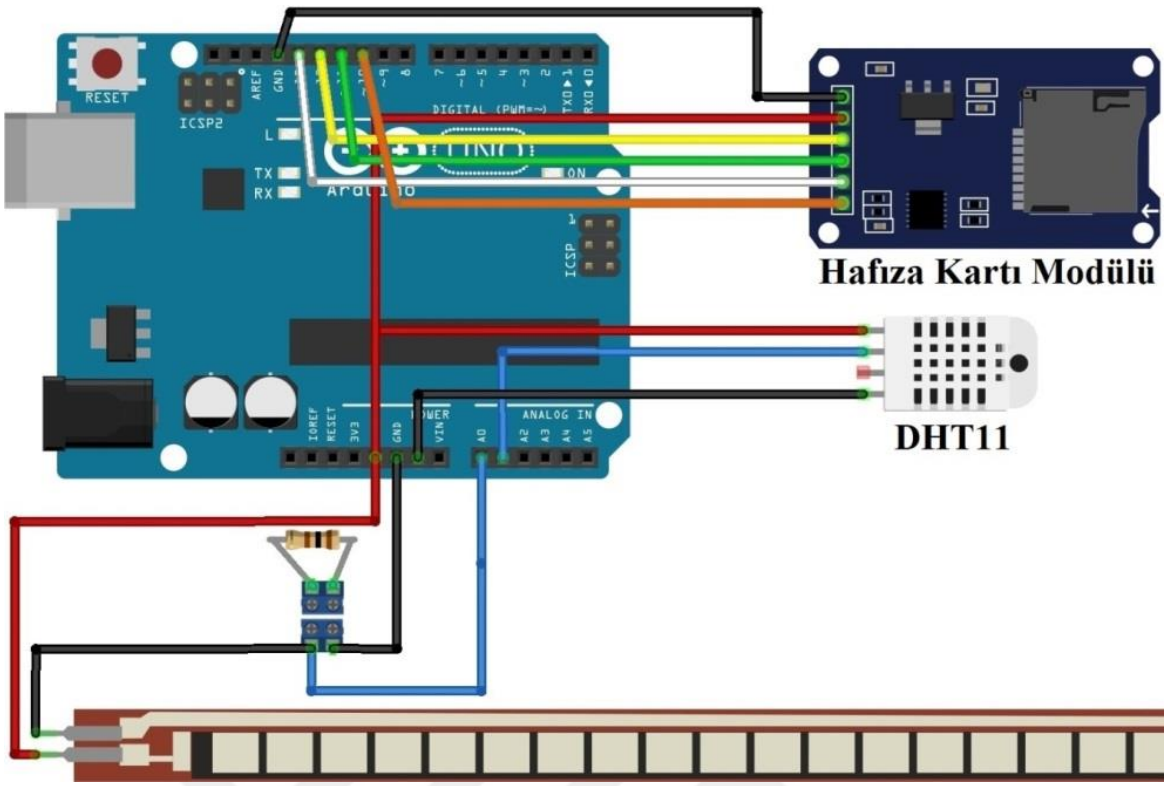
Şekil 16. Direnç test düzeneğinin bağlantı şeması

3.3.3. Esneklik Sensörlerinin Sıcaklık Tepkisinin Belirlenmesi

Esneklik sensörlerinin ideal çalışma ortamının oda sıcaklığı olduğu ve sıcaklıktaki artışın dirençte azalmaya sebep olduğu bilinmektedir (Jurgens ve Patterson, 1997). Sensör bileşen malzemelerinin doğal tepkisi olan bu prensip, ticari sensörlerde de görülmesine karşın birçoğunda buna göre kalibrasyon eğrileri bulunmamaktadır. Bu sebeple, benzer çalışmalarda kullanılmalarından önce ortam değişkenlerine karşı verdikleri tepkiler

ölçülmelidir. Laboratuvar ortamında yürütülecek deneyler esnasında ortam sıcaklığının sabit olması sebebiyle sensörlerden alınan verilerin düzeltilmesi gerekmeden kullanılabilmiştir. Fakat çalışmanın ikinci kısmını oluşturan sera koşullarının değişkenliği, toplanacak verilerin kompanse edilerek değerlendirilmesini gerektirebilir. Bu sebeple, kalibrasyon eğrisini oluşturmak üzere bir deney tasarlanmıştır.

Sensörlerin sıcaklık tepkilerinin ölçülebilmesi için öncelikle ortam sıcaklığının kontrol edilebilir olması gerekmektedir. Bu aşamada gereken ortam sıcaklığı aralığı, sera koşulları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Söz konusu serada bitkisel üretim yapılması sebebiyle iç ortam sıcaklığının 10 ^{o}C'nin altına düşmemesi arzu edilse de herhangi bir ısıtma tertibatının bulunmaması dolayısıyla mümkün değildir. Bunun yerine bitkilerin zirai dondan korunması için hedeflenen, sera içerisindeki sıcaklığın 4 ^{o}C'ye kadar düşebileceği varsayılmıştır. Benzer şekilde, sıcak sezonda sıcaklığın 30 ^{o}C civarında seyretmesi öngörülmüştür. Bu bağlamda sensörlerin çalışması planlanan alt ve üst sıcaklık değerleri arasında vereceği tepkilerin, sensör düz pozisyondayken ölçülmesi uygun görülmüştür. Sensörlere uygun dirençlerin belirlenmesi için kullanılan düzenekte sensörün cetvel üzerine sabitlenmiş olması, pozisyonunu koruması anlamında yeterlidir. Ortam sıcaklığını düzenlemek için ise iki aşamalı bir planlama yapılmıştır. Buna göre düzenek, öncelikle 50 cm yüksekliğinde ve 100 cm uzunluğunda, plastik örtülye kaplı bir sera maketi içerisine yerleştirilerek, maket açıklıkları oluklu polikarbon levhalarla kapatılmıştır. Sera maketinin yalıtımının tamamlanmasıyla birlikte içerisindeki ortamın sıcaklığını arttırmak üzere 15 w gücünde akkor flamanlı bir ampül monte edilmiştir. Enerji sarfiyatının büyük bir kısmının ısı enerjisine dönüşüyor olmasından dolayı bu ampül tercih edilmiştir. Sensör, maket içerisinde artan ortam sıcaklığına bağlı veri üretmesinin ardından, standart bir buzdolabının içerisine alınarak azalan ortam sıcaklığına bağlı olarak da veri üretmesi sağlanmıştır. Uygulamaların sonucunda, sensörün düz pozisyondayken 4 ^{o}C ile 27 ^{o}C arasında verdiği tepkiler kaydedilmiştir. Sensör direncinin belirlenmesi için oluşturulan düzenekten LCD ekran çıkarılarak yerine DHT11 sıcaklık-nem sensörü ve hafıza kartı modülü monte edilerek gereken düzenek tamamlanmıştır (Şekil 17). Düzeneğin çalışması için gereken yazılım komutları Ek 2'de verilmiştir.



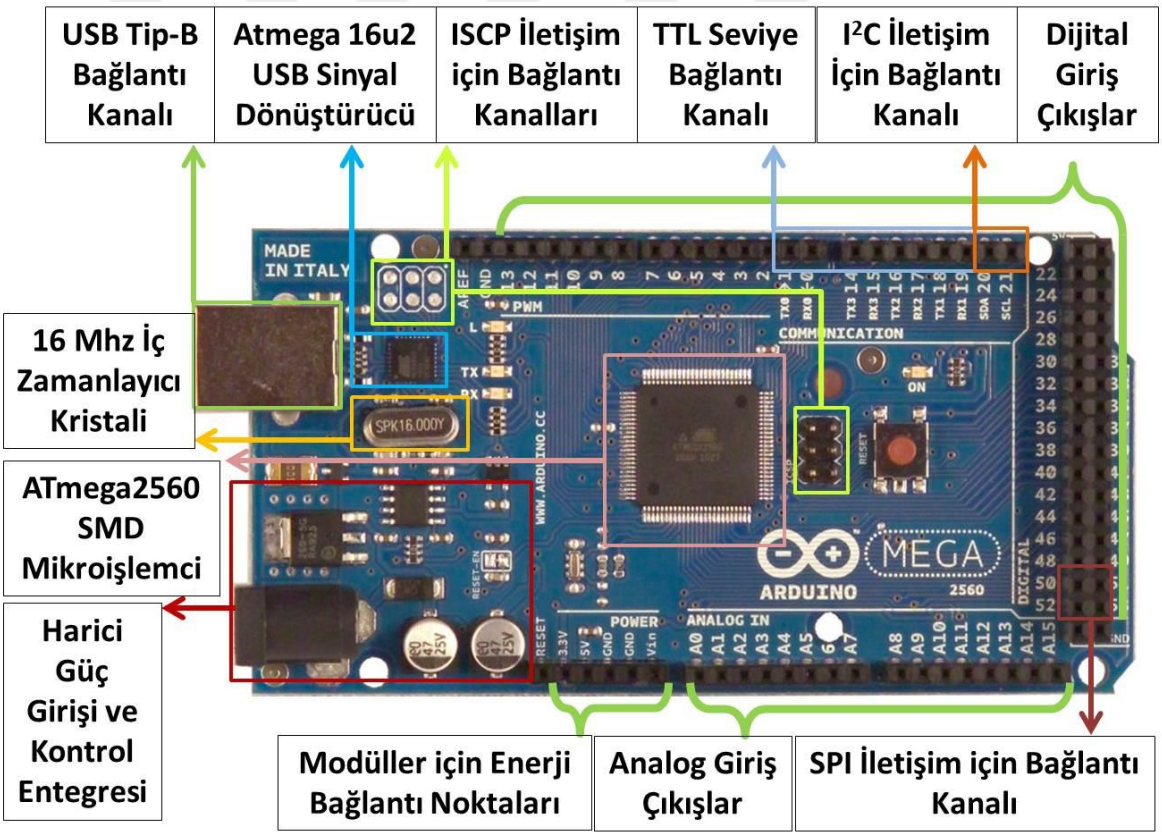
Şekil 17. Sıcaklık test düzeneğinin bağlantı şeması

3.4. Prototip Cihaz Tasarımı ve Üretimi

Arazi koşullarında sensör tepkileri ve meteoroloji verilerini toplayarak GSM şebekesi üzerinden internet arayüzüne iletebilecek bir cihaz üretilmesi, çalışmanın bir başka aşamasını oluşturmaktadır. Cihazı oluşturan bileşenlerin, kullanılan diğer tüm aygıt ve sensör bileşenleri gibi kolay tedarik edilebilir olması süreklilik sağlaması açısından zorunludur. Prototip cihazı oluşturan parçalar; mikroişlemci geliştirme kartı, meteoroloji istasyonuyla haberleşmeyi sağlayan APC 220 (Silicon Laboratories, Inc., Austin, Teksas, ABD) kablosuz veri modülü, sera içi çevresel koşulları algılaması için DHT11 sıcaklık-nem sensörü, geliştirme kartıyla uyumlu GSM modülü, kesintisiz güç kaynağı devresini oluşturan bileşenler, sensör ve güç girişi bağlantıları ve prototipin gövdesini oluşturan muhafaza kutusudur.

Mikroişlemci geliştirme kartı, cihazın tüm birimleri arasında haberleşmeyi sağlaması bakımından sistemin temelini oluşturmaktadır. Kart üzerindeki iş yükü ve iletişim kanalları ihtiyacı göz önünde bulundurularak Arduino Mega R3 modeli uygun görülmüştür. Birçok bakımdan Arduino Uno R3 modeliyle benzer özelliklere sahip olsa da özellikle yazılımın depolanması ve işletilmesini sağlayan 256 KB flaş depolamaya sahip olması, daha karmaşık ve dolayısıyla daha büyük komutların kullanıldığı durumlarda seçilmesini zorunlu kılmaktadır. Flaş depolamanın yanında 8 KB SRAM ve 4 KB

EEPROM barındıran Atmega2560 (Microchip Technology Inc., Chandler, Arizona, ABD) modeli mikrodenetleyici sayesinde Arduino Uno R3'den çok daha hızlı çalışabilmektedir. Bu geliştirme kartına ihtiyaç duyulan projelerde çok sayıda modülün kullanılması nedeniyle bağlantı ve iletişim kanallarının sayısı oldukça fazladır. Kart üzerinde bulunan 16 adet analog ve 54 adet dijital bağlantı noktası, bu ihtiyacı karşılaması açısından önemlidir. Gerek işlem kabiliyeti, gerekse bağlantı noktalarının yetersiz olduğu durumlar için ise birden çok Arduino kartının birlikte çalışmasını sağlayan TTL seviye bağlantı kanalı noktası, bu modelde dört adede çıkarılmıştır. Bu sayede, temel iletişim seviyesindeki modül ve sensörlerin bağlantı imkanı arttırılmıştır (Şekil 18). Benzer şekilde, kart üzerinden programlama yapmaya yarayan ISCP iletişim noktaları da iki adede çıkarılmıştır. Bu sayede, ISCP iletişim protokolünü kullanan modüllerin bağlı olması durumunda dahi harici programlamaya imkan sağlanmıştır.



Şekil 18. Arduino Mega R3 komponent ve terminalleri

Buna ek olarak birden çok geliştirme kartının zincir şeklinde birbirine bağlanarak ek işlem gücü ve iletişim kanalı ihtiyaçları doğrultusunda yapılandırılabilmesini sağlamaktadır. Bu bağlamda bir ana kart gibi çalışarak bağlandığı diğer geliştirme

kartlarını yönetebilmesi bakımından, temel düzeyde mini bir bilgisayar olarak nitelendirilebilmektedir.

Prototip cihazın mikroişlem ünitesi, üç kaynaktan aldığı verileri internet arayüzüne iletme işi yapmaktadır. Bu kaynaklardan birisi, cihaz muhafazasının altına sabitlenmiş olan ve sensör kısmı sera iç ortamını algılayacak şekilde konumlandırılmış DHT11 sıcaklık-nem sensörüdür. Sensörün hassasiyeti, çalışmanın kapsamına uygundur. İkinci kaynak ise seranın yanına sabitlenen meteoroloji istasyonu verileridir. Cihaz bu verilere, radyo frekans alıcısı bir modül üzerinden ulaşmaktadır. Bu modül 420 – 450 MHz frekans aralığında çalışan APC220 kablosuz veri modülüdür. İki yönlü veri transferi için kullanılan bu modül, mikroişlemci geliştirme kartlarına TTL iletişim kanallarından bağlanmaktadır. Verici olarak tanımlanan modül, gelen veriyi üzerindeki entegreler vasıtasıyla radyo sinyallerine kodlayarak alıcı modüle gönderir ve alıcı modüldeki entegreler vasıtasıyla kodları çözülen veri alıcı üniteye iletilir.

Verinin kablosuz olarak iletilmesi birçok durumda zorunludur. Özellikle TTL seviyesindeki veriler için kablo boyunun uzaması, parazitlenme ve hatta verinin yok olmasına sebep vermektedir. Bu amaçla kullanılan APC220 modülü 1200 – 19200 bps bant genişliğindeki veriyi iletebilme kabiliyetine sahiptir. Sinyal yolu üzerinde engelleyici yapılar bulunmaması halinde, veriyi bozulmadan 1200 m mesafeye taşıyabilen modül, -20 ^{o}C ile 70 ^{o}C aralığındaki sıcaklık koşullarında çalışabilmektedir. Bu yönüyle çalışmanın yürütüldüğü bölgede kullanılmaya uygundur. Enerji beslemesini bağlı olduğu kart üzerinden alan modülün hem alıcı hem de vericisinin bağlı olduğu ünitelerle uyumlu olarak 3,5 V ile 5,5 V çalışma aralığı bulunmaktadır. Radyo frekansı üreten ve toplayan cihazların aksine, aktif çalıştığı anda 25 mA'lik düşük bir akım çekmektedir. Bu şekilde devre üzerinde ısı üretimine ve dolayısıyla veride parazitlenmeye sebep olmamaktadır. Modülün, ileteceği veriyi kodlayacak ve topladığı verinin kodunu çözecek entegrelerinin 256 baytlık önbelleği olması sayesinde, frekans karışması sonucu toplanan yanlış kodlanmış verilerin bertaraf edilmesi sağlanmaktadır. Boyutları 37×17×6,6 mm olan modül, 30 gr'lık ağırlığı sayesinde birçok elektronik uygulamada kolaylıkla kullanılmaktadır.

Mikroişlemci geliştirme kartının veri topladığı son kaynak olan esneklik sensörleri, kutu altına sabitlenen yedi pinli 7,62 mm 90c sınıfı klemens (Cixi Kaifeng Electronics Co., Ltd, Ningbo, Zhejiang, Çin) üzerinden veriyi iletmektedirler. Kontak malzemesinin düşük iç direnci sebebiyle bu malzeme tercih edilmiştir. Klemens pinlerinden veriyi geliştirme kartına ulaştıran negatif bağlantı ayaklarına 100 Ω'luk karbon film dirençler sabitlenmiştir. Bu dirençler, sensör testleri sonucunda uygun bulunan dirençlerdir. Toplanan verilerin,

geliştirme kartından internet arayüzüne iletilmesi için Arduino uyumlu çalışan bir GSM modülü kullanılmıştır.

Altındaki sabit bağlantı ayakları vasıtasıyla Arduino Mega R3 kartına monte edilebilen GGS01 GSM modülü (GNDTEKNİK eğitim teknolojileri elektronik otomasyon sistemleri, Kadıköy, İstanbul), ülkemizde faaliyet gösteren bütün mobil şebeke operatörlerinin standartlarına uymaktadır. Konuşma ve Kısa Mesaj Servisi (SMS) için GSM şebekesini kullanan modül, veri transferi için Genel Paket Radyo Servisi (GPRS)'ni desteklemektedir. Servislerin tamamı için dört farklı bantta (850, 900, 1800, 1900 MHz) yayın yapabilmesi sayesinde, sabit internet hizmetinin bulunmadığı bölgelerde dahi veri transferi imkânı sağlamaktadır. Bu sebeple, çalışma kapsamında kullanılan seradan veri aktarma ve gerekli durumlarda SMS ile bilgilendirme yapabilecek şekilde kullanılması uygun görülmüştür. Şebeke üzerinden internet kullanımı için gereken Aktarma Protokol Kontrolü (TCP) ve Kullanıcı Veri Bloğu İletişim Kuralları (UDP)'nı dâhili belleğinde barındırması yönüyle, mikroişlemci geliştirme kartının iş yükünü azaltmaktadır. Modül, -20 ^{o}C ile 85 ^{o}C arasında sıcaklık ve %5 ile %95 RH nem aralığında çalışabilmesi yönüyle, yerleştirildiği sera içi çevresel koşullara uyumludur. Üzerine monte edildiği geliştirme kartından sağlanabilen enerjinin, modülü çalıştırmak için gereken miktardan az olması sebebiyle, iki pinli 5,08 mm klemensli harici bir güç girişi bulunmaktadır. Bu güç girişi 7 ile 12 V arasında doğru akımla beslenmesi halinde 1-2 W seviyesinde bir sarfiyatı olmakla birlikte, üzerindeki voltaj regülasyon devresi sayesinde bağlı bulunduğu bütün bileşenlerin enerji ihtiyacını sağlayabilmektedir. Enerji sarfiyatı, mobil şebekeyle olan sürekli iletişimi sebebiyle olmaktadır. Çeşitli sebeplerle oluşabilecek voltaj dalgalanmaları esnasında, yürüttüğü protokollerin bozulmasıyla ortaya çıkabilecek güvenlik ihlallerini önlemek için güç kesen bir sigorta entegresi bulunmaktadır. Böyle bir durumda sistemin sıfırlanarak protokollerin tekrardan başlatılması gerekmektedir. Seranın bulunduğu bölgede, elektrik dalgalanmaları ve kısa süreli kesintilerin yaşanabileceği bilindiği için, prototip cihazın içerisine bir kesintisiz güç kaynağı devresi yerleştirilmiştir.

Kesintisiz güç kaynağı sağlamak için çeşitli bileşenler uygun şekilde birbirine bağlanarak, yedek güç birimi oluşturulmuştur. Bu bileşenlerin enerji depolama birimi olarak tercih edilen üç adet Sanyo UR18650F (Sanyo Electric Co., Ltd., Osaka, Osaka ili, Japonya) modeli lityum-iyon pil 3,7 V güce sahiptir. Tam dolu hallerinde her birinin içerisinde 2,6 Ah enerji bulunan piller, elektriklerin kesilmesi halinde sistemi 12 saate yakın besleyebilmektedir. Benzer şekilde elektrik dalgalanması durumunda azalan nominal beslemenin desteklenmesini de sağlayabilecek kapasitededir. Enerji depolayan kimyasal

bileşenli katmanlarının dışını tamamen kaplayan çelik muhafazaları sayesinde, kısa devre, aşırı ısınma, fiziksel zedelenme gibi durumlara karşı korumalı olmaları tercih edilmelerinde önemli bir etmendir. Günümüzde dizüstü bilgisayarların pil ünitelerini oluşturan hücrelerde kullanılıyor olmaları sebebiyle temin etme kolaylığı da bir başka tercih sebebi olmuştur. Piller her ne kadar güvenli olsalar da aşırı şarj edilmeleri risk yaratacağı ve prototip içerisinde sürekli şarj durumunda kalmaları gerektiği için şarj koruma modülüyle kontrol edilmelidirler. Bu sebeple TP4056 (NanJing Top Power ASIC Co., Nanjing, Guanghua, Çin) şarj ünitesi kullanılmıştır. Piller tam dolduğunda ya da aşırı ısınması durumunda enerjiyi kesen bu modül, 5 V beslemeyle çalışmak zorundadır. Sistemin tamamına enerji sağlayan adaptör 12 V – 2 A doğru akımla çalışmaktadır. Bu durum, şarj modülünün 5 V olan enerji ihtiyacını aşmakta ve dolayısıyla bozulmasına sebep vermektedir. Şarj modülünün korunmasını sağlamak için, adaptörden gelen enerjiyi istenen seviyeye indirgeyen bir düzenek gerekmiştir. Düzenek, bir adet KIA7805A (KEC Holdings, Seocho-gu, Seoul, Güney Kore) modeli voltaj regülatörü, bir adet 50 V - 1 μF alüminyum elektrolitik kapasitör (Beryl Electronic Technology Co., Ltd., Zhaoqing City,Guangdong, Çin), bir adet 100 nF kutupsuz seramik kondansatör (Songtian Electronics Co. Ltd., Shantou, Guangdong, Çin) ve oluşan ısıyı soğurması için 3×4×5 cm ebatlarında alüminyum soğutucu bloğundan oluşmaktadır. Adaptörden gelen enerjinin kesilmesi durumunda pillerden beslenecek olan sistemin, sürekli 12 V akım ihtiyacı vardır. Buna karşı, paralel bağlantılı pillerin çıkış güçleri 3,7 V'tur. Bu sorunu çözmek için MT3608 (Aerosemi Technology Co. Ltd., Nanshan, Shenzhen, Çin) voltaj yükseltme modülü devreye eklenmiştir. Bu modülün sürekli olarak 2 A'e kadar enerji sağlaması sayesinde GSM modülü sigorta entegresinin pasif kalması sağlanabilmektedir. Kesintisiz güç kaynağı devresini oluşturan bütün bileşenlerin temel elektronik ekipmanlar olması, kolayca tekrar temin edilebilmelerine olanak sağlamaktadır. Prototipi oluşturan bütün bileşenlerin içine sığacağı, 85×155×60 mm ebatlarındaki HS8282 model proje kutusu (Altınkaya Elektronik Cihaz Kutuları, Yenimahalle, Ankara) Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS) plastikten üretilmiş ve bu sayede kırılmadan işlenebilir sertliktedir. Yerli üreticisi sayesinde kolaylıkla temin edilebilir olması tercih sebebi olmuştur.

3.4.1. Prototip Cihazın Üretimi

Prototip cihazın temel bileşenleri birbirlerine bağlanarak kullanılabilse de özellikle enerji ihtiyaçları bakımından bazı farklılıklar göstermektedirler. Bu bağlamda laboratuvar koşullarında her bileşen eklenmesinin ardından testlerinin yapılıp, sera koşullarına göre

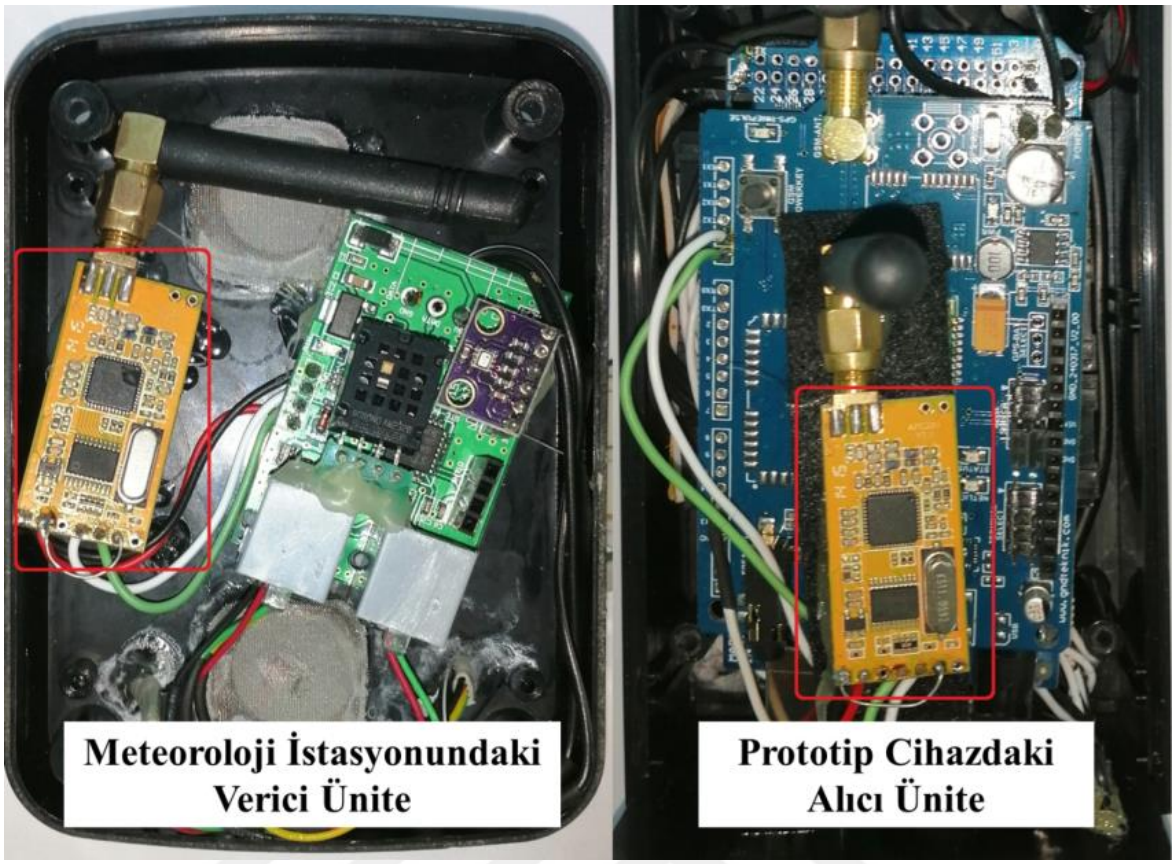
adaptasyonunun sağlanması önemlidir. Mikroişlemci geliştirme kartının, enerjisini modül üzerinden almasından dolayı GSM ünitesinin sorunsuz çalışması sağlanmalıdır. Modül üreticisinin hazırladığı ve Arduino arayüzünden kontrol edilen test yazılımlarıyla kısa mesaj ve internet servisleri kontrol edilen GSM modülünün, devre koruyucu sigorta entegresi ilk aşamada gözardı edilerek sorunsuz çalıştığı kaydedilmiştir. Sera koşullarındaki testi gerçekleştirilmek istendiğinde, bilgisayar bağlantısı kesilerek batarya gücüyle çalıştırılmak istenmiştir. Bu noktada devre koruyucu entegrenin aktif hale geçerek modülü kapatması sonucu ilk sorunla karşılaşılmıştır. Modül katalogları incelenerek sorunun düşük voltajdan ilerigeldiğinin anlaşılması üzere, kesintisiz güç kaynağı düzeneğinin zorunlu bir bileşen olduğu anlaşılmıştır. Sürekli olarak 12 V beslemeye ihtiyaç duyan GSM modülünü, şebeke kaynaklı dalgalanma ve kesintilerden korumanın tek yolu bu düzenektir.

Kesintisiz güç kaynağı düzeneği; batarya ünitesi, şarj devresi, voltaj düşürücü ve yükseltici elemanlardan oluşturulmuştur. Enerji depolama için seçilen batarya ünitesi, düşük voltajda yüksek akım sağlayabilen hücrelerden oluşması sebebiyle, GSM ünitesini besleyebilecek yükseltici bir eleman ile kullanılmıştır. Bu eleman sayesinde GSM ünitesinin adaptörden çektiği 12 V enerji, kesinti ve dalgalanma durumlarında eksiksiz olarak batarya ünitesinden temin edilebilmektedir. GSM modülü için gereken enerjinin adaptörden sorunsuz bir şekilde sağlanabildiği zamanlarda, aynı anda batarya ünitesinin de şarj olması sağlanmaktadır. Fakat batarya ünitesinin şarj düzenleyicisi elemanı en fazla 5 V enerjiyle çalıştırılmak durumundadır. Bu sebeple, adaptörün bağlı olduğu jaktan doğrudan kullanılması imkânsızdır. Bu amaçla adaptör jakından gelen beslemeyi 5 V'a indirgeyen düşürücü elemanlar kullanılmıştır. Gelen 12 V'un sadece 5 V'unu ileten ve geri kalanını ısı enerjisi olarak yayan elemanlar için soğutucu bir alüminyum blok kullanılmıştır. Bu sayede oluşan fazla ısı, prototip cihaz gövdesindeki bileşenleri etkilemeden dışarıya atılabilmiştir. Kesintisiz güç kaynağı düzeneği bu şekilde tamamlanan prototipe, güvenlik amaçlı olarak bir de anahtar bağlanmıştır. Böylece, adaptörün arızalanması halinde doğrudan şebeke akımına maruz kalacak GSM ünitesine bağlı bileşenlerin enerjisi kesilecektir.

Cihaz üzerinde bulunan DHT11 sıcaklık ve nem sensörü, çalışması için gereken gücü mikroişlemci geliştirme kartı üzerinden sağlamakta ve analog kanaldan bağlanan veriyolu kablosuyla sera içi sıcaklığını iletmektedir. Sensörler, prototip cihaza bağlanmalarının ardından cihaz çalıştırılmış ve web arayüzü eşzamanlı kontrol edilerek veri aktarmada herhangi problem olmadığı görülmüştür. Sera koşullarında çeşitli sebeplerle değiştirilmeleri gerektiği durumlarda iş yükünü azaltmak adına, sensörlerin ihtiyaç

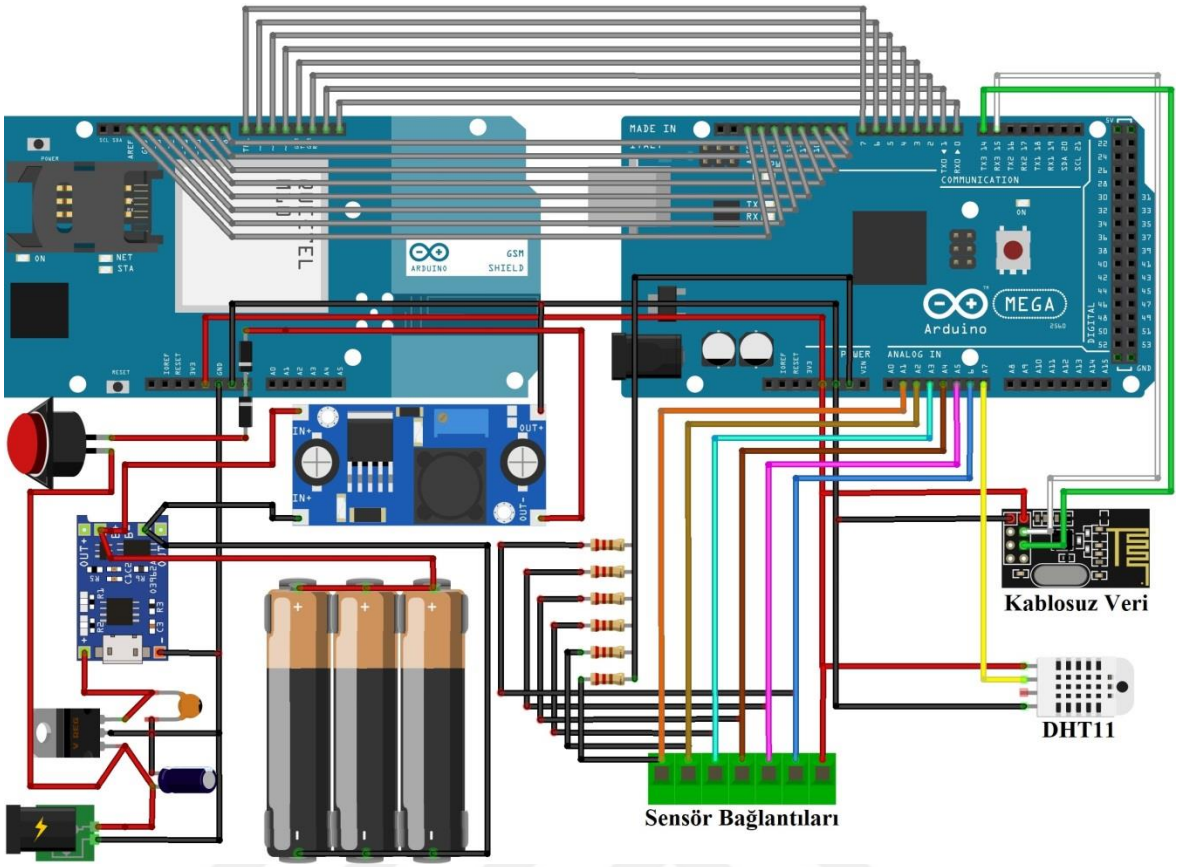
duyduğu dirençler prototipin içerisine sabitlenmiştir. Esneklik sensörlerinin temel iki kablolu yapısının korunduğu bu düzenlemede, her sensörün enerji beslemesini sağlayacak tek bir klemens bağlantısı oluşturulmuştur. Normal şartlarda, tek kaynaktan besleme sırasında her bir sensöre farklı akım gönderilecek olsa da bu durum, dönüş kanallarına bağlanan sabit dirençler sayesinde engellenmiştir. Her bir sensörden alınan verinin farklı bir analog kanaldan izlenecek olması sebebiyle de dönüş kanalları için farklı klemens bağlantıları ayrılmıştır.

Prototipin veri topladığı bir diğer kaynak ise meteoroloji istasyonudur. Laboratuvar testleri esnasında sorunsuz veri aktarımının sağlandığı istasyondan, sera yanına kurulması ve çalıştırılması sonrasında veri alınamamıştır. Kurulduğu yerden sökülerek bütün sensörlerinin çalışması test edilen meteoroloji istasyonu, bilgisayara bağlı bir başka mikroişlemci geliştirme kartı düzeneğiyle çalıştırılabilmiştir. Herhangi hatalı bir bileşeninin olmaması, sorunun veri aktarımıyla ilgili olduğunu göstermiştir. Meteoroloji istasyonun veri iletiminden sorumlu olan sürücü kartının bağlantı şemaları incelendiğinde, veri aktarımı için TTL seviyesinde iletişim kullanıldığı fark edilmiştir. GSM modülüyle aynı bağlantı kanalını kullanan istasyon, mikroişlemci geliştirme kartı üzerinde beş adet TTL bağlantı noktası olması dolayısıyla sorunsuz çalışmaktadır. Fakat bu iletişim seviyesinde verinin, kablo boyu sebebiyle parazitlenmeye yatkın olduğu bilinmektedir. Buna göre kablo boyu en fazla 2 m olacak şekilde veri taşıyabilmekte, daha sonrasında gelen veride bozulmalar ve tamamen kaybolma görülebilmektedir. Bu sorunu aşmak için ilk olarak sinyal kodlayıcı ara üniteler kullanılsa da veri kaybı riskini tamamen yok etmek adına radyo frekansıyla çalışan kablosuz veri iletim modülleri tercih edilmiştir. Bu modüller sadece birbirleriyle iletişime izin vermeleri açısından RFI koruması sağlamaktadırlar. Bu sayede veri kayıplarının da önüne geçilmiştir. Verici ünitesi meteoroloji istasyonunun sürücü kartına sabitlenen modüllerin, alıcı ünitesi de prototip cihazın mikroişlemci geliştirme kartına bağlanmıştır (Şekil 19).



Şekil 19. Kablosuz modül üniteleri

Meteoroloji istasyonu verilerini kablosuz olarak toplayabilen mikroişlemci geliştirme kartı, esneklik sensörlerinden ve sera içi sıcaklığını ölçen DHT11'den alınan verileri de bir paket halinde GSM ünitesine aktararak web veri tabanında depo edebilmektedir. Bu kaynaklardan toplanan verilerin iletim periyotlarının farklılık göstermesi sebebiyle, paketlerde tekrarlanan verilerin bulunması kaçınılmazdır. Tekrarlanan veriler, çalışmanın hedefleri bakımından sorun teşkil edeceği için engellenmelidir. Bunu sağlamak için, mikroişlemci geliştirme kartının flaş depolama alanından faydalanılmıştır. Farklı periyotlarda iletilen veri paketleri, flaş depolamada saklanarak en uzun periyot olan 1 dk'lık döngülerde web tabanına iletilmesi sağlanmıştır. Böylece her veri kaynağı dakikada bir veri paketi iletecek şekilde sorgulanmaktadır. Mikroişlemci geliştirme kartının içine gömülen komut satırları (Ek 3) sayesinde sağlanan sorgulama döngüsünün, bir hafta boyunca laboratuvarda test edilerek sorunsuz çalıştığı görülmüştür. Testleri gerçekleştirilip son şeklini alan prototip cihazın, bileşenleri ve bağlantı yollarını gösteren şema Şekil 20'de verilmiştir.



Şekil 20. Prototip cihazın bağlantı şeması

Bütün bağlantıları yapılan ve çalışması test edilen prototip cihazın, sera içinde sorun çıkarmadan çalışması çok önemlidir. Bu bağlamda, değişen ortam koşulları dolayısıyla ve özellikle nem kaynaklı oluşabilecek arızaların önlenmesi adına bir muhafaza kutusu içerisinde bulunması zorunludur. Seçilen muhafaza kutusu, bileşenlerin tamamına uygun alan sağlamasının yanında, güç girişi, anahtar, esneklik sensörü, bağlantı klemensleri gibi elemanların sabitlenmesine olanak verecek boyutlardadır.

Bileşenler içerisine yerleştirilmeden önce kutunun arka yüzüne açılan 4 delik ile sabitleme kayışları yerleştirilmiştir. Ardından üst kapakta her birinin boyutlarına göre açılan üç deliğe; güç jakı, anahtar ve alüminyum soğutma bloğu oturtulmuştur. Her bir parça sızdırmazlığı korumak için plastik contalarla izole edilmiştir. Benzer şekilde alt kapağa da iki delik açılarak birisinden DHT11'in algılayıcı kısmı, diğerinden de esneklik sensörlerinin bağlantılarını sağlayan klemensler dışarıda kalacak şekilde monte edilmiştir. Her iki parçanın da izolasyonu iç kısımdan sıcak silikon yapıştırıcıyla sağlanmıştır. Son olarak, meteoroloji istasyonu verilerini toplayan kablosuz alıcı ünite ve GSM modülünün antenlerini dışarıda bırakacak şekilde ön yüzde iki delik açılmıştır. Antenlerin dışarı çıktığı deliklerde de sızdırmazlığı sağlamak adına kauçuk körükler kullanılmıştır. Bu sayede

elektronik bileşenlerin, sera ortamında maruz kalabilecekleri toz, nem ve fiziksel darbelerden korunması sağlanmıştır (Şekil 21).



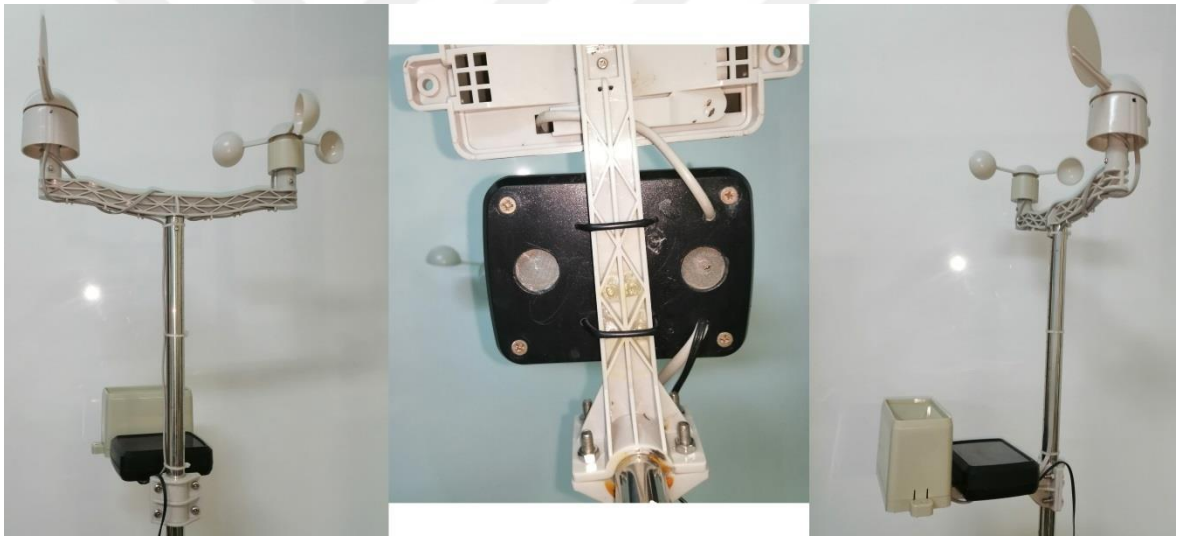
Şekil 21. Prototip cihaz için kullanılan muhafaza kutusu

3.5. Meteoroloji İstasyonu

Sensörlerin sabitlendiği seranın çevresindeki meteorolojik verilerin alınabilmesi için Arduino uyumlu çalışabilecek bir istasyonun sera yakınına kurulması gerekmektedir. Meteoroloji istasyonundan edinilmesi gereken veriler; özellikle rüzgar hızı, rüzgar yönü, yağış ve sıcaklıktır. Bu verileri sağlayabilecek donanıma ve dijital bağlantı noktalarına sahip kit ADS-WS1 (Argent Data Systems, Santa Maria, Kaliforniya, ABD) modeli istasyon kitidir. İstasyon üzerinde birer adet rüzgar gülü, anemometre, plüviyometre ve ilgili sensörlerin montaj aparatları bulunmaktadır. Bu sensörlerin hiç birisi aktif elektronik bileşenler içermemektedir. Bunun yerine sızdırmaz muhafazalı reed anahtarları ve mıknatıslar sayesinde ölçüm yapabilmektedirler. Böylece açık hava şartlarında arızalanmadan çalışabilmektedirler. Plüviyometre sensörü kovasının her bir devrilişi 0,2794 mm yağışa eşdeğerdir ve kovanın yanına sabitlenmiş mıknatısın, yanından geçerken kapatıp açtığı reed anahtar sayesinde yağışın miktarını sürücü kartına iletmektedir. Anemometre sensörü de benzer mantıkla çalışarak 2,4 km/sa'lik rüzgarın, reed anahtarını saniyede bir defa açıp kapadığı bilgisini sürücü kartına iletmektedir. Rüzgar gülü sensörü ise diğerlerinden farklı olarak potansiyometre gibi çalışarak, eşit aralıklı sekiz pusula yönünde değişen direnç sonuçları vermektedir.

Sensörlerin RJ11 tipi konnektörle bağlı olduğu sürücü kartı ise üzerinde barındırdığı AM2320 (Aosong Electronics Co. Ltd, Huangpu, Guangzhou, Çin) modeli sensör sayesinde sıcaklık ve nem verilerini de alabilmektedir. Katalog verilerine göre, sensör, ± %3 RH hata payı ile nem ve ± 0,5 ^{o}C hata payı ile sıcaklığı ölçebilmektedir. Bununla birlikte, sürücü kartı üzerinde bir adet de BMP280 (Bosch Sensortec GmbH, Tubingen, Baden-Württemberg, Almanya) modeli barometrik basınç sensörü bulunmaktadır. Katalog verilerine göre bu sensör, ± 1 hektopaskal (hPa) hata payı ile çalışmaktadır. Bu iki sensörün de belirtilen hata payları, çalışma kapsamında kullanılmalarının uygun olduğunu göstermektedir.

Sürücü kartının bir muhafazası olmaması sebebiyle, plüviyometre bağlantı kolu üzerinde sabitlenen HH046 model proje kutusu (Altınkaya Elektronik Cihaz Kutuları, Yenimahalle, Ankara) içerisine koyulmuştur (Şekil 22).



Şekil 22. Meteoroloji istastonu ve sürücü kartı muhafazası

Sürücü kartından alının sensör verileri sırasıyla:

- Rüzgar yönü (kuzeyden başlayarak saat yönünde artan), 0^{o} – 360^{o},
- Ortalama rüzgar hızı (bir dakikalık ortalama), m/sn,
- Maksimum rüzgar hızı (beş dakikalık ortalama), m/sn,
- Yağış (bir saatlik toplam), mm,
- Yağış (24 saatlik toplam), mm,
- Sıcaklık, ^{o}C,
- Nem (bağıl nem), %,
- Açık hava basıncı, hPa cinsindendir.

3.6. Web Arayüzü

Prototip cihazın, topladığı verileri zamana bağlı olarak web ortamında saklaması gerekmektedir. Mobil şebeke üzerinden yönlendirilen bu verilerin sabit bir internet adresine yönlendirilmesiyle MySQL (Oracle Corporation, Santa Clara, Kaliforniya, ABD) veri tabanına kayıt edilmesi mümkündür. Bunun için bir alan adı sağlayıcısından barındırma hizmeti kiralanarak, servis edilen hizmet kapsamında kullanılan sunucularda hiper metin önişlemcisi (PHP) ile MySQL veri tabanı tabloları oluşturulmuştur. Veri tabanının direkt erişim adresine gönderilen veri paketleri, önişlemci de çözümlenerek satır düzeninde tablolara işlenmesi sağlanmıştır. Sunucuya, virgülle ayırılmış ASCII kodları şeklinde gönderilen veri paketleri, tablo düzeninde sıralanmasının ardından MS Excel formatında indirilip kullanılabilir duruma gelmektedir.

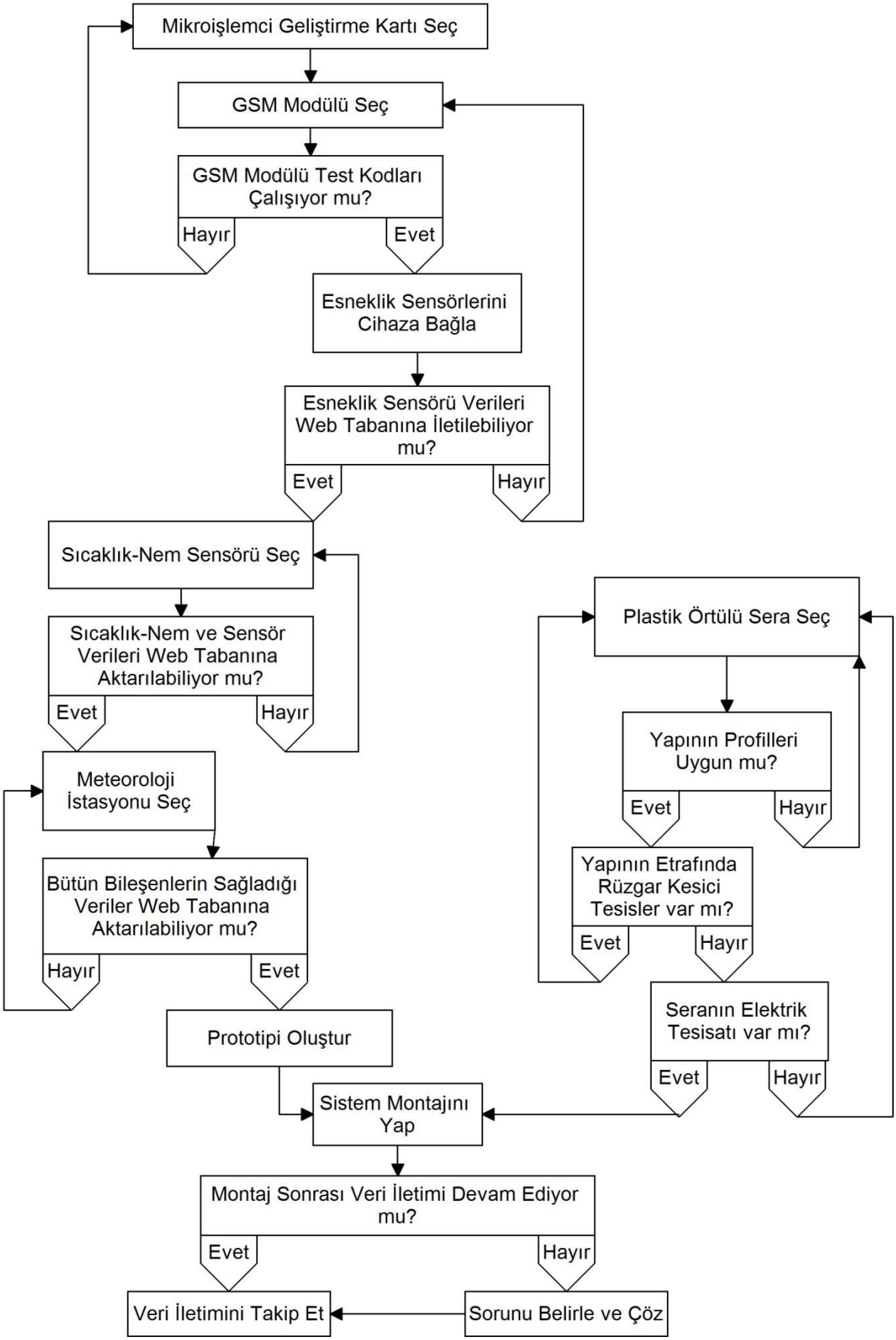
3.7. Yöntem

Çalışma, genel hatları itibariyle iki evrede değerlendirilebilir. Bu evrelerin birincisini, laboratuvar ortamında yürütülen basma ve eğme deneyleri oluşturmaktadır. Deneylerin karar verme, hazırlık, bileşenlerin oluşturulması ve test edilmesi aşamaları Şekil 23'de akış şeması biçiminde açıklanmaktadır.



Şekil 23. Laboratuvarda yürütülen deney aşamalarını açıklayan akış şeması

Çalışma evrelerinin ikincisi, arazi koşullarında plastik örtülü seraların, rüzgar ve kar yükü altındaki tepkilerinin kablosuz iletilebilmesini sağlayacak sistemin tasarlanmasını ve test edilmesini kapsamaktadır. Bu aşamalar Şekil 24'deki akış şemasında açıklanmıştır.



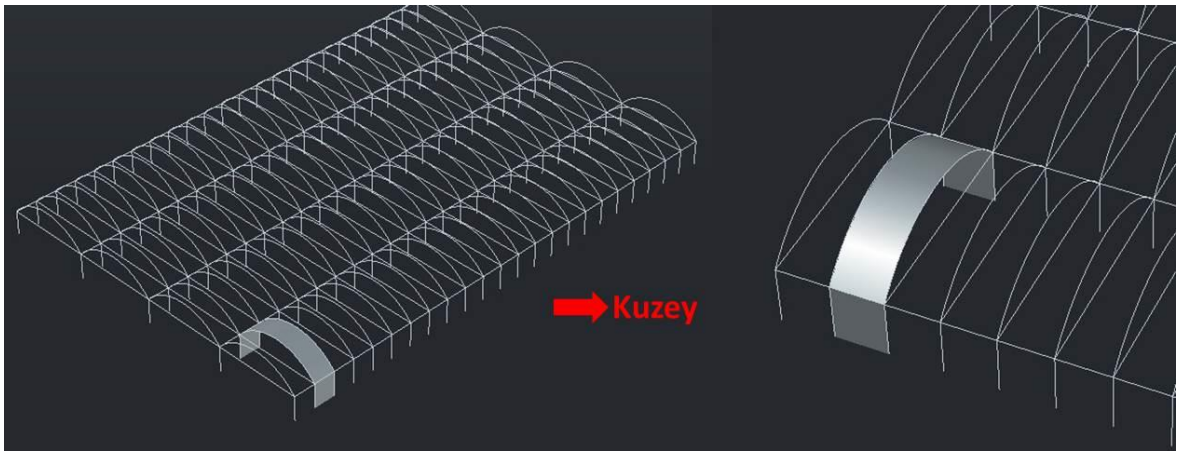
Şekil 24. Sistem tasarım ve test aşamalarını açıklayan akış şeması

3.7.1. Basma ve Eğme Deneyleri

Laboratuvarda yürütülen basma ve eğme deneylerinde, sera iskeletini oluşturan profillerin standardına uygun olarak dış çapı 21,3 mm olan çelik çekme borular test edilmiştir. Her biri 2 m uzunluğundaki bu profillere basma deneylerinde yere dik pozisyonda, eğme deneylerinde ise yere paralel konumda basınç uygulanmıştır. Deneyler esnasında malzemede oluşacak deformasyonların bir diğer deney sonucunu etkilememesi için her test için ayrı profil kullanılmıştır. Esneklik sensörlerinin profil üzerine konumlandırılması ve sabitlenme yöntemlerinin farklılığı dolayısıyla birden fazla alternatif deney yürütülmüştür. Basma deneyiyle başlayan testler için, profili görüntünün ortasına alacak konumda sabitlenen bir fotoğraf makinesiyle her yükleme sonrası bir görüntü kaydedilmiştir. Bu sayede profildeki burkulma ve sarkının görsellenmesi sağlanmıştır.

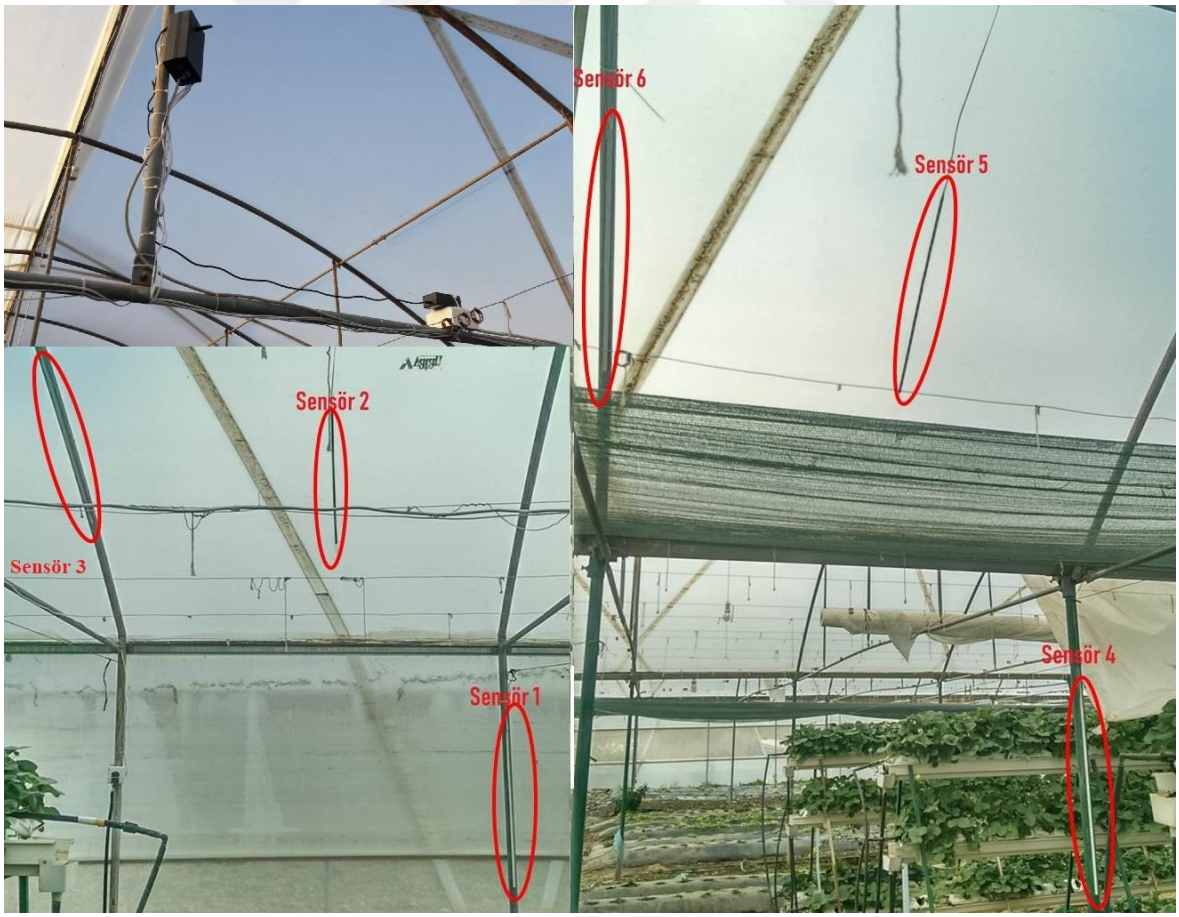
3.7.2. Prototip Cihaz ve Meteoroloji İstasyonunun Seraya Montajı

Prototip cihaz ve ona bağlı altı adet esneklik sensörü, seranın hakim rüzgar yönündeki cephesine yerleştirilerek, rüzgarın yapı üzerindeki etkisi izlenmek istenmiştir. Bu sebeple seranın kuzey-kuzeybatı yönünde kalan cephesindeki en dış bloğunun seçilmesi uygun görülmüştür. Cephe önünde rüzgar kesici unsurların bulunmaması, rüzgar yükünün tam hissedilmesini sağlamaktadır. Fakat bölgede seyrek sıra aralıklı birkaç zeytin fidanının bulunması, esneklik sensörlerinin yerleştirileceği çatı makasının özenli seçilmesini gerektirmektedir. Herhangi bir sorun yaşanması durumunda kolay ulaşılabilir bir noktada olması ve elektrik tesisatına ulaşabilir mesafede olması bakımından, servis alanının bulunduğu ön duvara yakın çatı makaslarının tercih edilmesi istenmiştir. Buna göre, bitkisel üretime müdahil olmadan kurulumun yapılabileceği noktalar belirlenmiştir. Seranın dışında konumlandırılacak meteoroloji istasyonu için de ulaşımın kolaylığı açısından, çalılık benzeri engelleyicilerden uzak olması gerekmektedir. Buna göre kurulum için belirlenen potansiyel noktaların sera dışına bakan cepheleri de araştırılmış ve kesin montaj bölgesi olarak ön duvardan içeriye doğru ikinci çatı makası aralığı belirlenmiştir (Şekil 25).



Şekil 25. Esneklik sensörleri için belirlenen montaj bölgesi

Belirlenen aralıkta esneklik sensörlerinin üç tanesi seranın dış cephesindeki elemanlara, geri kalanlar ise bu üçünün tam karşısındaki elemanlara yerleştirilmiştir. Sensörlerden veri toplayan prototip cihaz ise çatı makasının orta çubuğu üzerine sabitlenmiştir (Şekil 26).



Şekil 26. Prototip cihaz ve esneklik sensörlerinin sera içerisindeki konumları

Böylece bir yüzeyden rüzgarın pozitif, diğer yüzeyden negatif etkisi gözlenebilmiştir. Dış cepheye bakan tarafa yerleştirilen sensörlerin birisi kolon profiline, birisi yay çatıyı oluşturan profile ve sonuncusu örtü malzemesine sabitlenmiştir. Çatı makasını oluşturan çubuklar her iki uçlarından da mesnetlenmediği için üzerlerine sensör yerleştirilmemiştir. Bu sayede sera iskeletini oluşturan taşıyıcı elemanlar izlenebilmiştir. Dış cephe yönünde yerleştirilen sensörlere benzer şekilde bloklar arasındaki sıraya yerleştirilen üç sensörde kolon, çatı yayı ve örtü malzemesine sabitlenmiştir. Bununla birlikte, aynı oluk kasetine bağlanan yay çatı profilinin de dış cepheye bakan parçadan farklı olarak bağımsız ünite gibi çalışması beklenmektedir. Böylece, birbirinden farklı tepkiler vermesi beklenen dört yapı elemanı aynı anda izlenebilmiştir. Sera örtü malzemelerine yerleştirilen iki adet sensör ise birbirine karşı duran noktalarda olmaları bakımından emme ve basma yüklerini temsil etmeleri öngörülmüştür. Fakat örtü malzemesinin çok esnek olması, veri toplama periyodunda birden fazla değer almasına da neden olabilecektir.

Sera içinde kurulumun tamamlanmasının ardından mteteoroloji istasyonunun yerine sabitlenmesi gerekmiştir. Sensörlerin sabitlendiği noktadan 2 m mesafede yerleştirilmesi uygun görülmüştür. Bu sayede seranın, yağışın doğru ölçülmesini engellemesi önlenmiş ve aynı zamanda yapı üzerine etkiyen rüzgar yükünün belirlenmesi sağlanmıştır. İstasyon üzerindeki rüzgar gülü sensörünün 0^o gösteren çentiğinin kuzeye çevirilmesi gerekmektedir. Dijital bir pusula yardımıyla kuzey belirlenmiş ve rüzgar gülünün doğru sonuçları verebilmesi için çentiğin kuzeye dönük olarak konumlandırılması sağlanmıştır. Meteorolojik ölçüm yöntemlerine göre plüviyometre kovasının yerden 1,5 m yüksekte olması gerekmektedir. Bu nedenle basma deneyleri için hazırlanan profillerden bir tanesi, istasyonun gövdesine alttan sabitlenerek, plüviyometre kovasının yerden 1,5 m yüksekte kalacağı derinliğe kadar toprak içerisine gömülmüştür (Şekil 27). İstasyonun uzun süreli aynı yerde çalışacağı göz önünde bulundurularak, dış etkenler sebebiyle devrilmemesi sağlanmıştır.



Şekil 27. Meteoroloji istasyonunun seraya göre konumu ve yönü

Yerine sabitlenen meteoroloji istasyonunun enerji ihtiyacını sera içerisindeki tesisattan sağlayacak olması, enerji hattının oluşturulmasını zorunlu kılmıştır. Enerji hattının açık alanda bırakılması, çevrede otlayan hayvanlar bakımından risk oluşturabileceği için toprak altından iletilmesi sağlanmıştır. İstasyonun gövdesini oluşturan profilin üzerine plastik kelepçelerle sabitlenen kablo, toprak altına çekilen oluklu muhafaza borusu içerisinden seranın içine kadar uzatılmıştır. Sera içerisine ulaştırılan enerji hattının, yan duvarda bulunan elektrik tesisatına bağlanmasıyla istasyon çalışır duruma getirilmiştir.

BÖLÜM 4
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

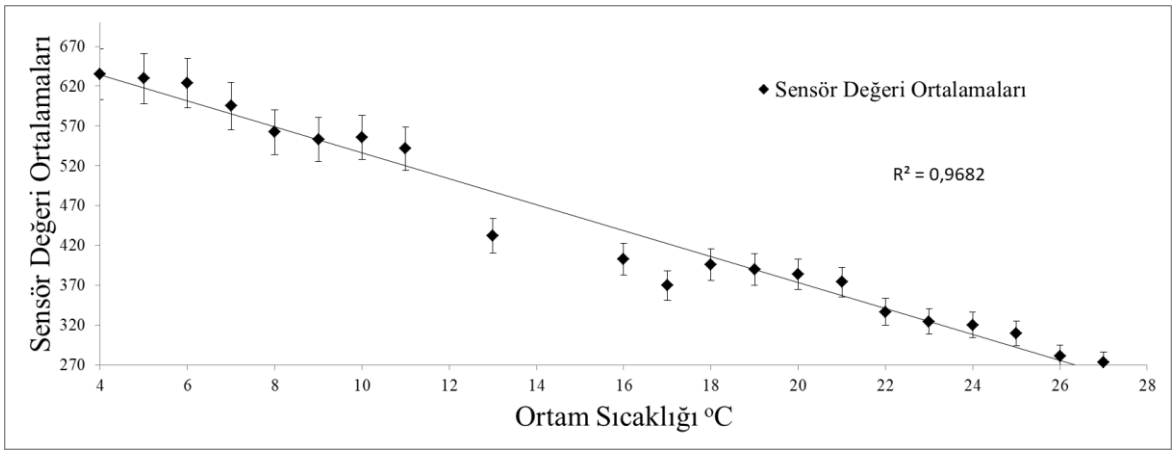
4.1. Esneklik Sensörü için Uygun Direnç ve Sıcaklık Tepkisinin Belirlenmesi

Test için üretilen sensör, düz konumda kalmasını sağlamak için çift taraflı bantla bir cetvel üzerine yapıştırılmıştır. Düz konumdayken minimum değeri okunan sensörün üzerine 5 kg'lık kutu profil çelik yerleştirilerek maksimum değeri de okunabilmiştir. Her okuma öncesinde klemense bağlı olan direnç değiştirilerek 10 Ω ile 330 KΩ arasında 12 adet direnç için sensör tepkileri kaydedilmiştir. Dirençlere göre elde edilen maksimum değerlerden minimum değerleri çıkarılarak en yüksek parça okunabilen 100 Ω'un prototip cihazda kullanılmasına karar verilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Değişen direnç değerlerinde minimum ve maksimum sensör okumaları

Direnç	10 Ω	46 Ω	100 Ω	150 Ω	220 Ω	470 Ω	1 KΩ	5,6 KΩ	10 KΩ	100 KΩ	33 KΩ	330 KΩ
Minimum Değer	88	48	460	538	618	746	851	982	1002	1020	1012	1023
Maksimum Değer	290	169	716	746	820	913	968	1013	1017	1023	1019	1023
Ölçülebilen Aralık	202	121	256	208	202	167	117	31	15	3	7	0

Ortam sıcaklığının arttırılması ve azaltılması aşamalarında, sabit aralıklarla alınan sıcaklık ve sensör tepkisi verileri hafıza kartına kaydedilmiştir. Sera maketi içerisinde ortam sıcaklığının arttırılmasıyla buzdolabında düşürülmesi süreleri birbirine eşit olmadığı için her sıcaklıkta elde edilen kayıt sayısı farklılık göstermiştir. Her sıcaklık değerine karşılık gelen sensör tepkisi verisini belirlemek için, aynı sıcaklıkta alınan kayıtların ortalamaları alınmıştır. Bu sayede ulaşılabilen alt ve üst ortam sıcaklığı değerleri arasında kalan her 1 ^{o}C için tek bir sensör tepkisi belirlenmiştir. Sıcaklık değerlerine karşılık gelen sensör tepkilerinin grafiğini oluşturmak için, hafıza kartındaki veriler MS Excel programında işlenmiştir (Şekil 28).



Şekil 28. Sensör-sıcaklık kalibrasyon grafiği

Sıcaklık ve sensör değerleri negatif yönlü ilişki göstermektedir. Her bir sensör değeri ortalamalasını oluşturan veri sayılarının farklı olması sebebiyle, grafik üzerinde gösterilen hata çubukları %5'lik kabul edilebilir hataya göre çizdirilmiştir. Bu şekilde grafik üzerindeki sensör değeri ortalamaları, her bir sıcaklığa karşılık gelen değer için kendi hatasını gösterir şekilde oluşturulmuştur. Elde edilen grafik üzerine eklenen doğrusal eğilim çizgisi, sensörlerin sıcaklık kompansasyonu için gereken kalibrasyon eşitliğini vermiştir (Eşitlik 4.1). Eğilim çizgisinin belirlilik katsayısının (R^2) 0,97 bulunması, eşitliğin istatistiksel olarak kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

$$y = -16{,}272 \times +698{,}91 \qquad (4.1)$$

Eşitlikte; y: Sensör değeri, x: ^{o}C cinsinden sıcaklık değeridir.

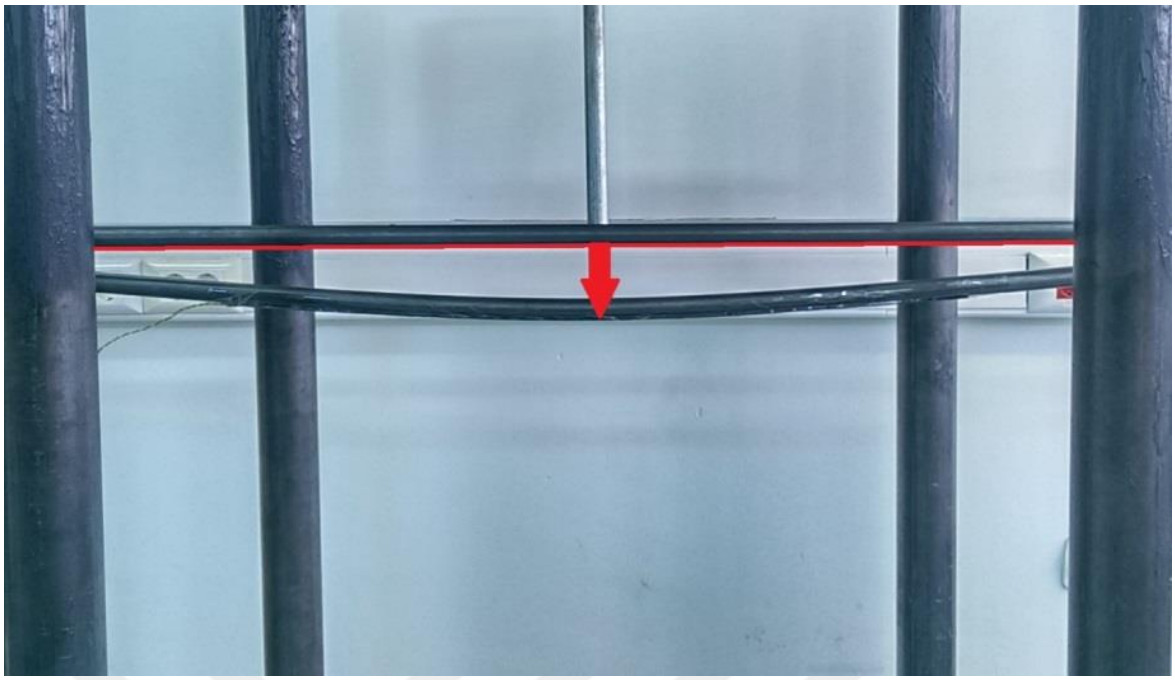
4.2. Basma ve Eğme Deney Sonuçları

İlk deney için profilin ortasına denk gelecek şekilde konumlandırılan sensör, koli bandıyla üzerinden tek kat geçilerek sabitlenmiştir (Şekil 29). Bantlama işlemi esnasında bölgesel basınç noktaları oluşturmamak için sensör, bandın ortasına gelecek şekilde yerleştirilmiş ve ardından profil üzerine sabitlenmiştir.



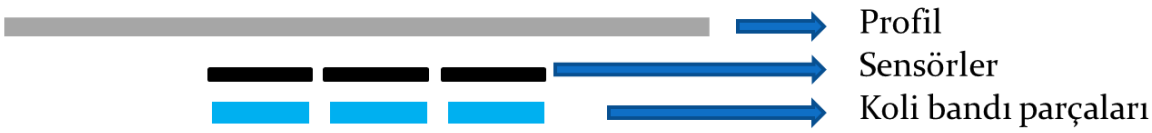
Şekil 29. İlk deneye ait bantlama şeması

Yükleme tablasının kendi ağırlığı olması sebebiyle, profilin yükleme öncesi ağırlığı ve tablanın yerine yerleştirilmesiyle birlikte 40 kg ile başlayan sensör tepkileri her 10 kg artan yükleme sonrası kaydedilmiştir. Son ağırlık olarak 290 kg'a kadar yükleme yapılan deneyde, 160 – 170 kg aralığında sensör tepkilerinin çok değişmesi sebebiyle hata olabileceği düşünülmüştür. Fakat bu aralıkta yükleme ve boşaltma tekrarlanarak sonuçların istikrarlı olduğu görülmüştür. Benzer şekilde, 190 kg ve sonrasındaki yüklemelerde sensör sonuçlarının doğrusal olarak ilerlediği de kaydedilmiştir. Kaydedilmiş görüntüler incelendiğinde, profil gövdesinin, sensörün algılayamayacağı bir yönde eğilmeye başladığı ve bu sebeple sensörün dar bir aralıkta sonuç verdiği fark edilmiştir. Aynı koşullarda devam eden testler için eğme deneyi de gerçekleştirilmiştir. Bu deney esnasında iki ucundan sabitlenen profil, yükleme tablası tam ortasından kuvvet uygulayacak şekilde yatay olarak konumlandırılmıştır. Yükleme tablasının geniş yüzeyi dolayısıyla profil üzerinde yayılı yük oluşturması istenmemiştir. Bu sebeple 40 cm uzunluğunda çelik bir borunun bir ucu düz kalacak şekilde kesilmiştir. Borunun profille temas eden ucu, profilin çember biçimli gövdesini saracak şekilde kavisli olarak kesilmiştir. Profilin üzerine oturan boru ucuyla temas etmemesi için sensör, gövdenin altında kalacak şekilde sabitlenmiştir. Bu şekilde sensörün, profil üzerindeki dış bükey hareketi algılaması istenmiştir. Yükleme tablası üzerine indirilmeden önce, sabitlendiği pozisyonda değeri okunan sensör, tablanın 40 kg'lık ağırlığıyla başlayan ve her yüklemede 10 kg artan basınca maruz bırakılmıştır. Üzerindeki yükleme her arttırıldığında sensör değeri okunan profilin, yükleme 120 kg'a ulaştığında sarkı miktarı çok fazla artmıştır (Şekil 30). Bu şartlar altında mesnet noktalarından kurtulmaya başlamış ve deney sonlandırılmıştır. Yükleme tablasının kaldırılmasının ardından profilin eski pozisyonuna dönmemesi geri döndürülemez deformasyona maruz kaldığını göstermiştir. Bununla birlikte, sensörü sabitleyen bantların 110 kg'dan sonra uçlarından açılarak sensörü serbest bıraktığı da görülmüştür.



Şekil 30. Profil üzerine 120 kg'lık yükleme sonucunda oluşan sarkı miktarı

İlk eğme deneyi sonunda, sensörü profil üzerine sabitleyen bandın uçlarından açılması nedeniyle ikinci bir deney tasarlanmıştır. Tek parça olan sensörün yapısal direnci gereği uç noktalarından, profilin hareketine ters yönlü kuvvet yaratması sebebiyle bandın direncini aşmış olabileceği düşünülmüştür. Buradan hareketle, bir önceki deneyde sensörün temas halinde bulunduğu alanın tamamına denk gelecek şekilde üç kısa sensör (20 cm) üretilmiştir. Sensörlerin her birisi ayrı tepki verecek şekilde uç uca getirilerek profil üzerine koli bandıyla sabitlenmiştir (Şekil 31).



Şekil 31. İkinci deneye ait bantlama şeması

Ayrıca bir önceki deneyde 10 kg olan yükleme artışlarının gereken hassasiyette sonuçlar vermediği de düşünülerek 0 kg'dan başlayarak 5 kg'lık artışların gözlemlenmesi istenmiştir. Buna göre, yükleme tablasının tek başına 40 kg olması sebebiyle 35 kg yüklemeye kadar olan kısmın tabladan bağımsız yapılması gerekmektedir. Profil üzerine geçirilerek tam orta noktasında sabitlenen bir karabin ve ona bağlı zincir düzeneği sayesinde sorun çözülmüştür (Şekil 32). Profil üzerine geçirilen karabinin destek

noktasının, yükleme tablasının basınç uyguladığı noktada olması ve oval iç yüzeyi sayesinde sensörlere temas etmemesi, orijinal deney düzeneği şartlarına uymaktadır.



Şekil 32. Profil üzerine sabitlenen karabin ve zincir düzeneği

Kısa sensörlerle yürütülen eğme deneyi sonucunda, profillerin yüklemeden sonraki tepkileri de gözlemlenmek istenmiştir. Bu sebeple düzenek, 130 kg'a kadar 5 kg'lık artışlarla yüklendikten sonra tekrar 5 kg'lık boşaltmalarla yüksüz haline döndürülmüştür. Her yükleme ve boşaltma aşamasında sensör değerleri kaydedilen deney, aynı profil üzerinde 2 kere tekrarlanmıştır. Son yükleme ve boşaltma döngüsünün ardından, profilin düz formunu kaybettiği gözlemlenmiş ve düzenek bozulmadan 150 kg'a kadar tekrar yüklenip boşaltılmıştır. Bu şekilde yükleme artış miktarının profil deformasyonuna etkisi kaydedilmiştir. Uç uca konumlandırılmış üç sensörden hiçbirisinin bantlarında açılma olmaması, profil üzerine sabitleme yönteminin kullanılabilir olduğunu gösterse de sadece ortadaki sensörün yüklemelere tepki vermiş olması bakımından kısa sensörlerin amaç doğrultusunda kullanılamıyacağını göstermiştir. Buna göre sensör boyutlarının 70 cm olarak kalması, fakat sabitleme yöntemininindeğiştirilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Ayrıca yükleme artışlarının 5 kg olarak devam ettirilerek, karabin ve zincir düzeneğinin kullanılmasının uygun olacağı görülmüştür.

İkinci eğme deneyinden edinilen tecrübeler ışığında bir sonraki deney tasarlanmıştır. Bu deney düzeninde, uzun sensörler tek parça bant yerine birçok noktadan dar bantlarla profile sabitlenmiştir (Şekil 33).



Şekil 33. Üçüncü deneye ait bantlama şeması

Karabin düzeneğiyle başlanan deney, profil üzerinde 100 kg yükleme olana kadar sürdürülmüştür ve tekrarlanabilirliğini görmek için 5 kg'lık boşaltmalarla yüksüz pozisyonuna döndürülmüştür. Döngünün tekrarlanması için gerekli kontroller yapılırken bantların esnemeyerek sensörü, profilin çevresine doğru büktüğü fark edilmiştir. Sensör tepkileri incelendiğinde sadece 25 kg'a kadar uygun veri alınabildiği ve sonrasında enine bükülme dolayısıyla maksimum değerde sonuç vermesine sebep olduğu görülmüştür. Bantlar sökülerek harici bir düzenekte sensörün çalışması test edilmiş ve sorunsuz olduğu anlaşılmıştır. Bunun üzerine sabitleme yönteminin revize edilmesi gerektiği görülmüştür. Tek bir sabitleme materyali kullanmak yerine sensörü hem altından hem de üstünden profile monte etmek üzere çitf taraflı bant ve 15 cm genişliğinde sera tamirat bandı kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Buna göre sensör, profile temas eden yüzeyinden çift taraflı bantla yerine sabitlendikten sonra üzerine tek parça sera tamirat bandıyla kaplama yapılmıştır (Şekil 34).



Şekil 34. Üçüncü deneyde tekrar düzenlenen bantlama şeması

Sera tamirat bandının yapıştırıcı kısmının polietilenle kimyasal tepkimeye girerek çok kuvvetli bir bağ oluşturduğu bilinmektedir. Bant materyalinin de polietilen olması sebebiyle, sensör üzerine sarılmasının ardından kendi üzerine temas eden yapıştırıcı

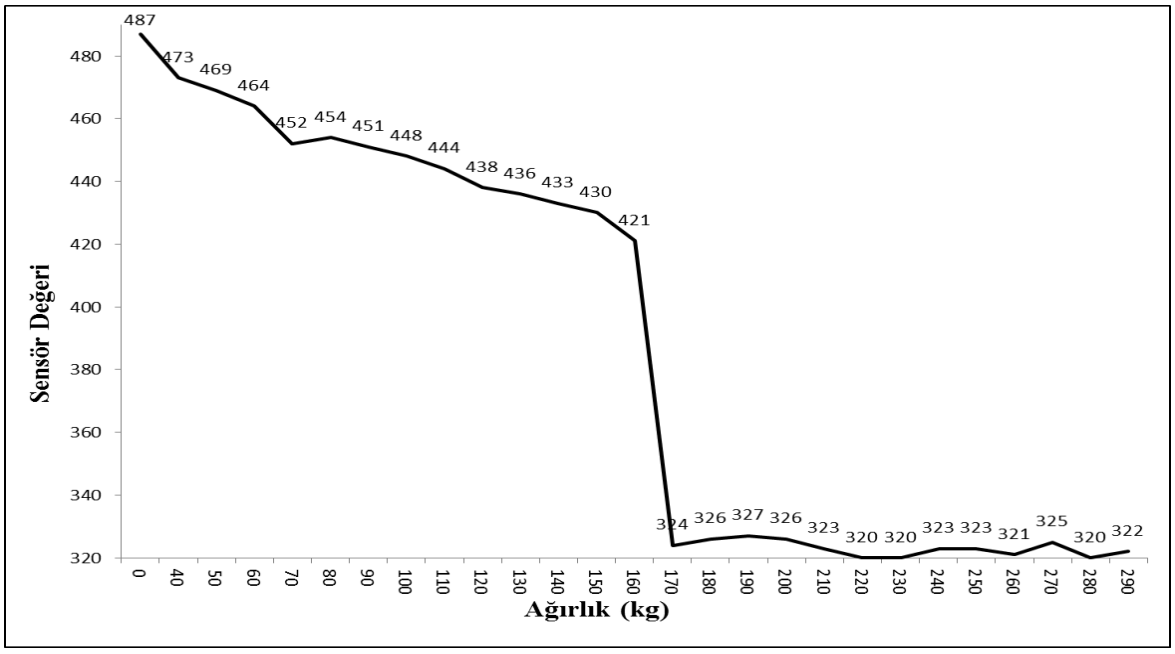
yüzeyinin güçlü bir bağ oluşturması beklenmektedir. Aynı zamanda sera örtü materyaliyle eşdeğer esneme yeteneği sayesinde sensörün, profil çevresine doğru bükülmesini de önleyeceği düşünülmüştür. Deney materyali değiştirilmeden, uygulanan yeni sabitleme yöntemiyle bir kez daha test edilmiş ve herhangi bir sorunla karşılaşılmamıştır. Bu durum, sabitleme yönteminin kullanılabilir olduğunu kanıtlamıştır. İlk eğme deneyinde yaşanan sensör sabitleme sorununun, profildeki sarkının mesnetlerden ayrılmaya sebep olduğu yükleme değerlerinde olması, aynı durumun tekrarlanması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu sebeple, düzenek üzerindeki profil değiştirlmeden 170 kg'a kadar 5 kg'lık yükleme devam ettirilmiştir. Ardından yüksüz durumuna kadar boşaltma işlemi gerçekleştirilmiş ve sabitleme yönteminin performansı gözlemlenmiştir. Deney sonunda profilin "V" şeklinde bükülü kalmış olmasına karşın sensörün pozisyonunu koruduğu görülmüştür.

Eğme deneylerinden edinilen tecrübe ışığında, ilk basma deneyi esnasında profilin 190 kg'dan sonra sensörün algılayamadığı yönde bükülmeye devam etmesi incelenmek istenmiştir. Buna göre 70 cm'lik üç sensör, profilin gövdesini kapatacak şekilde yanyana sabitlenmiş ve deney 10 kg'lık artan yüklemelerle 250 kg'a kadar sürdürülmüştür. Deneyin tekrarlanabilirliğini gözlemlemek adına tekrak yüksüz durumuna kadar 10 kg'lık boşaltmayla döngüsü tamamlanan deney iki doldurma ve boşaltma döngüsü boyunca sürdürülmüştür. Sensör tepkileri incelendiğinde birisinin yüklemeye tamamen tepkisiz olduğu bir diğerinin ise sadece ikinci döngü başında tepki verdiği görülmüştür. Buna göre yüklemeye sürekli olarak tek bir sensörün tepki verdiği anlaşılmaktadır. Deney görüntüleri incelendiğinde, ilk deneydekinin aksine, profilin tek yönde eğildiği anlaşılmıştır. Bu durum, ilk deneydeki sabitleme yönteminin mevcut soruna yol açabileceğini göstermektedir. Bu sebeple, ilk deneydeki sensör konumlandırması ve diğer eğme deneyleri sonucunda geliştirilen sabitleme yönteminin basma testleri için uygun olduğu söylenebilmektedir.

Laboratuvar ortamında yürütülen deneyler neticesinde, esneklik sensörlerinin konumu ve sabitlenme şekilleri belirlenmiştir. Bununla birlikte, serada yürütülecek veri toplama aşaması için sensörlerin profil hareketine karşı verdiği tepkilerin yeterliliği de test edilmiştir. Laboratuvarda basma ve eğme testlerini içerir şekilde toplam dört deney yürütülmüştür.

4.2.1. Birinci Deney Sonuçları

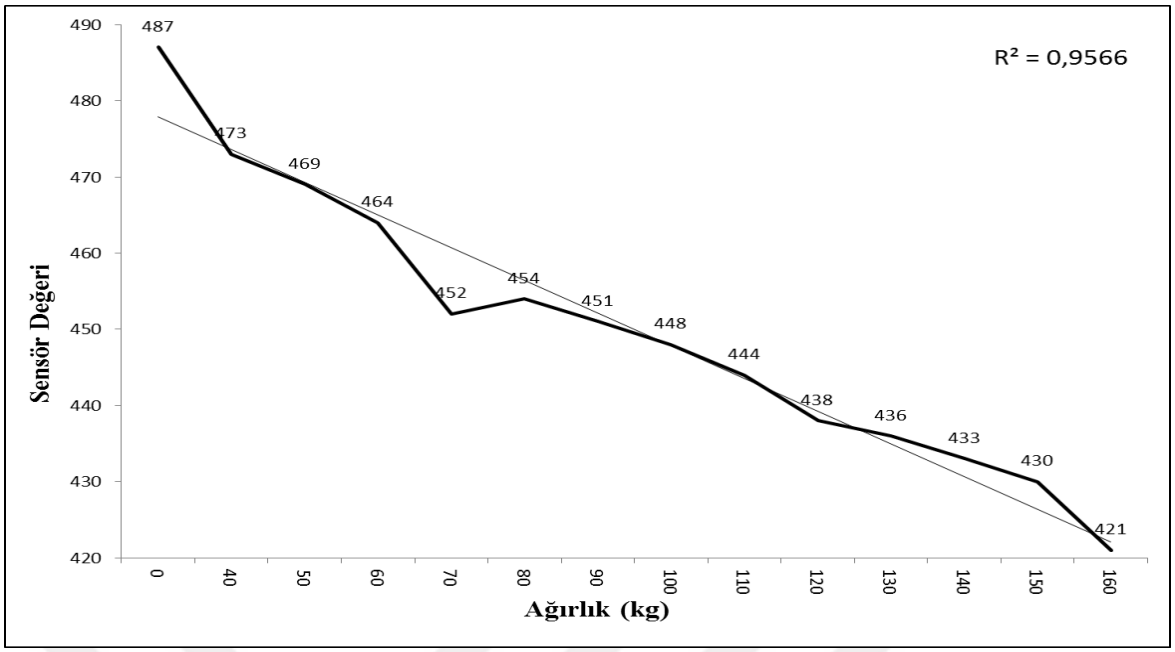
Birinci deney, bir basma ve bir eğme testi şeklinde yürütülmüştür. Yükleme aralığı olarak belirlenen 10 kg, yükleme tablasının boş ağırlığı olan 40 kg sonrasında eklenerek devam etmiştir. Basma testiyle başlayan deney, 290 kg ağırlığa kadar sürdürülmüştür. Test sonucunda elde edilen sensör sonuçlarına dair veri seti (Ek Tablo 1), grafik oluşturularak incelenmiştir (Şekil 35).



Şekil 35. Birinci deney basma testi sonuçları

Şekil 35 incelendiğinde, yüksüz durumdaki profile yükleme tablasının kendi ağırlığıyla uygulanan basınç sonrasında, 170 kg'a kadar görülen en yüksek sensör tekpisinin alındığı görülmektedir. Daha sonra eklenen her 10 kg'lık artışla karşılaştırıldığında elde edilen tepki, beklendiği gibi azalan yönlüdür. Bu şekilde 160 kg yüklemeye kadar negatif yönlü ilişkisini sürdüren sensör tepkileri, ağırlık 170 kg'a çıkartıldığında şiddetli bir düşüş göstermiştir. Test süresince gözlenen sensör sonuçları doğrultusunda, bu aralıkta boşaltma ve yükleme olarak tekrarlanan uygulamayla değişimin istikrarlı olduğu görülmüştür. Buna göre, basma testi için seçilen profilin belirlenen yükleme değerinde burkulmaya başladığı anlaşılmıştır.

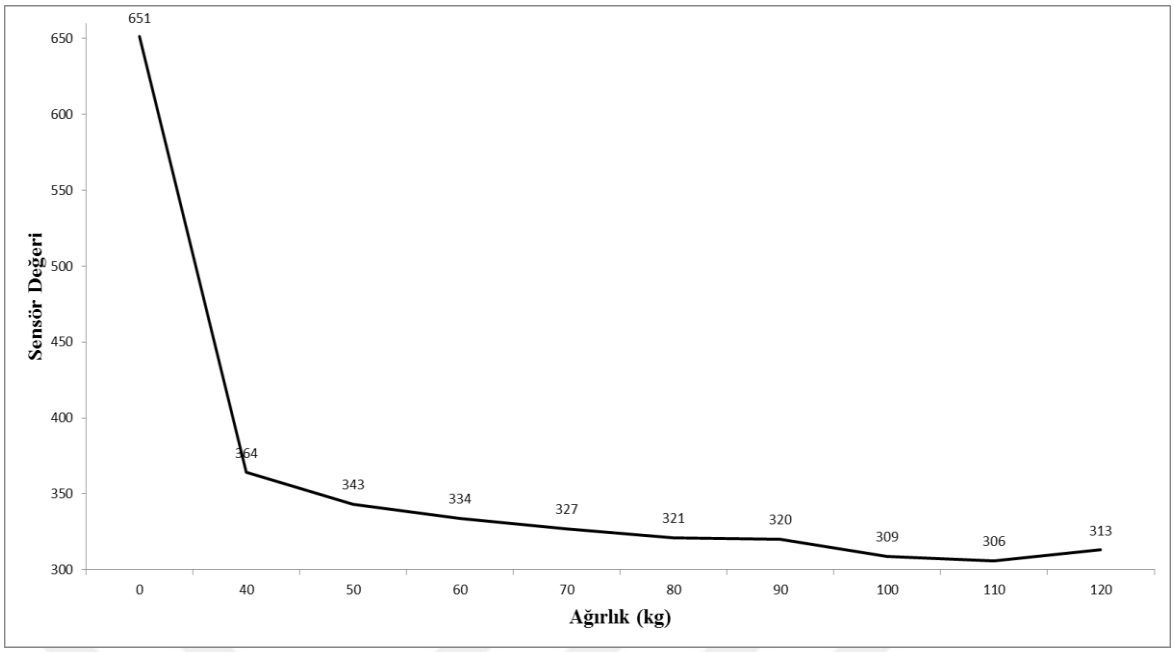
Burkulma basıncına kadar olan yükleme testi sonuçlarının grafik üzerinden incelenmesi, esneklik sensörünün performansını ortaya koymaktadır (Şekil 36).



Şekil 36. Birinci deney basma testi burkulma basıncına kadar yapılan yükleme

Şekil 36'da görülen doğrusal eğilim çizgisi, esneklik sensörünün artan yüklemelerle negatif ilişkili olarak sonuç verdiğini ortaya koymaktadır. Eğilim çizgisinin, sensör sonuçlarıyla olan 0,96'lık korelasyonu doğrusal ilişkiyi destekler sonuç vermektedir.

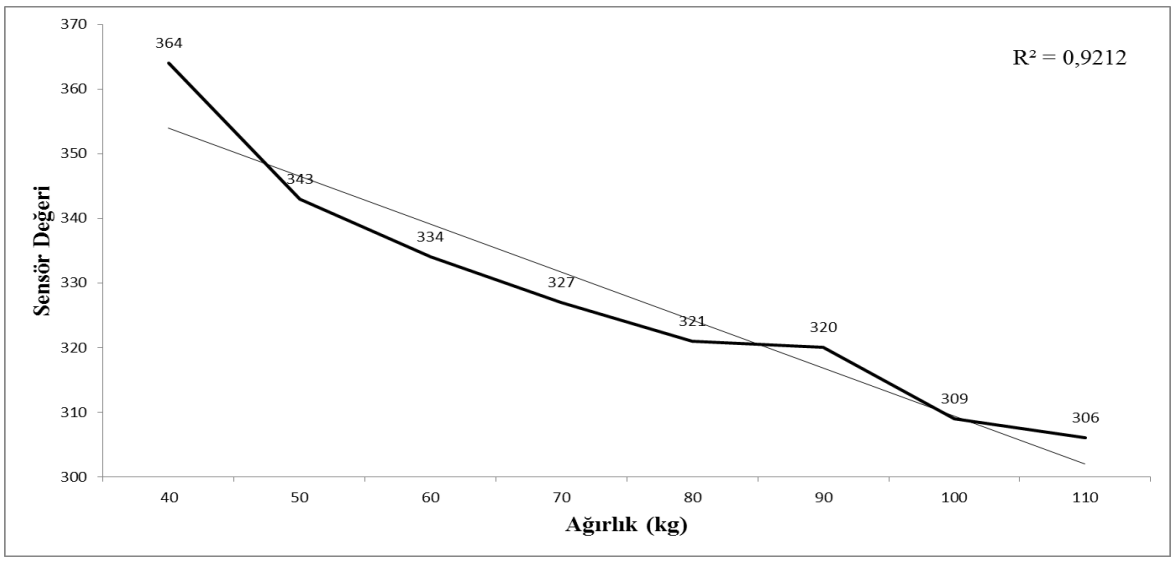
Basma testiyle aynı koşullarda ve yükleme aralığında sürdürülen eğme testi, profil üzerinde 120 kg ağırlık yükleninceye kadar sürdürülmüştür. Profil üzerindeki basıncı tam orta noktasından uygulamak üzere oluşturulan düzenek, çalışmanın yöntem bölümünde detaylarıyla anlatılmıştır. Bu sayede göz önünde bulundurulacak yüklemenin yayılı yük olarak etki etmesi önlenmiştir. Test sonucunda elde edilen sensör sonuçlarına dair veri setiyle (Ek Tablo 2) yükleme ağırlıkları grafik olarak gösterilmiştir (Şekil 37).



Şekil 37. Birinci deney eğme testi sonuçları

Grafik incelendiğinde, yükleme öncesi sensör tepkisiyle yükleme tablasının kendi ağırlığı olan 40 kg'lık yükleme sonrasındaki tepkisi arasında normalden fazla değişim görülmektedir.

Benzer şekilde 110 kg'dan sonraki yüklemenin, grafiğin geri kalanının aksine artan yönlü sonuç vermiş olması, sensörün profilden ayrılarak düzleşmesinden ileri gelmektedir. Buna göre yüklemenin 40 kg'dan 110 kg'a kadar olan kısmından elde edilen sensör tepkilerinin detaylı incelenmesi, sensörlerin gerçek tepkisini ortaya koymada etkili olacaktır (Şekil 38).

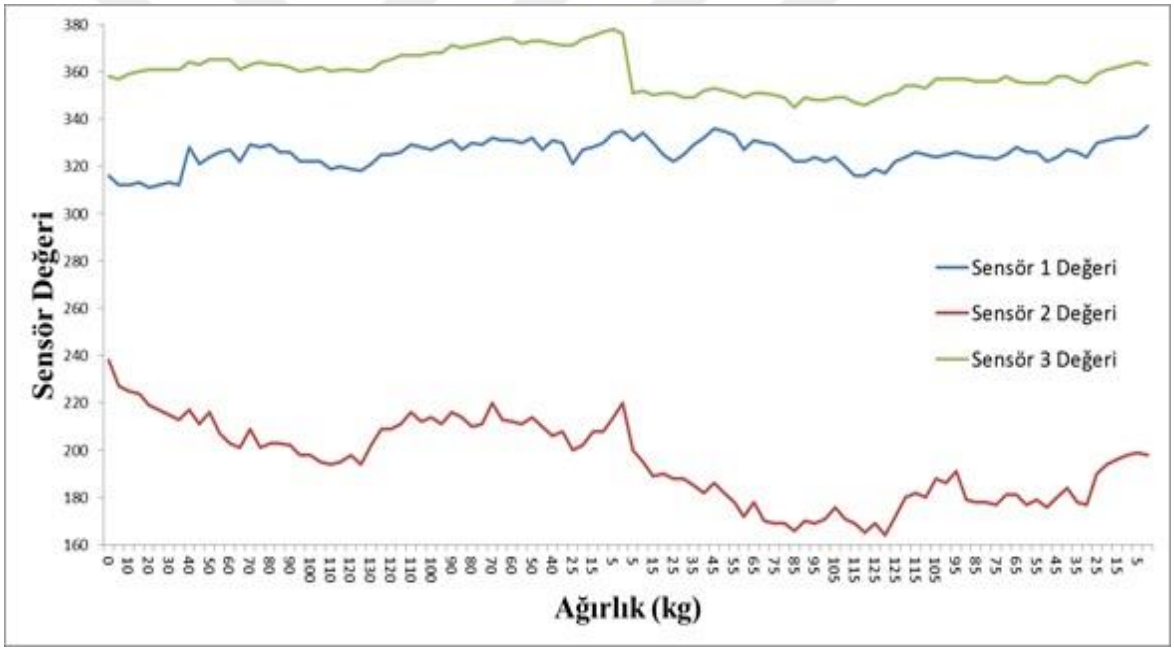


Şekil 38. Birinci deney eğme testinin 40 – 110 kg yüklemesi

Şekil 38'de görülen doğrusal eğilim çizgisi, esneklik sensörünün artan yüklemelerle negatif ilişkili olarak sonuç verdiğini ortaya koymaktadır. Eğilim çizgisinin, sensör sonuçlarıyla olan 0,92'lık korelasyonu doğrusal ilişkiyi destekler sonuç vermektedit.

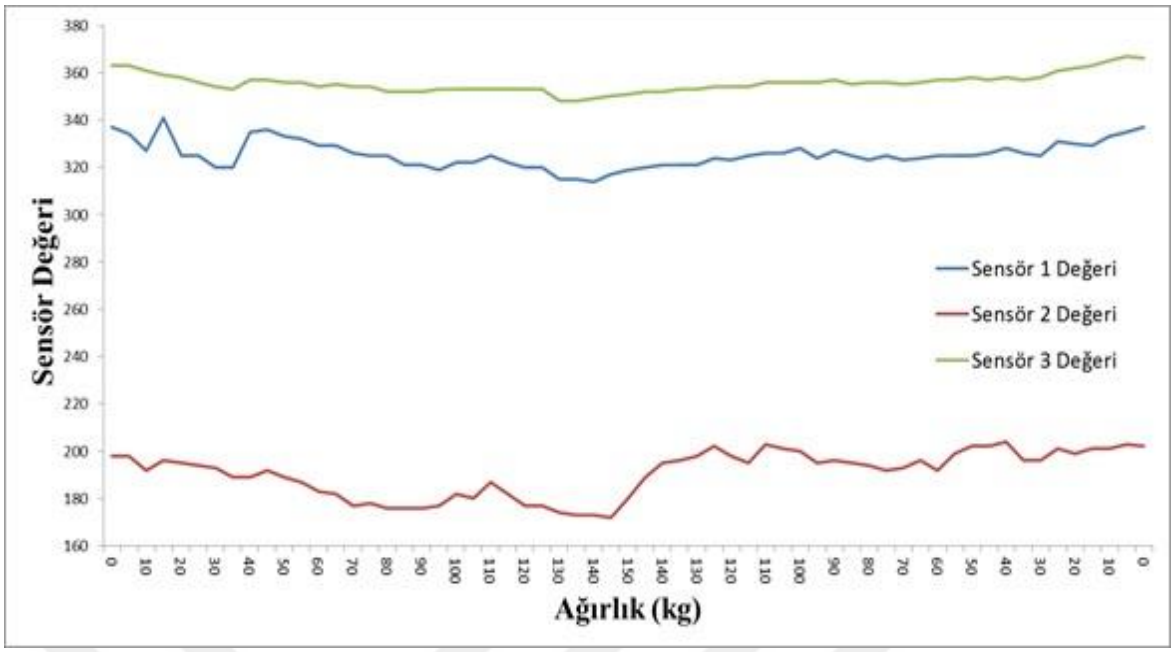
4.2.2. İkinci Deney Sonuçları

Birinci deneydeki eğme testi sonucunda belirlenen sabitleme kusurunu gidermek için planlanan deneyde üç kısa (20 cm) sensörle bir eğme testi yapılmıştır. Deneyde yükleme aralığı 5 kg'a düşürülmüş ve 130 kg'a kadar sürdürülen yüklemeler aynı aralıkla yüksüz konuma kadar boşaltılmıştır. Yükleme ve boşaltma işlemleri iki kez aynı profil üzerinde tekrarlanmıştır (Şekil 39). İlk deneydeki eğme testinde gözlemlenen fazla yükleme durumunda profilin davranışları da gözlemlenmek istenmiş ve düzenek değiştirilmeden 150 kg'a kadar son bir yükleme-boşaltma işlemi yapılmıştır (Şekil 40).



Şekil 39. İkinci deney eğme testi sonuçlarını

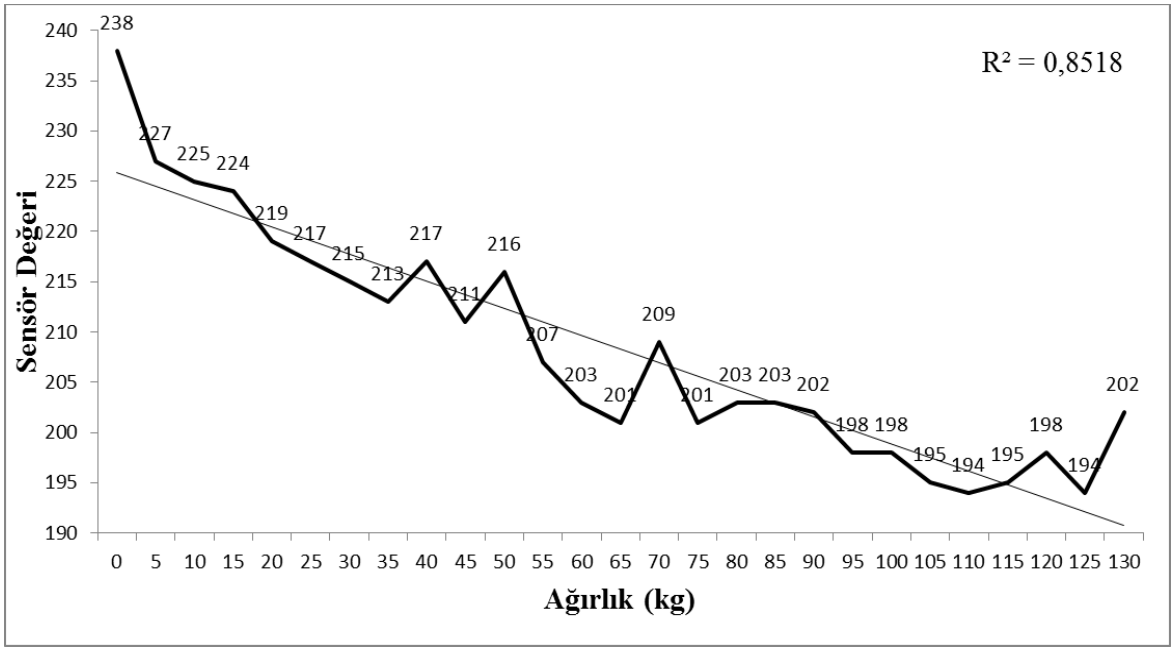
Sensör tepkileri incelendiğinde 1 ve 3 numaralı sensörlerin artan ve azalan yüklemelerle orantılı tepkiler vermediği görülmektedir. İki numaralı sensörün, sarkmanın maksimum olduğu orta noktada bulunmasından dolayı artan ve azalan yüklemelere orantılı tepkiler verdiği görülmektedir. Buna göre diğer iki sensörün, yükleme ile ilişkili olmayan sonuçlar üretmesi, sabitleme yönteminin amaç doğrultusunda kullanılamaz olduğunu göstermektedir.



Şekil 40. İkinci deney eğme testi için fazla yükleme sonuçları

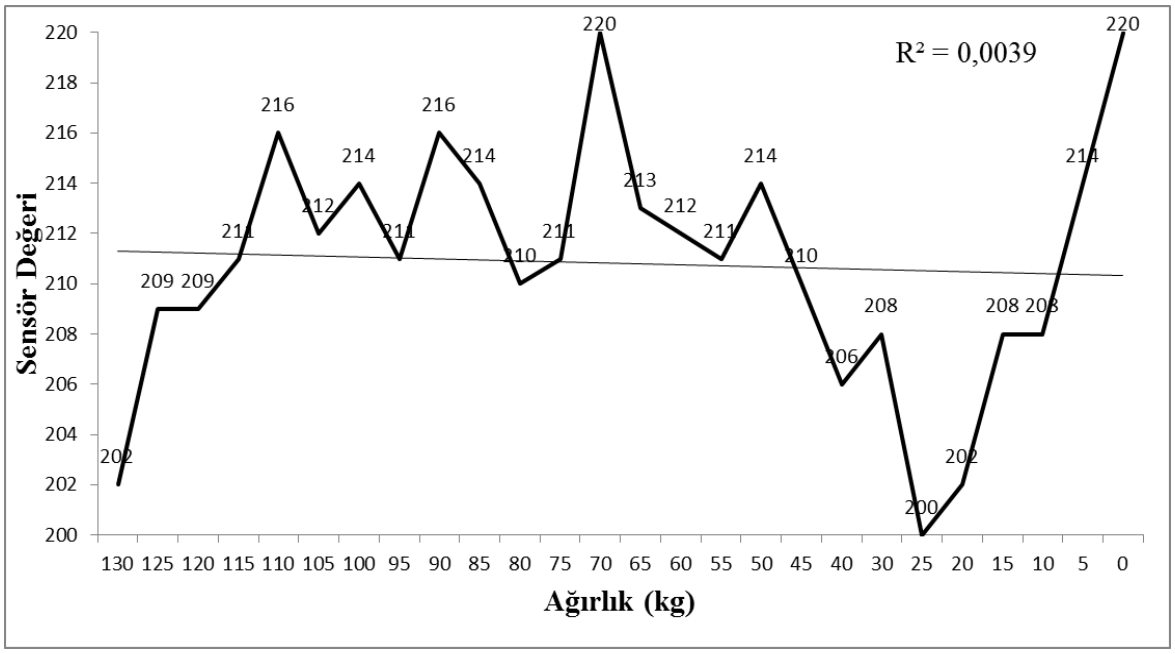
Benzer durumun, fazla yüklemenin yapıldığı test için de geçerli olduğu Şekil 40'da anlaşılmaktadır. Fazla yükleme işleminin ardından düz formunu kaybeden profil, boşaltma aşamasında da artan sensör sonuçları üretilmemesini açıklamaktadır.

Yüklemeye beklenen tepkiyi veren sensör 2'nin detaylı incelenmesi, sensör performansının izlenebilmesi açısından önemlidir. Bu sebeple, test ile elde edilen sensör verilerinden (Ek Tablo 3) 2 numaralı sensörün ilk yükleme aşaması Şekil 41'de verilmiştir.



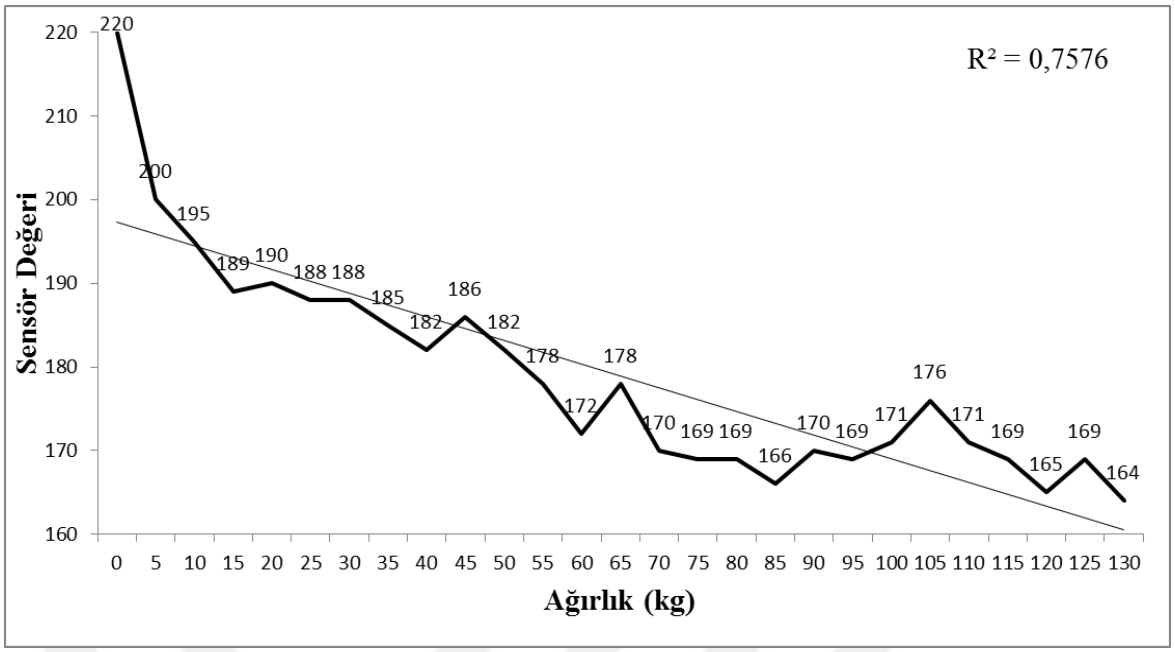
Şekil 41. İkinci deneyde sensör 2'nin ilk yükleme sonuçları

Şekil 41’de görülen doğrusal eğilim çizgisi, kısa esneklik sensörünün de artan yüklemelerle negatif ilişkili olarak sonuç verdiğini ortaya koymaktadır. Eğilim çizgisinin, sensör sonuçlarıyla olan 0,85’lık korelasyonu doğrusal ilişkiyi destekler sonuç vermektedir. İlk yüklemenin ardından aynı yükleme aralığıyla boşaltılan ve tekrar yüklenen profil üzerindeki sensörden alınan veriler açıkça göstermiştir ki; ilk yükleme sonunda sabitleme yöntemi sebebiyle hata veren sensör istikrarsız sonuçlar vermeye devam etmiştir. Normal şartlarda yüklemeyle ters ilişkili veri üretmesi gereken sensörden toplanan sonuçlar grafiklere dönüştürülmüştür (Şekil 42-44).



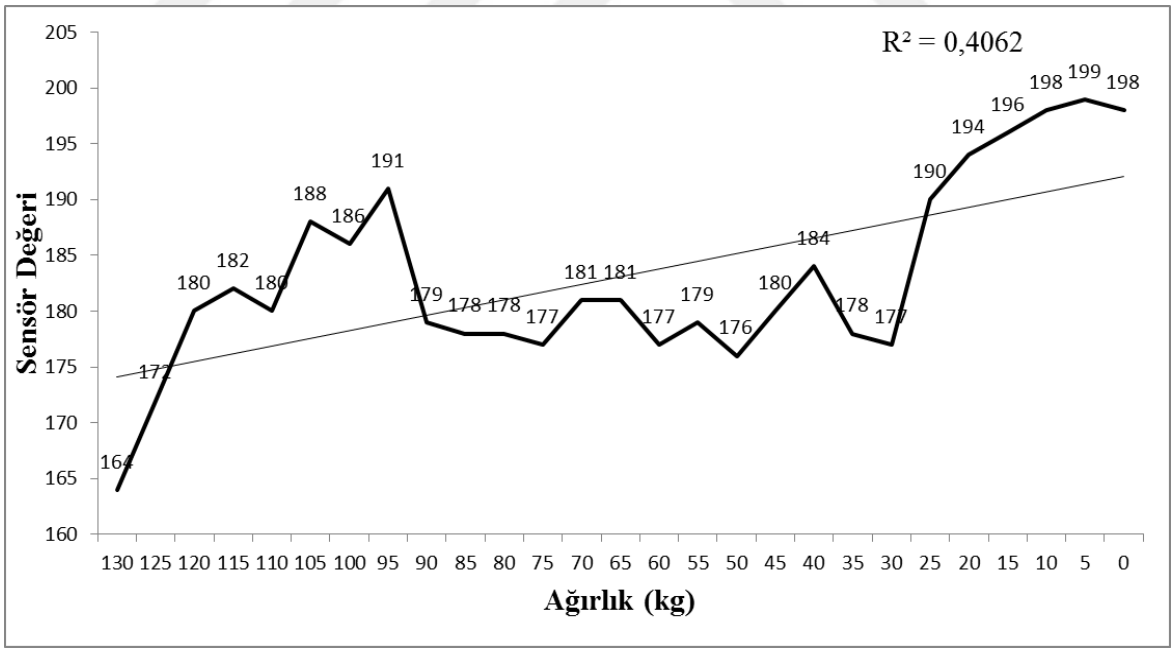
Şekil 42. İkinci deneyde sensör 2’nin ilk boşaltma sonuçları

Şekil 42’de görülen doğrusal eğilim çizgisi, esneklik sensörünün azalan yüklemelerle negatif ilişkili olarak artan sonuç vermediğini ortaya koymaktadır. Eğilim çizgisinin, sensör sonuçlarıyla olan 0,004’lük korelasyonu, varılan sonucu desteklemektedir.



Şekil 43. İkinci deneyde sensör 2'nin ikinci yükleme sonuçları

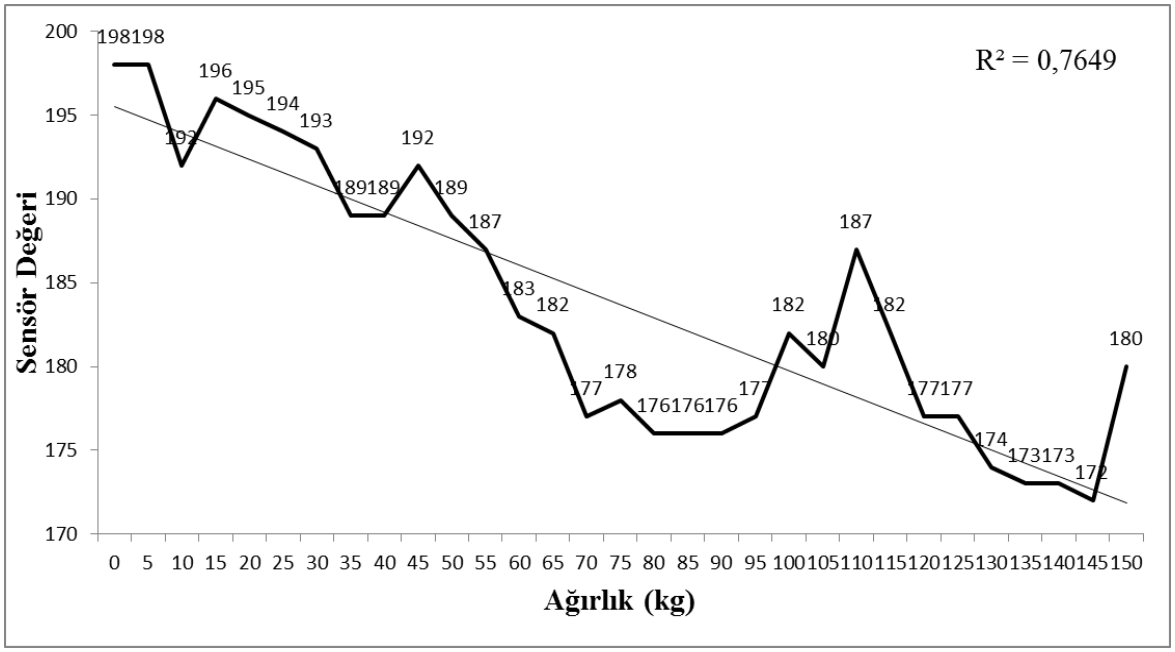
Şekil 43'de görülen doğrusal eğilim çizgisi, esneklik sensörünün tekrarlanan yüklemelerde beklendiği gibi azalan sonuç verdiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 44. İkinci deneyde sensör 2'nin ikinci boşaltma sonuçları

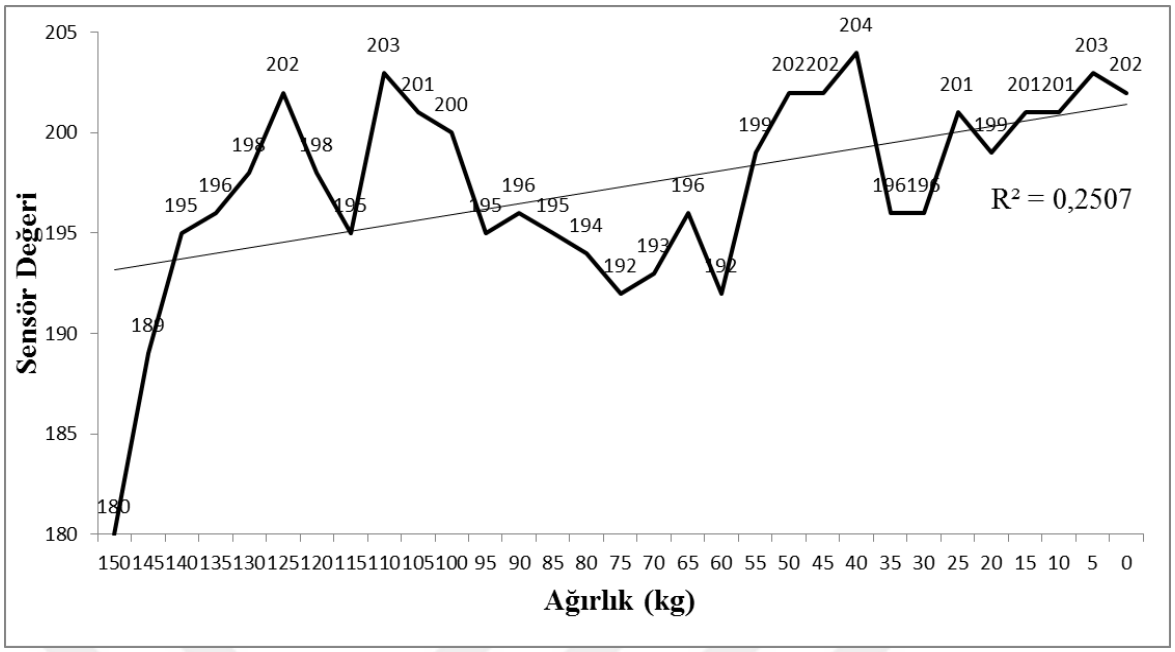
Şekil 44'de görülen doğrusal eğilim çizgisi, esneklik sensörünün azalan yüklemelerle negatif ilişkili olarak artan sonuç vermediğini bir kez daha ortaya koymaktadır. Eğilim çizgisinin, sensör sonuçlarıyla olan 0,41'lik korelasyonu, varılan sonucu desteklemektedir.

Genel olarak grafikleri incelendiğinde sensörün yükleme aşamalarını temsil etmede daha başarılı olduğu görülmektedir. Sensör boyunun kısa olmasından ileri gelen, profildeki sarkma bölgesinin ortasında bulunuyor olmasının bu sonucu doğurduğu düşünülmektedir. Boşaltma aşamasında ise istikrar gösteremiyor olması, sensör sabitleme yöntem hatası olarak görülmüştür. Buna göre durumun analizini yapmak adına yükleme testinde fazla yük uygulanarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Profilin bu testi esnasında yükleme ve boşaltma aşamalarının sensör sonucu grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 45-46).



Şekil 45. İkinci deneyde sensör 2 için fazla yük yükleme sonuçları

Bu testin, diğer yükleme aşamalarına benzer şekilde negatif ilişkili sonuç verdiği grafikten görülmektedir. Grafik üzerinde oluşturulan doğrusal eğilim çizgisi, sensör sonuçları ile 0,77'lik belirlilik katsayısı ortaya koymuştur.



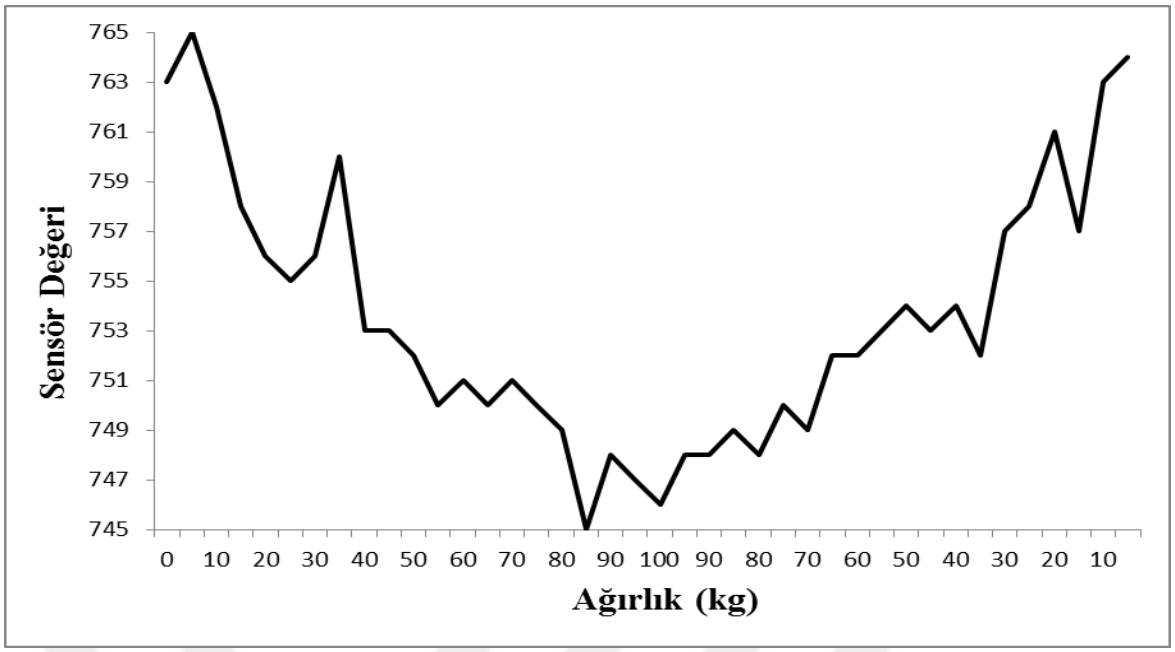
Şekil 46. İkinci deneyde sensör 2 için fazla yük boşaltma sonuçları

Fazla yüklemenin tapıldığı testin boşaltma aşamasında sensörün, diğer boşaltma aşamalarında olduğu gibi düşük belirlilikte (0,25) sonuç vermesi, kısa sensörlerin hedef doğrultusunda kullanılamayacağını göstermiştir.

4.2.3. Üçüncü Deney Sonuçları

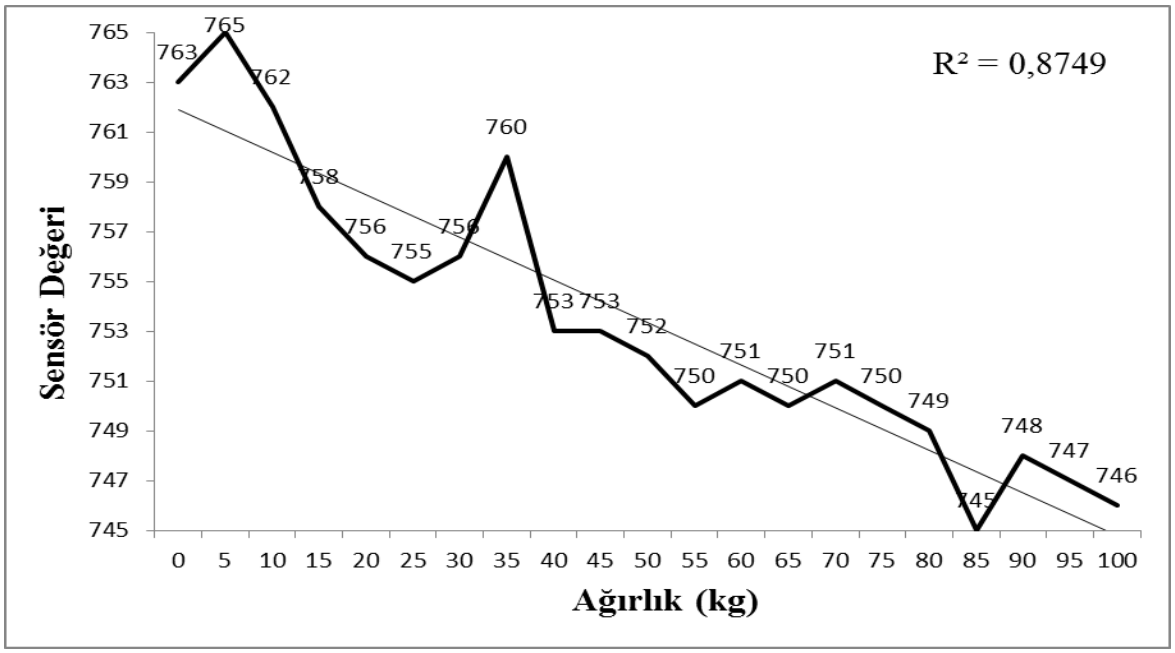
İkinci deney sonucuna göre elde edilen kısa sensörlerin amaç doğrultusunda kullanılamayacağı bilgisi, 70 cm'lik sensörlerin kullanılmasının uygun olduğunu göstermiştir. Sensörlerin profiller üzerine sabitlenme yöntemiyle alakalı sorunun giderilmesi için planlanan üçüncü deneyde sensörü birkaç noktadan dar bir bantla sabitleme yöntemi denenmiştir. Eğme testinin yapıldığı deney düzeninde 5 kg'lık artış ve azalışlarla 100 kg'a kadar bir yükleme boşaltma yapılmıştır. Fazla yükleme durumunda sensör tepkisini değerlendirmek üzere de 170 kg'a kadar bir yükleme boşaltma uygulanmıştır.

İlk olarak 100 kg'a kadar yükleme boşaltma yapılan test sonucunda elde edilen sensör sonuçlarına dair veri seti (Ek Tablo 4), yükleme ağırlıklarıyla birlikte grafik olarak gösterilmiştir (Şekil 47).

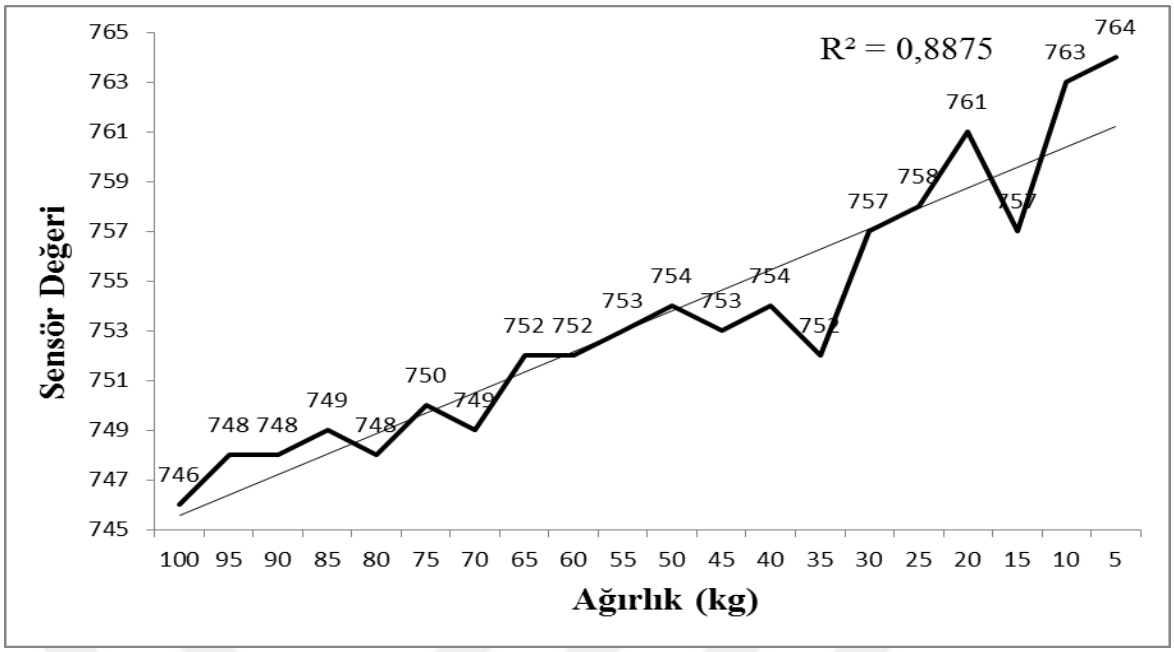


Şekil 47. Üçüncü deney eğme testi sonuçları

Grafik incelendiğinde, sensör tepkilerinin beklendiği gibi yüklemeyle negatif ilişkili olarak seyretiği görülmektedir. Buna karşın verilerdeki ani yön değişikliklerinin çok sayıda olması bölgesel olarak incelenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu sebeple sensör tepkileri yükleme ve boşaltma aşamalarında ayrı grafiklerde incelenmiştir (Şekil 48-49).

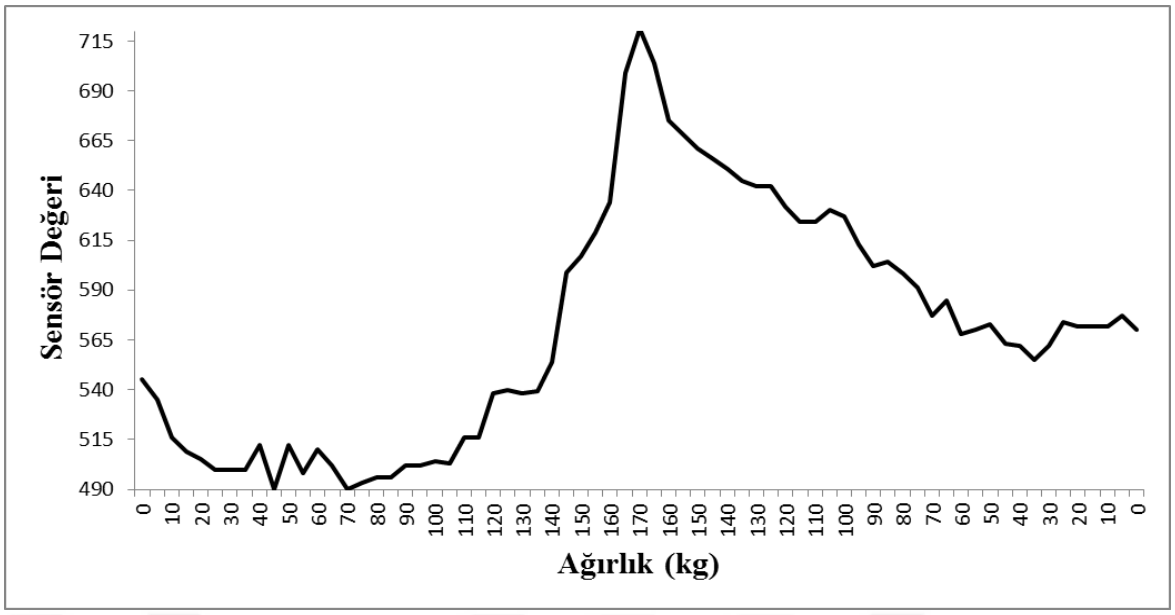


Şekil 48. Üçüncü deney eğme testi yükleme aşaması



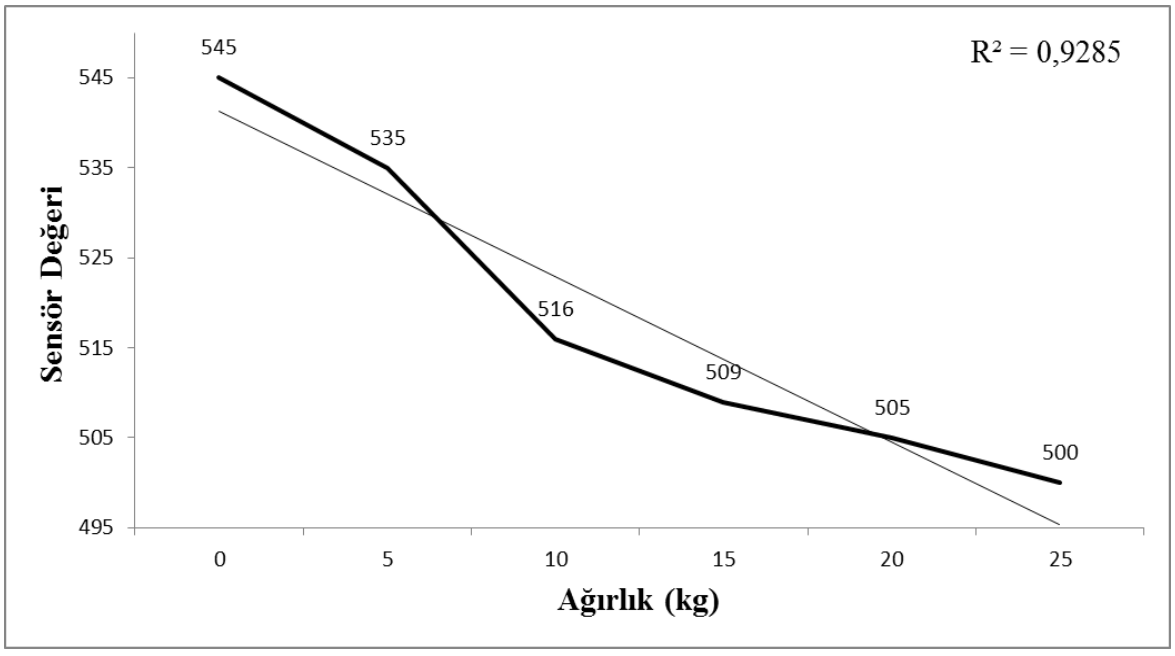
Şekil 49. Üçüncü deney eğme testi boşaltma aşaması

Yükleme aşamasını gösteren Şekil 48'de görülen doğrusal eğilim çizgisi, esneklik sensörünün yükleme aşamasında beklendiği gibi azalan sonuç verdiğini ortaya koymaktadır. Benzer şekilde boşaltma aşamasını gösteren Şekil 49'daki doğrusal eğilim çizgisi de beklenen sonuçlarla paraleldir. Bununla birlikte sensör sonuçlarıyla gösterdiği 0,89'luk belirlilik oranı da yükleme aşamasından daha iyi bir sonuç vermiştir. Her iki durum için de istikrarlı sonuçlar alınsa da veri setinde ani yön değiştiren sensör tepkilerinin, belirlilikdeki azalmaya sebep verdiği açıkça görülmektedir. Bu durumda deney düzeneği için belirlenen sabitleme yönteminin fazla yükleme altındaki performansının da test edilmesi gerektirmiştir. Bu sebeple 170 kg'a kadar yükleme boşaltma yapılan test sonucunda elde edilen sensör sonuçlarına dair veri seti (Ek Tablo 5), yükleme ağırlıklarıyla birlikte grafik olarak gösterilmiştir (Şekil 50).



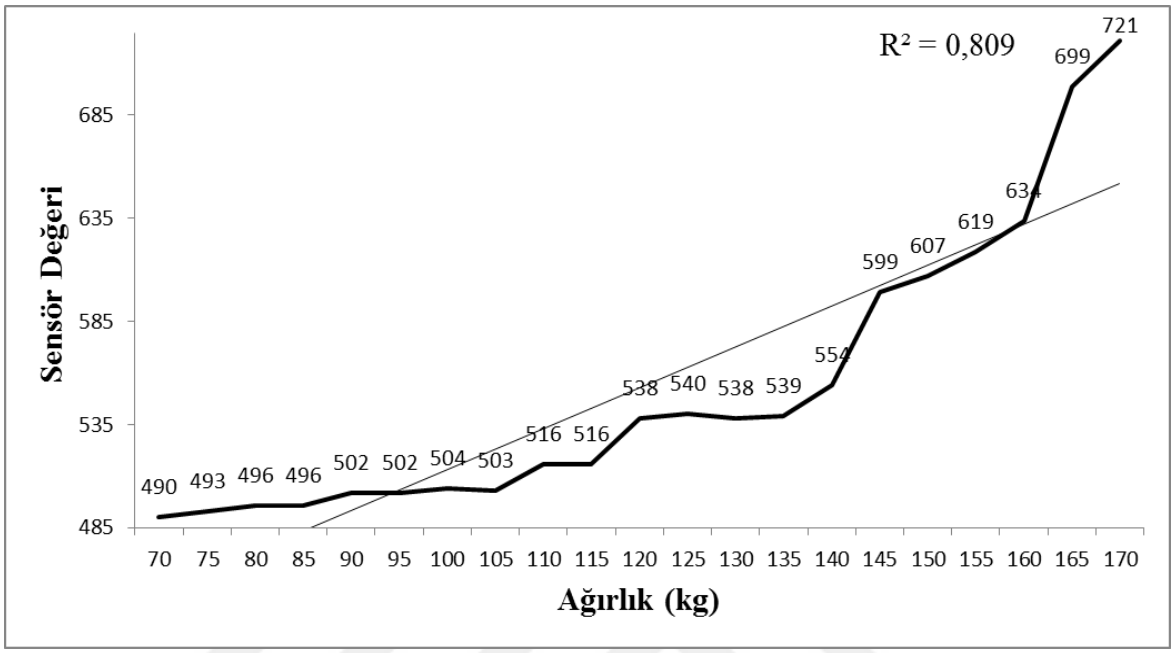
Şekil 50. Üçüncü deney eğme testi fazla yükleme sonuçları

Şekil 50 incelendiğinde, sensör tepkilerinin beklendiği gibi yüklemeyle negatif ilişkili olarak seyrettiği fakat 25 kg'lık yüklemenin ardından duraklayarak 70 kg'dan sonra tam tersi yönde hareket ettiği görülmektedir. Bu durum grafiğin bölgesel olarak incelenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu sebeple sensör tepkilerinin 25 kg yüklemeye kadar olan kısmı ve 70 – 170 kg aralığında yüklemesi ayrı grafiklerde incelenmiştir (Şekil 51-52). Boşaltma aşamasında ise beklenenin tam tersi yönde hareket ettiği açıkça görülmektedir. Bu sebeple ayrı bir grafikle incelenmemiştir.



Şekil 51. Üçüncü deney fazla yük altında 0 - 25 kg yükleme sonuçları

Şekil 51’de görülen doğrusal eğilim çizgisiyle sensör tepkilerinin gösterdiği 0,93’lük korelasyonun beklenen sonuçlara yakın tepkiler verse de temsil ettiği aralığın çok ufak olması sebebiyle kullanılabilir olmadığı düşünülmektedir.



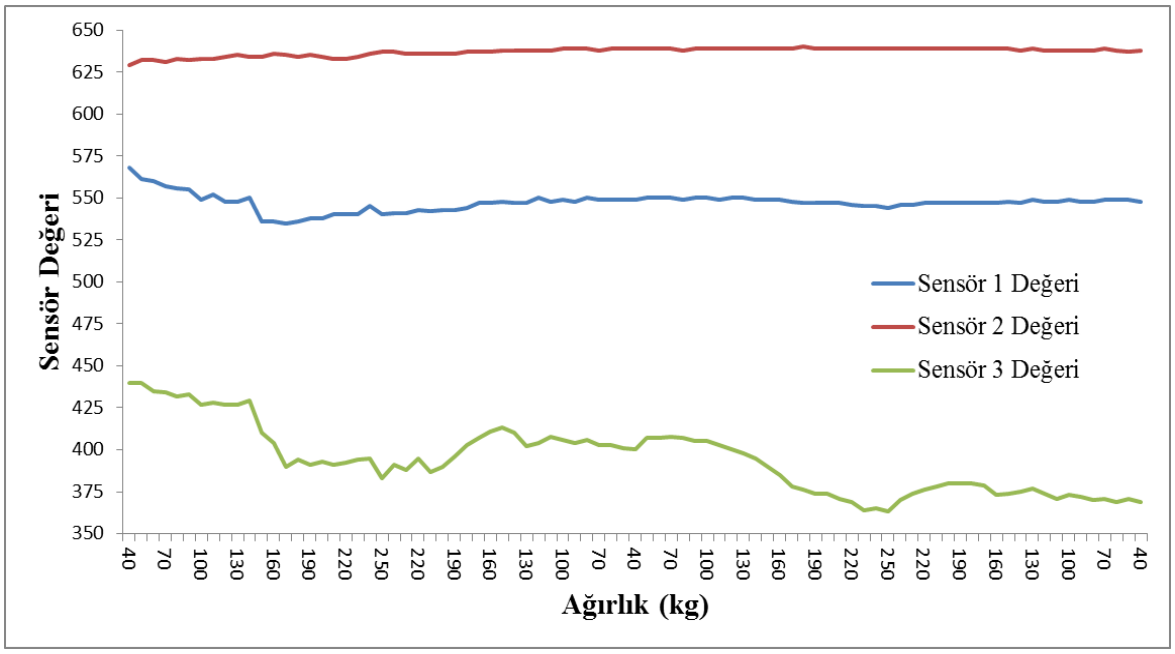
Şekil 52. Üçüncü deney fazla yük altında 70 - 170 kg yükleme sonuçları

Şekil 52’de görülen doğrusal eğilim çizgisiyle sensör tepkilerinin gösterdiği korelasyonun 0,81 olması başarılı bir sonuç gibi görünse de beklenenin aksi yönünde hareket etmesi, deney esnasında fark edilen bantlama kaynaklı hatayı ortaya koymaktadır. Buna göre, sensör üzerine yapıştırılan sera tamirat bandı, yeterince gergin tutulmayarak kısa çatlaklar oluşturacak şekilde buruşmuştur. Fazla yükleme sebebiyle gerginleşen çatlaklar, sensörü birkaç noktadan profil üzerine kıvırarak çalışmaz hale getirmişlerdir. Normal yükleme testi esnasında beklenilen sonuçların alınmış olması durumu kanıtlar niteliktedir.

Buradan elde edilen sonuç doğrultusunda en yüksek belirliliğin birinci deneyde kaydedildiği anlaşılmaktadır. Bu sebeple birinci deneydeki sabitleme yönteminde, fazla yükleme esnasında görülen uçlardan açılma probleminin önlenmesinin yeterli olacağı görülmüştür. Bunun için sensörlerin altına ikinci bir katman yerleştirilmesinin ve üzerinden daha esnek bir bantla gergin bir şekilde kaplanmasının yeterli olduğu anlaşılmıştır.

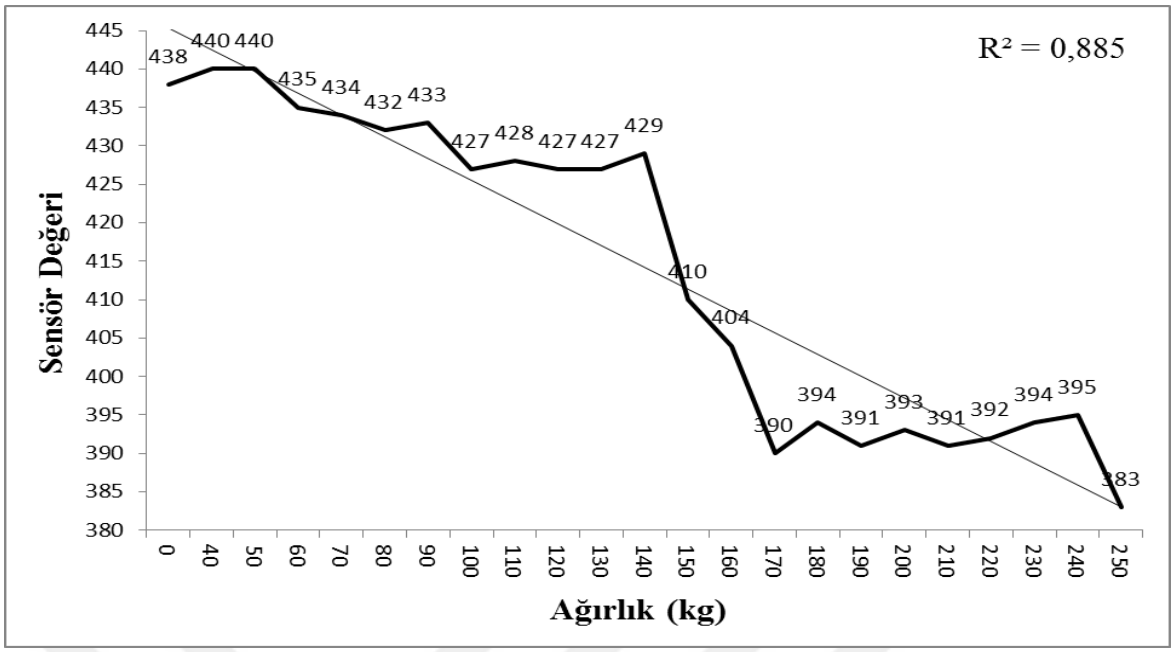
4.2.4. Dördüncü Deney Sonuçları

Eğme testlerinde belirlenen hataların giderilmesinin ardından, basma testinde karşılaşılan bir sorunu çözümlemek üzere sadece basma testinden oluşan bir deney planlanmıştır. Bu deneyde üç adet 70 cm'lik sensör, profilin etrafını her yöne karşı hareketini algılayacak şekilde yerleştirilmiştir. Sabitleme yöntemi, bir önceki deneyde belirlendiği üzere iki taraftan bantlama olacak şekilde uygulanmıştır. Deney 40 kg ağırlıkla başlayıp 250 kg'a kadar 10 kg artışla yükleme ve aynı miktarda boşaltmayla iki tur şeklinde sürdürülmüştür (Şekil 53).



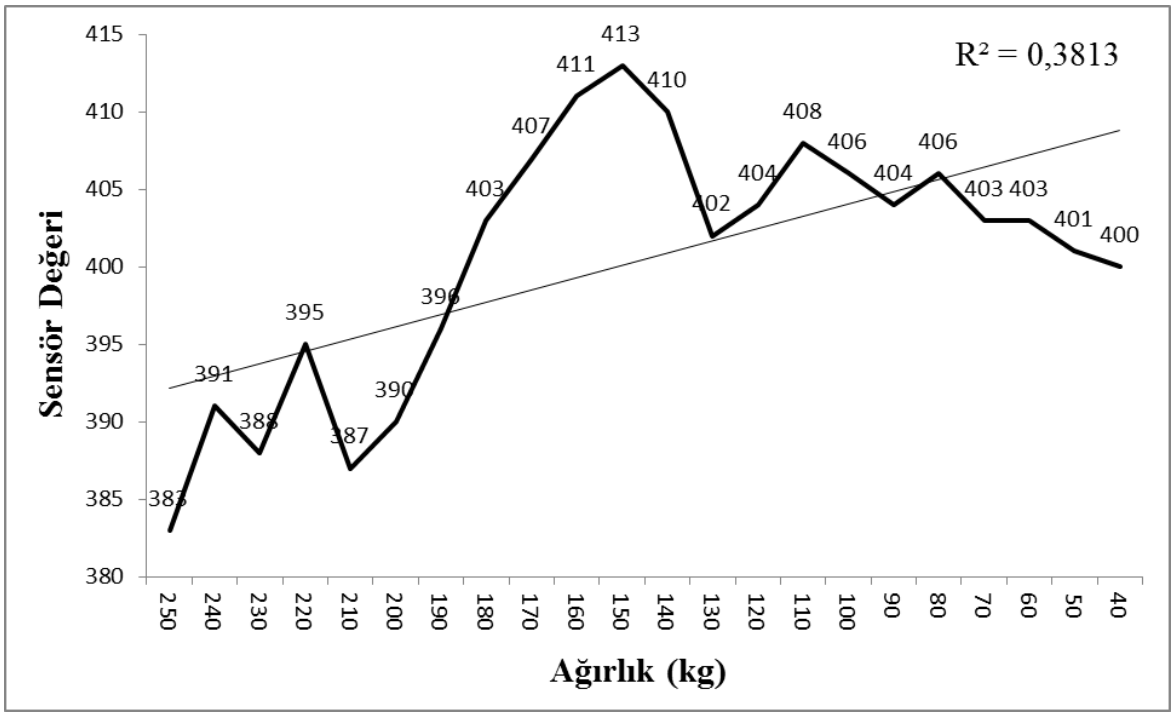
Şekil 53. Dördüncü deney sonuçları

Şekil 53 incelendiğinde testin başından sonuna beklenen sonuçların tek bir sensörden okunduğu görülmüştür. Sensör 2 hiçbir yükleme ve boşaltma aşamasında tepki vermezken sensör 1'in ilk 100 kg yüklemeye kadar tepki verdiği ve daha sonrasında tepkisiz kaldığı görülmektedir. Deney süresince tepki veren sensör 3'ün yükleme ve boşaltma aşamalarında detaylı incelenmesi gerektiğinden veri setiyle (Ek Tablo 6) yükleme ağırlıklarının grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 54-57).



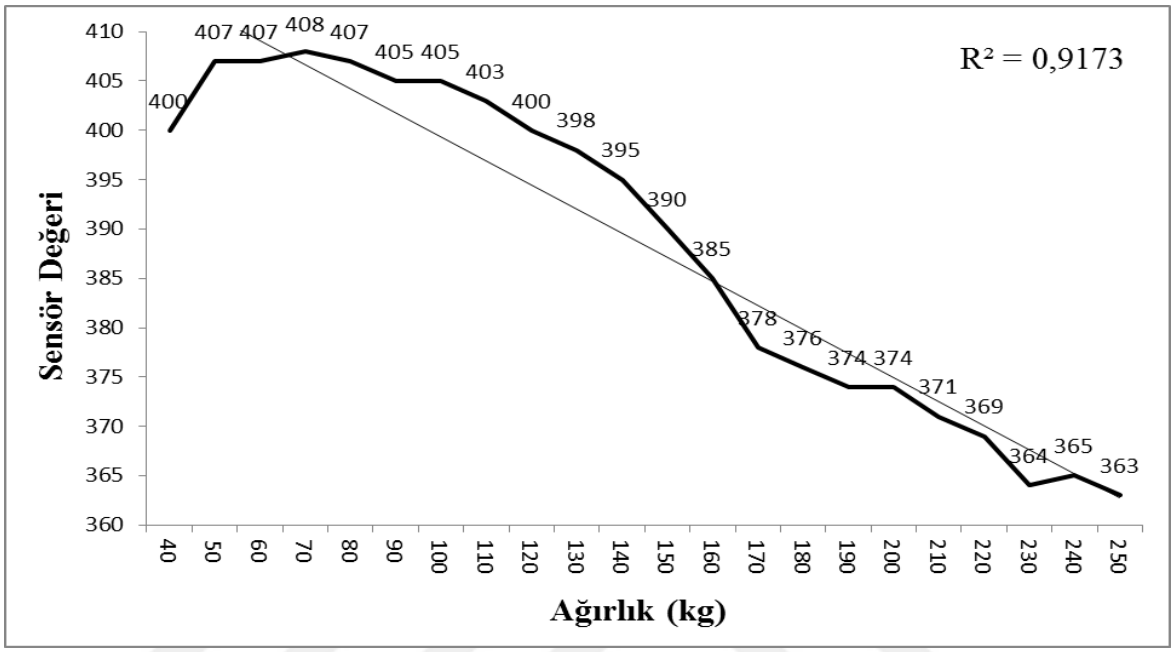
Şekil 54. Dördüncü deneyde sensör 3'ün ilk yükleme sonuçları

Şekil 54'de görülen doğrusal eğilim çizgisi, sensörün beklendiği gibi artan yüklemelerle negatif ilişkili olarak sonuç verdiğini ortaya koymaktadır. Eğilim çizgisinin, sensör sonuçlarıyla olan 0,89'luk korelasyonu doğrusal ilişkiyi destekler sonuç vermektedir.



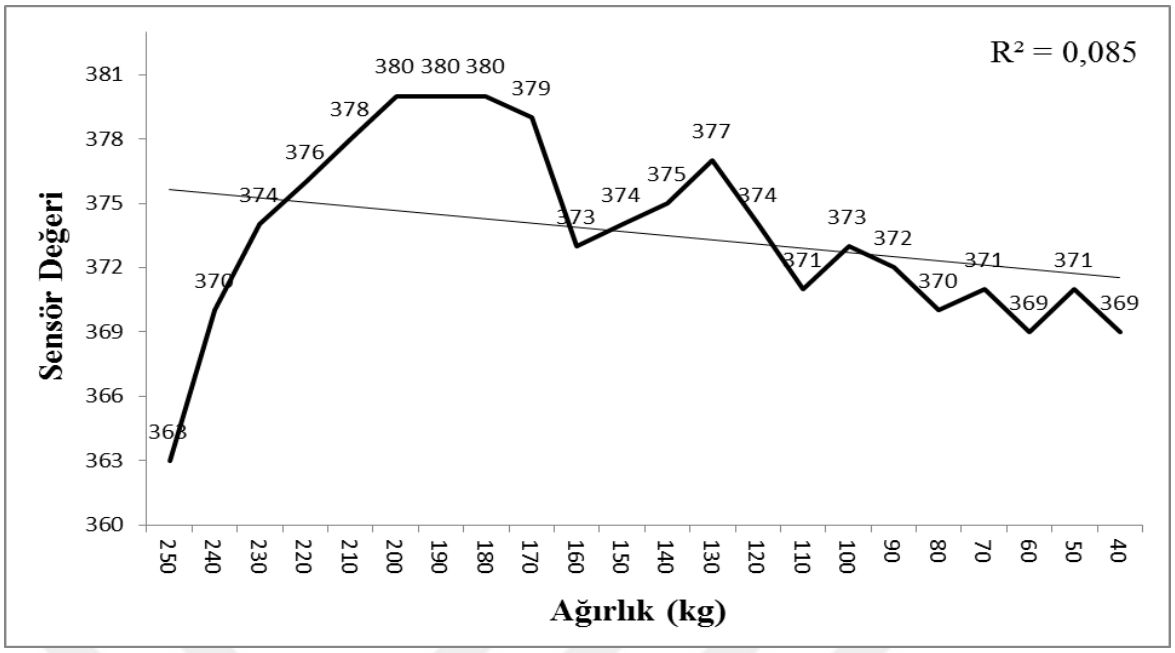
Şekil 55. Dördüncü deneyde sensör 3'ün ilk boşaltma sonuçları

Şekil 55'de görülen doğrusal eğilim çizgisi, sensörün beklendiği gibi azalan yüklemelerle negatif ilişkili olarak sonuç verdiğini ortaya koymaktadır. Fakat eğilim çizgisinin, sensör sonuçlarıyla olan 0,38'lik korelasyonu istatistiksel olarak kabul edilebilir değildir.



Şekil 56. Dördüncü deneyde sensör 3'ün ikinci yükleme sonuçları

Şekil 56'da görülen doğrusal eğilim çizgisi, esneklik sensörünün tekrarlanan yüklemelerde beklendiği gibi azalan sonuç verdiğini ortaya koymaktadır. Eğilim çizgisinin, sensör sonuçlarıyla olan 0,92'lik korelasyonu, beklenen sonucu desteklemektedir.



Şekil 57. Dördüncü deneyde sensör 3'ün ikinci boşaltma sonuçları

Şekil 57'de görülen doğrusal eğilim çizgisiyle sensör tepkilerinin gösterdiği korelasyonun 0,09 olması göz ardı edilecek kadar düşük bir sonuç olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte beklenen yönün tersinde tepki veriyor olması da işlevsiz olduğunu ortaya koymaktadır.

Sensör 3 genel olarak incelendiğinde yükleme aşamalarında yüksek belirlilik değerleri yakalamasına rağmen boşaltma aşamalarında elde edilen sonuçların kabul edilebilir olmadığı görülmektedir. Profil etrafına yerleştirilen birden fazla sensörün, özellikle boşaltma aşamasında birbirlerini etkileyerek bu sonucu doğurduğu düşünülmektedir. Buna göre, basma testleri esnasında tek bir sensörün kullanılmasının doğru yöntem olduğu anlaşılmaktadır. İlk deneydeki basma testi esnasında profilin eğilme yönünü değiştirmesinin, durumun hesaplanan burkulma basıncının üzerindeki yüklemelerde görülmüş olması sebebiyle gözardı edilebilir olduğu anlaşılmaktadır. Buna göre burkulma basıncının gözlemlenmesinde tek sensörün yeterli sonuçlar üretebileceği söylenebilir.

4.2.5. Erken Uyarı Limitlerinin Belirlenmesi

Plastik örtülü seraların iskelet malzemesini oluşturan boru profillerin rüzgar ve kar yükü altındaki burkulma ve sarkı miktarlarının, üretilen esneklik sensörleriyle belirlenebildiği görülmüştür. Basma ve eğme deneyleriyle profil üzerindeki yüke karşılık gelen sensör tepkisi belirlenmiştir. Testlerde kullanılan profil için hesaplanan burkulma ve

maksimum sarkı yükleriyle deney sonuçlarının birbirini desteklemesi, çalışmanın hedeflerinden biri olan erken uyarı limitlerinin belirlenebileceğini göstermiştir.

Basma deneylerinde görülen 160-170 kg aralığındaki ani değişim, test edilen profilin, Arıcı (2006)'ya göre hesaplanan burkulma basıncının 152,7 kg bulunmuş olması (Eşitlik 4.2) sonucunu destekler niteliktedir.

$$P_{burulma} = \frac{F \times \acute{G}em}{W} \quad (4.2)$$

Eşitlikte; F:Kesit alanı, $\acute{G}_{em}$:Emniyet gerilmesi ve W: Burkulma katsayısıdır.

Bununla birlikte, test edilen profilin maksimum sarkı için Dupen (2016)'e göre hesaplanan yüklemesinin 34,72 kg olması (Eşitlik 4.3), eğme testlerinde gözlemlenen sonucu destekler niteliktedir.

$$P_{sarkı} = \frac{\Delta_{max} \times 48 \times E \times I}{L^3} \quad (4.3)$$

$$\Delta = \frac{L}{500} \quad (4.3a)$$

Eşitlikte; Δ_{max}: maksimum sarkı, E: Elastisite Modülü, I: Eylemsizlik momenti ve L: Profil uzunluğudur.

4.3. Seradan Elde Edilen Sensör Kayıtları

Seraya montajı yapılan esneklik sensörleri prototipi ve meteoroloji istasyonundan bir dakika aralıklarla toplanan veriler web veri tabanına iletilmiş ve MS Excel programında işlenmek üzere bilgisayara indirilmiştir. Sensör verileri, yılın çeşitli zamanlarında seranın yapısal davranışlarını incelemek adına 14 Kasım 2018 ile 3 Haziran 2019 tarihleri arasında toplanmıştır. Toplamda 203 günlük verinin elde edildiği çalışma esnasında 3 adet sensör, meydana gelen arızaları sebebiyle değiştirilmiş ve yenileri mevcut konumlarına sabitlenmiştir. Web tabanına kaydedilen verilerin eş zamanlı olarak izlenebilmesi, beklenmeyen tepkiler vermeye başlayan sensörlerin arızalı olduğunun anlaşılmasını sağlamıştır. Arızalanan sensörlerin değiştirilmesi esnasında yaşanan veri kaybının en aza indirilmesi adına, aynı özellikteki yapı elemanının üzerine sabitlenmiş diğer sensörün çalışır durumda olmasına özen gösterilmiştir.

Esneklik sensörlerinin, sera yapı elemanları üzerine sabitlenmiş konumda sorunsuz çalışırken bir süre sonra arızalanmış olmalarının araştırılması gerekmiştir. Laboratuvarda

hazırlanan düzenekle test edilen sensörlerin tepki vermemesi üzerine arızalı oldukları kesinleşmiştir. Ardından demonte edilerek bileşenleri incelenmiş ve iletken parçalarının nem sebebiyle oksitlendiği görülmüştür. Üretim aşamasında, kaplama malzemesi aralığında hava boşlukları oluşmamasına azami dikkat edilmiş olsa da soruna yol açacak miktarda kalmış olduğu anlaşılmıştır. Buna karşın, üretilen sensörlerden sadece birkaçının arızalanmış olması, sorunun süreklilik arz etmediğini ortaya koymuştur. Laboratuvarda yürütülen sensör üretim ve testi esnasında değişen sıcaklıklarda sensör tepkilerinin toplanması aşamasında benzer bir problemle karşılaşılmamıştır. Buna karşın sera denemelerinde nem kaynaklı arızanın oluşması, öngörülen sera iç ortam koşullarıının farklı olabileceğini göstermektedir. Bu sebeple, veritabanından alınan dosyadan öncelikle meteoroloji istasyonu ve prototip içerisindeki sıcaklık-nem sensörü verilerinin incelenmesi gerekmiştir.

Meteoroloji istasyonundan alınan verilere göre, izleme dönemi süresince elde edilen en yüksek rüzgar hızı 9,835 m/s'dir. Bu rüzgar hızı değeri ilk olarak 9 Ocak 2019 tarihinde kaydedilmiştir ve aynı andaki hava sıcaklığı 9 ^{o}C iken sera içi sıcaklık 13 ^{o}C'dir. Bütün izleme süreci göz önünde bulundurulduğunda dış ortam sıcaklığı -3 ^{o}C ile 51 ^{o}C arasında seyrederken sera iç ortam sıcaklığı da 2 ^{o}C ile 51 ^{o}C arasında kaydedilmiştir. Buna karşın, prototip cihaz üzerindeki sıcaklık-nem sensörünün maksimum 50 ^{o}C'ye kadar veri sağlayabiliyor olması sebebiyle sıcak dönemlerde sera içi sıcaklığının ölçülemeyen değerlere yükselmiş olabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Söz konusu sıcaklık değerlerinde dış ortam bağıl nemi %15 ile %99 arasında seyrederken sera içi bağıl nemi %12 ile %88 aralığında kaydedilmiştir. Dış ortam bağıl neminin mutlak nem değerine ulaştığı %100 seviyesinde yağış oluştuğu bilinmektedir. Buna göre kaydedilen en yüksek saatlik yağış miktarı 12,7 mm ve günlük toplam miktarı da 54,4 mm'dir. Ayrıca sera çevresinde kayıt süresince açık hava basıncı 993 hPa ile 1030 hPa aralığında izlenmiştir.

Sera iç ortam koşullarının 2 ^{o}C de %74 bağıl nem ve -1,9 ^{o}C çiğlenme noktası sıcaklığına ulaşmış olması, sensörlerde meydana gelen nem hasarını açıklamaktadır. Buna göre ortam sıcaklığının beklenenden fazla azalmış olması sebebiyle sensör içerisindeki boşluklarda bulunan havanın taşıdığı su buharının, yoğunlaşarak iletkenlerin oksitlenmesine sebep olduğu düşünülmektedir. Arızalı sensörler sebebiyle veri aktarımında kısa süreli kesintiler olsa da toplamda 202262 adet veri paketi, web veritabanına GSM şebekesi üzerinden kaydedilmiştir.

Meteoroloji istasyonundan alınan maksimum rüzgar hızı verisine göre, yan duvarları etkiyen kuvvet 5,44 kg/m^{2}'dir (Yüksel ve Yüksel, 2012). Bu kuvvetin tek bir kolon

üzerindeki basıncı ise 23,99 kg'dır. Kolonları oluşturan profillerin çapı ele alındığında, etkiyen kuvvetin burkulma basıncından çok düşük olduğu ve bu sebeple laboratuvar deneylerinde gözlemlenen sensör çıktılarının görülemeyeceği anlaşılmaktadır. Benzer şekilde çatı yayına etkiyen maksimum rüzgar kuvvetinin, Yüksel ve Yüksel (2012)'e göre hesaplanan değeri 1,22 kg/m^2'dir ve tek bir çatı makası üzerine etkiyen basınç miktarı 9,353 kg'dır. Çatı yayını oluşturan profillerin, dış kolonlarla aynı özelliklerde olması sebebiyle çatıya etkiyen rüzgar kuvvetinin de bu elemanlarda sarkı oluşturabilecek basınçta olmadığı anlaşılmaktadır. Sera yapı elemanlarının izlendiği sezon süresince kar yağışı olmaması ise yapı üzerinde ek bir basınç oluşturmamıştır. Bu sonuç ışığında esneklik sensörleri ayrı ayrı incelenerek farklı zamanlarda maksimum rüzgar şiddetine verdikleri tepkiler karşılaştırılmıştır. Söz konusu karşılaştırma işlemi, sensörlerin çevre sıcaklığına bağlı olarak tepki verdiği göz önüne alınarak, kış sezonu ve yaz sezonu tepkileri şeklinde gruplandırılarak yapılmıştır.

4.3.1. Sensör 1'in Kayıtları

Yan duvarda bulunan kolon üzerine sabitlenmiş sensör, birisi kış ve diğeri yaz sezonunda olmak üzere iki kez arızalanmış ve yenisiyle değiştirilmiştir. Kolon, konumu sebebiyle dış ortam şartlarından en çok etkilenen elemanlardan biridir. Bu yüzden nem hasarına uğradığı düşünülmektedir.

Sensörün kış sezonunda ve rüzgarsız koşullarda verdiği tepkilerin ortalaması ilk montajda 222,96, ikinci montajda ise 421,98'dir. Kış sezonunda sensörün, maksimum rüzgar koşullarında verdiği tepkiler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Sensör 1'in kış sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri

Kayıt No	Rüzgar Hızı (m/sn)	Hava Sıcaklığı (^{o}C)	Bağıl Nem (%)	Sera Sıcaklığı (^{o}C)	Sera Nemi (%)	Sensör 1 Değeri
1	7,600	11	80	16	71	205
2	7,600	11	82	16	72	206
3	7,600	11	83	16	73	207
4	7,600	10	85	16	73	207
5	7,600	10	86	16	74	208
6	7,600	12	75	17	66	203
7	7,600	12	77	17	68	202
8	7,600	11	78	17	70	203
9	7,600	13	71	18	66	203

Tablo 1 devam. Sensör 1'in kış sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri

Kayıt No	Rüzgar Hızı (m/sn)	Hava Sıcaklığı (^{o}C)	Bağıl Nem (%)	Sera Sıcaklığı (^{o}C)	Sera Nemi (%)	Sensör 1 Değeri
10	7,600	19	72	21	68	386
11	7,600	18	73	21	71	388
12	7,600	18	74	21	70	388
13	7,600	18	74	21	69	388
14	7,600	18	73	21	69	388
15	7,600	19	73	21	69	383
16	7,600	19	72	21	69	381
17	7,600	19	74	21	67	376
18	7,600	20	73	22	67	374

Tablonun ilk dokuz kaydı, kış sezonunda ilk montajdaki sensörün verilerini içerirken geri kalanlar ikinci montajdan sonraki sensörün verilerini ifade etmektedir. Sensörlerin yüklemeyle negatif ilişkili sonuç verdiği bilinmektedir ve sensör ortlamalarının ilk montajda 204,89, ikinci montajda 383,56 olması sensörlerin amaca uygun çalıştığını göstermektedir.

Sensörün yaz sezonunda ve rüzgarsız koşullarda verdiği tepkilerin ortalaması ilk montajda 328,53, ikinci montajda 299,34'tür. Yaz sezonunda sensörün, maksimum rüzgar koşullarında verdiği tepkiler Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Sensör 1'in yaz sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri

Kayıt No	Rüzgar Hızı (m/sn)	Hava Sıcaklığı (^{o}C)	Bağıl Nem (%)	Sera Sıcaklığı (^{o}C)	Sera Nemi (%)	Sensör 1 Değeri
1	4,023	31	40	37	35	249
2	4,023	31	40	37	36	260
3	4,023	31	41	37	36	259
4	4,023	31	42	37	36	245
5	4,023	30	42	37	37	255
6	4,023	31	39	38	36	239
7	4,023	31	39	38	35	259
8	4,023	31	40	38	35	262
9	4,023	31	40	38	36	255
10	4,023	33	29	38	28	218
11	4,023	34	27	39	26	210
12	4,023	33	28	39	28	221
13	4,023	33	28	39	28	208

Tablo 2 devam. Sensör 1'in yaz sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri

Kayıt No	Rüzgar Hızı (m/sn)	Hava Sıcaklığı (^{o}C)	Bağıl Nem (%)	Sera Sıcaklığı (^{o}C)	Sera Nemi (%)	Sensör 1 Değeri
14	4,023	33	29	39	29	222
15	4,023	33	29	39	30	225
16	4,023	35	26	40	25	212
17	4,023	34	27	40	26	204
18	4,023	34	27	40	26	191

Tablonun ilk dokuz kaydı, yaz sezonunda ilk montajdaki sensörün verilerini içerirken geri kalanlar ikinci montajdan sonraki sensörün verilerini ifade etmektedir. Sensörlerin yüklemeyle negatif ilişkili sonuç verdiği bilinmektedir ve sensör ortlamalarının ilk montajda 253,67, ikinci montajda 212,33 olması sensörlerin amaca uygun çalıştığını göstermektedir.

4.3.2. Sensör 2'nin Kayıtları

Seranın hakim rüzgar yönünde kalan bloğunun örtü malzemesine sabitlenmiş olan sensörün, malzemenin basınç altında uzama miktarının %700-750 civarında olması ve buna bağlı olarak kolayca esnemesi sebebiyle geniş bir aralıkta değerler vermesi beklenmektedir. Esasen kar yükünün oluşturacağı sarkıyı gözlemlemek için yerleştirilmiş olan bu sensörün, çalışma süresince örtü malzemesinin kar yüküne maruz kalmamış olması sebebiyle doğrudan rüzgar etkisini gözlemlemede kullanılması uygun görülmüştür. Çalışmanın devam ettiği her iki sezonda da sensörün arızalanmaması sebebiyle tek sensör verileri kullanılmıştır.

Sensörün kış sezonunda ve rüzgarsız koşullarda verdiği tepkilerin ortalaması 361,79'dur. Kış sezonunda sensörün, maksimum rüzgar koşullarında verdiği tepkiler Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Sensör 2'nin kış sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri

Kayıt No	Rüzgar Hızı (m/sn)	Hava Sıcaklığı (^{o}C)	Bağıl Nem (%)	Sera Sıcaklığı (^{o}C)	Sera Nemi (%)	Sensör 2 Değeri
1	7,600	19	72	21	68	128
2	7,600	18	73	21	71	155
3	7,600	18	74	21	70	163
4	7,600	18	74	21	69	149
5	7,600	18	73	21	69	171

Tablo 3 devam. Sensör 2'nin kış sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri

Kayıt No	Rüzgar Hızı (m/sn)	Hava Sıcaklığı (^{o}C)	Bağıl Nem (%)	Sera Sıcaklığı (^{o}C)	Sera Nemi (%)	Sensör 2 Değeri
6	7,600	19	73	21	69	175
7	7,600	19	72	21	69	167
8	7,600	19	74	21	67	151
9	7,600	20	73	22	67	153

Sensörlerin yüklemeyle negatif ilişkili sonuç verdiği bilinmektedir ve sensör ortlamalasının 156,89 olması sensörün amaca uygun çalıştığını göstermektedir.

Sensörün yaz sezonunda ve rüzgarsız koşullarda verdiği tepkilerin ortalaması 480,45'tir. Yaz sezonunda sensörün, maksimum rüzgar koşullarında verdiği tepkiler Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Sensör 2'nin yaz sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri

Kayıt No	Rüzgar Hızı (m/sn)	Hava Sıcaklığı (^{o}C)	Bağıl Nem (%)	Sera Sıcaklığı (^{o}C)	Sera Nemi (%)	Sensör 2 Değeri
1	4,023	33	29	38	28	446
2	4,023	34	27	39	26	449
3	4,023	33	28	39	28	441
4	4,023	33	28	39	28	443
5	4,023	33	29	39	29	413
6	4,023	33	29	39	30	392
7	4,023	35	26	40	25	399
8	4,023	34	27	40	26	442
9	4,023	34	27	40	26	416

Sensörlerin yüklemeyle negatif ilişkili sonuç verdiği bilinmektedir ve sensör ortlamalasının 426,78 olması sensörün amaca uygun çalıştığını göstermektedir. Her iki sezonda sensörün rüzgarsız ve maksimum rüzgar altındaki tepkileri incelendiğinde, sensör 1'de görülen farktan daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, öngörülen sensör tepkisini desteklemektedir.

4.3.3. Sensör 3'ün Kayıtları

Seranın hakim rüzgar yönündeki kolonunun devamı olan çatı yayı parçası üzerine sabitlenen sensör, yay parçasının şekli sebebiyle düz konumdaki tepkisini vermese de açı değişimlerini algılayabilecek kapasitededir.

Sensörün kış sezonunda ve rüzgarsız koşullarda verdiği tepkilerin ortalaması 472,84'tür. Kış sezonunda sensörün, maksimum rüzgar koşullarında verdiği tepkiler Tablo 5'te sunulmuştur. Maksimum rüzgar durumunda yeterli veri olmadığı için en yüksek iki rüzgar hızı verileri incelenmiştir.

Tablo 5. Sensör 3'ün kış sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri

Kayıt No	**Rüzgar Hızı (m/sn)**	**Hava Sıcaklığı (^{o}C)**	**Bağıl Nem (%)**	**Sera Sıcaklığı (^{o}C)**	**Sera Nemi (%)**	**Sensör 3 Değeri**
1	8,494	8	65	12	65	366
2	8,494	8	65	12	65	367
3	8,494	8	65	12	65	371
4	8,494	8	65	12	65	373
5	8,494	8	65	12	65	368
6	8,494	8	65	12	65	366
7	8,494	8	65	12	65	366
8	8,494	8	65	12	65	366
9	8,494	8	65	12	66	367
10	8,494	8	68	12	67	369
11	8,494	8	68	12	67	369
12	8,494	8	68	12	67	368
13	8,494	8	68	12	68	370
14	8,494	8	69	12	68	375
15	8,494	8	69	12	68	377
16	8,494	8	69	12	68	375
17	8,494	8	69	12	68	375
18	8,494	8	69	12	68	378
19	8,494	8	76	12	72	373
20	8,494	8	76	12	73	372
21	8,494	8	76	12	72	374
22	8,494	8	76	12	72	373
23	8,494	8	76	12	72	372
24	8,494	8	76	12	72	372
25	8,494	8	76	12	72	373
26	8,494	8	75	12	72	375

Tablo 5 devam. Sensör 3'ün kış sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri

Kayıt No	Rüzgar Hızı (m/sn)	Hava Sıcaklığı (^{o}C)	Bağıl Nem (%)	Sera Sıcaklığı (^{o}C)	Sera Nemi (%)	Sensör 3 Değeri
27	8,494	8	75	12	72	374
28	8,494	8	86	12	80	383
29	8,494	8	86	12	79	383
30	8,494	8	86	12	80	384
31	8,494	8	86	12	80	384
32	8,494	8	87	12	80	385
33	8,494	8	87	12	81	384
34	9,835	9	91	13	84	384
35	9,835	9	91	13	84	382
36	9,835	9	91	13	84	384
37	8,494	10	90	13	84	398
38	8,494	10	91	13	84	398
39	8,494	10	91	13	84	398
40	8,494	10	91	13	84	399
41	8,494	9	91	13	84	400
42	8,494	9	91	13	85	400
43	8,494	9	91	13	84	400
44	8,494	11	92	15	84	413
45	8,494	11	92	15	84	410
46	8,494	11	92	15	84	411
47	8,494	11	92	15	84	410
48	8,494	11	92	15	84	412
49	8,494	11	92	15	84	411
50	8,494	11	92	15	84	411
51	8,494	11	92	15	84	411
52	8,494	11	92	15	84	411

Sensörlerin yüklemeyle negatif ilişkili sonuç verdiği bilinmektedir ve sensör ortlamalasının 384,04 olması sensörün amaca uygun çalıştığını göstermektedir.

Sensör, yaz sezonunda arızalanmış ve yeni sensörle değiştirilmiştir. Buna göre yaz sezonunda ve rüzgarsız koşullarda verdiği tepkilerin ortalaması ilk montajda 548,30, ikinci montajda 503,41'dir. Yaz sezonunda sensörün, maksimum rüzgar koşullarında verdiği tepkiler Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Sensör 3'ün yaz sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri

Kayıt No	Rüzgar Hızı (m/sn)	Hava Sıcaklığı (^{o}C)	Bağıl Nem (%)	Sera Sıcaklığı (^{o}C)	Sera Nemi (%)	Sensör 3 Değeri
1	4,023	31	40	37	35	471
2	4,023	31	40	37	36	473
3	4,023	31	41	37	36	479
4	4,023	31	42	37	36	476
5	4,023	30	42	37	37	467
6	4,023	31	39	38	36	475
7	4,023	31	39	38	35	477
8	4,023	31	40	38	35	474
9	4,023	31	40	38	36	474
10	4,023	33	29	38	28	434
11	4,023	34	27	39	26	419
12	4,023	33	28	39	28	425
13	4,023	33	28	39	28	418
14	4,023	33	29	39	29	439
15	4,023	33	29	39	30	439
16	4,023	35	26	40	25	428
17	4,023	34	27	40	26	424
18	4,023	34	27	40	26	408

Tablonun ilk dokuz kaydı, yaz sezonunda ilk montajdaki sensörün verilerini içerirken geri kalanlar ikinci montajdan sonraki sensörün verilerini ifade etmektedir. Sensörlerin yüklemeyle negatif ilişkili sonuç verdiği bilinmektedir ve sensör ortlamalarının ilk montajda 474,00, ikinci montajda 426,00 olması sensörlerin amaca uygun çalıştığını göstermektedir.

4.3.4. Sensör 4'ün Kayıtları

Seranın blokları arasında kalan kolonun üzerine sabitlenen sensör, yaz ve kış sezonları arasında arızalanmış ve yenisiyle değiştirilmiştir. Buna bağlı olarak iki sezon arasında farklı sensör tepki aralıkları görülmüştür.

Sensörün kış sezonunda ve rüzgarsız koşullarda verdiği tepkilerin ortalaması 417,86'dır. Kış sezonunda sensörün, maksimum rüzgar koşullarında verdiği tepkiler Tablo 7'de sunulmuştur. Maksimum rüzgar durumunda yeterli veri olmadığı için en yüksek iki rüzgar hızı verileri incelenmiştir.

Tablo 7. Sensör 4'ün kış sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri

Kayıt No	Rüzgar Hızı (m/sn)	Hava Sıcaklığı (^{o}C)	Bağıl Nem (%)	Sera Sıcaklığı (^{o}C)	Sera Nemi (%)	Sensör 4 Değeri
1	8,494	8	65	12	65	404
2	8,494	8	65	12	65	404
3	8,494	8	65	12	65	403
4	8,494	8	65	12	65	403
5	8,494	8	65	12	65	403
6	8,494	8	65	12	65	404
7	8,494	8	65	12	65	403
8	8,494	8	65	12	65	403
9	8,494	8	65	12	66	403
10	8,494	8	68	12	67	404
11	8,494	8	68	12	67	403
12	8,494	8	68	12	67	404
13	8,494	8	68	12	68	403
14	8,494	8	69	12	68	404
15	8,494	8	69	12	68	404
16	8,494	8	69	12	68	404
17	8,494	8	69	12	68	403
18	8,494	8	69	12	68	403
19	8,494	8	76	12	72	404
20	8,494	8	76	12	73	404
21	8,494	8	76	12	72	404
22	8,494	8	76	12	72	403
23	8,494	8	76	12	72	404
24	8,494	8	76	12	72	404
25	8,494	8	76	12	72	404
26	8,494	8	75	12	72	404
27	8,494	8	75	12	72	404
28	8,494	8	86	12	80	404
29	8,494	8	86	12	79	404
30	8,494	8	86	12	80	404
31	8,494	8	86	12	80	404
32	8,494	8	87	12	80	404
33	8,494	8	87	12	81	404
34	9,835	9	91	13	84	404
35	9,835	9	91	13	84	403
36	9,835	9	91	13	84	403
37	8,494	10	90	13	84	402
38	8,494	10	91	13	84	402
39	8,494	10	91	13	84	403
40	8,494	10	91	13	84	403

Tablo 7 devam. Sensör 4'ün kış sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri

Kayıt No	Rüzgar Hızı (m/sn)	Hava Sıcaklığı (^{o}C)	Bağıl Nem (%)	Sera Sıcaklığı (^{o}C)	Sera Nemi (%)	Sensör 4 Değeri
41	8,494	9	91	13	84	402
42	8,494	9	91	13	85	403
43	8,494	9	91	13	84	402
44	8,494	11	92	15	84	399
45	8,494	11	92	15	84	399
46	8,494	11	92	15	84	399
47	8,494	11	92	15	84	399
48	8,494	11	92	15	84	400
49	8,494	11	92	15	84	399
50	8,494	11	92	15	84	399
51	8,494	11	92	15	84	399
52	8,494	11	92	15	84	399

Sensörlerin yüklemeyle negatif ilişkili sonuç verdiği bilinmektedir ve sensör ortlamalasının 402,69 olması sensörün amaca uygun çalıştığını göstermektedir. Her ne kadar rüzgarsız ve maksimum rüzgar koşullarında sensör verilerinin farkı az olsa da değişimi yakalayabilecek kabiliyette olduğu görülmektedir.

Sensörün yaz sezonunda ve rüzgarsız koşullarda verdiği tepkilerin ortalaması 369,19'dur. Yaz sezonunda sensörün, maksimum rüzgar koşullarında verdiği tepkiler Tablo 8'de sunulmuştur.

Tablo 8. Sensör 4'ün yaz sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri

Kayıt No	Rüzgar Hızı (m/sn)	Hava Sıcaklığı (^{o}C)	Bağıl Nem (%)	Sera Sıcaklığı (^{o}C)	Sera Nemi (%)	Sensör 4 Değeri
1	3,576	27	74	27	53	276
2	3,576	27	75	28	53	283
3	3,576	27	73	28	53	278
4	3,576	27	71	28	53	286
5	3,576	27	69	28	53	290
6	3,576	27	66	28	53	294
7	3,576	27	67	28	52	272
8	3,576	27	68	28	52	258
9	3,576	29	39	36	35	233
10	3,576	29	36	36	34	242
11	3,576	29	36	36	35	229
12	3,576	30	36	37	33	206

Tablo 8 devam. Sensör 4'ün yaz sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri

Kayıt No	Rüzgar Hızı (m/sn)	Hava Sıcaklığı (^{o}C)	Bağıl Nem (%)	Sera Sıcaklığı (^{o}C)	Sera Nemi (%)	Sensör 4 Değeri
13	3,576	32	31	39	27	209
14	3,576	33	32	39	29	215
15	3,576	33	30	40	28	211
16	3,576	32	31	40	27	206
17	3,576	33	32	40	28	213
18	3,576	33	31	40	29	219
19	3,576	34	29	41	28	206
20	3,576	34	31	41	28	213
21	3,576	34	30	41	27	210
22	3,576	34	29	41	27	204
23	3,576	38	27	41	29	223
24	3,576	38	27	41	28	223
25	3,576	38	27	41	27	221
26	3,576	38	26	41	26	223
27	3,576	38	26	41	27	221
28	3,576	38	26	41	26	220
29	3,576	38	27	42	27	222
30	3,576	38	26	42	26	223
31	3,576	38	26	42	26	208

Sensörlerin yüklemeyle negatif ilişkili sonuç verdiği bilinmektedir ve sensör ortlamalasının 233,45 olması sensörün amaca uygun çalıştığını göstermektedir. Maksimum rüzgar hızı ve rüzgarsız koşullar altında sensör tepkilerinin farkı, kış sezonuna kıyasla oldukça fazladır. Bu durum iki sezon arasında değiştirilen sensörlerin çalışma hassasiyetlerinin farklı olduğunu ortaya koymaktadır.

4.3.5. Sensör 5'in Kayıtları

Seranın iki bloğu arasında kalan bölgede örtü malzemesi üzerine sabitlenen sensörden, kış sezonu sonunda oluk bağlantı noktasında oluşan deformasyon sebebiyle alınan veriler değerlendirme dışı bırakılmıştır. Sadece kış sezonu süresince alınan sensör verilerinin değerlendirildiği malzemenin, sensör 2'den alınan verilere benzer hareket etmesi beklenmektedir.

Sensörün kış sezonunda ve rüzgarsız koşullarda verdiği tepkilerin ortalaması 452,98'dir. Kış sezonunda sensörün, maksimum rüzgar koşullarında verdiği tepkiler Tablo

9’da sunulmuştur. Maksimum rüzgar durumunda yeterli veri olmadığı için en yüksek iki rüzgar hızı verileri incelenmiştir.

Tablo 9. Sensör 5’in kış sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri

Kayıt No	Rüzgar Hızı (m/sn)	Hava Sıcaklığı (^{o}C)	Bağıl Nem (%)	Sera Sıcaklığı (^{o}C)	Sera Nemi (%)	Sensör 5 Değeri
1	8,494	8	65	12	65	359
2	8,494	8	65	12	65	345
3	8,494	8	65	12	65	416
4	8,494	8	65	12	65	351
5	8,494	8	65	12	65	395
6	8,494	8	65	12	65	386
7	8,494	8	65	12	65	355
8	8,494	8	65	12	65	408
9	8,494	8	65	12	66	377
10	8,494	8	68	12	67	381
11	8,494	8	68	12	67	409
12	8,494	8	68	12	67	370
13	8,494	8	68	12	68	372
14	8,494	8	69	12	68	404
15	8,494	8	69	12	68	417
16	8,494	8	69	12	68	405
17	8,494	8	69	12	68	405
18	8,494	8	69	12	68	420
19	8,494	8	76	12	72	359
20	8,494	8	76	12	73	404
21	8,494	8	76	12	72	302
22	8,494	8	76	12	72	427
23	8,494	8	76	12	72	428
24	8,494	8	76	12	72	409
25	8,494	8	76	12	72	418
26	8,494	8	75	12	72	427
27	8,494	8	75	12	72	367
28	8,494	8	86	12	80	375
29	8,494	8	86	12	79	433
30	8,494	8	86	12	80	440
31	8,494	8	86	12	80	414
32	8,494	8	87	12	80	405
33	8,494	8	87	12	81	454
34	9,835	9	91	13	84	441
35	9,835	9	91	13	84	388
36	9,835	9	91	13	84	421

Tablo 9 devam. Sensör 5'in kış sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri

Kayıt No	Rüzgar Hızı (m/sn)	Hava Sıcaklığı (^{o}C)	Bağıl Nem (%)	Sera Sıcaklığı (^{o}C)	Sera Nemi (%)	Sensör 5 Değeri
37	8,494	10	90	13	84	420
38	8,494	10	91	13	84	338
39	8,494	10	91	13	84	382
40	8,494	10	91	13	84	450
41	8,494	9	91	13	84	428
42	8,494	9	91	13	85	400
43	8,494	9	91	13	84	398
44	8,494	11	92	15	84	372
45	8,494	11	92	15	84	418
46	8,494	11	92	15	84	426
47	8,494	11	92	15	84	400
48	8,494	11	92	15	84	397
49	8,494	11	92	15	84	433
50	8,494	11	92	15	84	439
51	8,494	11	92	15	84	405
52	8,494	11	92	15	84	383

Sensörlerin yüklemeyle negatif ilişkili sonuç verdiği bilinmektedir ve sensör ortlamalasının 399,54 olması sensörün amaca uygun çalıştığını göstermektedir. Kış sezonunda sensörün rüzgarsız ve maksimum rüzgar altındaki tepkileri incelendiğinde, sensör 2'ye benzer sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. Bu durum, öngörülen sensör tepkisini desteklemektedir.

4.3.6. Sensör 6'nın Kayıtları

Sensörün üzerine sabitlendiği yapı elemanı, iki bloğun arasına bakan tarafındaki çatı yayı parçasıdır. Çatı yayının diğer yarısını oluşturan parça, kolonun devamı niteliğinde planlanmış olması sebebiyle üzerine etkiyen basıncı doğrudan bu kolona iletebilmektedir. Buna karşın sensör 6'nın sabitlendiği çatı yay parçası, basınca karşı direnç göstermektedir. Bu parçanın iki ucundan mesnetli olması sebebiyle yapı üzerinde oluşan basınca doğrudan maruz kaldığı ve bu sebeple rüzgar yükü etkisinin net bir şekilde gözlemlenmesi beklenmektedir.

Sensörün kış sezonunda ve rüzgarsız koşullarda verdiği tepkilerin ortalaması 342,43'tür. Kış sezonunda sensörün, maksimum rüzgar koşullarında verdiği tepkiler Tablo 10'da sunulmuştur.

Tablo 10. Sensör 6'nın kış sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri

Kayıt No	Rüzgar Hızı (m/sn)	Hava Sıcaklığı (^{o}C)	Bağıl Nem (%)	Sera Sıcaklığı (^{o}C)	Sera Nemi (%)	Sensör 6 Değeri
1	7,600	19	72	21	68	217
2	7,600	18	73	21	71	217
3	7,600	18	74	21	70	216
4	7,600	18	74	21	69	217
5	7,600	18	73	21	69	216
6	7,600	19	73	21	69	209
7	7,600	19	72	21	69	204
8	7,600	19	74	21	67	199
9	7,600	20	73	22	67	196

Sensörlerin yüklemeyle negatif ilişkili sonuç verdiği bilinmektedir ve sensör ortlamalasının 210,11 olması sensörün amaca uygun çalıştığını göstermektedir. Rüzgarsız ve maksimum rüzgar koşullarındaki sensör tepkileri farkının, çatı yayının diğer yarısını oluşturan parça üzerindeki 3 numaralı sensörden daha fazla olması beklenen sonucu desteklemektedir.

Sensörün yaz sezonunda ve rüzgarsız koşullarda verdiği tepkilerin ortalaması 446,50'dir. Yaz sezonunda sensörün, maksimum rüzgar koşullarında verdiği tepkiler Tablo 11'de sunulmuştur.

Tablo 11. Sensör 6'nın yaz sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri

Kayıt No	Rüzgar Hızı (m/sn)	Hava Sıcaklığı (^{o}C)	Bağıl Nem (%)	Sera Sıcaklığı (^{o}C)	Sera Nemi (%)	Sensör 6 Değeri
1	4,023	31	40	37	35	230
2	4,023	31	40	37	36	257
3	4,023	31	41	37	36	258
4	4,023	31	42	37	36	239
5	4,023	30	42	37	37	228
6	4,023	31	39	38	36	250
7	4,023	31	39	38	35	251
8	4,023	31	40	38	35	250
9	4,023	31	40	38	36	241
10	4,023	33	29	38	28	234
11	4,023	34	27	39	26	206
12	4,023	33	28	39	28	228

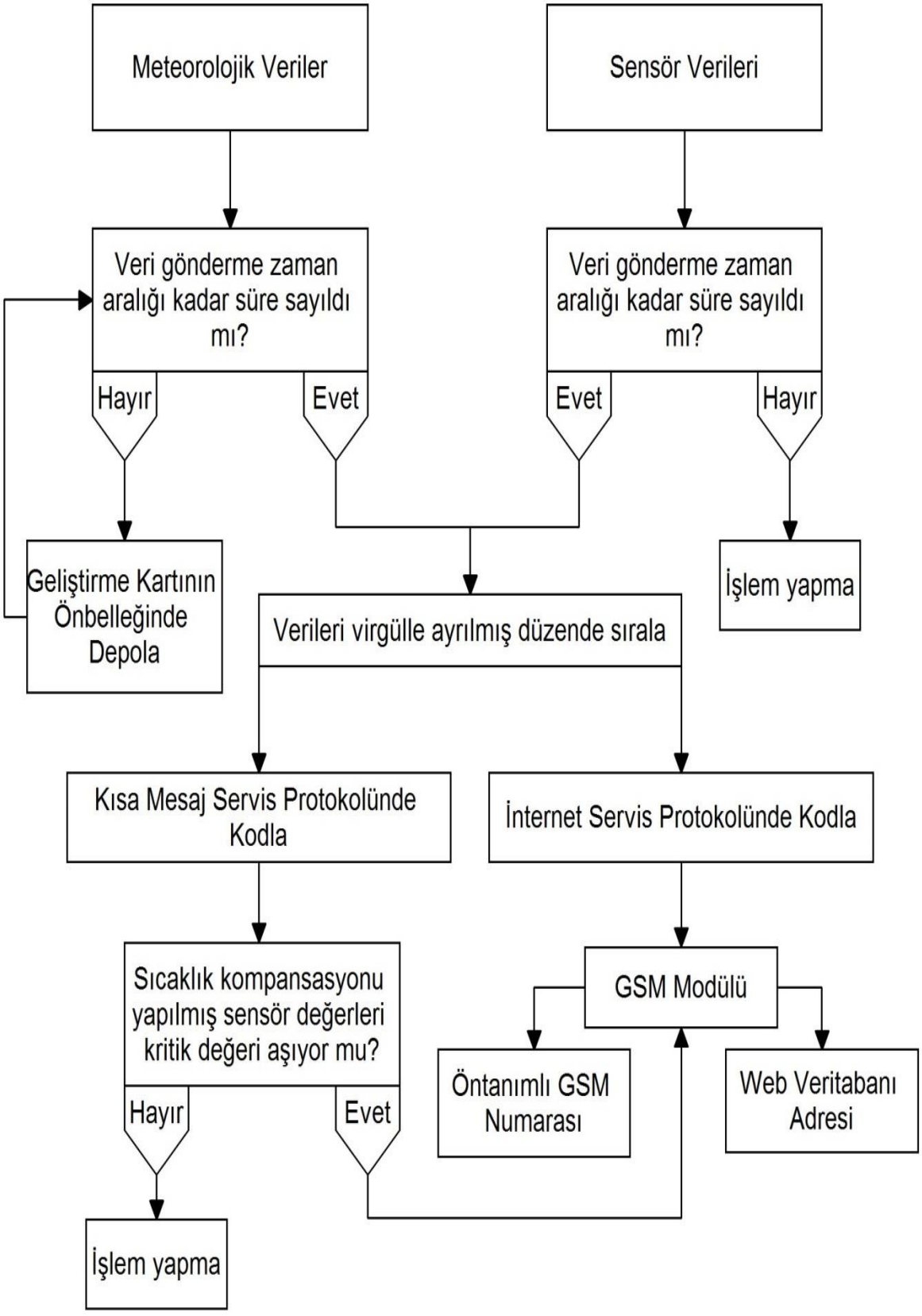
Tablo 11 devam. Sensör 6'nın yaz sezonunda maksimum rüzgar hızı altındaki tepkileri

Kayıt No	Rüzgar Hızı (m/sn)	Hava Sıcaklığı (^{o}C)	Bağıl Nem (%)	Sera Sıcaklığı (^{o}C)	Sera Nemi (%)	Sensör 6 Değeri
13	4,023	33	28	39	28	225
14	4,023	33	29	39	29	245
15	4,023	33	29	39	30	245
16	4,023	35	26	40	25	223
17	4,023	34	27	40	26	221
18	4,023	34	27	40	26	211

Sensörlerin yüklemeyle negatif ilişkili sonuç verdiği bilinmektedir ve sensör ortlamalasının 239,33 olması sensörün amaca uygun çalıştığını göstermektedir. Her iki sezonda sensörün rüzgarsız ve maksimum rüzgar altındaki tepkileri incelendiğinde, sensör 3'te görülen farktan daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, öngörülen sensör tepkisini desteklemektedir.

4.4. Prototip Cihaz Yazılımı

Cihazın sensörler ve meteoroloji istasyonundan topladığı veriyi web arayüzüne iletmesi, üretilen yazılımla mümkün olmuştur. Yazılımın izlediği mantıksal adımlar Şekil 58'deki akış şemasında verilmiştir.



Şekil 58. Prototip yazılımı akış şeması

BÖLÜM 5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Yürütülen tez çalışması kapsamında, plastik örtülü seralarda yapısal zararlara sebebiyet veren rüzgar ve kar yükünün yapı elemanları üzerinden izlenmesi ve gerekli durumlarda üreticinin kısa mesaj yoluyla uyarılmasını sağlayacak bir sistemin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Yaygın kullanıma sahip olması ve rüzgar-kar gibi etkenlerden kolayca zarar görmesi söz konusu olan plastik örtülü seraların izlenmesi ve güçlendirilmesine dair birçok çalışma yapılmış olsa da sonuçlarının sadece teorik olarak desteklenmesi, çalışmaların zayıf yönünü oluşturmaktadır. Gerçek boyutlu modellerin rüzgar tüneli testleriyle araştırılması ise yüksek maliyetli donanımlar gerektirmesi açısından yaygın kullanım alanına sahip değildir. Bu sebeple, hedef doğrultusunda kullanılabilir olduğu öngörülen esneklik sensörleri test edilmiştir. Birçok alanda farklı amaçlarla kullanılan esneklik sensörleri, üzerine sabitlendiği nesnenin şekilsel deformasyonlarını dijital sinyallere dönüştürebiliyor olması sebebiyle sensör uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir. Buradan hareketle, sera yapı ve örtü malzemelerindeki burkulma ve sarkı durumlarının anlık olarak takip edilebilmesi, esneklik sensörleri marifetiyle mümkündür. Elektronik sektör üreticilerinin çeşitli uygulamalarda kullanılmak üzere satışa sunduğu ticari esneklik sensörleri mevcuttur. Bu sensörlerin en yaygın kullanıma sahip olanları ise pasif rezistif türleridir. Pasif rezistif esneklik sensörleri, prototip cihazlarda kullanılmak üzere ticari olmayan versiyonlarının üretilebiliyor olması bakımından sınırsız boyut ve şekilde olabilmektedir.

Çalışma kapsamında öncelikli olarak ticari esneklik sensörlerinin, sera yapı elemanları üzerinde ne denli kullanılabilir olduğu araştırılmıştır. Çanakkale ve benzer iklime sahip coğrafyalarda tercih edilen plastik örtülü seralarda, iskelet malzemesi olarak boru profillerin kullanılması sebebiyle çelik türevi iskelet malzemesinden bir sera modeli kurulmuştur. Kurulan model üzerine yerleştirilmesi planlanan ticari esneklik sensörlerinin, rüzgar ve kar yükünü simüle eden basınç altında tepkileri sayısal olarak ölçülmek istenmiştir. Fakat kullanılan iskelet malzemesinin, profillerin karakteristiğini yansıtamayacağı anlaşıldığından sera modeli uygulama dışı bırakılmıştır. Bunun yerine, malzeme direncinin ölçüldüğü deney düzeneklerinin kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür. Düzenek vasıtasıyla, boru profilli sera yapı elemanlarının test edilmesi, sera koşullarında maruz kalmaları muhtemel kuvvetlere karşı tepkilerinin belirlenmesinde etkili olacaktır.

Malzeme direncinin eleman uzunluğuna bağlı olarak değişmesi sebebiyle, gerçeğe yakın uzunlukta profillerin test edilmesi önem arz etmektedir. Bu koşulları sağlayabilecek deney düzeneği, laboratuvar koşullarında tasarlanarak üretilmesi sağlanmıştır. Deney düzeneğinin kapasitesi kapsamında test edilecek boru profiller, plastik örtülü seralarda kullanılan malzemeden seçilmiş ve 2 m uzunluğunda parçalar olarak hazırlanmıştır. Profil uzunluğunun, ticari sensörlerle algılanamayacak burkulma ve sarkı miktarlarına sebep olması bakımından yeni bir sensörün üretilmesi gerekmiştir.

Çalışma prensibi incelenen pasif rezistif esneklik sensörlerinin, ihtiyaç duyulan uzunlukta üretilebilmesi için gereken bileşenler belirlenmiştir. Bileşenlerinin biraraya getirilmesinin ardından ortam isteklerinin belirlenmesi için gereken testleri yapılan esneklik sensörleri, deney düzeneği için uygun hale getirilmiştir. Sensörlerin değişen ortam sıcaklıklarına tepki verdiği bilinmektedir. Fakat laboratuvarda yürütülen deneyler esnasında ortam değişkenlerinin kontrollü olması sağlanarak, sensör tepkilerinin sadece profil deformasyonuna bağlı kalması sağlanmıştır. Test aşamaları için gereken diğer düzeneklerin oluşturulmasında Arduino tabanlı geliştirme kartları kullanılmış ve bu kartların sistemin mikroişlemci ünitesi olarak görev yapabileceği anlaşılmıştır.

Üretilen deney düzeneğinde, sera iskeleti bileşenlerinden kolonlar için burkulma basıncı ve çatı elemanları için sarkı basıncı denemeleriyapılmıştır. Malzeme yorgunluğunu önlemek adına, yapılan testlerin her biri için farklı profil parçası kullanılmıştır. Deneyler neticesinde, profiller üzerindeki basıncın esneklik sensörleri vasıtasıyla belirlenebileceği kanıtlanmış ve aynı zamanda esneklik sensörlerinin profil üzerine sabitlenmesi için uygun yöntem belirlenmiştir.

Laboratuvarda yürütülen deneylerin ardından gerçek koşullarda sera yapı malzemelerinden alınan esneklik sensörü verilerinin uzaktan izlenmesini sağlayacak prototip bir cihaz geliştirilmiştir. Bu cihaz, birden çok eleman üzerine sabitlenen esneklik sensörü verilerini ve birlikte kullanılan meteoroloji istasyonu verilerini GSM şebekesi üzerinden web veritabanına iletebilmektedir. Bu sayede seranın tamamına etkiyen rüzgar ve kar yükünün, kolon, çatı yayı ve örtü malzemesi gibi farklı yapı elmanlarına etkileri sayısal ifadelerle uzaktan izlenebilmiştir. Veri kaydı sırasında sensörlerde oluşabilecek arızaların tespit edilmesi de, yerinde gözleme gerek duyulmadan yapılabilmiştir.

Uzun vadeli veri toplama sürecinde, sensörlerin performansı test edilmiş ve zayıf yönleri tespit edilmiştir. Sensörlerde oluşan arızaların en önemli sebebinin, ünite içerisinde hapis kalan su buharı olduğu görülmüştür. Bu sorunun sebebinin ise sensörlerin üretim yöntemi olduğu anlaşılmıştır. Sensörlerin kaplanmasında sıcak laminasyon

kullanılmasının, sensör içerisinde hava kalmasını önleyerek sorunu çözebileceği düşünülmektdir.

Veritabanında toplanan sensör tepkileri, meteoroloji istasyonundan alınan çevre şartları verilerine göre incelenerek, her bir yapı elemanının rüzgar yükü altında davranışı gözlemlenebilmiştir. Prototip cihazın serada veri toplama periyodu süresince kar yükü oluşturacak yağışın görülmemiş olması, örtü malzemesinin davranışının izlenmesini engellemiş olsa da rüzgar yükünün belirlenmesinde de son derece etkili bir yapı elemanı olduğunu göstermiştir. Sensörlerin üzerine sabitlendiği her yapı elemanından, rüzgar hızına bağlı olarak anlamlı sonuçlar alınabilmiş olması ise sistemin, tasarlandığı amaç doğrultusunda çalıştığını kanıtlamıştır.

Sistemin ilk prototipi olan cihazın, bir takım geliştirme ve eklentilerle sadece üreticiyi uyarmak için değil aynı zamanda ekstrem durumlarda müdehale için de kullanıması mümkündür. Buna göre, sera iskelet malzemesinin, yıkılmaya sebep verecek basınç altındaki eğilmesi tespit edilerek kalibrasyonu yapılan sensörler, havalandırmaları kontrol ederek durumun önlenmesini sağlayabilir. Ayrıca, sera iç ortam şartlarında arıza yapmadan çalışabilecek sensörler için üretim standartları, çalışma kapsamında gözlemlenen sorunlar ışığında oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

Abas M. ve Rahman K. (2016). Fabrication of Flex Sensors Through Direct Ink Write Technique and its Electrical Characterization. Applied Physics A: Material Science and Processing. 122. Makale numarası: 972. https://doi.org/10.1007/s00339-016-0507-8

Al-Fakih E., Abu Osman N.A., Mahamd Adikan F.R. (2012). The Use of Fiber Bragg Grating Sensors in Biomechanics and Rehabilitation Applications: The State-of-the-Art and Ongoing Research Topics. Sensors. 12,12. pp 890–926. https://doi.org/10.3390/s121012890

Arıcı İ. (2006). Sera Yapım Tekniği. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notları No:44. Bursa. 5. Baskı.

Bessonov A., Kirikova M., Haque S., Gartseev I., Bailey M.J. (2014). Highly Reproducible Printable Graphite Strain Gauges for Flexible Devices. Sensors and Actuators A: Physical. 206. pp 75-80. https://doi.org/10.1016/j.sna.2013.11.034

Bonnet S. ve Héliot R. (2007). A Magnetometer-Based Approach for Studying Human Movements. IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 54,7. pp 1353-1355. https://doi.org/10.1109/TBME.2007.890742

Briassoulis D., Dougka G., Dimakogianni D., Vayas I. (2016). Analysis of the Collapse of a Greenhouse with Vaulted Roof. Biosystems Engineering. 151. pp 495-509. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.10.018

Caglar U., Kaija K., Mansikkamaki P. (2008). Analysis of Mechanical Performance of Silver Inkjet-Printed Structures. Second IEEE International Nanoelectronics Conference. pp 851-856. https://doi.org/10.1109/INEC.2008.4585617

Chen Y., Oliveira J.M., Hunter I.W. (2013). Two-Axis Bend Sensor Design, Kinematics and Control for a Continum Robotic Endoscope. Robotics and Automation (ICRA), International Conference on IEEE. pp 704-710. https://doi.org/10.1109/ICRA.2013.6630650

Cochrane C., Koncar V., Lewandowski M., Dufour C. (2007). Design and Development of a Flexible Strain Sensor for Textile Structures Based on a Conductive Polymer Composite. Sensors. 7,4. pp 473-492. https://doi.org/10.3390/s7040473

Coyle S., Morris D., Lau K.T., Diamond D., Moyna N. (2009). Textile-Based Wearable Sensors for Assisting Sports Performance. Wearable and Implantable Body Sensor Networks, Sixth International Workshop on IEEE. pp 307-311.

https://doi.org/10.1109/BSN.2009.57

Dhepekar P., Adhav Y.G. (2016). Wireless Robotic Hand for Remote Operations using Flex Sensor. 2016 International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT). 9-10 Eylül. Pune, India. https://doi.org/10.1109/ICACDOT.2016.7877562

Dua V., S.P. Surwade, S. Ammu, S.R. Agnihotra, S. Jain, K.E. Roberts. (2010). All-Organic Vapor Sensor Using Inkjet-Printed Reduced Graphene Oxide. Angewandte Chemie International Edition. 49,12. pp 522–531. https://doi.org/10.1002/anie.200905089

Dupen B. (2016). Applied Strength of Materials for Engineering Technology. Manufacturing and Construction Engineering Technology Faculty Publications. Indiana University-Purdue University Fort Wayne. p.94.

Elgeneidy K., Lohse N., Jackson M. (2016). Data-Driven Bending Angle Prediction of Soft Pneumatic Actuators with Embedded Flex Sensors. 7th IFAC Symposium on Mechatronic Systems MECHATRONICS, 5-8 Eylül. Loughborough Universitesi, Leicestershire, UK. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.654

Flexpoint Sensor Systems. (2005). Seat Occupant Detection. Erişim adresi: https://www.flexpoint.com/occupant-detection

Garda Y.R., Caesarendra W., Tjahjowidodo T., Turnip A. Wahyudati S., NurHasanah L., Sutopo D. (2018). Flex Sensor Based Biofeedback Monitoring for Post-Stroke Fingers Myopathy Patients. Journal of Physics: Conference Series, Volume 1007, International Conference on Mechanical, Electronics, Computer, and Industrial Technology 6–8 Aralık. Prima, Endonezya. Makale numarası: 012069. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1007/1/012069

Garner S., S. Glaesemann, X. Li. (2014). Ultra-Slim Flexible Glass for Roll to- Roll Electronic Device Fabrication. Applied Physics A. 116,2. pp 403–407. https://doi.org/10.1007/s00339-014-8468-2

Gentner R. ve Classen J. (2009). Development ve Evaluation of a Low-Cost Sensor Glove for Assessment of Human Finger Movements in Neurophysiological Settings. Journal of Neuroscience Methods. 178,1. pp 138-147. https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2008.11.005

Ghosh A. (2011). Mechanics Over Micro and Nano Scales, Chapter 2 Scaling Laws. Springer Science+Business Media. pp 61-94. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9601-5

Gibbs P.T. ve Asada H.H. (2005). Wearable Conductive Fiber Sensors for Multi-Axis Human Joint Angle Measurements. Journal of NeuroEngineering ve Rehabilitation. 2,7. https://doi.org/10.1186/1743-0003-2-7

Hansson G.A., Balogh I., Ohlsson K., Rylander L., Skerfving S. (1996). Goniometer Measurement and Computer Analysis of Wrist Angles and Movements Applied to Occupational Repetitive Work. Journal of Electromyography and Kinesiology. 6,1. pp 23–35. https://doi.org/10.1016/1050-6411(95)00017-8

Hidayat A., Arief Z., Happyanto D. (2016). LOVETT Scaling with Flex Sensor and MYO Armband for Monitoring Finger Muscles Therapy of Post-Stroke People. EMITTER International Journal of Engineering Technology. 3,2. pp 60-76. https://doi.org/10.24003/emitter.v3i2.45

Hoxey R.P. ve Richardson G.M. (1983). Wind Loads on Film Plastic Greenhouses. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics. 11,1-3. pp 225- 237. https://doi.org/10.1016/0167-6105(83)90102-2

Hoxey R.P. ve Richardson G.M. (1984). Measurements of Wind Loads on Full-Scale Film Plastic Clad Greenhouses. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics. 16,1. pp 57- 83. https://doi.org/10.1016/0167-6105(84)90049-7

Hur D.J. ve Kwon S. (2017). Fatigue Analysis of Greenhouse Structure Under Wind Load and Self-Weight. Applied Sciences. 7. Paper number:1274. https://doi.org/10.3390/app7121274

Jacob A., Zakaria W.N.W., Tomari M.R.B.M., Sek T.K., Suberi A.A.M. (2017). Wearable Flex Sensor System for Multiple Badminton Player Grip Identification. Advances in Electrical and Electronic Engineering: From Theory to Applications: Proceedings of the International Conference on Electrical and Electronic Engineering (IC3E 2017). 1883,1. Makale numarası: 020036. https://doi.org/10.1063/1.5002054

Jalil M.E., M.K.A. Rahim, N.A. Samsuri. (2016). Flexible Printed Chipless RFID Tag Using Metamaterial–Split Ring Resonator. Applied Physics A. 122,348. https://doi.org/10.1007/s00339-016-9865-5

Jesperson E. ve Neuman M.R. (1988). A Thin Film Strain Gauge Angular Displacement Sensor for Measuring Finger Joint Angles. Engineering in Medicine and Biology Society, Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE. Paper number: 807. https://doi.org/10.1109/IEMBS.1988.95058

Jurgens J. ve Patterson P.E. (1997). Development and Evaluation of an Inexpensive Sensor System for Use in Measuring Relative Finger Positions. Medical Engineering &

Physics. 19,1. pp 1-6. https://doi.org/10.1016/s1350-4533(96)00037-9

Karttunen M., Ruuskanen P., Pitkänen V., Albers W.M. (2008). Electrically Conductive Metal Polymer Nanocomposites for Electronics Applications. Journal of Electronic Materials. 37,7. pp 951-954. https://doi.org/10.1007/s11664-008-0451-2

Kızıl Ü. (2014). Tavuk Gübresinde Bulunabilecek Salmonella (*S. Enterica*) Patojeninin Belirlenmesinde Kullanılabilecek Bir Elektronik Burun Sisteminin Geliştirilmesi. TÜBITAK proje numarası: 111O577.

Kızıl Ü. ve Aksu S. (2019). Design of an Arduino based digital psychrometric device. Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Degisi. 24,özel sayı. pp. 1-8.e-ISSN: 2667-7733

Kızıl Ü., Aksu S., Çamoğlu G. (2018). Kontrollü Ortamda Bitkisel Yetiştiricilik için Arduino Uyumlu Bir Toprak Nemi İzleme Sistemi Tasarımı. ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi. 6,2. pp. 131-139. ISSN: 2147-8384

Kızıl Ü., Genç L., Saçan M. (2010). Plastik Örtülü Boru Çerçeveli Seraların Projelenmesinde Kullanılabilecek Bir Yazılımın Geliştirilmesi. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi. 7,3. pp. 147-153. Erişim Adresi: https://dergipark.org.tr/tr/pub/jotaf/issue/19044/201428

Kızıl Ü., Genç L., Aksu S. (2016). Bir Elektronik Burun Sisteminin Hayvan Barınaklarından Kaynaklanan Koku Probleminin Değerlendirilmesinde Kullanım Olanakları. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. 53,4. pp. 435-440. https://doi.org/10.20289/zfdergi.392859

Kızıl Ü. ve Saçan M. (2010). Artificial Neural Network Model As A Statical Analysis Tool In Pipe-Framed Greenhouse Design. Journal of Food, Agriculture and Environment. 8,2. pp. 843-846. ISSN: https://portal.issn.org/resource/issn/1459-0255

Kim D., N. Lu, R. Ma, Y. Kim, S. Wang. (2011). Epidermal Electronics. Science. 333,6044. pp 838–843. https://doi.org/10.1126/science.1206157

Kim R., Lee I., Kwon K. (2017). Evaluation of Wind Pressure Acting on Multi-Span Greenhouses using CFD Technique, Part 1: Development of the CFD Model. Biosystems Engineering. 164. pp 235-256. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.09.008

Kojima, Y., Shigeta, R., Miyamoto, N., Shirahama, Y., Nishioka, K., Mizoguchi, M., Kawahara, Y. (2016). Low-Cost Soil Moisture Profile Probe Using Thin-Film Capacitors and a Capacitive Touch Sensor. Sensors, 16,8. pp 1292. https://doi.org/ 10.3390/s16081292

Kuroyanagi T. (2017). Investigation Air Leakage and Wind Pressure Coefficients of Single-Span Plastic Greenhouses using Computational Fluid Dynamics. Biosystems Engineering. 163. pp 15-27. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.08.004

Kushner, D. (2011). The Making of Arduino, IEEE Spectrum, Erişim adresi: https://spectrum.ieee.org/geek-life/hands-on/the-making-of-arduino

Kwon K., Kim D., Kim r., Ha T., Lee I. (2016). Evaluation of wind pressure coefficients of single-span greenhouses built on reclaimed coastal land using a large-sized wind tunnel. Biosystems Engineering. 141. pp 58-81. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.11.007

Lee W., Kim S., Lim Y.K., Oh A., Nam T.J., Kim K.E. (2010). A Rapid Prototyping Method for Discovering User-Driven Opportunities for Personal Informatics. Virtual Systems and Multimedia (VSMM), 16th International Conference on IEEE. pp 261-266. https://doi.org/10.1109/VSMM.2010.5665975

Liou J.C. ve Fang K.W. (2017). Flex Sensor for Stroke Patients Identify the Specific Behavior with Different Bending Situations. 6th International Symposium on Next Generation Electronics (ISNE), 23-25 Mayıs, Keelung, Taiwan. pp 1-2. https://doi.org/ 10.1109/ISNE.2017.7968716

Liu H., Meng Z., Cui S. (2007). A Wireless Sensor Network Prototype for Environmental Monitoring in Greenhouses. 2007 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. 21-25 Eylül, Shangai, Çin. pp. 2344-2347. https://doi.org/10.1109/WICOM.2007.584

Luinge H.J., Veltink P.H., Baten C.T.M. (2007). Ambulatory Measurement of Arm Orientation. Journal of Biomechanics. 40,1. pp 78–85. https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2005.11.011

Ma Y., Mao Z.H., Jia W., Li C., Yang J., Sun M. (2011). Magnetic Hand Tracking for Human-Computer Interface. IEEE Transactions on Magnetics. 47,5. pp 970–973. https://doi.org/10.1109/TMAG.2010.2076401

Mathews E.H. ve Meyer J.P. (1987). Numerical Modelling of Wind Loading on a Film Clad Greenhouse. Building and Environmental. 22,2. pp 129-134. https://doi.org/ 10.1016/0360-1323(87)90032-1

Mathews E.H. ve Meyer J.P. (1988). Computation of Wind Loads on a Semicircular Greenhouse. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 29. pp 225-233. https://doi.org/10.1016/0167-6105(88)90160-2

Merilampi S., Laine-Ma T., Ruuskanen P. (2009). The Characterization of Electrically

Conductive Silver Ink Patterns on Flexible Substrates. Microelectronics Reliability. 49,7. pp 782-790. https://doi.org/10.1016/j.microrel.2009.04.004

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). (2019). Çanakkale İlinin İklim Durumu. Erişim adresi: http://izmir.mgm.gov.tr/FILES/iklim/canakkale_iklim.pdf

Mistriotis A., Briassoulis D. (2002). Numerical Estimation of the Internal and External Aerodynamic Coefficients of a Tunnel Greenhouse Structure with Openings. Computers and Electronics in Agriculture. 34. pp 191-205. https://doi.org/10.1016/S0168-1699(01)00187-9

Mori T., Tanaka Y., Mito M., Yoshikawa K., Katane D., Torishima H., Shimizu Y., Hara Y. (2014). Proposal of Bioinstrumentstion using Flex Sensor for Amputed Upper Limb. 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 6 Kasım. Chicago, USA. https://doi.org/10.1109/EMBC.2014.6943816

Moriyama H., Mears D.R., Sase S., Kowata H., Ishii M. (2003). Design Consideration for Small-Scale Pipe Greenhouses to Prevent Arch Buckling Under Snow Load. ASAE Annual International Meeting. Makale numarası: 034047. https://doi.org/ 10.13031/2013.13861

Moriyama H., Sase S., Okushima L., Ishii M. (2014). Review Which Design Constraints Apply to a Pipe-Framed Greenhouse?: From Perspective of Structural Engineering, Meteorological Conditions and Wind Engineering. Japan Agricultural Research Quarterly. 49,1. pp 1-10. https://doi.org/10.6090/jarq.49.1.

Nayak A.K., Ramana Rao K.V. (2014). Estimation of Wind Load on a Greenhouse and Evoluation of its Structural Stability. International Journal of Agricultural Engineering. 7,2. pp 461-466. https://doi.org/ 10.15740/HAS/IJAE/7.2/461-466

Oess N.P., Wanek J., Curt A. (2012). Design ve Evaluation of a Low-Cost Instrumented Glove for Hand Function Assessment. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. 9,2. https://doi.org/10.1186/1743-0003-9-2

Pignanelli J., Schlingman K., Carmichael T.B., Rondeau-Gagne S., Ahamed M. (2019). A Comparative Analysis of Capacitive-Based Flexible PDMS Pressure Sensors. Sensors and Actuators A: Physical. 285. pp 427-435. https://doi.org/10.1016/j.sna.2018.11.014

Priya S.L. ve Chitra P. (2017). Flex Sensor Based Text Recognition System for Blind People using Android Mobile. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 8,4. pp 125-132. ISSN: 0975-8585

Rocha R., Silva A., Carmo J. ve Correia J. (2011). FBG in PVC Foils for Monitoring the Knee Joint Movement During the Rehabilitation Rrocess. Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference of the IEEE: IEEE pp 458–61. https://doi.org/10.1109/IEMBS.2011.6090064

Rosset S., Shea H.R. (2013). Flexible and Stretchable Electrodes for Dielectric Elastomer Actuators. Applied Physics A. 110,2. pp 281–307. https://doi.org/10.1007/s00339-012-7402-8

Saggio G. (2012). Mechanical Model of Flex Sensors Used to Sense Finger Movements. Sensors and Actuators A: Physical. 185. pp 53-8. https://doi.org/10.1016/j.sna.2012.07.023

Saggio G., Bocchetti S., Pinto C.A., Orengo G. (2010). Wireless Data Glove System Developed for HMI. Conference: Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL), Third International Symposium on IEEE. pp 1-5. https://doi.org/10.1109/ISABEL.2010.5702926

Saggio G. ve Orengo G. (2018). Flex Sensor Characterization against Shape and Curvature Changes. Sensors and Actuators A: Physical. 273. pp 221-231. https://doi.org/10.1016/j.sna.2018.02.035

Saggio G., Riillo F., Sbernini L., Quitadamo L.R. (2016). Resistive Flex Sensors: A Survey. Smart Materials and Structures. 25,1. pp 1-30. https://doi.org/10.1088/0964-1726/25/1/013001

Sajid M., Dang H.W., Na K., Choi K.H. (2015). Highly Stable Flex Sensors Fabricated Through Mass Production Roll-to-Roll Micro-Gravure Printing System. Sensors and Actuators A: Physical. 206. pp 73-81. https://doi.org/10.1016/j.sna.2015.10.037

Sanca A.S., Rocha J.C., Eugenio K.J.S., Nascimento L.B.P., Alsina P.J. (2018). Characterization of Resistive Flex Sensor Applied to Joint Angular Displacement Estimation. 2018 Latin American Robotic Symposium, 2018 Brazilian Symposium on Robotics (SBR) and 2018 Workshop on Robotics in Education (WRE), 6-10 Kasım. Joao Pessoa, Brezilya. pp 33-38. https://doi.org/ 10.1109/LARS/SBR/WRE.2018.00016

Sasikala V. ve Selvakumar J. (2014). Architecture Escort: Structural Health Monitoring System Using Wireless Sensor Network. International Journal of Scientific Engineering and Research. 2,4. pp 20-24. ISSN: https://portal.issn.org/resource/issn/2347-3878

Sekitani T., T. Yokota, U. Zschieschang, H. Klauk, S. Bauer, K. Takeuchi. (2009). Organic

Nonvolatile Memory Transistors for Flexible Sensor Arrays. Science. 326,5959. pp 1516–1519. https://doi.org/10.1126/science.1179963.

Shin K., J. Hong, J. Jang. (2011). Micropatterning of Graphene Sheets by Inkjet Printing and its Wideband Dipole-Antenna Application. Adv. Mater. 23,18. pp 2113–2118. https://doi.org/10.1002/adma.201100345

Skotadis E., Mousadakos D., Tanner J., Tsoukalas D., Broutas P. (2013). Flexible Platinum Nanoparticle Strain Sensors. Solid-State Device Research Conference (ESSDERC) on IEEE. pp 354-357. https://doi.org/10.1109/ESSDERC.2013.6818891

Sun J.J.B. ve Wu K. 2013. A Prototype Wireless Sensor Network for Precision Agriculture. 2013 IEEE 33rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops. 8-11 Temmuz, Philadelphia, ABD. pp. 280-285. https://doi.org/10.1109/ICDCSW.2013.10

Uematsu Y., Nakahara K., Tanaka S., Moriyama H., Sase S. (2009). Effects of Sidewall Openings on the Wind Loads on Pipe-Framed Greenhouses. The Seventh Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, 8-12Kasım. Taipei, Taiwan. Erişim adresi: https://www.yumpu.com/en/document/view/21821499/effects-of-side-wall-openings-on-the-wind-loads-on-pipe-framed-

Wells D.A. ve Hoxey R.P. (1980). Measurements of Wind Loads on Full-Scale Glasshouses. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics. 6,1-2. pp 139-167. https://doi.org/10.1016/0167-6105(80)90027-6

Willemsen A.T.M., Van Alste J.A., Boom H.B.K. (1990). Real-time Gait Assessment Utilizing a New Way of Accelerometry. Journal of Biomechanics. 23,8. pp 859–863. https://doi.org/ 10.1016/0021-9290(90)90033-y

Williamson R. ve Andrews B.J. (2001). Detecting Absolute Human Knee Angle and Angular Velocity Using Accelerometers and Rate Gyroscopes. Medical and Biological Engineering ve Computing. 39,3. pp 294–302. https://doi.org/10.1007/BF02345283

Yang Z.Q., Li Y.X., Xue X.P., Huang C.R., Zhang B. (2013). Wind Loads on Single-Span Plastic Greenhouses and Solar Greenhouses. Hortechnology. 23,5. pp 622-628. https://doi.org/10.21273/HORTTECH.23.5.622

Yuhan J., Yiqiong J., Ting L., Man Z., Sha S., Minzan L. (2016). An improved method of tomato photosynthetic rate prediction based on WSN in greenhouse. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 9,1. pp. 146-152. https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20160901.1243

Yüksel A.N., Yüksel E. (2012). *Sera yapım tekniği.* İstanbul. Hasad Yayıncılık. ISBN: 978-975-8377-82-4

Zhang L., Tong G. (2011). Lateral Buckling of Eccentrically Braced RHS Columns. Thin-Walled Structures. 49. pp 1452-1459. https://doi.org/10.1016/j.tws.2011.07.006.

Zheng C.Y. ve Yunus J. (2014). Wearable Movement Analysis System for Children with Movement Disorders-Lower Extremities Assessment System. The 15th International Conference on Biomedical Engineering. pp 395-398. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02913-9_101

Zhou L., A. Wanga, S. Wu, J. Sun, S. Park, T.N. Jackson. (2006). Allorganic Active Matrix Flexible Display. Applied Physics Letters. 88,8. Makale numarası: 083502. https://doi.org/10.1063/1.2178213

Zhu R., Liu P., Liu X.D., Zhang F.X., Zhou Z.Y. (2009). A Low-Cost Flexible Hot-Film Sensor System for Flow Sensing and its Application to Aircraft. IEEE 22nd International Conference on Micro Electro Mechanical Systems. pp 527-530. https://doi.org/10.1109/MEMSYS.2009.4805435

EKLERİ

EK 1. Sensör dirençlerinin belirlenmesi için üretilen düzeneğin yazılım satırları

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3f, 16, 2);
int analogIn1Pin = A0;
int sensor1Value = 0;
void setup() {
lcd.begin();
Serial.begin(9600);
lcd.backlight();
}
void loop() {
sensor1Value = analogRead(analogIn1Pin);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(sensor1Value);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Sensor");
Serial.print("Sensor: ");
Serial.println(sensor1Value);
delay(1024);
lcd.clear();
}
```

EK 2. Sensörlerin sıcaklık tepkisinin belirlenmesi için üretilen düzeneğin yazılım satırları

```
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <dht.h>
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"
RTC_DS1307 RTC;
dht DHT;
#define DHT11_PIN 7
const int chipSelect = 4;
void setup() {
Serial.begin(9600);
Wire.begin();
RTC.begin();
while (!Serial) {
;
}
Serial.print("Initializing SD card...");
 if (!SD.begin(chipSelect)) {
Serial.println("Card failed, or not present");
while (1);
}
Serial.println("card initialized.");
}
void loop() {
DateTime now = RTC.now();
int chk = DHT.read11(DHT11_PIN);
String dataString = "";
int analogPin = 0;
 int sensor = analogRead(analogPin);
dataString += String(sensor);
for (int analogPin = 0; analogPin < 1; analogPin++) {
int sensor = analogRead(analogPin);
dataString += String(sensor);
if (analogPin < 0) {
dataString += " ";
}
}
File dataFile = SD.open("datalog.csv", FILE_WRITE);
if (dataFile) {
dataFile.print(now.year(), DEC);
dataFile.print('.');
dataFile.print(now.month(), DEC);
dataFile.print('.');
dataFile.print(now.day(), DEC);
dataFile.print(" ");
dataFile.print(now.hour(), DEC);
dataFile.print(':');
```

```
dataFile.print(now.minute(), DEC);
dataFile.print(':');
dataFile.print(now.second(), DEC);
dataFile.print(" ");
dataFile.print(DHT.temperature);
dataFile.print(" ");
dataFile.print(DHT.humidity);
dataFile.print(" ");
dataFile.print(dataString);
dataFile.println();
dataFile.close();
Serial.print(now.year(), DEC);
Serial.print('/');
Serial.print(now.month(), DEC);
Serial.print('/');
Serial.print(now.day(), DEC);
Serial.print(‘');
Serial.print(now.hour(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.print(now.minute(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.print(now.second(), DEC);
Serial.println();
Serial.print("Sicaklik = ");
Serial.println(DHT.temperature);
Serial.print("Nem = ");
Serial.println(DHT.humidity);
Serial.print("Sensor = ");
Serial.println(dataString);
Serial.println();
}
else {
Serial.println("error opening datalog.txt");
}
delay(1000);
}
```

EK 3. Prototip cihazın yazılım satırları

```
char  databuffer[35];
int windDir= 0, humidity= 0, chk = 0;
float windSpeAvg = 0, windSpeMax= 0, temp= 0, rainfallhour= 0, rainfallday= 0,
 barPres= 0;
char valA[10], valB[10], valC[10],valD[10], valE[10], valF[10],valG[10],
valP[10], valR[10], valS[10], valA1[10], valA2[10],valA3[10], valA4[10],
valA5[10],valA6[10];
char urlData[600];
#include <dht.h>
dht DHT;
#define DHT11_PIN 12
unsigned long lastTime = 0, sendMessagelastTime= 0;
void getBuffer()
{
int index;
for (index = 0;index < 35;index ++)
{
if(Serial3.available())
{
databuffer[index] = Serial3.read();
if (databuffer[0] != 'c')
{
index = -1;
}
}
else
{
 index ;
}
}
}
int transCharToInt(char *_buffer,int _start,int _stop)
{
 int _index;
 int result = 0;
 int num = _stop - _start + 1;
 int _temp[num];
for (_index = _start;_index <= _stop;_index ++)
{
_temp[_index - _start] = _buffer[_index] - '0';
result = 10*result + _temp[_index - _start];
}
return result;
}
int WindDirection()
{
windDir = transCharToInt(databuffer,1,3);
```

```
return windDir;
}
float WindSpeedMax()
{
windSpeMax = 0.44704 * transCharToInt(databuffer,9,11);
return windSpeMax;
}
float Temperature()
{
temp = (transCharToInt(databuffer,13,15) - 32.00) * 5.00 / 9.00;
return temp;
}
float RainfallOneHour()
{
rainfallhour = transCharToInt(databuffer,17,19) * 25.40 * 0.01;
return rainfallhour;
}
float RainfallOneDay()
{
rainfallday = transCharToInt(databuffer,21,23) * 25.40 * 0.01;
return rainfallday;
}
int Humidity()
{
humidity = transCharToInt(databuffer,25,26);
return humidity;
}
float BarPressure()
{
barPres = transCharToInt(databuffer,28,32) / 10.00;
return barPres;
}
void sendData(float inTemp,float inHumid){
Serial1.println("AT+SAPBR=3,1,\"APN\",\"internet\"");
delay(1000);
Serial1.println("AT+SAPBR=1,1");
delay(1500);
Serial1.println("AT+HTTPINIT");
delay(1000);
Serial1.println("AT+HTTPPARA=\"CID\",1");
delay(1000);
dtostrf(windDir, 3, 3, valA);
dtostrf(windSpeMax, 3, 3, valC);
dtostrf(temp, 3, 3, valD);
dtostrf(rainfallhour, 3, 3, valE);
dtostrf(rainfallday, 3, 3, valF);
dtostrf(humidity, 3, 3, valG);
dtostrf(barPres, 3, 3, valR);
dtostrf(inTemp, 3, 3, valP);
dtostrf(inHumid, 3, 3, valS);
```

```
dtostrf(analogRead(A8), 3, 3, valA1);
dtostrf(analogRead(A9), 3, 3, valA2);
dtostrf(analogRead(A10), 3, 3, valA3);
dtostrf(analogRead(A11), 3, 3, valA4);
dtostrf(analogRead(A12), 3, 3, valA5);
dtostrf(analogRead(A13), 3, 3, valA6);
strcpy(urlData, "AT+HTTPPARA=\"URL\",\"http://www.unalkizil.com/sefa.php?");
strcat(urlData, "RuzgarYonu=");
strcat(urlData, valA);
strcat(urlData, "&MaxRuzgarHizi=");
strcat(urlData, valC);
strcat(urlData, "&Sicaklik=");
strcat(urlData, valD);
strcat(urlData, "&SaatlikYagis=");
strcat(urlData, valE);
strcat(urlData, "&GunlukYagis=");
strcat(urlData, valF);
strcat(urlData, "&BagilNem=");
strcat(urlData, valG);
strcat(urlData, "&AtmBasinci=");
strcat(urlData, valR);
strcat(urlData, "&IcSicaklik=");
strcat(urlData, valP);
strcat(urlData, "&IcNem=");
strcat(urlData, valS);
strcat(urlData, "&S1=");
strcat(urlData, valA1);
strcat(urlData, "&S2=");
strcat(urlData, valA2);
strcat(urlData, "&S3=");
strcat(urlData, valA3);
strcat(urlData, "&S4=");
strcat(urlData, valA4);
strcat(urlData, "&S5=");
strcat(urlData, valA5);
strcat(urlData, "&S6=");
strcat(urlData, valA6);
strcat(urlData, "\"");
Serial.print("Payload: ");
Serial.print(urlData);
Serial.println(" EOL");
delay(1000);
Serial1.println(urlData);
delay(1000);
Serial1.println("AT+HTTPACTION=0");
Serial.println("Data sent!");
}
void sendSms(){
Serial1.print("AT+CMGF=1\r"); // Set the shield to SMS mode
delay(100);
```

```
Serial1.println("AT+CMGS=\"+905355635461\"");
delay(100);
Serial1.println(urlData);
delay(100);
Serial1.print((char)26);
delay(100);
Serial1.println();
Serial.println("Sms Sent.");
}
void setup()
{
Serial.begin(9600);
Serial1.begin(9600);
Serial3.begin(9600);
delay(500);
}
void loop()
{
getBuffer();
if (millis() - lastTime > 60000)
{
Serial.print("Wind Direction: ");
Serial.print(WindDirection());
Serial.println("  ");
Serial.print("Max Wind Speed (Five Minutes): ");
Serial.print(WindSpeedMax());
Serial.println("m/s");
Serial.print("Rain Fall (One Hour): ");
Serial.print(RainfallOneHour());
Serial.println("mm  ");
Serial.print("Rain Fall (24 Hour): ");
Serial.print(RainfallOneDay());
Serial.println("mm");
Serial.print("Temperature: ");
Serial.print(Temperature());
Serial.println("C  ");
Serial.print("Humidity: ");
Serial.print(Humidity());
Serial.println("%  ");
Serial.print("Barometric Pressure: ");
Serial.print(BarPressure());
Serial.println("hPa");
chk = DHT.read11(DHT11_PIN);
Serial.print("DhtTemperature = ");
Serial.println(DHT.temperature);
Serial.print("DhtHumidity = ");
Serial.println(DHT.humidity);
Serial.println("");
sendData(DHT.temperature, DHT.humidity);
lastTime = millis();
```

```
}
if(millis() - sendMessagelastTime > 21600000)
{
sendSms();
sendMessagelastTime = millis();
}
}
```

Ek Tablo 1. Birinci deney basma testi sonuçları

Ağırlık	**Sensör Değeri**
0	487
40	473
50	469
60	464
70	452
80	454
90	451
100	448
110	444
120	438
130	436
140	433
150	430
160	421
170	324
180	326
190	327
200	326
210	323
220	320
230	320
240	323
250	323
260	321
270	325
280	320
290	322

Ek Tablo 2. Birinci deney eğme testi sonuçları

Ağırlık	**Sensör Değeri**
0	651
40	364
50	343
60	334
70	327
80	321
90	320
100	309
110	306
120	313

Ek Tablo 3. İkinci deney sonuçları

Ağırlık	Sensör 1 Değeri	Sensör 2 Değeri	Sensör 3 Değeri
0	316	238	358
5	312	227	357
10	312	225	359
15	313	224	360
20	311	219	361
25	312	217	361
30	313	215	361
35	312	213	361
40	328	217	364
45	321	211	363
50	324	216	365
55	326	207	365
60	327	203	365
65	322	201	361
70	329	209	363
75	328	201	364
80	329	203	363
85	326	203	363
90	326	202	362
95	322	198	360
100	322	198	361
105	322	195	362
110	319	194	360
115	320	195	361
120	319	198	361
125	318	194	360
130	321	202	361
125	325	209	364
120	325	209	365
115	326	211	367
110	329	216	367
105	328	212	367
100	327	214	368
95	329	211	368
90	331	216	371
85	327	214	370
80	330	210	371
75	329	211	372

Ağırlık	Sensör 1 Değeri	Sensör 2 Değeri	Sensör 3 Değeri
70	332	220	373
65	331	213	374
60	331	212	374
55	330	211	372
50	332	214	373
45	327	210	373
40	331	206	372
30	330	208	371
25	321	200	371
20	327	202	374
15	328	208	375
10	330	208	377
5	334	214	378
0	335	220	376
5	331	200	351
10	334	195	352
15	330	189	350
20	325	190	351
25	322	188	351
30	325	188	349
35	329	185	349
40	332	182	352
45	336	186	353
50	335	182	352
55	333	178	351
60	327	172	349
65	331	178	351
70	330	170	351
75	329	169	350
80	326	169	349
85	322	166	345
90	322	170	349
95	324	169	348
100	322	171	348
105	324	176	349
110	320	171	349
115	316	169	347
120	316	165	346

Ek Tablo 3 devam. İkinci deney sonuçları

Ağırlık	Sensör 1 Değeri	Sensör 2 Değeri	Sensör 3 Değeri
125	319	169	348
130	317	164	350
125	322	172	351
120	324	180	354
115	326	182	354
110	325	180	353
105	324	188	357
100	325	186	357
95	326	191	357
90	325	179	357
85	324	178	356
80	324	178	356
75	323	177	356
70	325	181	358
65	328	181	356
60	326	177	355
55	326	179	355
50	322	176	355
45	324	180	358
40	327	184	358
35	326	178	356
30	324	177	355
25	330	190	359
20	331	194	361
15	332	196	362
10	332	198	363
5	333	199	364
0	337	198	363
5	334	198	363
10	327	192	361
15	341	196	359
20	325	195	358
25	325	194	356
30	320	193	354
35	320	189	353
40	335	189	357
45	336	192	357
50	333	189	356

Ağırlık	Sensör 1 Değeri	Sensör 2 Değeri	Sensör 3 Değeri
55	332	187	356
60	329	183	354
65	329	182	355
70	326	177	354
75	325	178	354
80	325	176	352
85	321	176	352
90	321	176	352
95	319	177	353
100	322	182	353
105	322	180	353
110	325	187	353
115	322	182	353
120	320	177	353
125	320	177	353
130	315	174	348
135	315	173	348
140	314	173	349
145	317	172	350
150	319	180	351
145	320	189	352
140	321	195	352
135	321	196	353
130	321	198	353
125	324	202	354
120	323	198	354
115	325	195	354
110	326	203	356
105	326	201	356
100	328	200	356
95	324	195	356
90	327	196	357
85	325	195	355
80	323	194	356
75	325	192	356
70	323	193	355
65	324	196	356
60	325	192	357

Ek Tablo 3 devam. İkinci deney sonuçları

Ağırlık	Sensör 1 Değeri	Sensör 2 Değeri	Sensör 3 Değeri
55	325	199	357
50	325	202	358
45	326	202	357
40	328	204	358
35	326	196	357
30	325	196	358
25	331	201	361
20	330	199	362
15	329	201	363
10	333	201	365
5	335	203	367
0	337	202	366

Ek Tablo 4. Üçüncü deney eğme testi sonuçları

Ağırlık	**Sensör Değeri**
0	763
5	765
10	762
15	758
20	756
25	755
30	756
35	760
40	753
45	753
50	752
55	750
60	751
65	750
70	751
75	750
80	749
85	745
90	748
95	747
100	746
95	748
90	748
85	749
80	748
75	750
70	749
65	752
60	752
55	753
50	754
45	753
40	754
35	752
30	757
25	758
20	761
10	763
5	764

Ek Tablo 5. Üçüncü deney eğme fazla yükleme testi sonuçları

Ağırlık	Sensör Değeri
0	545
5	535
10	516
15	509
20	505
25	500
30	500
35	500
40	512
45	490
50	512
55	498
60	510
65	502
70	490
75	493
80	496
85	496
90	502
95	502
100	504
105	503
110	516
115	516
120	538
125	540
130	538
135	539
140	554
145	599
150	607
155	619
160	634
165	699
170	721

Ağırlık	Sensör Değeri
165	704
160	675
155	668
150	661
145	656
140	651
135	645
130	642
125	642
120	632
115	624
110	624
105	630
100	627
95	613
90	602
85	604
80	598
75	591
70	577
65	585
60	568
55	570
50	573
45	563
40	562
35	555
30	562
25	574
20	572
15	572
10	572
5	577
0	570

Ek Tablo 6. Dördüncü deney sonuçları

Ağırlık	Sensör 1 Değeri	Sensör 2 Değeri	Sensör 3 Değeri
0	574	622	438
40	568	629	440
50	561	632	440
60	560	632	435
70	557	631	434
80	556	633	432
90	555	632	433
100	549	633	427
110	552	633	428
120	548	634	427
130	548	635	427
140	550	634	429
150	536	634	410
160	536	636	404
170	535	635	390
180	536	634	394
190	538	635	391
200	538	634	393
210	540	633	391
220	540	633	392
230	540	634	394
240	545	636	395
250	540	637	383
240	541	637	391
230	541	636	388
220	543	636	395
210	542	636	387
200	543	636	390
190	543	636	396
180	544	637	403
170	547	637	407
160	547	637	411
150	548	638	413
140	547	638	410
130	547	638	402
120	550	638	404
110	548	638	408
100	549	639	406

Ağırlık	Sensör 1 Değeri	Sensör 2 Değeri	Sensör 3 Değeri
90	548	639	404
80	550	639	406
70	549	638	403
60	549	639	403
50	549	639	401
40	549	639	400
50	550	639	407
60	550	639	407
70	550	639	408
80	549	638	407
90	550	639	405
100	550	639	405
110	549	639	403
120	550	639	400
130	550	639	398
140	549	639	395
150	549	639	390
160	549	639	385
170	548	639	378
180	547	640	376
190	547	639	374
200	547	639	374
210	547	639	371
220	546	639	369
230	545	639	364
240	545	639	365
250	544	639	363
240	546	639	370
230	546	639	374
220	547	639	376
210	547	639	378
200	547	639	380
190	547	639	380
180	547	639	380
170	547	639	379
160	547	639	373
150	548	639	374
140	547	638	375

Ek Tablo 6 devam. Dördüncü deney sonuçları

Ağırlık	Sensör 1 Değeri	Sensör 2 Değeri	Sensör 3 Değeri
130	549	639	377
120	548	638	374
110	548	638	371
100	549	638	373
90	548	638	372
80	548	638	370
70	549	639	371
60	549	638	369
50	549	637	371
40	548	638	369

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sefa AKSU

Doğum Yeri : BURSA

Doğum Tarihi : 19.03.1987

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, 2011

Yüksek Lisans Öğrenimi : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, 2014

Doktora Öğrenimi : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, 2020

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

a) Yayınlar

AKSU S., KIZIL Ü., "Design and Testing of Flexibility Sensors to be Used in Agricultural Engineering Applications", ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 2020, Basımda, DOI: 10.33202/comuagri.726746.

AKSU S., KIZIL Ü., "Design and Testing of a Laboratory Scale Deflection Apparatus", ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 2020, 8(1), pp. 185-190, DOI: 10.33202/comuagri.705619.

Kizil Ü., Aksu S., "Design of an Arduino based digital psychrometric device", Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Degisi, vol.24, pp.1-8, 2019.

Kizil Ü., Aksu S., "Hava Kalitesi Ölçüm Amaçlı Kullanılan Metal-oksit Gaz Sensörlerinin Sıcaklık ve Nem Etkileşimlerinin Belirlenmesi", ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, vol.6, pp.91-97, 2018.

Kizil Ü., Aksu S., Çamoğlu G., "Kontrollü Ortamda Bitkisel Yetiştiricilik için Arduino Uyumlu Bir Toprak Nemi İzleme Sistemi Tasarımı", ÇOMÜ Ziraat Fakültesi

Dergisi, vol.6, pp.131-139, 2018.

Kizil Ü., Genç L., Aksu S., "Air quality mapping using an e-nose system in Northwestern Turkey", Agronomy Research, vol.15, no.1, pp.205-218, 2017.

Aksu S., Kizil Ü., Genç L., Yildiz A.M., "Web ve android applications for district level nutrient management planning", Agronomy Research, vol.15, no.3, pp.622-628, 2017.

Kizil Ü., Genç L., Aksu S., "Bir Elektronik Burun Sisteminin Hayvan Barınaklarından Kaynaklanan Koku Probleminin Değerlendirilmesinde Kullanım Olanakları", Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, vol.53, pp.435-440, 2016.

Kizil Ü., Genç L., Aksu S., Tapinç A., "Performance Comparison of a Low Cost Air Quality Sensor with a Commercial Electronic Nose", International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic ve Communication Engineering, no.8, pp.595-598, 2015.

Aksu S., Kizil Ü., "Developing a Town Based Soil Database to Assess the Sensitive Zones in Nutrient Management", International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological ve Geophysical Engineering, no.8, pp.818-823, 2015.

b) Bildiriler

1) Uluslararası

Aksu S., Kizil Ü., "Spray Cooling for Bovine Barns", 1st International Congress on Agricultural Structures ve Irrigation, Antalya, TÜRKIYE, pp. 698-698.

Aksu S., Kizil Ü., "Determination of the Suitable Points for Central Biogas Facilities with Geographic Information System Models: A Case Study in Gümüşçay District", 1st International Congress on Agricultural Structures ve Irrigation, Antalya, TÜRKIYE, pp. 587-587.

Kizil Ü., Aksu S., Kinaci A.C., Özdemir D.B., "Bir E-Burun Sisteminin Arduino Tabanlı Dönüşümünün Yapılması", 1st International Congress on Agricultural Structures ve Irrigation, Antalya, TÜRKIYE, , pp.183-189.

Kizil Ü., Aksu S., Genç L., "Use of Open Source Microprocessors in Agricultural Structures ve Irrigation", 1st International Congress on Agricultural Structures ve Irrigation, Antalya, TÜRKIYE, pp.615-615.

Kizil Ü., Aksu S., Genç L., "Gübre Yönetiminde Besin Bütçesi Yöntemi için Bir Bilgisayar Programının Geliştirilmesi ve Uygulama Örneği", 13. Ulusal Kültürteknik Kongresi, Antalya, TÜRKIYE, 12-15 Nisan 2016, ss.44-50.

Genç L., İnalpulat M., Kizil Ü., Aksu S., "Determination of Paddy Rice Field Using Landsat 8 Images", International Conference on Biological, Civil ve Environmental Engineering (BCEE-2014), Dubai, Birleşik Arap Emirlikleri, 17-18 Mart 2014, pp.195-198.

Aksu S., Kizil Ü., Genç L., "A Simple Procedure In Designing Dairy Barn Thermal Environment", International Conference on Biological, Civil ve Environmental Engineering, Dubai, Birleşik Arap Emirlikleri, 17-18 Mart 2014, pp.190-193.

İnalpulat M., Genç L., Kizil Ü., Aksu S., "Responses of Eggplant to Pruning Under Irrigation Deficiency", International Conference on Biological, Civil ve Environmental Engineering (BCEE-2014), Dubai, Birleşik Arap Emirlikleri, 17-18 Mart 2014, pp.189-194.

2) Ulusal

Aksu S., Kizil Ü., "Optimum Gübre İşletim Modellerinin Bölgesel Olarak Belirlenmesi", II. Çanakkale Tarımı Sempozyumu, TÜRKIYE, ss.128-128.

c) Katıldığı Projeler

"Süt Sığırı Ahırları İçin Barınak İçi Ses Takip Cihazı Geliştirilmesi", BAP, FBA-2019-3080, Araştırmacı, Devam Ediyor.

"Küçük Süt Sığırı İşletmeleri İçin Sıcaklık Nem İndeksine Göre Çalışan Ekonomik Bir İklimlendirme Otomasyon Sisteminin Tasarımı", BAP, FHD-2018-2498, Araştırmacı, 2019.

"Arduino Uyumlu Toprak Nem Sensörlerinin Hassasiyetlerinin Belirlenmesi", BAP, FHD-2018-2610, Araştırmacı, 2019.

"Gübre İşletim Planlamasında Uzaktan Algılama Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Yüzey İstatistiği Yöntemlerinin Kullanılması: Gümüşçay Beldesi Uygulama Örneği", Kamu Kuruluşlarınca Desteklenen, 2511146, Araştırmacı, 2016.

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, 2012 – Devam Ediyor

İLETİŞİM

E-posta Adresi : aksusefa@comu.edu.tr
ORCID : 0000-0002- 2348-4082