



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**LABORATUVAR TİPİ DENEYSEL KURUTUCUDA AĞIRLIK TARTIM  
SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

**Osman Gökhan DEMİRÖZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Dr. Öğr. Üyesi Ebubekir YAŞAR**

**Temmuz - 2021**

**Her hakkı saklıdır.**

T.C.  
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**LABORATUVAR TİPİ DENEYSEL KURUTUCUDA AĞIRLIK TARTIM  
SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

**Osman Gökhan DEMİRÖZ**

TOKAT  
Temmuz - 2021

Her hakkı saklıdır.

Osman Gökhan DEMİRÖZ tarafından hazırlanan “**Laboratuvar Tipi Deneysel Kurutucuda Ağırlık Sisteminin Geliştirilmesi**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı **TARİH GİRİNİZ** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ebubekir YAŞAR

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi

İkinci Danışman

Unvanı Adı SOYADI giriniz-ikinci danışman

yoksa bu alanı siliniz

Üniversitesi

Üye

Unvanı Adı SOYADI giriniz

Üniversitesi

Üye

Unvanı Adı SOYADI Giriniz

Üniversitesi

Üye

(Gereksiz ise bu alanı siliniz)

Üye

(Gereksiz ise bu alanı siliniz)

Üye

(Gereksiz ise bu alanı siliniz)

ONAY

.....

Prof. Dr. Mehmet GÜNEŞ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü  
---/---/2021

## TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Osman Gökhan DEMİRÖZ

**14 Temmuz 2021**

## **ÖZET**

### **YÜKSEK LİSANS TEZİ**

#### **LABORATUVAR TİPİ DENEYSEL KURUTUCUDA AĞIRLIK SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

**OSMAN GÖKHAN DEMİRÖZ**

**TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM  
ENSTİTÜSÜ**

**MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**(TEZ DANIŞMANI:DR. ÖĞR. ÜYESİ EBUBEKİR YAŞAR)**

Kurutma işlemi, ürünlerin bünyesinde bulunan nem miktarının azaltılarak dayanımının artırılması işlemidir. Nem miktarının azaltılması ürün ideal neme ulaşana kadar sürmektedir. Kurutma işleminde nem miktarındaki değişimlerin izlenmesinde ağırlık ölçüm verilerinden faydalanılmaktadır. Ağırlık değişim miktarının gözlemlenebilmesi için, birçok sistemde operatör belirli periyotlarla kurutma karakteristiklerinin izlenmesi amacıyla ağırlık takibi yapmak için numune kaplarını dış ortamda ölçerek tekrar yerine koymaktadır. Ürün çeşidine ve miktarına göre 72 saate kadar süren kurutma işleminde prosesin başında beklemek zorluğu başta olmak üzere ölçümlerde zorluklar meydana gelmektedir. Bu çalışmada, bu zorlukların giderilmesi amacıyla sıcak hava ile çalışan laboratuvar tipi deneysel kurutucuda kurutulan ürünlerin anlık nem değişim miktarlarının takip edilmesi için otomatik ağırlık tartım sistemi geliştirilmiştir. 3 adet numune kabına sahip örnek sistemde kurutucu için üç adet yük hücresi kullanılarak ürünlerin ağırlıkları elektrik sinyaline dönüştürülmüş ve ürünlerin kütlesi belirli periyotlarla anlık olarak ölçülmüştür. Çekme ve basma yönünde çalışan kuvvet ölçümlerinde yaygın olarak kullanılan S tipi yük hücreleri yerine, daha uygun bir maliyete sahip platform tipi yük hücreleri kullanılmıştır. Hazırlanan aparatlar yardımıyla platform tipi yük hücreleri, daha hassas ve uygun maliyetli birer S tipi yük hücrelerine dönüştürülmüştür. Yapılan çalışmada Arduino Mega, 24 bit HX711 ADC ve Nextion Ekran kullanılmıştır. Kurutma sürecinde istenen periyotlarda anlık veri aktarımı yapılarak sistemin çalışması test edilmiştir.

2021, 47 SAYFA

**ANAHTAR KELİMELELER:** Arduino Mega, Kurutma, Tartım otomasyonu, Yük hücresi

## **ABSTRACT**

### **MASTER THESIS**

#### **DEVELOPMENT OF WEIGHTING SYSTEM IN LABORATORY TYPE EXPERIMENTAL DRYER**

**OSMAN GÖKHAN DEMİRÖZ**

**TOKAT GAZİOSMANPAŞA UNIVERSITY  
GRADUATE EDUCATION INSTITUTE**

**DEPARTMENT OF MECHATRONICS ENGINEERING**

**(SUPERVISOR:ASST. PROF. DR. EBUBEKİR YAŞAR)**

Drying is the process of increasing the strength of the products by decreasing the amount of moisture in the product. The reduction of the moisture content continues until the product reaches the ideal humidity. Weight measurement data are used to monitor the changes in the amount of moisture in the drying process. In order to observe the amount of weight change, the operator in many systems periodically measures and replaces the sample containers in order to follow the weight in order to monitor the drying characteristics. Difficulties occur in measurements, especially the difficulty of waiting at the beginning of the process in the drying process, which lasts up to 72 hours depending on the product type and quantity. In this study, in order to overcome these difficulties, an automatic weighing system has been developed to monitor the instantaneous moisture change amounts of the products dried in a hot air laboratory type experimental dryer. In the test system with 3 sample containers, the weights of the products were converted into electrical signals by using three load cells for the dryer, and the mass of the products was measured instantaneously at certain periods. Instead of S-type load cells, which are widely used in tensile and compression forces, platform type load cells with a more affordable cost are used. With the help of the prepared apparatus, platform type load cells have been transformed into more precise and cost-effective S-type load cells. Arduino Mega, 24 bit HX711 ADC and Nxtion Display were used in the study. During the drying process, the operation of the system has been tested by making instant data transfer at desired periods.

2021, 47 PAGE

**KEYWORDS:** Arduino Mega, Drying, Loadcell, Weighing automation

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında destek ve katkılarından dolayı değerli tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ebubekir YAŞAR'a, eğitim sürecimin her basamağında olduğu gibi yüksek lisans eğitimimde de varlıklarıyla güç katan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Osman Gökhan DEMİRÖZ

**14 Temmuz 2021**

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                            |            |
|--------------------------------------------|------------|
| <b>ÖZET .....</b>                          | <b>i</b>   |
| <b>ABSTRACT.....</b>                       | <b>ii</b>  |
| <b>TEŞEKKÜR .....</b>                      | <b>iii</b> |
| <b>İÇİNDEKİLER.....</b>                    | <b>iv</b>  |
| <b>SİMGE VE KISALTMALAR .....</b>          | <b>vi</b>  |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ.....</b>                  | <b>vii</b> |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                      | <b>1</b>   |
| <b>2. KAYNAK ÖZETLERİ .....</b>            | <b>5</b>   |
| <b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>          | <b>8</b>   |
| 3.1. Yük Hücreleri (Loadcell).....         | 9          |
| 3.1.1. S tipi yük hücresi. ....            | 11         |
| 3.1.2. Lama tipi yük hücresi. ....         | 12         |
| 3.1.3. Baskı tipi yük hücresi .....        | 12         |
| 3.1.4. Platform tipi yük hücresi.....      | 13         |
| 3.2. Analog Dijital Dönüştürücü (ADC)..... | 13         |
| 3.3. HX711 ADC .....                       | 14         |
| 3.4. Arduino Mega 2560 .....               | 15         |
| 3.4.1. Güç özellikleri ve güç pinleri..... | 16         |
| 3.4.2. Giriş ve çıkış özellikleri.....     | 17         |
| 3.4.3. Hafıza.....                         | 18         |
| 3.4.4. Haberleşme .....                    | 18         |
| 3.4.5. Programlama .....                   | 18         |
| 3.4.6. USB aşırı akım koruması .....       | 19         |
| 3.5. Nextion HMI Ekran Modülü.....         | 19         |
| 3.6. RS232 Seri İletim.....                | 23         |
| 3.7. Bilgisayar Yazılımı .....             | 25         |
| 3.8. Test ve Kalibrasyon .....             | 26         |
| 3.9. Sistemin Montaj Edilmesi.....         | 28         |
| <b>4. BULGULAR, TARTIŞMA VE SONUÇ.....</b> | <b>31</b>  |

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| <b>KAYNAKLAR.....</b> | <b>32</b> |
| <b>EKLER.....</b>     | <b>35</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>  | <b>36</b> |



## SİMGE VE KISALTMALAR

| Simgeler | Açıklama                                                |
|----------|---------------------------------------------------------|
| ADC      | Analog to Digital Converter                             |
| ICSP     | In-Circuit Serial Programming                           |
| PWM      | Pulse Width Modulation                                  |
| TTL      | Transistor-Transistor Logic                             |
| UART     | Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter |
| USB      | Universal Serial Bus                                    |
| $V_s$    | Çıkış Gerilimi                                          |
| $V_0$    | Giriş Gerilimi                                          |

## ŞEKİL LİSTESİ

| <b><u>Şekil</u></b>                                                                      | <b><u>Sayfa</u></b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Şekil 1.1. Veri toplama sistem diyagramı.....                                            | 3                   |
| Şekil 3.1. Tartım otomasyonu blok şeması.....                                            | 8                   |
| Şekil 3.2. Yük hücresi ve Wheatstone köprüsü.....                                        | 10                  |
| Şekil 3.3. Basit gerinim ölçer yapısı.....                                               | 10                  |
| Şekil 3.4. Wheatstone köprü konfigürasyonu.....                                          | 11                  |
| Şekil 3.5. Örnek uygulaması gösterilen S tipi yük hücresi.....                           | 11                  |
| Şekil 3.6. Örnek uygulaması gösterilen Lama tipi yük hücresi.....                        | 12                  |
| Şekil 3.7. Örnek uygulaması gösterilen Baskı tipi yük hücresi.....                       | 12                  |
| Şekil 3.8. Örnek uygulaması gösterilen Platform tipi yük hücresi.....                    | 13                  |
| Şekil 3.9. HX711 kartı.....                                                              | 15                  |
| Şekil 3.10. HX711 kartı ve Arduino bağlantısı.....                                       | 15                  |
| Şekil 3.11. Arduino Mega 2560.....                                                       | 16                  |
| Şekil 3.12. Nextion HMI kartı.....                                                       | 19                  |
| Şekil 3.13. Nextion ve Arduino bağlantısı.....                                           | 20                  |
| Şekil 3.14. Nextion Editör yeni proje oluşturma.....                                     | 21                  |
| Şekil 3.15. Nextion Editör Display ve Project ayarları.....                              | 21                  |
| Şekil 3.16. Nextion Editör arayüzü.....                                                  | 22                  |
| Şekil 3.17. Nextion Editör Upload seçeneği.....                                          | 23                  |
| Şekil 3.18. RS232 seri haberleşme bağlantısı.....                                        | 25                  |
| Şekil 3.19. Ağırlıkların ölçülmesi ve verilerin saklanması için hazırlanan arayüz.....   | 26                  |
| Şekil 3.20. Yük hücrelerinin kalibrasyonu için kullanılan kütleler.....                  | 26                  |
| Şekil 3.21. Sistemin testi ve kalibresi için kullanılan profil platform.....             | 27                  |
| Şekil 3.22. Sistemin testi ve kalibresi için kullanılan profil platformun 3D çizimi..... | 27                  |
| Şekil 3.23. Yük hücrelerin bağlandığı hareketli aparatlar.....                           | 28                  |
| Şekil 3.24. Yük hücrelerinin kurucutu üzerine platform yardımıyla yerleştirilmesi.....   | 28                  |
| Şekil 3.25. Kurucutu üzerinde yer alan platformun 3D çizimi.....                         | 29                  |
| Şekil 3.26. Bilgisayar, Nextion ekran ve Arduino'nun yerleşimi.....                      | 29                  |
| Şekil 3.27. Platform tipi yük hücresine bağlanan sac lamalar.....                        | 30                  |
| Şekil 3.28. Platform tipi yük hücresine bağlanan sac lamaların 3D çizimi.....            | 30                  |

## 1. GİRİŞ

Kurutma, başta tarım olmak üzere sanayinin farklı alanlarında kullanımı yaygın olan bir işlemdir. Tarımın son basamağı olan hasattan sonra ürünler, farklı amaçlarda ve türlerde piyasada yerini almaktadır. Ürünlerin dayanımını artırmak, içerisindeki reaksiyonları ve mikroorganizma faaliyetlerini durdurmakla mümkündür. Bunun içinde ürün içerisindeki suyun reaksiyonlara ve canlı faaliyetlerine imkan veremeyecek miktarlara indirgenmesi, yani kurutulması gerekmektedir. Kurutma yöntemleri uygulanabilirlik olarak tarım da ve sanayi de farklılıklar gösterebilmektedir. Kurutmayı doğal ve yapay kurutma olarak ikiye ayırabiliriz. Ürünlerin kurutulmasında meydana gelen olumsuzlukları ortadan kaldırmak, ürün kalitesini yükseltmek ve kurutma süresini kısaltmak gibi amaçlar doğrultusunda yapay kurutma yöntemleri geliştirilmiştir. Yapay kurutma yöntemiyle ürünler dış hava koşullarından arındırılmış olup, kontrollü şartlar altında avantajlı olarak kurutulması sağlanmaktadır. Kurutma sürecinin fiziksel özelliklerinin ortaya çıkarılması, işlemlerin istenilen seyrinde devam etmesi ve gerektiğinde müdahale edilebilmesi açısından oldukça önemlidir.

Yaygın olarak kullanılan kurutma yöntemlerinin arasında önemli bir yere sahip olan sıcak hava akımıyla yapılan kurutma işlemi gelmektedir. Kurutma sıcaklığına kadar ısıtılan hava, fan yardımıyla ürünlerin üzerinden akım oluşturacak şekilde gönderilir. Üzerinden sıcak hava akımı geçen ürünler ısınmayla beraber, bünyesindeki nemi havaya bırakır. Üründe bulunan fazla nemin havaya bırakılmasıyla havanın sıcaklığı azalır ve bağıl nemi yükselir. Kurutma işleminde ürün, denge nemine düşene kadar nem kaybetmeye devam eder.

Kurutmada ürün verimliliği ve zaman tasarrufu için anlık ağırlık değişimi takibi önemli bir yere sahiptir. Sıcak hava akımı ürünlerin üzerinden geçerken ürünlerin ağırlıklarında değişimler meydana gelmektedir. Bu ağırlık değişimlerinin anlık olarak takip edilmesi, doğru sonuçların elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Kurutma işlemine ilk başlandığında üründe bulunan nem maksimumdur ve nem kaybı en hızlıdır. Zamanla nem miktarı azalacağından kurutma işlemi de yavaşlamaktadır.

Bu azalışı bilgisayar ortamına dökmek ve anlık olarak izlemek kurutucu üzerindeki haznelerin sürekli yerinden çıkarma ihtiyacını giderecek ve zaman-ağırlık-nem hakkında veriler elde edilmesine olanak sağlayacaktır. Birçok kurutma sisteminde ürünlerin kaybettiği nem miktarının zamanla değişiminin ölçülmesi için yapılan denemelerde numunelerdeki ağırlık değişiminin sürekli takibi yapılmaktadır. Bunun için manuel ve otomasyon yöntemi kullanılmaktadır. Birçok deneysel kurutucuda ağırlık ölçümünü manuel olarak yapılmaktadır.

Endüstrinin her dalında ölçme ve kontrol sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ölçme işlemi, bilinmeyen bir büyüklükle, bilinen büyüklüğün belirli bir birimle karşılaştırılma yapılmasıdır. Üretim aşamalarında veya deneysel çalışmaların birçok basamağında ölçme sistemleri güvenli bir şekilde kullanılabilir.

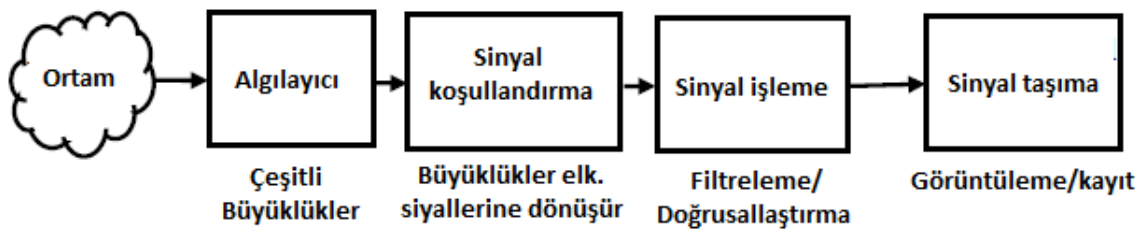
Günümüzde endüstriyel tartım otomasyonu özellikle ağır sanayi alanlarında yaygın olarak görülmektedir. Bir insanın kaldırabileceği yükün kat kat üstünde olan ağırlık ölçümlerinde tartım otomasyonu büyük ölçüde avantaj sağlar. Dozajlama sistemleri, demir çelik sanayi, inşaat sektörü ve kimya gibi birçok alanda tartım otomasyonunu görmek mümkündür. Örneğin laboratuvarlarda yapılan bir deneyde veya ilaç geliştirme sırasında çok küçük gramajlarda malzemeye ihtiyaç duyulduğunda tartım sistemleri yardımıyla başarılı sonuçlar elde etmek mümkündür. Ya da birçok ürünün birleşimiyle ortaya çıkacak yeni ürünün birleşim oranlarında dozaj ayarlama sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler hangi üründen ne kadar kullanılacağına göre bütün ürünleri belirli bir tartım otomasyonu desteğiyle birleştirir ve üretim süreçlerine katkıda bulunur.

Hata kabul etmeyen ve hızlı gerçekleştirilmesi gereken birçok proses süreçlerinde devreye giren tartım otomasyonları oluşabilecek olumsuzlukları gidererek proseslerin istenilen düzeyde işlemesine yardımcı olur. Tartım sistemlerinde yaygın olarak kullanılan gerinim ölçer tabanlı yük hücreleri bu tartım işleminin gerçekleştirilmesi için rol oynamaktadır. Tartım sistemlerinde ana algı elemanlarından olan yük hücreleri, kullanılan belirli haberleşme arayüzleri vasıtasıyla verileri aktarır ve bütün sistem haberleşerek otomasyon sistemleri meydana gelir.

Kullanım alanına göre tasarlanmış piyasada birçok farklı modelde (S tipi, lama tipi, platform tipi, baskı tipi) bulunan yük hücreleri endüstriyel tartım otomasyonuna büyük ölçüde katkı sağlamaktadır.

Otomasyon sistemlerinin önemli bileşenlerinden olan geri besleme sistemleri tek başlarına izleme, kaydetme ve analiz için kullanıldığında veri toplama olarak isimlendirilmektedir. Veri toplama akım, voltaj, basınç, sıcaklık ve nem gibi fiziksel ve elektriksel büyüklüklerin ölçülmesidir. Veri toplama sisteminin temel amacı, gerçek zamanlı elde edilen verilerin depolanmasıdır. Veri toplama sistemiyle birlikte kişisel görüşler ve net olmayan sonuçlar, yerini objektif ölçümlere bırakmıştır. Günümüzde kullanılan araçlar veya makineler tasarlanırken test aşamasındaki veriler ön planda tutulup, bu verilerin yardımıyla ilerleme kaydedilmektedir.

Veri toplama sistemi temel olarak, algılayıcı (algılayıcılar), sinyal koşullandırıcı, sinyal işleyici ve sinyali kaydedip analiz yapabilen programa sahip bir bilgisayar sisteminden oluşmaktadır. Veri toplama sisteminin temelinde yer alan sensörler, fiziksel ortamdaki sıcaklık, basınç, uzaklık gibi değişiklikleri algılar. Ölçme sistemine uygun şekilde sinyal koşullandırmaya iletilen sinyaller, koşullandırıcıda veri toplama donanımıyla uyumlu hale getirilir. Ardından bu sinyalleri analiz yapıp kaydedebilen programa sahip bilgisayar tarafından kullanılmak üzere, analog sinyalleri sayısal sinyallere dönüştüren sinyal işlemeye bu sinyaller iletilir. Sinyal işleme biriminde analog sinyaller dijital sinyallere dönüştürülür (Analog Sayısal Çevirici - Analog to Digital Converter, ADC). Sinyaller, analiz yapıp kaydedebilen programa sahip bilgisayarda işlenir.



Şekil 1.1. Veri toplama sistem diyagramı

Hazırlanan sistemde ortamdan elde edilen bilgiler, yük hücresi yardımıyla algılanarak Arduino üzerinde değerlendirilip grafiksel olarak çeşitli ekranlarda gösterimi sağlanacaktır. Veriler hem harici bir ekran üzerinde hem de bilgisayara aktarılarak çeşitli programlarda kullanılabilir forma dönüştürülecektir.

Sıcak hava akımıyla yapılan birçok kurutma işleminde sistem çalışırken ağırlık ölçümü yapılamamaktadır. Ağırlık ölçümünün yapılabilmesi için haznelerin dış ortama alınıp ölçümleri yapıldıktan sonra tekrar yerine yerleştirilmesi gerekmektedir. Kurutma sürecinin 72 saate kadar ürün, hava debisi ve kurutma sıcaklığı gibi parametrelere bağlı olarak değiştiği göz önüne alındığında denemeler ardışık birkaç gece gündüz devam edebilmektedir. Bu süreç operatör açısından birçok zorluğu içermektedir. Bu problemler göz önünde bulundurularak, anlık olarak ağırlık değişiminin takip edilmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada, ürünlerin kurutucuda kurutulma aşamasındaki zorlukları ortadan kaldırmak amacıyla bir tartım otomasyonu geliştirilmiştir. Üç hazneye sahip kurutucu için üç adet platform tipi yük hücresi kullanılarak ürünlerin ağırlık değişimi anlık olarak izlenmiştir. Çalışmada Arduino Mega, 24 bit ADC kartı HX711 ve Nextion dokunmatik ekran kullanılmıştır. Askı tip yükleri ölçmede yaygın olarak kullanılan S tipi yük hücreleri yerine platform tipi yük hücreleri kullanılmıştır. Maliyet olarak daha uygun olan platform tipi yük hücreleri hazırlanan aparatlar yardımıyla S tipi yük hücresine dönüştürülmüştür. Böylece düşük maliyetli ve daha duyarlı S tipi yük hücreleri elde edilmiştir. Yapılan çalışmalarda ölçmeyle ilgili kayda değer parametreler elde edilmiş olup sistemin başarılı işleyişi kanıtlanmıştır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Günümüzde güneş enerjisi ile kurutma, doğal kurutma ve teknik kurutma yaygın olarak kullanılmaktadır. Kurutma parametrelerine etki etmeden normal iklim şartlarında yapılmış kurutmayla doğal kurutma yapılmış olur. Ancak doğal kurutmada çoğu zaman istenilen nem değerine ulaşamaz (Berkel, 1978).

Endüstride çalışma yapılan işlemlerde, işlemlerin istenilen şekilde gerçekleştiğini belirlemek ve gerektiğinde değişiklik yapmak için, endüstriyel üretim süreçlerinin farklı aşamalarında işlemlerin fiziksel özelliklerini tanımlayacak verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler, sanayi devrinin başlangıç sürecinde basit ölçü aletleri kullanılarak manuel olarak elde edilip kaydedilmiştir. Verilerin yetersiz kalması sonucu, ölçüm aletinin okuduğu değeri grafik olarak kaydeden ölçüm cihazları geliştirilmiştir. Geliştirilen ürünlerden olan algılayıcılar ile farklı ortamlardan istenilen veriler toplanıp, veri depolama cihazlarında saklanabilmiştir (Günhoş, 1990).

Modern endüstride önemli role sahip hızlı ve hassas tartım işlemlerine seri üretim sistemlerinde ihtiyaç giderek artmaktadır. Yaşam standartlarına ve artan nüfusa bağlı olarak insanların ürün ve hizmet taleplerinde de artış meydana gelmektedir. Taleplerdeki bu artışın karşılanabilmesi için de üretimin hızlı ve ekonomik olması gerekmektedir (Niedźwiecki ve Wasilewski, 1996).

Kurutma, termal uygulama aşamasında endüstriyel enerjinin %10-15'inin tüketildiği ve yüksek miktarda enerjiye ihtiyaç duyulan bir işlemdir. Kurutma işleminin gıdanın son kalitesi üzerinde büyük etkisi bulunmaktadır. Kurutma işleminin kontrol altında tutulabilmesi için, ürün kuruma davranışının iyi şekilde anlaşılmış olması gerekmektedir (Léonard ve ark., 2005).

Çam ve kereste kurutma uygulamasında kuruma süresi hesaplamasında yük hücreleri yardımıyla ağırlık verileri ölçülmüş ve gerekli analizler yapılmıştır (Ceylan ve ark., 2007).

Eski çağlardan günümüze çeşitli ihtiyaçlar doğrultusunda ağırlık ölçümleri yapılmış, zamanla bu ölçümler önemini daha da artırarak, endüstrinin çeşitli alanlarının vazgeçilmez bir uygulaması olmuştur. İlk kullanılan tartım sistemleri mekanik olup, günümüze kadar birçok tartım sistemi geliştirilmiştir. İlerleyen teknolojiyle beraber hassas tartım sistemleri geliştirilmiş ve günümüzde bilgisayar destekli sistemler haline gelmişlerdir (Eneç, 2009).

Bir çalışmada (Li ve ark., 2010) kurutma sırasında havuçtan yayılan uçucu bileşenlerin tespitinde Labview tabanlı bir ölçme ve kontrol sistemi kullanarak havucun koku ve kalitesinde en az kayıpla kurutulması sağlanmıştır.

Diğer taraftan dondurularak yapılan bir kurutma işleminde nem içeriği, kuruma hızı gibi parametreler elmalar üzerinde yapay sinir ağı modeli üzerinde yük hücresinden elde edilen veriler ışığında gerçekleştirilmiştir (Menlik ve ark., 2010).

Vakumlu kurutma yöntemi ile (Dikmen ve ark., 2012) yaptıkları kereste kurutma çalışmasında ve (Ayaz ve ark., 2016) Isparta yöresine ait çeşitli otların kurutulmasında ağırlık ölçümü için kullandıkları S tipi yük hücrelerinden elde edilen sinyalleri programlanabilir mantık denetleyicisi (PLC ) yardımıyla yorumlamışlardır.

Endüstriyel alanlarda yaygın kullanılan tartım sistemleri, üretime dayalı ve otomatik olarak kumanda edilen sistemlerdir. Karmaşık şekillerde karşımıza çıkan tartım sistemleri, bazen de sadece tartım parametrelerinden oluşmaktadır. Tartımı yapılan ürünün nem ve sıcaklık gibi anlık değerleri kullanılan programda uygun şekilde programlanarak yüksek verimli akıllı ve hassas sistemler oluşturulabilmektedir (Becerekli, 2013).

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte kurutucu otomasyon uygulamaları geliştirilmiş ve bu sayede ürünlerin kurutma hızı, ürün kalitesi gibi faktörler izlenmekte ve kontrol edilmektedir. Kurutma otomasyon sistemlerinde ilk olarak ürün sıcaklığı ve nem gibi fiziksel özellik verileri algılayıcılar yardımıyla elde edilir. Bu verilerle ısıtıcı ve fan gibi kurutucu araçları şartlandırılarak istenilen şartlar sağlanır. İstenilen sayıda ve çeşitte doğru veriler elde edildiğinde bu verileri kullanarak en uygun kurutma şartlarını tespit eden ve karar sistemine sahip akıllı kurutucular vardır (Su ve ark., 2015).

Kurutmada ürünlerin fiziksel özelliklerinin incelenmesinde görüntü işleme tekniklerinin de kullanıldığı çalışmalar yapılmıştır (Su ve ark., 2015). (Nadian ve ark., 2015), elma dilimlerinin renk değişimlerini görüntü işleme teknikleri kullanarak incelemiş ve yapay sinir ağları ile ürün kalitesini tahmin etmeye çalışmışlardır.

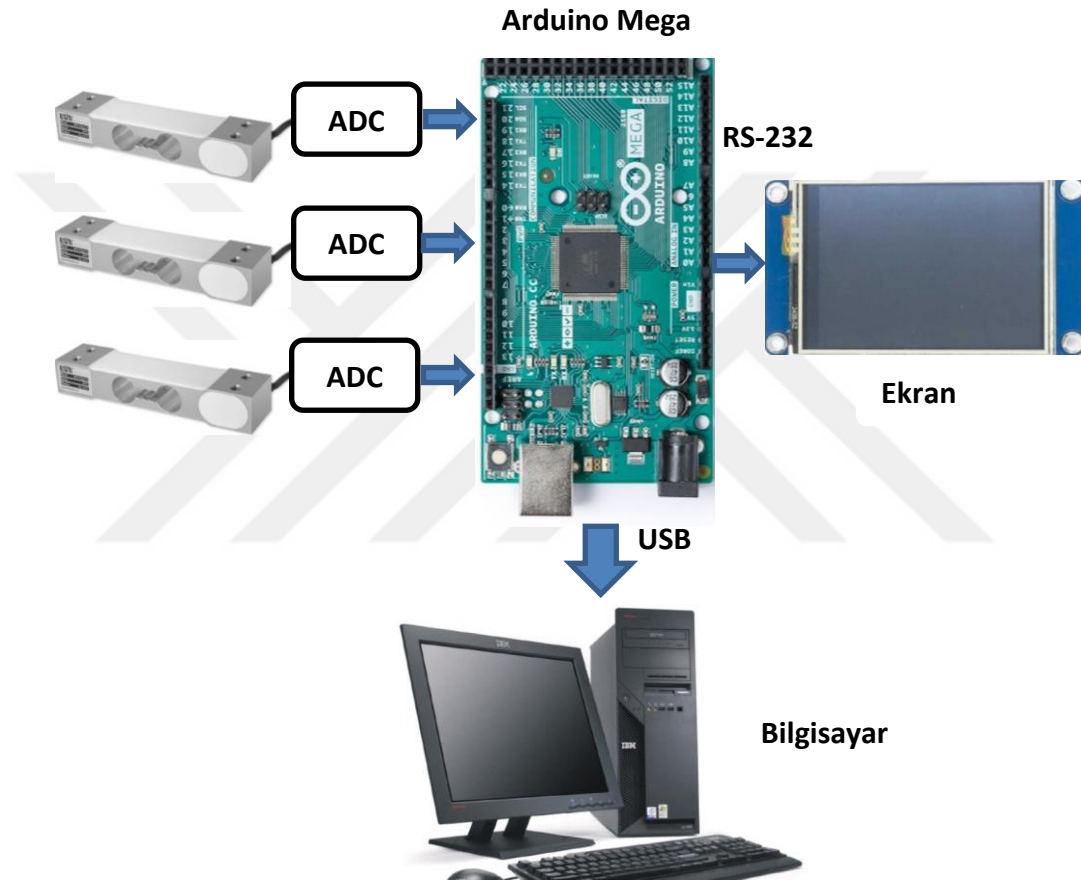
Değişik bir uygulamada ise Raspberry Pi kullanılarak mango ve yan ürünlerinin ağırlık değişim oranları S tipi bir yük hücresi üzerinden elde edilmiştir (Querikiol ve Taboada, 2018).

Gıdaların korunması için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerin temel amacı, gıda içeriğindeki mikroorganizma ve enzim aktivitesinin durdurulması ya da yavaşlatılmasıdır. Gıdaların korunması için önemli yöntemlerden biri olan kurutma işlemi, gıdanın raf ömrünü uzatmak amacıyla gıdadaki bozulma etmeni olan suyun uzaklaştırılmasıdır. Oldukça fazla tercih edilen kurutma yöntemi, düşük maliyetli olması, gıdanın kuru madde oranında artış ve besin değerlerinde zenginleşme gibi artılarıyla diğer yöntemlere göre avantajlıdır (Uysal, 2019).

(Ergüneş, 2019) yapmış olduğu çalışmada sıcak havalı bir kurutucuda LabView yazılımı ve National veri kazanım kartları kullanarak bir adet S tipi yük hücresinden elde ettiği ağırlık verilerini bilgisayara aktararak analiz etmişlerdir. Çalışma sonunda kurutma süreci izleme uygulaması adını verdikleri bir yazılım geliştirilmiştir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Hazırlanan tartım otomasyonunda 3 adet yük hücresi, bir adet Arduino Mega, üç adet ADC ve bir adet dokunmatik LCD (Sıvı kristal ekran) ekran kullanılmıştır. Ayrıca yük hücrelerini kurutucuya bağlamak için çeşitli bağlantı aparatları da kullanılmıştır. Sisteme ait bileşenlerin yer aldığı blok diyagramı aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Tartım otomasyonu blok şeması

Yük hücrelerinden elde edilen gerilim değeri HX711 ADC modül üzerinden sayısal olarak dönüştürülerek Arduino Mega içerisinde kg/gr değerine çevrilir. Kg/gr değerleri hem dokunmatik ekranda grafik ve rakamsal olarak gösterilirken istenen aralıklarla sanal seri port üzerinden bilgisayara da veri olarak aktarılmaktadır. Bilgisayara aktarılan veriler Excel formatına dönüştürülerek Excel'in veri analiz gücünden yararlanılabilmektedir. Bilgisayara veri aktarma frekansı hazırlanan program üzerinden ayarlanabilmektedir.

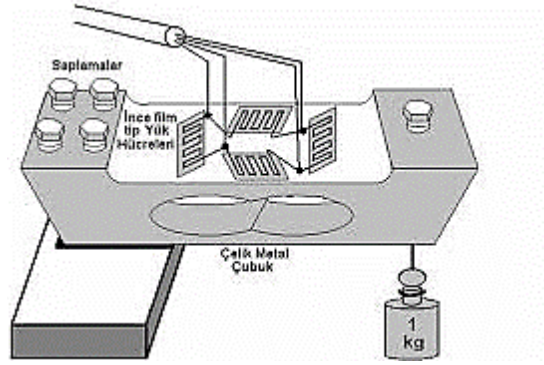
Hazırlanan sistemde Arduino üzerinde ve bilgisayar üzerinde olmak üzere iki adet yazılım oluşturulmuştur. Arduino üzerindeki program Arduino IDE kullanılarak hazırlanırken, bilgisayar üzerindeki yazılım ise Visual C# kullanılarak hazırlanmıştır. Burada temel görevler Arduino Mega üzerinde gerçekleşmekte ve bilgisayar sadece gönderilen verileri saklamakta ve Excel formatına dönüştürmektedir.

### **3.1. Yük Hücreleri (Loadcell)**

Bir cismin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi(uzunluk, sıcaklık, ağırlık) ölçme tekniğiyle mümkündür. Cisimlere kuvvet uygulandığında, kuvvetin büyüklüğüne bağlı olarak cisimlerde değişiklik meydana gelir.

Cisimler üzerinde meydana gelen bu değişiklik (esneme) çeşitli algılayıcı elemanlar yardımıyla ölçülebilir. Bu esnemeler kapasitif, hidrolik, pnömatik, piezo elektrik ve gerinim ölçer (strain-gauge) ile ölçülür. Daha çok gerinim ölçerlerin kullanıldığı yük hücrelerinde gerinim değeri Wheatstone devresiyle elektriksel bir büyüklüğe (voltaj) dönüştürülür. Yük hücresine de ölçüm özelliği katan gerinim ölçerlerdir (Yılmaz, 2010). Gerinim ölçerler, cisimlerin yüzeylerinde oluşan şekil değişimlerini ölçen küçük boyutlu cihazlardır. Gerinim ölçerler, çok ince bir şerit üzerine, kesiti çok küçük ince bir telin tekrarlı sarımlar şeklinde yerleştirilmesinden oluşur. Bir parçanın üzerine yapıştırılan gerinim ölçerler, parçayla birlikte deformasyona uğrarlar. Deformasyonla birlikte gerinim ölçer üzerindeki tellerin çapı ve direnci değişerek üzerinden geçen akımın gerilimini değiştirirler. Bu değişimle parçadaki şekil değişimi ölçülmüş olur (Özcan, 2003).

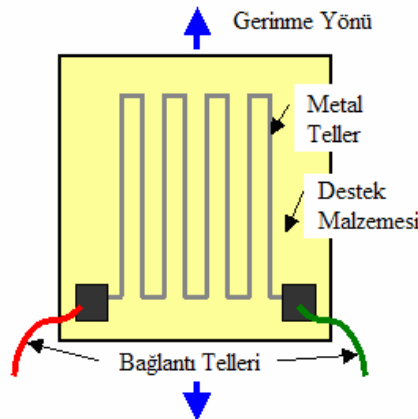
Yük hücrelerine fiziksel bir kuvvet uygulandığında metal gövde üzerinde deformasyon oluşup, gerinim ölçerlerden oluşmuş Wheatstone köprüsü üzerinde gerilim oluşur. Elde edilen bu sinyal-gerilim, ağırlık veya kuvvet bilgisine dönüşmesi için, bir sinyal güçlendirici ya da Analog-Dijital çeviricilerde anlamlandırılır (Mercan, 2019).



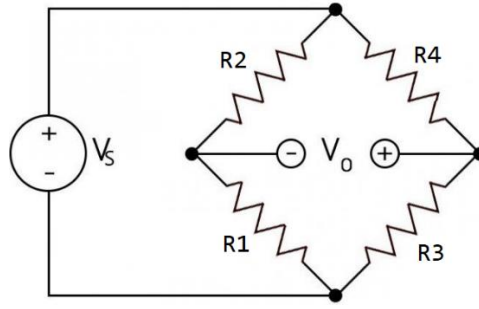
Şekil 3.2. Yük hücresi ve Wheatstone köprüsü

Wheatstone köprüsü, gerinim ölçerler için elektriksel dirençteki küçük değişimlerin ölçülmesi için yaygın olarak kullanılır (Yılmaz, 2010). Wheatstone köprüsünde seri olarak bağlanmış iki dirençten oluşan iki paralel ayağı olan dört direnç bulunmaktadır. Giriş gerilimi ( $V_s$ ), paralel ayakların birleştiği noktalardan verilmektedir. Çıkış gerilimi ( $V_o$ ) ise iki paralel ayağın orta noktalarından ölçülür (Park, 2003).

Basınç, ağırlık ve kuvvet gibi çeşitli ölçümlerde kullanılan strain gauge'ler, sensörlerin bileşenleridir. Gerilme ölçer teknolojisi yüksek hassasiyet, düşük ölçüm hatası ve ekonomik olması sebebiyle önemli avantajlara sahiptir. Kuvvet ve tork sensörleri gibi en belirgin uygulamaların yanı sıra uygulama alanları çok geniştir (Taşkın, 2001). Gerinim ölçerler ayrıca satın alınıp ölçme sistemlerinde kullanılacağı gibi moment, gerginlik ve kuvvet gibi değişik tipte zorlamaları algılayabilir (Mutlu, 2019).



Şekil 3.3. Basit gerinim ölçer yapısı



Şekil 3.4. Wheatstone köprü konfigürasyonu

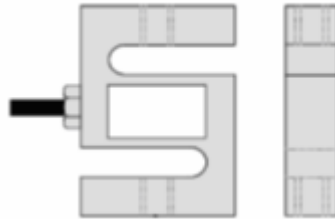
Çıkış gerilimi  $V_0$  Ohm Kanunu yardımıyla aşağıda verilen formül ile hesaplanabilir.

$$V_0 = V_s \frac{R_1 R_4 - R_3 R_2}{(R_1 + R_2) + (R_3 + R_4)} \quad I$$

Yük hücreleri, kapasitelerine ve kullanım türlerine göre çeşitli şekillerde üretilir. Aşağıda, kullanılan yük hücrelerinin tipleri açıklanmıştır.

### 3.1.1. S tipi yük hücresi

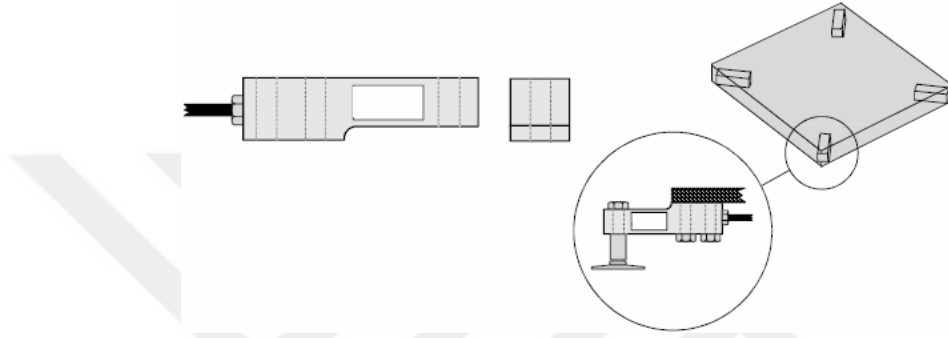
Eğme prensibine göre çalışan S tipi yük hücreleri çeki kuvveti ile çalışan ağırlık ve kuvvet ölçme uygulamaları için geliştirilmiş olup baskı kuvveti altında da çalışır. Elektromekanik kantarlar, malzeme ağırlık ölçme uygulamaları ve benzeri sistemlerde kullanılır (Yılmaz, 2010).



Şekil 3.5. Örnek uygulaması gösterilen S tipi yük hücresi

### 3.1.2. Lama tipi yük hücresi

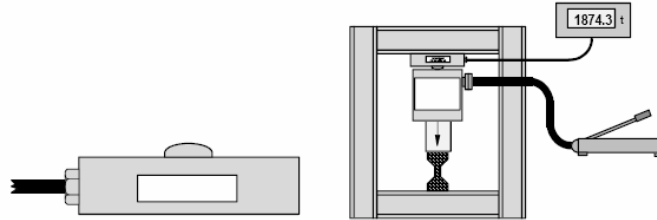
Eğme kuvveti prensibine göre çalışan lama tipi yük hücreleri, düşük kapasitedeki tank tartım sistemlerinde, torbalama ve dozajlama makinelerinde kullanılır. Endüstriyel uygulamalarda da kullanılan bu yük hücreleri, gövdesinin paslanmaz olması ve körük bölgesinin kaynakla kapatılmış olmasından dolayı çok iyi geçirmezlik sağlar (Yılmaz, 2010).



Şekil 3.6. Örnek uygulaması gösterilen Lama tipi yük hücresi

### 3.1.3. Baskı tipi yük hücresi

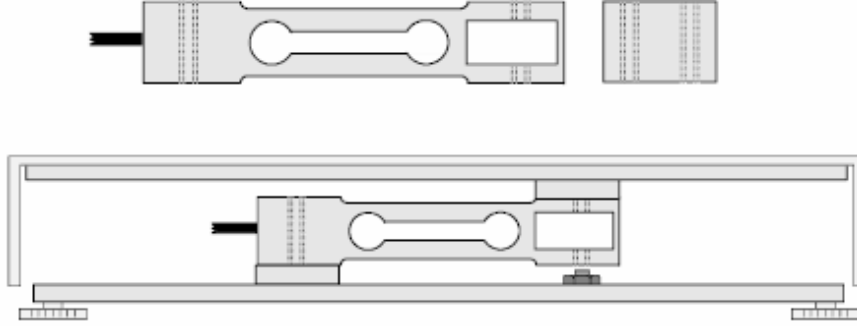
Kesme kuvveti prensibiyle baskıya çalışan bu yük hücreleri, elektronik ağırlık ve kuvvet ölçme uygulamalarında kullanılır. Paslanmaz çelik gövdesi ve sağlam yapısından dolayı korozyona ve aşırı yüklere karşı dayanıklıdır. IP68 sınıfında olan suya karşı tam korumalı baskı tipi yük hücreleri, yüksek kapasiteleri taşıt kantarları, tank tartı sistemleri ve ağırlık ölçümlerinde kullanılır (Yılmaz, 2010).



Şekil 3.7. Örnek uygulaması gösterilen Baskı tipi yük hücresi

### 3.1.4. Platform tipi yük hücreleri

Tek noktadan belli bir alanda tartım yapan platform tipi yük hücresi düşük kapasiteli uygulamalarda, gıda, kimya ve ilaç sanayinde kullanılır. Yüksek hassasiyete ve paslanmaz çelik yapıya sahiptir (Yılmaz, 2010).



Şekil 3.8. Örnek uygulaması gösterilen Platform tipi yük hücresi

### 3.2. Analog Dijital Dönüştürücü (ADC)

Veri toplama sistemleri içindeki ADC dönüştürücüler, analog sinyalleri, dijital veri akışına dönüştürürler. Bu dönüştürme işlemi sayesinde veri toplama sistemi, bu sinyalleri depolama ve analiz olarak işleyebilir.

ADC çıkışı, 0 ile  $(2^{\text{çözünürlük}} - 1)$  arasında değişmektedir. Dolayısı ile HX711,  $2^{24} = 16.777.216$  adet çıkışa sahiptir. 0- 16.777.215 arasında girişten uygulanan analog değere karşılık gelen sayısal veriyi üretir.

$$\text{Çıkış} = \frac{(2^{\text{Çözünürlük}} - 1) \cdot V_{\text{Giriş}}}{\sum V_{\text{Ref}}} \quad \text{II}$$

Denklem II’de  $\sum V_{\text{Ref}}$  ile ifade edilen parametre ADC nin girişlerine uygulanacak en küçük analog değeri ile en büyük analog değeri arasındaki farktır. Örneğin 0-5V arası bir analog değer  $\sum V_{\text{Ref}}$  değeri 5-0=5V dur.  $V_{\text{Giriş}}$  parametresi ADC nin analog giriş değeridir.

Çıkış ise ADC'nin analog değere karşılık ürettiği 0 ile ( $2^{\text{çözünürlük}}-1$ ) arasında bir değerdir. Aslında ADC analog giriş aralığını 0 ile ( $2^{\text{çözünürlük}}-1$ ) aralığına tam sayı olarak genişleten bir devredir.

Dijital devre üretimi teknolojisinin son yıllarda hızla gelişmesi, karmaşık dijital işaret işleme sistemlerinin gelişmesini de beraberinde getirmiştir. Elektronik savunma sistemleri, ses, medikal görüntüleme ve haberleşme gibi çok farklı alanlarda sürekli zamanlı işaretler üzerinde işlem yapılmaktadır. Bu sistemlerin doğru şekilde çalışmasını sağlayan önemli nokta analog-dijital dönüştürücülerde(ADC) elde edilen ilerlemedir (Tural, 2002).

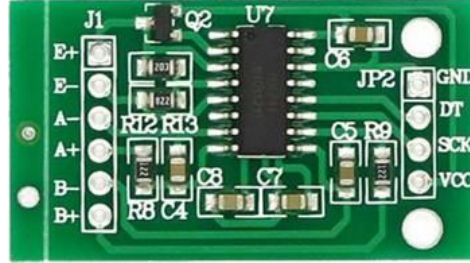
Nem veya sıcaklık sensörü gibi bir algılayıcının veri çıkışını, bir bellekte depolayabilmek için veriler analog şekilden sayısal (0,1) şekle dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu çevrimi gerçekleştirmek için analog-dijital çeviriciler kullanılmaktadır (Özkan, 1997).

### 3.3. HX711 ADC

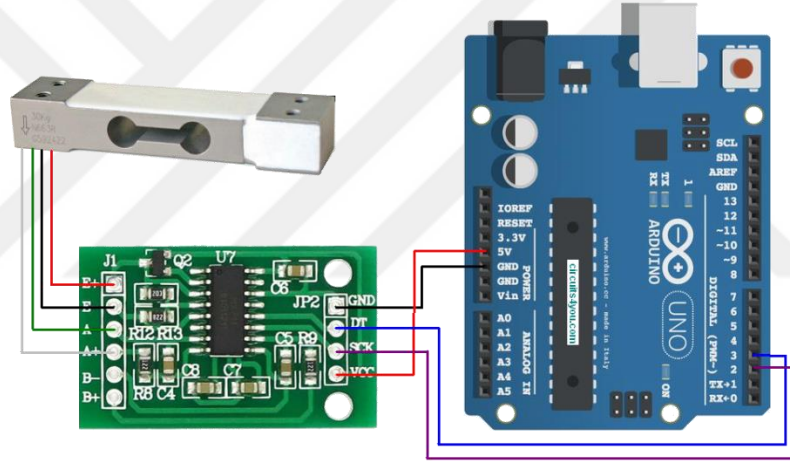
Endüstriyel uygulamalarda ve kütle ölçümlerinde yaygın olarak kullanılan HX711 modüler bir ADC devredir ve “yük hücresi amplifikatörü” olarak isimlendirilir. Aynı zamanda HX711 yük hücreleri için özel olarak tasarlanmış ve bağlantı pinleri ona göre yapılandırılmış bir elektronik terazi modülüdür. Her ne kadar terazi için kullanılsa da havacılık, makine, elektrik, kimya, inşaat, tıp ve diğer birçok alanda kullanılan basınç, gerginlik, basınç, tork, debi, ivme ve yer değiştirmeyi de ölçen bir modüldür. Modül TTL-232 ile ana bilgisayar ile iletişim kurmaktadır. Basit yapısı, yüksek hassasiyet ve ölçüm hızıyla ön plana çıkan modül, istikrarlı ve güvenilir bir performans sunar. Wheatstone köprüsü yardımıyla çok hassas ölçümler yapılabilir. HX711, yük hücrelerinin analog çıkış sinyallerini sayısal sinyale dönüştürmektedir.

HX711 yapısında bulunan ADC'nin çözünürlüğü 24 bit olup yenilenme frekansı 80Hz'dir. Çalışma gerilimi 5V ve çalışma akımı 10 mA değerindedir. Modül ayrıca ADC içeriğinin yanı sıra, yük hücresinden gelen sinyali filtreler, yükseltir ve mikrodenetleyiciye iletir. HX711 Yük Hücresi Amplifikatörü yük hücresinden gelen beş kablo (siyah, kırmızı, yeşil, beyaz) ile çalışmaktadır.

Siyah, kırmızı, yeşil ve beyaz uçlar yük hücresinin strain gaugelerinden gelmektedir. Sarı kablo ise, strain gauge bağlantısına sahip olmayıp elektromanyetik girişimi önlemek amacıyla toprak bağlantısı olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.9. HX711 kartı



Şekil 3.10. HX711 kartı ve Arduino bağlantısı

### 3.4. Arduino Mega 2560

Arduino Mega, mikroişlemci yapıya sahip, gelen sinyalleri işleyen ve programlanabilen Atmega 2560 temelli bir mikrodeneetleyicidir. Üzerinde 54 adet giriş-çıkış pini bulunmaktadır. Bunların 15 tanesi PWM pini olarak kullanılabilir olup, 16'sı analog, 16'sı MHz kristal osilatör, 4 UART(donanımsal seri port), bir USB bağlantısı, bir güç girişi, bir ICSP bağlantısı ve bir reset butonu bulunmaktadır. USB kablo ile bilgisayara bağlantı gerçekleştirilebilir.



Şekil 3.11. Arduino Mega 2560

### 3.4.1. Güç özellikleri ve güç pinleri

Arduino Mega USB, adaptör veya pil ile beslenebilir. Harici adaptör (2.1 mm adaptör jackı) veya batarya ile çalıştırılabilir olması, kartın bilgisayardan bağımsız olarak çalışmasını sağlayabilmektedir. Harici güç kaynağından beslemek için kart üzerindeki  $V_{in}$  girişinden pozitif enerji verilir. Kartın ideal beslemesi 7-12V aralığındadır. Bu değerlerin altında veya üstündeki değerler kartın stabil çalışmasını engellemektedir. Kart üzerinde yer alan mikrodenetleyicinin ihtiyacı olan 5V için, karta gelen 7-12V besleme, kart üzerinde bulunan voltaj regülatörü ile 5V 'a düşürülür. Güç pinleri şu şekildedir;

- **$V_{in}$**  : Harici güç kaynağı voltaj girişidir.
- **5 V** : Kart üzerindeki regülatörden 5V çıkış sağlar. DC powerdan (7-12V), USB jackından (5V) veya  $V_{in}$  (7-12V) pininden beslenebilir. 5V veya 3.3V pininden besleme yapmak regülatöre zarar vermektedir.
- **3.3 V** : Regülatörden sağlanan 3.3V çıkışıdır. Maksimum 50 mA'dır.
- **GND** : Toprak pini olup, diğer güç kaynakları ile çalışan kartlarla ortak olarak kullanılabilir.

### 3.4.2. Giriş ve çıkış özellikleri

Arduino Mega 2560 kartı üzerinde 16 adet analog giriş pini vardır. Bu analog giriş pinleri aynı şekilde dijital giriş ve çıkış olarak kullanılabilir. Kart üzerindeki 54 adet dijital pinle beraber, Mega kartta toplam 70 adet dijital giriş çıkış bulunmaktadır. Pinlerin lojik seviyesi 5V olup, maksimum 40 mA akımla çalışmaktadır. Bazı özelliklere sahip özel pinler şu şekildedir;

**Serial; 0 (RX) ve 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) ve 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) ve 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) ve 14 (TX)** : TTL seri veri alıp (receive - RX) yaymak (transmit - TX) içindir. 0 ve 1 pinleri, kart üzerinde bulunan ATmega16U2 USB-to-TTL Si çipinin ilgili pinlerine bağlıdır.

**Harici Kesmeler; 2 (kesme 0), 3 (kesme 1), 18 (kesme 5), 19 (kesme 4), 20 (kesme 3), 21 (kesme 2)** : Bu pinler, düşen kenar, yükselen kenar gibi harici kesmeler için kullanılır.

**PWM; 2-13 ve 44-46** : Bu pinler analogWrite () fonksiyonu ile 8-bit çözünürlükteki PWM çıkış pinleri olarak kullanılabilir.

**SPI; 53 (SS), 51 (MOSI), 50 (MISO), 52 (SCK)** : SPI haberleşmeyi sağlar.

**LED 13** : Pinin değeri high olduğunda yanan, low olduğunda sönen, Mega üzerinden 13. pine bağlı olan dahili leddir.

**TWI; 20 SDA 21 SCL** : TWI haberleşmesini destekler.

Arduino Mega 2560 kartının 16 tane analog girişinden her biri 10 bit çözünürlüğü destekler. Bu pinlerin ölçüm aralığı 0-5V olup, giriş ve çıkış pini olarak kullanılabilir. analogReference() fonksiyonu ve AREF pini kullanılarak alt limit yükseltilip, üst limit düşürülebilir.

**AREF** : analogReference() fonksiyonu ile kullanılan analog girişler için referans voltajıdır.

**RESET** : Mikrodenetleyiciyi resetlemek için kullanılan pindir. Resetleme işlemi aynı zamanda kart üzerinde bulunan reset butonuyla da yapılabilir.

### **3.4.3. Hafıza**

8 KB kadarı bootloader tarafından kullanılan, Atmega2560 256 KB'lık flash belleğe sahiptir. 4 KB EEPROM ve 8 KB SRAM bulunmaktadır.

### **3.4.4. Haberleşme**

Arduino Mega 2560 bir bilgisayar ile, diğer mikrodenetleyiciler veya başka bir Arduino ile haberleşmesi için birçok seçenek vardır. Atmega 2560, TTL (5V) seri haberleşme için 4 adet donanımsal UART'a sahiptir. Kart üzerindeki Atmega16u2 seri haberleşmeyi USB üzerinden kanallı edip bilgisayarda sanal bir com port açarak Atmega2560 ile bilgisayar arasında bir köprü kurar. Arduino bilgisayar programı içerisindeki seri monitör, Arduino ile bilgisayar arasında text temelli bilgilerin gönderilip alınmasını sağlar. Bilgisayar ile USB-seri dönüştürücü arasında veri alışverişi olduğunda kart üzerinde bulunan RX ve TX ledleri yanıp söner. Donanımsal olarak 4 adet seri portu bulunan Mega, bu sayı SoftwareSerial kütüphanesi ile yazılımsal olarak artırılabilir. Ayrıca Atmega2560 SPI ve TWI haberleşmelerini de destekler.

### **3.4.5. Programlama**

Haberleşmenin STK500 protokolü ile yapıldığı, ekstra bir programlayıcıya ihtiyaç duyulmayan Mega kart üzerinde bir yazılım (Bootloader) yüklü gelir. Bilgisayar programı olan Arduino IDE ile programlanan Mega kartın programlanması için, program içinde yer alan Tools seçeneği, ardından Board sekmesi ve Arduino Mega seçilip programlanmaya başlanabilir.

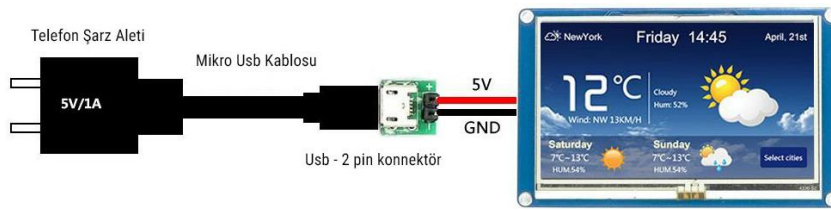
DFU bootloader adı verilen, Atmega16u2 içerisinde yer alan yazılım da Bootloader yazılımı gibi açık kaynaklıdır. Yer alan yazılımlar her zaman güncel halindedir ve ihtiyaç duyulmadıkça yazılımlarda değişiklik yapılmasına gerek yoktur. Windows için Atmel's FLIP software, Linux ve Mac OS X için DFU programlayıcı ile yazılım yeniden yüklenebilir ve ISP programlayıcı kullanılarak programlanabilir.

### 3.4.6. USB aşırı akım koruması

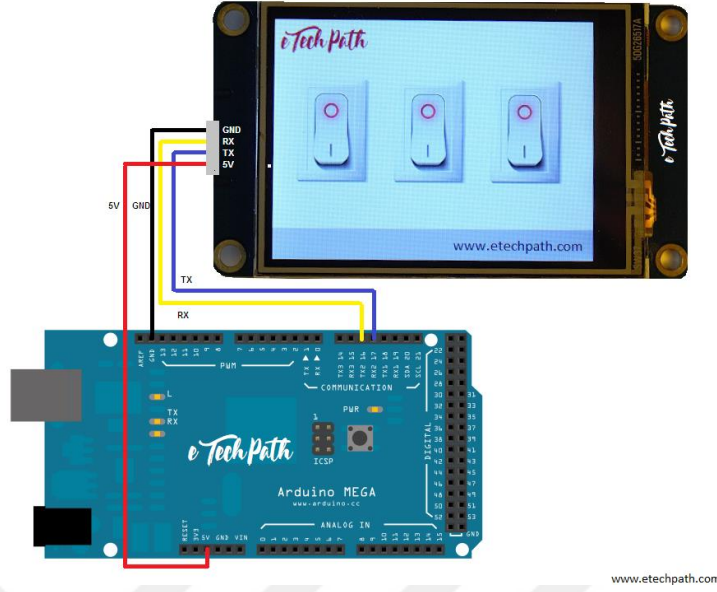
Kart üzerinden bulunan resetlenebilir sigorta, bilgisayarın USB portunu aşırı akım tüketiminden ve oluşabilecek kısa devrelerden korur. Kart 500 mA üzerindeki akımlarda, USB'den aldığı gücü koruma amacıyla kesmektedir. Olumsuz durumlar ortadan kalktığında sigorta eski konumuna geri döner ve bağlantı tekrar gerçekleştirilir.

### 3.5. Nextion HMI Ekran Modülü

Uygulamalarda görselleştirme arabirimi olarak kullanılan Nextion, dahili kontrolcüsü sayesinde tek başına ekranlı bir bilgisayar gibi davranmasıyla geleneksel LCD ekranlardan farklıdır. Modül, Nextion editörü (yazılım) ve TFT kartından (donanım) oluşmaktadır. Nextion editörü bilgisayara kurduktan sonra etiket ve buton gibi ekran tasarımı yaptıktan sonra dosyayı SD karta yükleyip kart üzerinde bulunan SD kart yuvası sayesinde ekrana aktarılabilir. Nextion TFT kartı iletişim için tek bir seri port kullanmaktadır ve 4 kablo (RX, TX, GND, 5V) ile haberleşir. Nextion ekranlar, hemen hemen tüm çeşitleri Arduino ile bağlanabilmekte olup, bu bağlantı varsayılanda 9600bps baud rate oranına sahip seri haberleşme ile sağlanmaktadır. Ürün yanında gelen 2 pinli USB konnektör ile güç kaynağının yeterli olup olmadığı test edilebilmektedir.

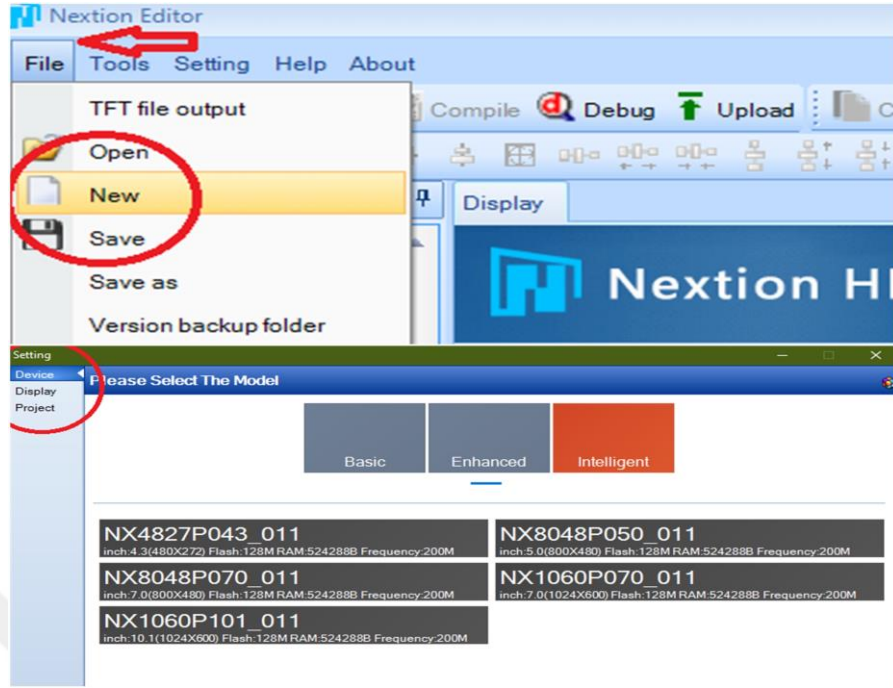


Şekil 3.12. Nextion HMI kartı

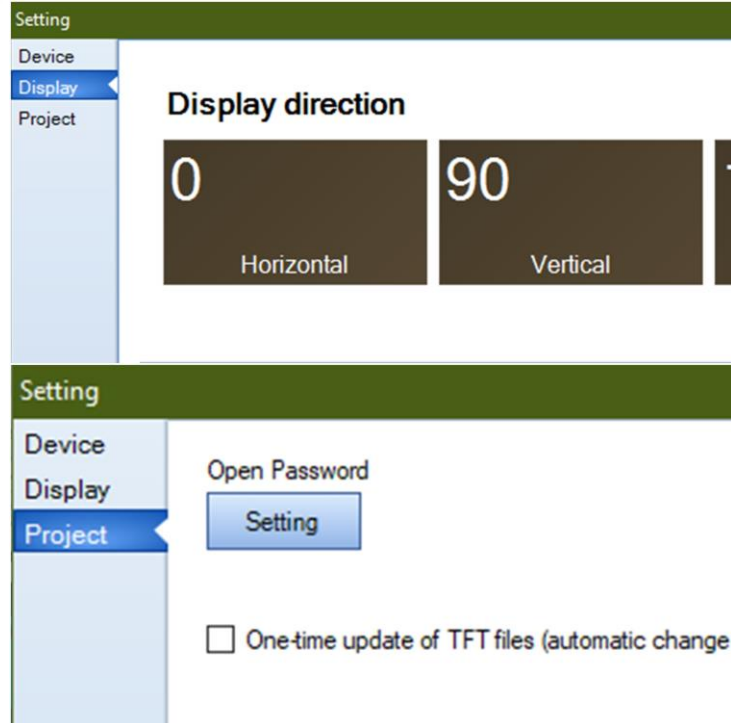


Şekil 3.13. Nextion ve Arduino bağlantısı

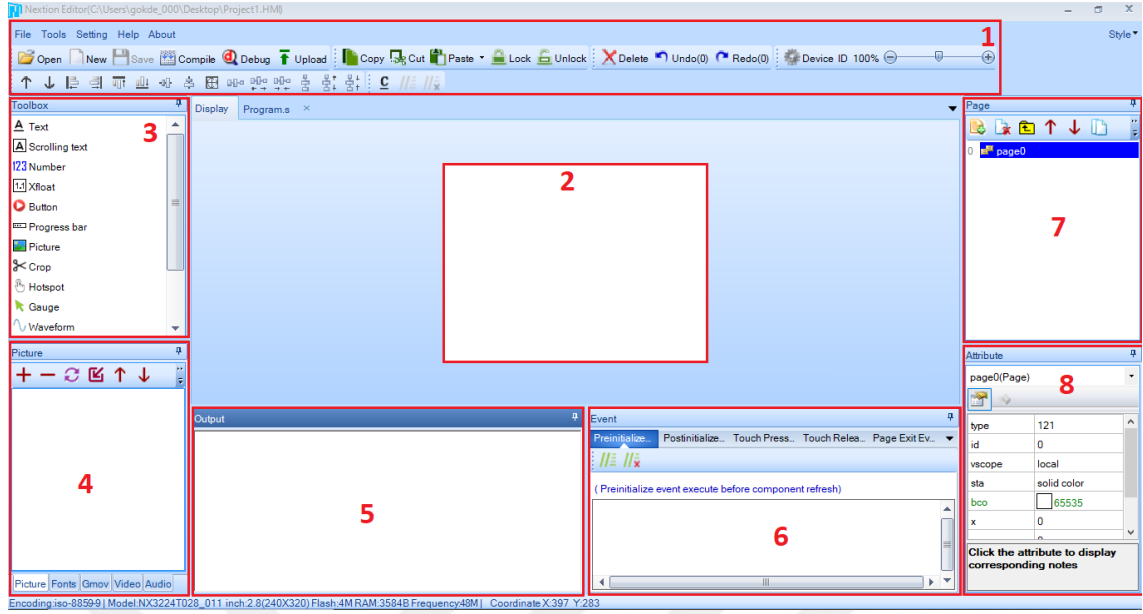
Nextion kartının programlanması için “Nextion Editör” programının bilgisayara kurulması gerekmektedir. Programın özelliği olan sürükle-bırak işlemi, uygulamalar için kolaylık sağlamaktadır. Bu editör yardımıyla dijital-analog değerler, kayan yazı, resim ve yazı gibi bileşenler eklenebilir. Kurulumu yapılan editör çalıştırıldıktan sonra yeni proje oluşturmak amacıyla sayfanın sol üst köşesinde yer alan “File” sekmesinin ardından “New” seçeneği işaretlenerek “HMI” uzantılı proje istenilen klasöre kaydedilir. Kayıt işlemi tamamlandıktan sonra ekrana gelen genel ayarlar ekranından “Device” sekmesine gidilir. Bu sekmede projede kullanılacak ekranın modeli (inch:2.8(240x320) gibi) seçilir. “Device” sekmesinde ekran modeli seçildikten sonra “DISPLAY” seçeneğinden ekranın yatay (90 veya 270 derece, horizontal) veya dikey (0 veya 180 derece, vertical) olarak nasıl kullanılacağı seçimi yapılır. Proje şifrelenmek istenirse “Project” sekmesinden şifreleme işlemi yapılabilir. Bütün ayarlar yapıp “OK” seçeneğine tıklandıktan sonra arayüzün oluşturulacağı “Nextion Editör” arayüzüne ulaşılır. Tasarımı yapılan .hmi uzantılı projeyi Nextion ekranına yüklemek için, Nextion Editör’de bulunan “Upload” seçeneğine tıklanır ve proje Nextion ekranına yüklenmiş olur.



Şekil 3.14. Nextion Editör yeni proje oluşturma



Şekil 3.15. Nextion Editör Display ve Project ayarları



Şekil 3.16. Nextion Editör arayüzü

Şekil 3.16.'da yer alan görüntüde numaralandırmalara göre bilgiler şu şekildedir;

Ana Menü (1) : Dosya açma, yeni proje oluşturma ve araçlar gibi seçeneklerin yer aldığı bölümdür.

Ekrana Alanı (2) : Sürükleyip bırak yöntemiyle bileşenlerin eklenebildiği projede kullanılan ekrandır.

Araç Kutusu (3) : Projede yer alacak bileşenlerin eklendiği bölümdür.

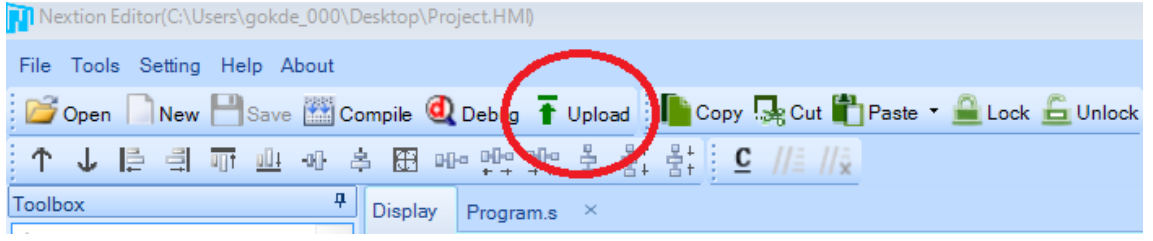
Resim ve Font Alanı (4) : Projede yer alacak resimlerin eklendiği ve projenin yazı fontunun ayarlandığı bölümdür.

Derleyici Çıktısı (5) : Derlenen projenin çıktısının yer aldığı bölümdür.

Olay Alanı (6) : Projede yer alacak bileşenlerin çalıştırılması istenilen kodların yazıldığı bölümdür.

Sayfa Alanı (7) : Projede yer alacak sayfaların eklendiği bölüm olup birden fazla sayfa eklenebilir.

Özellikler Alanı (8) : Projede yer alacak özelliklerin yer aldığı ve düzenlendiği bölümdür.



Şekil 3.17. Nextion Editör Upload seçeneği

### 3.6. RS232 Seri İletim

Elektronik devreler, birbirine bağlı komponentlerden ve devrelerden oluşmaktadır. Bu devreler ortak bir iletişim protokolüyle birbirleriyle veri alışverişi yapmaktadırlar. RS232 seri iletim, günümüzde mikrodenetleyici ile bilgisayar arasında veri alışverişi yapılan uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Recommended Standard'ın kısaltması olan RS, bir haberleşme standardıdır ve seri asenkron olarak çalışmaktadır. RS232 +12V ile -12V aralığında gerilim arasındadır ve TTL seviyesinde (Transistor – Transistor Logic) iletim yapmaz. Bilgisayarlarda binary sayı sisteminde 0 değeri 0V ve 1 değeri 5V'a karşılık gelmektedir. Buna TTL seviyesi de denilmekle beraber veri iletiminin TTL seviyesinde gerçekleştirmek gürültülerden çabuk etkilenebileceğinden risklidir. RS232, kısa mesafelerde TTL seviyesinde iletilen verileri, kendi gerilim (+12V ile -12V) aralığına çekerek gürültülerden etkilense bile veri kaybolmasını önlemektedir. Mikroişlemciler yardımıyla RS232-USB dönüştürücü kablolarla UART ve bilgisayar seri monitör arası veri alışverişi yapılabilmektedir. Yapılan bu veri alışverişi belirli özelliklere sahiptir. Bu özelliklerin set edilmesiyle birlikte Stop bit, Baud Rate, veri uzunluğu ve hangi COM porttan çıkılacağı bu özellikleri teşkil etmektedir.

RS232 seri iletimi, 8 bitlik karakterler halinde iletilmektedir. Gönderilecek veri, gönderici tarafından gönderilmek üzere belirli bir formatta hazırlanır. Başlangıç bitini(start bit) gören alıcı, bitiş bitini(stop bit) görene kadar ki aralıktaki verileri okur. RS232 konnektöründe 1 eksi voltajı, 0 artı voltajı ifade etmektedir ve hattın boş olması 1'dir. Artı voltaj veri gönderileceğinin işaretidir ve bu başlangıç bitidir.

Asenkron (eş zamansız) seri iletimde, herhangi bir zamanda veri iletimi gerçekleştirilebilir ve veri gönderilmediğinde hat boşta kalır. Her veri grubu ayrı olarak gönderilir ve veri bir anda bir karakter oluşturacak şekilde hatta bırakılır. Başla biti(0) başlangıç olarak ve dur biti(1) sonlandırmak için kullanılır. Asenkron seri iletim hatasız ve sağlam veri alışverişi için bazı kurallara sahiptir. Bunlar veri bitleri, senkronizasyon bitleri, eşlik (parity) bitleri ve baud hızıdır.

Baud rate, seri iletim hattında verinin ne kadar hızlı gönderileceğini belirtir. Bps (saniyedeki bit sayısı = bit per second) olarak ifade edilir. Bu ifade, vericinin bir seri hattını ne kadar süreyle düşük veya yüksek tuttuğunu belirler. İki cihazın aynı hızda olması şartıyla baud hızları belirtilen sınırlar içinde herhangi bir değerde olabilir. Standart baud hızları 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600 ve 115200'dür. 9600 bps hızın kritik olmadığı basit şeyler için daha yaygındır. Baud hızının artmasıyla, veriler daha hızlı alınır veya gönderilir. Bu hızların sınırları olup, 115200'ü aşan hızlar çoğu mikrodenetleyicide görünmez. Çok yüksek hızlarda alıcı tarafında hatalar gözükülebilmektedir.

Senkronizasyon bitleri, her bir veri yığınıyla birlikte gönderilen başlangıç ve bitiş bitleri olan iki veya üç özel bittir. Senkronizasyon bitleri bir paketin başına veya sonuna işaret eder. Her zaman bir başlangıç biti olup, genellikle bir olmak üzere bir yada iki bitiş biti vardır. Başlangıç biti boşta olan veri hattı tarafından 1'den 0'a doğru gösterilirken, bitiş bitleri hattı 1'de tutarak bekleme durumuna geri dönecektir.

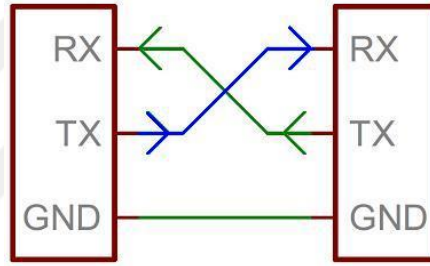
Eşlik(parity) bitleri, kontrol amaçlı kullanılan ve ikilik tabandaki bitlerin tek veya çift olması esasına göre kullanılan bitlerdir. Eşlik biti için veri baytının 5-9 bitinin tamamı toplanır ve bu toplama göre eşlik bitinin set edilip edilmeyeceğine karar verilir. Eşlik biti, bayt içindeki sayıların toplamı tek sayı ise 1, çift sayı ise 0 olarak ayarlanır. Mesajın sonuna eşlik biti eklenir. Karşı taraf bit değerlerini toplar ve eşlik bitiyle karşılaştırır. Eşlik bitinin tutması sorunun olmadığına işaret olup, tutmaması mesajda veya eşlik bitinde bozulma olduğuna işaretir.

1011011 mesajı örnek verilecek olunursa, toplam 5 adet bir vardır ve toplamı tektir. Eşlik biti karşı tarafa 1 olarak yollanacaktır. Eşlik bitiyle birlikte mesaj 10110111'dir.

Alan taraf ilk 7 biti toplar, tek sayı elde eder ve eşlik bitinin 1 olması gerektiğini düşünür. Eşlik biti de 1 olduğundan alan taraf sorunsuz aldığına karar verir.

RS232, hem veri alma ve hem veri verme özelliklerine sahip DTE (Data Terminal Equipment) veya DCE (Data Communication Equipment) olacak şekilde iki sınıfa ayrılır. DTE PC, yazıcı, router gibi son kullanıcı cihazlarıdır. DCE ise, DTE'lerin modem gibi servis sağlayıcıların ağlarına ulaşabilmek için kullandıkları cihazdır. Tek haberleşme kanallı konektör tipi olan DB9, günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır.

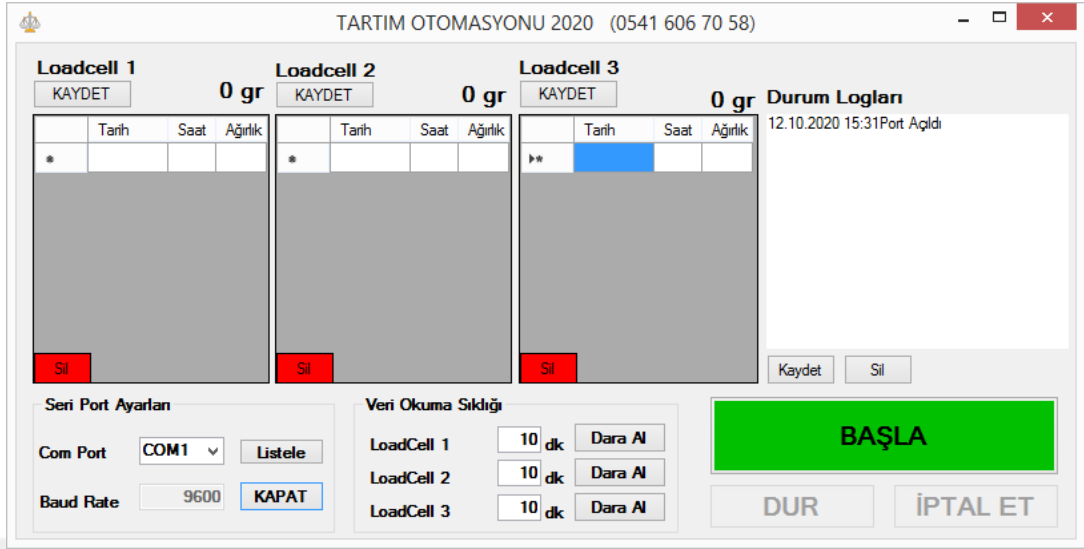
RS232, sadece TX, RX ve GND pinleri bağlantısıyla haberleşebilir. TX ve RX pinleri birbirlerine çapraz bağlanmalıdır. Alıcı ve verici cihaz GND pinini baz aldığından, haberleşmede GND pini kullanmak zorunludur.



Şekil 3.18. RS232 seri haberleşme bağlantısı

### 3.7. Bilgisayar Yazılımı

Yük hücrelerinden alınan verilerin bilgisayara aktarılması amacıyla Windows uyumlu bir yazılım hazırlanmıştır. Yazılım Visual C# uygulama geliştirme ortamında yazılmıştır. Uygulamada her bir yük hücresinin istenen sıklıkta veri alması için gerekli kontroller yer almaktadır. Uygulamada seri port seçimi ve elde edilen verilerin kaydedileceği arayüz hazırlanmıştır. İstenen sıklıkta elde edilen veriler tablo(grid) içerisine alt alta eklenerek ekranda görüntülenmektedir. Bu tablodaki veriler istenirse MsExcel formatında saklanarak Excel veri işleme etkinliğinden faydalanıla bilinir. Programda ayrıca portların durumları açık kapalı olma halleri ve zamanları tutulmaktadır. Her hangi bir port ile iletim koptuğunda otomatik olarak port bağlantısı tekrar kurulmaktadır.



Şekil 3.19. Ağırlıkların ölçülmesi ve verilerin saklanması için hazırlanan arayüz

### 3.8. Test ve Kalibrasyon

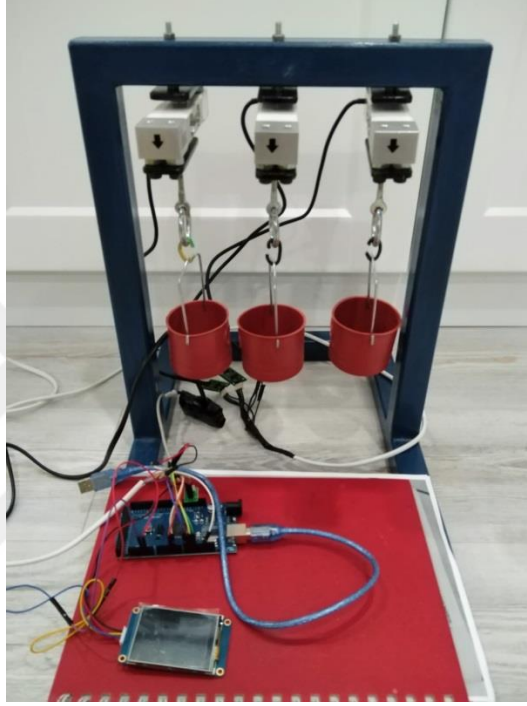
Kalibrasyon, bir ölçme cihazının gösterdiği değerin, ölçülenin gerçek değerinden sapmasını belirleme işlemidir.

Sistemin kalibrasyonu için Şekil 3.20.'de gösterilen 1 gramdan 1000 grama kadar olan kütleler kullanılmıştır. Bu aralıktaki kütleler 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 250, 500, 1000 gram olup sırasıyla kullanılmıştır.

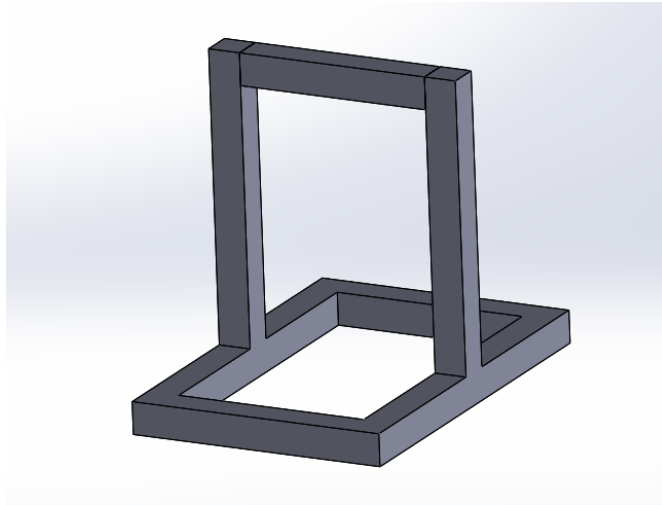


Şekil 3.20. Yük hücrelerinin kalibrasyonu için kullanılan kütleler

Sistemin testi ve kalibresi, profilden yapılan platform yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Sistemde yer alan HX711 modülünün veri çıkışıyla kütlenin gerçek değeri karşılaştırılmıştır. Bu değerler Arduino long tipinde olup, 12XX' lü değerlerdir. Elde edilen kalibrasyon değerleri kalıcı olarak saklanmaktadır. Test ve kalibrasyon için kullanılan profil platform Şekil 3.21.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Sistemin testi ve kalibresi için kullanılan profil platform



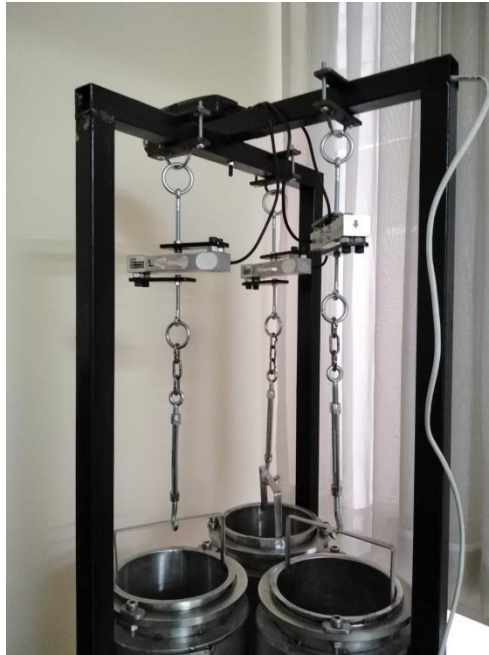
Şekil 3.22. Sistemin testi ve kalibresi için kullanılan profil platformun 3D çizimi

### 3.9. Sistemin Montaj Edilmesi

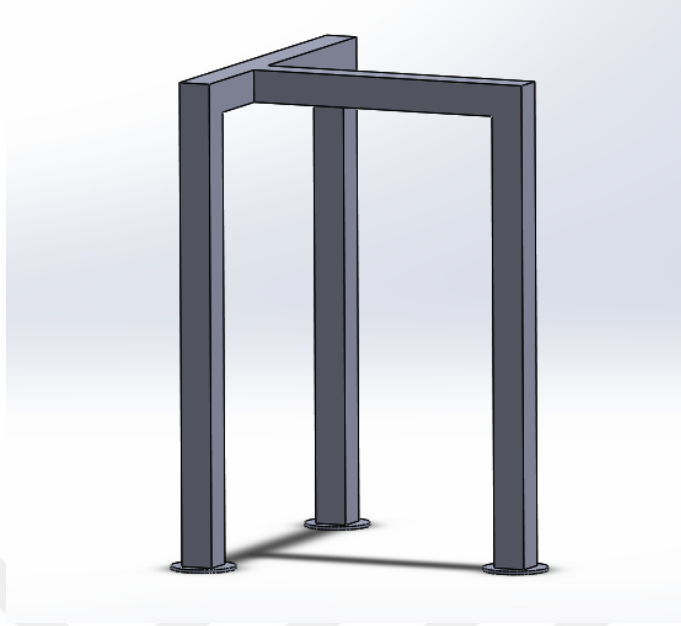
Ağırlık ölçüm sistemi Şekil 3.24.'te gösterilen profil platform yardımıyla montajlanmıştır. Kurutucunun kurutma kaplarının izdüşümüne yük hücrelerinin bağlanacağı hareketli aparatlar yerleştirilmiştir. Platform üzerine yerleştirilen bu hareketli aparatlar Şekil 3.23.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Yük hücrelerin bağlandığı hareketli aparatlar



Şekil 3.24. Yük hücrelerinin kurutucu üzerine platform yardımıyla yerleştirilmesi



Şekil 3.25. Kurutucu üzerinde yer alan platformun 3D çizimi

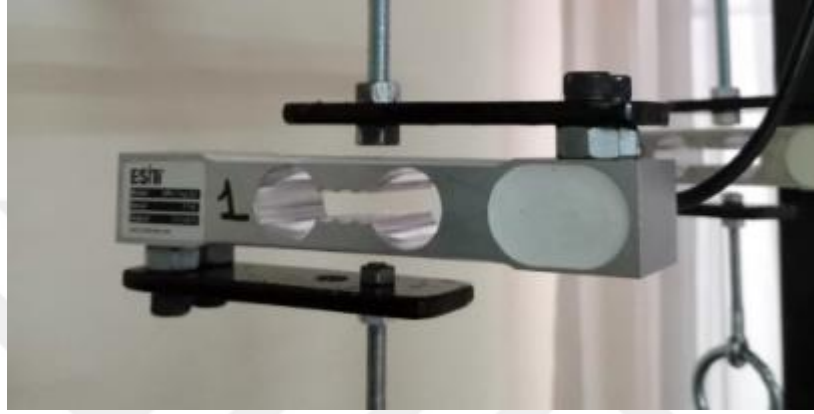
Şekil 3.26’da gösterildiği gibi kurutucu kaplarının yanına sensör değerlerinin okunması için bilgisayar, Nextion ekran ve Arduino yerleştirilmiştir.



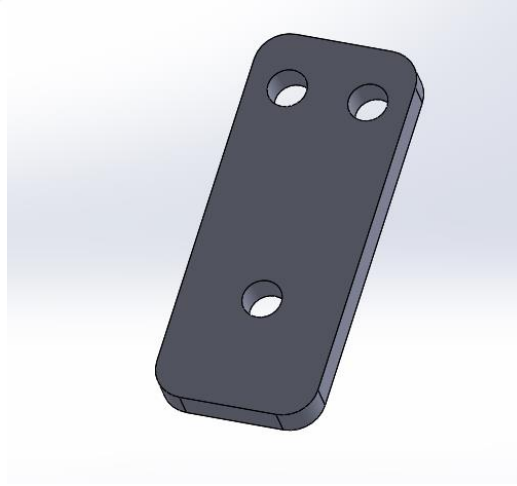
Şekil 3.26. Bilgisayar, Nextion ekran ve Arduino’nun yerleşimi

Platform tipi yük hücresi S tipi yük hücresi olarak kullanılabilmesi için Şekil 3.27’de yer alan sac lamalar kullanılmıştır.

Bu lamalar platform tipi yük hücresinin altına ve üstüne eşit denk gelecek şekilde lazer kesim ile kestirilip hazırlanmıştır. Kestirilen lamaların cıvata ve somun yardımıyla yük hücresine bağlantısı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.27. Platform tipi yük hücresine bağlanan sac lamalar



Şekil 3.28. Platform tipi yük hücresine bağlanan sac lamaların 3D çizimi

#### 4. BULGULAR, TARTIŞMA ve SONUÇ

Laboratuvar tipi deneysel kurutucu üzerinde geliştirilen ve montajı yapılan otomatik ölçüm sistemi çalışması başarılı olup, gramajları belli kütleler yardımıyla sistem test edilmiştir. Yapılan denemeler, kurutucunun yüksek sıcaklığının sensörleri etkilememesi için ısı izolasyonunun olması gerektiğini göstermiştir. Ayrıca ağırlıkların gerçek değerini yansıtabilmesi için kurutucu kaplarının kurutucu haznelere sıfır sürtünme ile montajlanması gerekmektedir.

Elde edilen verileri .xls formatında kaydetmek amacıyla bilgisayar üzerinde çalışacak C# programlama dili kullanılarak kurulum gerektirmeyen bir yazılım sisteme dahil edilmiştir. Bu sayede Arduino yardımıyla Nextion ekran üzerinden bilgisayara ihtiyaç duyulmadan veriler anlık olarak takip edilmiştir.

Belirli aralıklarla ölçüm yapılması ve elde edilen verilerin kaydedilmesi için kurutucu üzerinde geliştirilen tartım sisteminde numunelerin denemeleri başarılı ile gerçekleştirilmiştir. Excel programından faydalanmak amacıyla veriler .xls formatına çevrilmiştir. Arduino ve USB-Seri port dönüşümü ile haberleşen program üzerinden sanal seri port ayarları ve seçimi kolayca yapıp portlara ait hata ve raporlar kaydedilebilmektedir.

Kurutma sisteminde yapılan ölçümlerde hata ve problemle karşılaşılmamıştır. Kurutma sisteminde meydana gelen az miktardaki titreşimleri gidermek amacıyla program üzerinden ayarlamalar yapıp hatalar ortadan kaldırılmıştır. Ağırlık ölçümlerinde bir miktar yanlış okumaya sebebiyet veren kurutma fanı için, okuma yapılmadan önce fan kapatılıp okuma yapılmıştır. Ayrıca elektrik kesintilerinde verilerin kaybolmaması için gerekli yazılım sisteme eklenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Ayaz, M., Dikmen, E., ve Şahin Şencan, A., 2016. Isı pompalı vakumlu kurutma fırınında tıbbi bitkilerin kurutulması ve kurutma parametrelerinin araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi, 6 (1), 1-11.
- Becerikli, F., 2013. PLC ve SCADA Sistemlerinde Katı ve Sıvıların Tartım Hassasiyetinin Arttırılması ve Dozajlanması (Yüksek Lisans Tezi), Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ
- Berkel, A. 1978. Kerestenin Doğal ve Hızlandırılmış Doğal Kurutulması Tekniği, İstanbul Üniversitesi, Yayın No: 2488, Orman Fakültesi, Yayın No: 266, İstanbul.
- Ceylan, İ., Aktaş, M., ve Doğan, H., 2007. Isı pompalı bir kurutucuda kerestelerin kurutma süresinin belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22 (4), 847-854.
- Dikmen, E., Şahin Şencan, A., ve Yakut, A.K., 2012. Deneysel bir kurutma sistemi tasarımı ve çalışma parametrelerinin incelenmesi. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 32 (2), 81-88.
- Eneç, H. İ., 2009. Elektronik Tartım Sistemlerinde Çevresel ve Mekanik Hata Etkilerinin Minimize Edilmesi İçin Yapay Sinir Ağlarına Dayalı Yeni Bir İndikatör Tasarımı (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya. (Sayfa 1)
- Ergüneş, B., 2019. Sıcak Havalı Kurutucular İçin Ağırlık İzleme Sistemi Geliştirilmesi (Yüksek Lisans Tezi), Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Tokat.
- Günhoş, M., 1990. Veri Toplama Sistemleri. Elektrik Mühendisliği, 374, 141-145.
- Léonard, A., Blacher, S., Marchot, P., Pirard, J., Crine, M., “Moisture profiles determination during convective drying using X-ray microtomography”, The Canadian Journal of Chemical Engineering, 83(1), 127-131, (2005).
- Li, Z., Raghavan, G.S.V. ve Wang, N., 2010. Carrot volatiles monitoring and control in microwave drying. LWT-Food Science and Technology, 43 (2010), 291-297.

- Menlik, T., Özdemir, M.B. ve Kirmaci, V., 2010. Determination of freeze-drying behaviors o apples by artificial neural network. Expert Systems with Applications, 37 (2010), 7669-7677.
- Mercan, E., 2019. Yumurta Tasnif Makinası Embedded Kontrol Kartının Tasarımı, Üretimi ve Enerji Tasarrufu (Yüksek Lisans Tezi), Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Mutlu, H. N., 2019. İplik Gerginlik Ölçme Sensörü Geliştirilmesi (Yüksek Lisans Tezi), Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Nadian, M.H., Rafiee, S., Aghbashlo, M., Hosseinpour, S., ve Mohtasebi, S.S., 2015. Continuous real-time monitoring and neural network modeling of apple slices color changes during hot air drying. Food and Bioproducts Processing, 94 (2015), 263-274.
- Niedźwiecki, M. and Wasilewski A., 1996. Application of adaptive filtering to dynamic weighing of vehicles. Control Engineering Practice, 4: 635-644.
- Özcan R., 2003. Strain Gauge Yardımı ile Gerilme Ölçülmesi
- Özkan, A. O., 1997. Sıcaklık ve Nemin Bulanık Mantık Yöntemiyle Kontrolü (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Anabilim Dalı, Konya.
- Park J., Mackay S., 2003. Endüstriye Dönük Uygulamalı: Enstrümantasyon ve Kontrol Sistemleri için Veri Edinimi (2003), Çeviren: Çiğdem Özsar, 29-30
- Su, Y., Zhang, M., ve Mujumdar, A.S., 2015. Recent developments in smart drying technology. Drying Technology, 33 (2015), 260-276.
- Taşkın, S., 2001. Otomotiv Sektöründe Yapılan Elektriksel Ölçümler, Testler ve Çözüm Önerileri (Yüksek Lisans Tezi), Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul.
- Tural, S. N., 2002. Analog Dijital Dönüştürücüler ve 1.5µm CMOS VLSI Teknolojisi İle 6 Bitlik Bir Dönüştürücünün Tasarımı (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Uysal, M. B., 2019. Limon ve Portakal Kabuklarının Sıcak Hava, Mikrodalga ve Sıcak Hava-Mikrodalga Kombinasyonu İle Kurutulması (Yüksek Lisans Tezi), Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.

Yılmaz, H.O., 2010. Yük Hücresi Köşe Kalibrasyonu Test Robotu Tasarımı ve Uygulaması (Yüksek Lisans Tezi), Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Mekanik Anabilim Dalı, İstanbul.

Querikol, E.M., ve Taboada, E.B., 2018. Drying kinetics of mango byproducts in a greenhouse-type solar dryer using a wireless weighing scale. International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 13, Number 22 (2018), pp. 15933-15943.



## EKLER

Ağırlık Sensörü ESİT SPA 3 modeline ait teknik özellikler.



| Parametre                              | Birimi      | Değeri                       |
|----------------------------------------|-------------|------------------------------|
| Maksimum kapasite ( $E_{max}$ )        | kg          |                              |
| Hassasiyet sınıfı                      |             | C1                           |
| Maksimum bölüntü sayısı ( $n_{LC}$ )   |             | 1000                         |
| Minimum ölçüm aralığı ( $V_{min}$ )    |             | $E_{max}/5000$               |
| Toplam hata                            | %           | $\pm 0.006$                  |
| Sıfıra dönüş hatası (DR)               | $\%E_{max}$ | 0.0012                       |
| Minimum yük                            | $\%E_{max}$ | 0                            |
| Aşırı yükleme kapasitesi               | $\%E_{max}$ | 100                          |
| Aşırı yan yükleme kapasitesi           | $\%E_{max}$ | 100                          |
| Kırılma kapasitesi                     | $\%E_{max}$ | 150                          |
| Esneme ( $E_{maxyükte}$ )              | mm          | $\leq 0.8$                   |
| Maksimum uyarma gerilimi ( $U_{max}$ ) | V           | 10                           |
| Kazanç ( $C_n$ )                       | mV/V        | $2 \pm 10\%$                 |
| Yüksüz çıkış                           | $\%C_n$     | $\pm 5 \%$                   |
| Giriş direnci                          | $\Omega$    | $405 \pm 10$                 |
| Çıkış direnci                          | $\Omega$    | $350 \pm 3.5$                |
| İzolasyon direnci                      | M $\Omega$  | $\geq 5000 M\Omega (50VDC)$  |
| Düzeltilmiş çalışma sıcaklığı aralığı  | $^{\circ}C$ | $-10 - +40^{\circ}C$         |
| Çalışma sıcaklığı aralığı              | $^{\circ}C$ | $-20 - +60^{\circ}C$         |
| Yük Hücresi malzemesi                  |             | Alüminyum                    |
| Koruma sınıfı                          |             | IP55                         |
| Kablo boyu                             | m           | $0.4 \pm 3\%$                |
| Kablo dış çapı                         | mm          | 4                            |
| Ağırlık                                | kg          | 0.17                         |
| Paket ebatları / ağırlığı              | cm/kg       | $4 \times 15 \times 5 / 0.2$ |

## ÖZGEÇMİŞ

