

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK FAKÜLTESİ

SAYISAL MUTFAK TERAZİSİ
TASARIMI

BİTİRME ÖDEVİ
Ali Hilmi UYSAL
040030409

Bölümü: Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği
Programı: Elektronik Mühendisliği

Danışmanı: Prof. Dr. İnci ÇİLESİZ

MAYIS

ÖNSÖZ

Geniş bilgi birikimi, yol göstericiliği ve tecrübesiyle çalışmam süresince benden desteğini ve yardımını esirgemeyen, Sayın Prof. Dr. İnci Çilesiz'e sonsuz saygı ve şükranlarımı sunarım. Beni her zaman destekleyen değerli arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmayı, beni yetiştiren ve bu günlere getiren, tüm başarılarımın kaynağı olan aileme ithaf ediyorum. Onların sevgisi, desteği ve emeği benim için en büyük gayret ve başarı nedenidir.

Mayıs 2008

Ali Hilmi UYSAL

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
SUMMARY	vi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNBİLGİ	3
2.1. Gerilme Nedir?	3
2.2. Hooke Yasası ve Elastiklik	5
2.3. Gerilmeölçerler	6
2.3.1. Tanım ve Kısa Tarih	6
2.3.2. Gerilmeölçer Çarpanı	7
2.3.3. Gerilmeölçer Çesitleri	7
2.3.3.1. Metalik Folyolu Gerilmeölçer	8
2.3.3.2. İnce Filmlı Gerilmeölçer	9
2.3.3.3. Yarıiletken Gerilmeölçer	10
2.4. Wheatstone Köprüsü	10
2.4.1. Wheatstone Köprüsü Çesitleri	11
2.4.1.1. Çeyrek Wheatstone Köprüsü	11
2.4.1.2. Yarım Wheatstone Köprüsü	14
2.4.1.3. Tam Wheatstone Köprüsü	15
3. DONANIM	16
3.1. Projede Kullanılan Entegre ve Malzemelerin Listesi	16
3.2. Yük Hücresi	16
3.3. Enstrümantasyon Kuvvetlendiricisi: INA114	20
3.4. Mikroişlemci: PIC16F877A	24
3.4.1. PIC16F877A Hakkında Genel Bilgi	24
3.4.2. PIC16F877A'nın A/D Çevirici Modülü	26
3.4.2.1. ADCON0 Yazmacı	26
3.4.2.2. ADCON1 Yazmacı	28
3.5. İşlemsel Kuvvetlendirici: LM741	31
3.6. LCD Ekran: PCM1602K	31
3.7. Güç Kaynağı	32
3.7.1. Transformatör	32
3.7.2. Köprü Diyot: B125C2000	32
3.7.3. Gerilim Regülatörü: LM7805	33
3.7.4. Gerilim Regülatörü: LM7812	33
3.7.5. Negatif Gerilim Regülatörü: LM7912	34
4. YAZILIM	35
4.1. Yazılım Ortamı	35
4.1. Genel Bakış	35

5. TEST ve SONUÇLAR	38
5.1. Test	38
5.2. Sonuçlar	39
KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	41

ÖZET

Bu projede, sayısal mutfak terazisi tasarımı üzerine çalışılmıştır. Proje temelde mekanik kısmın tasarımı, donanım ve yazılım olmak üzere üç ana bölümden oluşur.

Mekanik kısmın tasarımı, kullanılan dönüştürücünün çeşidine göre yapılmıştır. Dönüştürücü olarak kullanılan yük hücresi bir tarafından, alttan zemine paralel oturması için demir bir levhayla desteklenmiş; diğer tarafından, üstten yük koyulması için bir alüminyum yüzeye vidalanmıştır. Yük hücresinin doğru ölçüm yapabilmesi için bu bağlantıların son derece sağlam olması gerekmektedir ve esneme olmamalıdır.

Donanım kısmı güç kaynağı, mikroişlemci, işlemsel kuvvetlendirici, enstrümentasyon kuvvetlendiricisi ve LCD ekrandan oluşmaktadır. Elektronik devrenin tasarımı bilgisayarla yapıldıktan sonra devre breadboard üzerine kurulmuş, ilk testler burada yapılmıştır. Donanım, entegre ve malzemelerin pertinaksa lehimlenmesiyle son halini almıştır.

Yazılım, analog sinyali alıp, okur ve A/D çevirici modülü sayesinde sayısal verilere dönüştürür. Bu sayısal veriler işlenerek LCD ekranda ağırlık bilgisi olarak gösterilir.

SUMMARY

In this final project, design of a digital kitchen scales was studied. The project consists of three main sections including design of the mechanical part, hardware and software.

The design of the mechanical part was constructed based on the type of the transducer. The lower plane of the load cell, which is used as the transducer in this project, was supported by a plate made of iron and the upper plane of it was screwed to an aluminum plate in order to put weight on the plate. Both the upper and lower connections with the plates must be very strict and there must be no elasticity.

The hardware section consists of the power supply, microprocessor, operational amplifier, instrumentation amplifier and LCD display. After the design of the electronic circuit was made on the computer, the circuit was set up on the breadboard and the very first tests were performed on it. Lastly, the hardware was soldered on the pertinax.

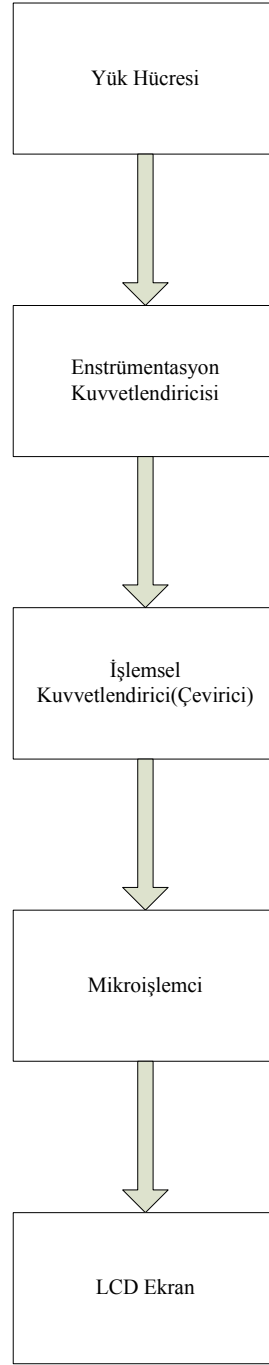
The software, receives the analog signals, reads them and converts them to digital data by A/D converter module. The digital data are processed and sent to the LCD.

1. GİRİŞ

Bir cismin ağırlığının nasıl ölçüleceği geçmişte pek çok araştırmanın konusu olmuştur. Elektronik sistemlerin ve devrelerin günümüzdeki kadar gelişmiş olmadığı dönemlerde, ağırlık ölçmek için tamamen mekanik sistemler kullanılmıştır.

Bitirme projesinde, üzerine koyulan ağırlığı $\pm 1-2$ gr duyarlılıkla ve $\pm 1-2$ gr doğrulukla ölçebilen, uygun bir dönüştürücü ile tasarlanmış, ağırlığını gerektiğinde çıkarabilen ve 5 kg'a kadar ölçüm yapabilen LCD ekranlı bir mutfak terazisi tasarlamak amaçlanmıştır.

Ağırlık ölçme sistemlerinde, çok farklı yöntemler ve dönüştürücüler kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan dönüştürücü bir yük hücresidir. Yük hücresi, üzerine koyulan ağırlığın meydana getirdiği kuvvetle doğru orantılı olarak farksal bir gerilim vermektedir. Bu farksal gerilimin, milivolt mertebelerinde olması ve mikroişlemcinin A/D çeviricisinin 0-5V'luk aralıkta çalışabilmesi nedeniyle yükseltilmesi gerekir. Yükseltme işlemi INA114 enstrümantasyon kuvvetlendiricisi tarafından yapılmaktadır. Ancak, bu aşamada bazı sorunlarla karşılaşmıştır. Yük hücresi farksal çıkışı beslemesiyle orantılı bir DC gerilim üzerinde vermektedir. Ayrıca çıkış gerilimi negatiftir ve üzerine koyulan ağırlıkla ters orantılı olarak değişmektedir. Çıkış geriliminin negatif olması LM741 işlemsel kuvvetlendiricisinin 1 kazançlı tersleyici olarak tasarlanmasıyla; ağırlıkla ters orantılı olarak değişen gerilim ise yazılımla halledilmiştir. Gerekli kazanç değeri hesaplanarak, bu kazancı sağlayan uygun direnç devreye yerleştirilmiştir. Negatif gerilim değeri tersleyici yardımıyla pozitif yapılarak mikroişlemcinin analog okuma girişine gönderilmiştir. Mikroişlemci içine gömülen yazılımla analog gerilim değerleri sayısal verilere dönüştürülmektedir. Belli zaman aralıklarında ölçülen analog gerilimin sayısal karşılıklarının ortalaması alınır. Bu ortalama değer, mikroişlemci içindeki yazılımla işlenir ve yine belli zaman aralıklarıyla LCD ekranda gösterilir. Şekil 1.1'de sayısal mutfak terazisi donanımının blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 1.1: Sayısal Mutfak Terazisi Blok Diyagramı

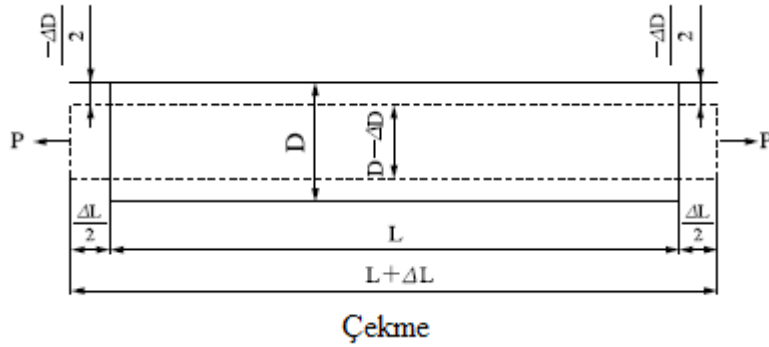
2. ÖNBİLGİ

2.1. Gerilme Nedir?

Hareketsiz duran bir cisme, bir F kuvveti uygulanırsa cisim üzerinde basınç ve gerilme meydana gelir. Basınç, cisme uygulanan F kuvvetine cismin karşı koyan iç kuvvetleri sonucu oluşur. Gerilme ise cismin şekil değiştirmesi olarak tanımlanır. Dış etkilere karşı koyan iç kuvvetlerin uniform dağılıma sahip olduğu düşünülürse basınç birim alana uygulanan kuvvet olarak tanımlanabilir.

$$\sigma = F / A \quad (2.1)$$

Çekme kuvvetinin yarattığı basınçla orantılı olarak cismin yatay kesiti ΔD kadar küçülür ve boyu çekme kuvveti uygulanmadan önceki boyuna göre ΔL kadar uzar.

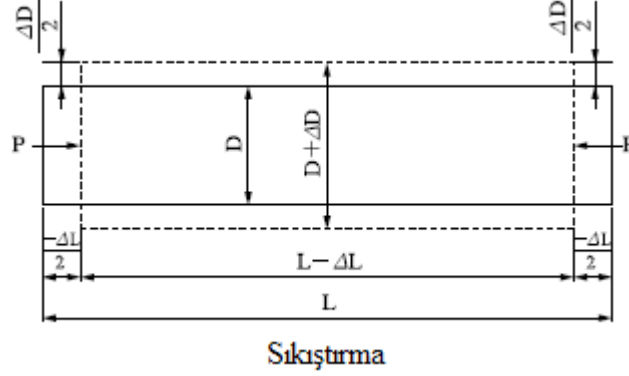


Şekil 2.1: Çekme Gerilmesi

Uzama miktarının ilk boy oranına çekme gerilmesi adı verilir.

$$\varepsilon = \Delta L / L \quad (2.2)$$

Eğer cisim bir sıkıştırma kuvveti altında kalırsa cismin yatay kesiti ΔD kadar büyür ve boyu ilk boyuna göre ΔL kadar kısalır.



Şekil 2.2: Sıkıştırma Gerilmesi

Cismin kısalma miktarının ilk boyuna oranına sıkıştırma gerilmesi adı verilir.

$$\varepsilon = -\Delta L / L \quad (2.3)$$

Gerilme mutlak değer olarak hesaplanır ve birimi $\mu\epsilon$ dur. Mikro gerilme olarak okunur.

Kuvvetin uygulandığı eksen yönündeki gerilmeye boyuna gerilme (2.4), bu eksen kesen eksendeki gerilmeye enine gerilme (2.5) denir. Enine gerilme ve boyuna gerilme arasındaki oranın mutlak değeri Poisson Oranı (2.6) olarak bilinir.

$$\varepsilon_1 = \pm \frac{\Delta L}{L} \quad (2.4)$$

$$\varepsilon_2 = \pm \frac{\Delta D}{D} \quad (2.5)$$

$$\nu = \left| \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \right| \quad (2.6)$$

Maddelerin Poisson Oranları, ağırlık ölçme uygulamalarında ve inşaat sektöründe kritik öneme sahiptir.(Tablo 2.1)

Tablo 2.1: Farklı Maddelerin Poisson Oranları

Madde	Çekme Gücü	Poisson Oranı
Karbon Çelik(C %0.1-0.2)	363 – 441	0.28 – 0,3
Karbon Çelik(C >%0.25)	417 – 569	0.28 – 0,3
Yay Çeliği	588 – 1667	0.28 – 0,3
Nikel Çeliği	549 – 657	0.28 – 0,3
Dökme Demir	118 – 235	0.2 – 0.29
Dökme Pirinç	147	0.34
Fosfor Tuncu	431	0.38
Alüminyum	186 – 500	0.34
Beton	-	0.1

2.2. Hooke Yasası ve Elastiklik

Elastiklik sınırları aşılmadığı takdirde, cisme uygulanan kuvvetle cismin şekil değiştirmesi arasında doğrusal bir orantı olduğunu söyleyen yasadır. Eğer elastiklik sınırı aşılmaz ve cisim üzerine uygulanan kuvvet kaldırılırsa, ilk boyutlara geri dönlür. Bu yasa İngiliz fizikçi Robert Hooke tarafından 1676 yılında bulunmuştur.

Örneğin düşey ekseninde asılı duran bir yay bir ağırlık ilâştirilerek kuvvet uygulanırsa, yayda meydana gelen fiziksel değişme uygulanan kuvvetle doğru orantılıdır. Eğer ağırlık kaldırıldığında yay ilk haline geri dönüyorsa o kuvvet altında elastiktir denir. Elastiklik sınırı, bir cismin elastikliğini kaybetmeksizin üzerine uygulanabilecek en büyük kuvvet olarak tanımlanır. Hooke yasası (2.6)'daki matematiksel formülle ifade edilebilir.

$$F = kx \quad (2.6)$$

F: Cisim üzerine uygulanan kuvvet

k: Yay sabiti

x: Uzama miktarı

Diğer bir deyişle, gerilme ile şekil değiştirme arasındaki ilişki de Hooke Yasası olarak bilinir ve şu şekilde ifade edilir.

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2.7)$$

σ : Basınç kuvveti

E: Elastiklik modülü

ε : Birim şekil değiştirme

Elastiklik modülü, maddenin mukavemetinin bir ölçüsüdür. Birimi N/m^2 'dir.

2.3. Gerilmeölçerler

2.3.1. Tanım ve Kısa Tarih

Maddedeki şekilsel bozulmanın ölçüsünü belirleyen cihazlardır. Temel olarak tüm gerilmeölçerler mekanik hareketi veya etkiyi, elektriksel sinyallere dönüştürme esasına göre tasarlanmışlardır. Bir maddeye çekme veya sıkıştırma gerilimi uygulandığında, bu gerilimle orantılı olarak maddenin kapasitesinde, endüktansında veya direncinde değişim meydana gelir.

İlk defa 1856'da Lord Kelvin mekanik bir gerilmeye maruz bırakılan metal iletkenlerin(yaptığı deneylerde bakır ve çelik tellere gerilme uyguladığında) elektriksel dirençlerinde bir değişim olduğunu saptamıştır. Diğer bir saptaması, aynı gerilme altında demirin direncinin bakırın direncine göre daha fazla değişmesidir. Ancak bu bilginin pratiğe dönüştürülmesi 1930'lara kadar sürmüştür. 1938 yılında

Edward E. Simmons ve Arthur C. Ruge, birbirlerinden habersiz olarak gerilmeölçer rozetlerini bulmuşlardır.

2.3.2. Gerilmeölçer Çarpanı

Dışarıdan uygulanan çekme kuvveti maddenin uzamasını sağlayarak direncini artırır. Tersine sıkıştırma kuvveti maddenin kışalmasını sağlayarak direncini azaltır. Herhangi bir kuvvet uygulanmadan önce maddenin direncine R , kuvvet uygulandıktan sonra maddenin direncindeki değişime ΔR dersek, aşağıdaki formüle göre gerilmeölçer çarpanı (gage factor: GF)

$$GF = \left(\frac{\Delta R}{R} \right) / \left(\frac{\Delta L}{L} \right) \quad (2.8)$$

(2.8)'deki gibi olur.

$$\frac{\Delta L}{L} = \varepsilon \quad (2.9)$$

(2.9) eşitliği yerine yazılırsa

$$GF = \left(\frac{\Delta R}{R} \right) / \varepsilon \quad (2.10)$$

gerilmeölçer çarpanı (2.10)'daki gibi gösterilebilir. Gerilmeölçer çarpanı, gerilmeölçerin gerilime olan duyarlılığının bir ölçüsüdür. Formüllerden de anlaşılacağı gibi birim gerilme başına düşen direnç değişimini göstermektedir.

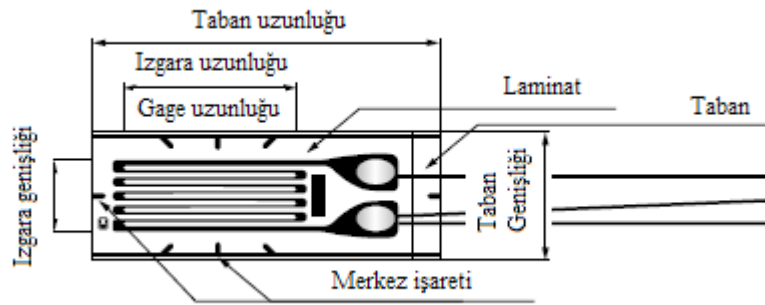
2.3.3. Gerilmeölçer Çeşitleri

Gerilmeyle orantılı değişim gösteren karakteristik özellikler arasında direncin yanı sıra endüktans ve kapasite de olmasına karşın, günümüzde direnç tabanlı gerilmeölçerler en geniş kullanım alanına sahiptir. Bu durumda, kapasite ve endüktans tabanlı gerilmeölçerlerin titreşimlere duyarlılıklarının yüksek olması,

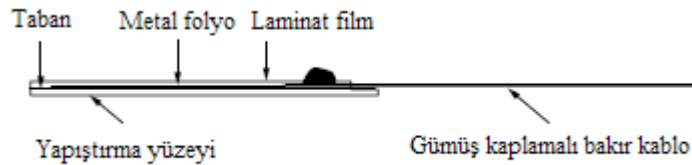
montaj gereksinimleri ve devrelerinin daha karmaşık olması etkili olmuştur. Endüstride kullanılan 3 çeşit direnç tabanlı gerilmeölçer vardır.

2.3.3.1. Metalik Folyolu Gerilmeölçer

Aktif alanları 2-10mm arasında değişir. İnce reçine tabakasının yalıtkan kısmının üzerindeki ızgara şeklindeki kalıba asitle oyulmuş metalik folyodan oluşur. Gerilmesi ölçülecek cismin üzerine süper yapıştırıcıyla yapıştırılır. Yüzeye bir kuvvet uygulandığında meydana gelen uzunluk değişimi, gerilmeölçer tabanı sayesinde aktif bölgeye, yani ızgara şeklindeki tel kabloya iletilir. Bu mekanik değişime tel kablo gerilmeyle lineer değişen elektriksel direnç değişimi göstererek tepki gösterir. Dirençteki değişim elektriksel işaretlere dönüştürülür.(Şekil 2.3) Hem folyo hem de yapışkan gerilmeyi iletebilmeli, yapışkan aynı zamanda folyo ızgara ve yüzey arasındaki elektriksel yalıtkanlığı sağlamalıdır.(Şekil 2.4)



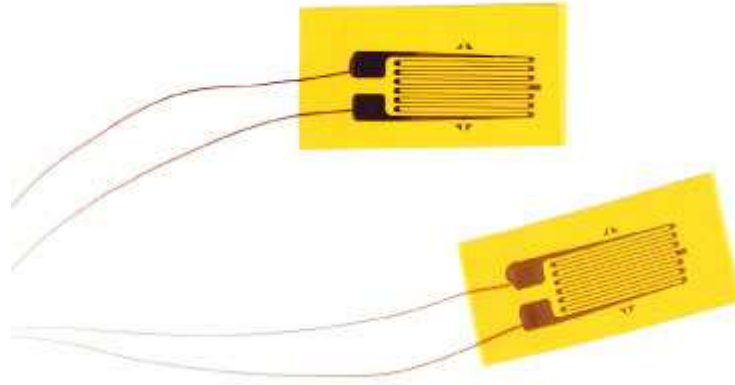
Şekil 2.3: Metalik Folyolu Gerilmeölçer Rozetinin Üstten Kesiti



Şekil 2.4: Metalik Folyolu Gerilmeölçer Rozetinin Yandan Kesiti

Gerilmeölçer rozetlerinin genel özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

- Boyutları son derece küçük olmalı.
- Çok küçük bir kütleye sahip olmalı.
- Ölçüm yapılacak parçanın üstüne kolaylıkla yapıştırılabilmeli.
- Deformasyonlara karşı yüksek duyarlılık olmalı.
- Sıcaklık ve nem gibi çevre koşullarından fazla etkilenmemeli.
- Dinamik ve statik deformasyonlarda ölçüm yapmaya yeterli olmalı.
- Uzaktan ölçme yapılabilmesi (hareketli parçalar için).
- Ucuz olmalı.
- Çok küçük bir ölçü boyunu karakterize edebilmeli.
- Uzun süre kullanılabilme imkânı olmalı.
- Eski şekline kolaylıkla dönebilmeli (esnek olmalı). (Şekil 2.5)



Şekil 2.5: Metalik Folyolu Gerilmeölçer Rozetinin Üstten Görünüşü

2.3.3.2. İnce Filmlili Gerilmeölçer

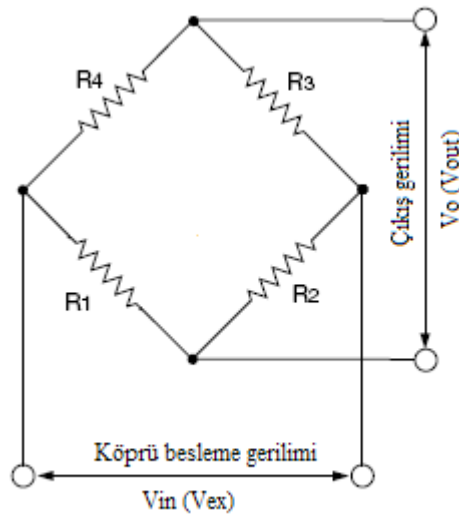
Bunlar yapışkan ile tutturma gerektirmeyen gerilmeölçerlerdir. Yüzeye moleküler olarak tutturuldukları için montajı daha dengelidir ve direnç değişimleri lineerlikten daha az sapma gösterir. Ancak daha pahalıdır.

2.3.3.3. Yarıiletken Gerilmeölçer

Piezorezistör olarak da bilinir. Germanyum ve silikonun piezoelektrik özellikleri ilk defa 1954'te Bell Laboratuvarları'nda keşfedilmiştir. 1970'lerde ilk silikon tabanlı yarıiletken gerilmeölçerler otomotiv endüstrisi için yapılmıştır. Diğer gerilmeölçerlerden farklı olarak, maddede meydana gelen direnç değişimi basınca bağlı olarak hesaplanır. Yarıiletken gerilmeölçerler diğer gerilmeölçerlere göre 50 kat büyük gerilmeölçer çarpanına, 100 kat fazla duyarlılığa ve çok daha elastik bir yapıya sahiptir. Fakat, metalik folyolu gerilmeölçerlere göre sıcaklık değişimlerine daha fazla duyarlıdır ve sürüklenme eğilimi daha yüksektir. Diğer bir dezavantaj ise direnç – basınç ilişkisinin doğrusal olmaması, %10 ila %20 arasında sapmalar göstermesidir. Bu sapmalar yazılımla kompanze edilebilmektedir.

2.4. Wheatstone Köprüsü

Gerilmeye bağlı direnç değişimleri çok küçük mertebelerde olduğu için, ölçümlerin yüksek doğrulukla yapılabilmesi amacıyla bazı devreler geliştirilmiştir. Bunlardan en çok kullanılanı 1843 yılında İngiliz fizikçi Charles Wheatstone tarafından önerilen ve kendi adıyla anılan Wheatstone köprüsüdür. Wheatstone köprüsü, iki gerilim bölücünün paralel bağlanmasından oluşur.(Şekil 2.6)



Şekil 2.6: Wheatstone Köprüsü

Görüldüğü üzere kare şeklinde bağlanmış dirençlerin karşılıklı iki köşesine besleme gerilimi uygulanır, diğer karşılıklı iki köşenin arasındaki gerilim farkı çıkış gerilimidir. Çıkış gerilimi, A ve B noktalarının gerilimleri arasındaki farka eşit olduğuna göre A noktasının gerilimi (2.11) ile

$$V_A = \frac{R_3}{R_3 + R_4} V_{IN} \quad (2.11)$$

B noktasının gerilimi (2.12) ile

$$V_B = \frac{R_2}{R_2 + R_1} V_{IN} \quad (2.12)$$

verilebilir. Köprünün çıkış gerilimi ise (2.13)'teki formülle gösterilebilir.

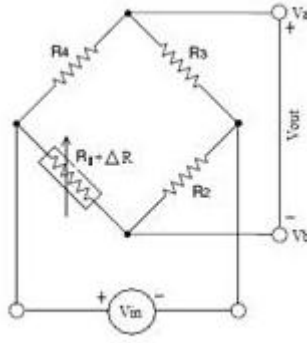
$$V_{OUT} = V_A - V_B = \left[\frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \right] V_{IN} \quad (2.13)$$

2.4.1. Wheatstone Köprüsü Çeşitleri

Wheatstone köprüsü, içinde bulundurduğu gerilmeölçer sayısına göre 3 çeşide ayrılır.

2.4.1.1. Çeyrek Wheatstone Köprüsü

1 adet gerilmeölçer ve 3 adet köprü tamamlayıcı dirençten oluşur.(Şekil 2.7)



Şekil 2.7: Çeyrek Wheatstone Köprüsü

Anlaşılması açısından, yalnızca çeyrek köprünün giriş-çıkış bağıntısı hesaplanacaktır. R_1 direncinin değerinin ΔR kadar değiştiğini (arttığını) varsayarsak ve $R_1 + \Delta R$ sonucu denklemde yerine yazılırsa (2.14)'teki sonuç elde edilir.

$$V_{OUT} = \left[\frac{(R_1 + \Delta R)R_3 - R_2R_4}{(R_1 + \Delta R + R_2)(R_3 + R_4)} \right] V_{IN} \quad (2.14)$$

Eğer tüm dirençler birbirine eşit seçilirse, ($R_1, R_2, R_3, R_4 = R$), denklem (2.15)'teki gibi olur.

$$V_{OUT} = \left[\frac{R^2 + R\Delta R - R^2}{(2R + \Delta R)2R} \right] V_{IN} \quad (2.15)$$

($2R + \Delta R$) ifadesinde, ΔR değeri $2R$ değerine göre çok küçük olduğundan, ($\Delta R \ll 2R$), ΔR ihmal edilebilir. Bu durumda gerekli sadeleştirmeler yapılırsa

$$V_{OUT} = \frac{1}{4} \frac{\Delta R}{R} V_{IN} \quad (2.16)$$

(2.16)'da verilen çıkış geriliminin, gerilmeölçer üzerinde meydana gelen direnç değişimiyle doğru orantılı olduğu ispatlanmış olur. Bu değişim de gerilmeyle doğru orantılı olduğundan, gerilmeyle doğru orantılı değişen bir çıkış gerilimi elde edilmesi beklenir.

(2.16) eşitliği düzenlenebilir. Aşağıdaki eşitliğin doğruluğu gösterilmiştir.

$$\frac{\Delta R}{R} = GF \frac{\Delta L}{L} = GF \cdot \varepsilon \quad (2.17)$$

(2.17), (2.16)'da yerine yazılırsa, giriş-çıkış bağıntısı daha anlaşılır hale getirilebilir.

$$V_{OUT} = \left(\frac{1}{4} GF \cdot \varepsilon \right) V_{IN} \quad (2.18)$$

Çeyrek köprü devresinde çıkış gerilimi gerilmeyle orantılı olarak değişmemektedir.

Yapılan deneyler sonucunda

$$\frac{1}{1 + GF \cdot \varepsilon / 2} \quad (2.19)$$

(2.19) ifadesinin, (2.18) denklemine çarpan olarak eklenmesi gerektiği belirlenmiştir.

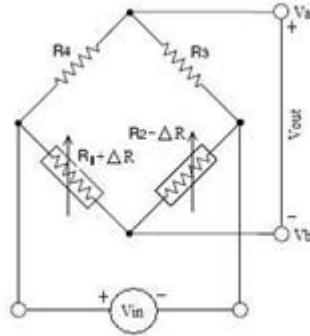
Pratikteki sonuç

$$V_{OUT} = \left(\frac{1}{4} GF \cdot \varepsilon \right) \left(\frac{1}{1 + GF \cdot \varepsilon / 2} \right) V_{IN} \quad (2.20)$$

şeklindedir.

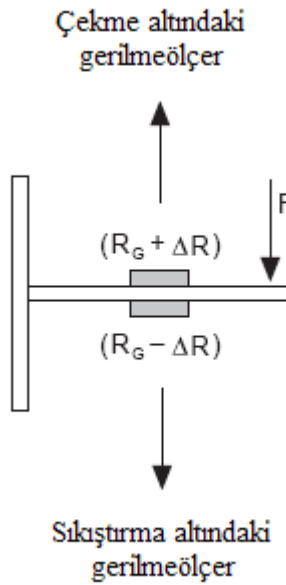
2.4.1.2. Yarım Wheatstone Köprüsü

2 adet gerilmeölçer ve 2 adet köprü tamamlayıcı dirençten oluşur.(Şekil 2.8)



Şekil 2.8: Yarım Wheatstone Köprüsü

Gerilmeölçerlerden birinin sıkıştırma etkisiyle direnci artarken, diğerinin çekme etkisiyle direnci azalır. Bu durumu Şekil 2.9'daki gibi basitleştirerek göstermek mümkündür.



Şekil 2.9: Yarım Wheatstone Köprüsündeki Gerilmeölçerlerin Benzetimi

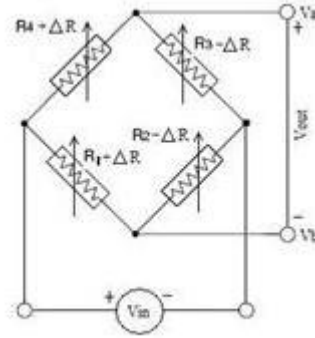
Yarım Wheatstone köprüsünün giriş-çıkış bağıntısı (2.21)'de verilmiştir.

$$V_{OUT} = \frac{GF \cdot \varepsilon}{2} V_{IN} \quad (2.21)$$

Yarım köprü, çeyrek köprüye göre çok daha doğrusal bir giriş-çıkış karakteristiği gösterir ve çıkış voltaj değeri aynı yük altında çeyrek köprünün yaklaşık 2 katı kadardır.

2.4.1.3 Tam Wheatstone Köprüsü

Son olarak, tüm kollara gerilmeölçer yerleştirilerek 4 adet gerilmeölçerden oluşan ve duyarlılığı çeyrek ve yarım köprülere göre çok daha iyi olan tam köprü devresi elde edilir.(Şekil 2.10) 2 gerilmeölçer sıkıştırma, 2 gerilmeölçer çekme kuvveti altındadır.



Şekil 2.10: Tam Wheatstone Köprüsü

Tam Wheatstone köprüsünün giriş-çıkış bağıntısı şöyle gösterilebilir.

$$V_{OUT} = (GF \cdot \varepsilon) V_{IN} \quad (2.22)$$

3. DONANIM

Bu bölümde, projede kullanılan entegre ve malzemeler hakkında detaylı bilgi verilmektedir.

3.1. Projede Kullanılan Entegre ve Malzemelerin Listesi

Tablo 3.1’de projede kullanılan entegre ve malzemelerin listesi görülmektedir.

Tablo 3.1: Yük Hücresinin Özellikleri

Entegre/Malzeme Adı	Türü	Adedi
Model 1022	Yük Hücresi	1
INA114	Enstrümentasyon	1
PIC16F877A	Kuvvetlendiricisi	1
LM741	Mikroişlemci	1
PCM1602K	İşlemsel Kuvvetlendirici	1
-	LCD Ekran	1
-	12V Transformatör	1
-	Anahtar	1
B125C2000	Köprü Diyot	1
LM7805	Gerilim Regülatörü	1
LM7812	Gerilim Regülatörü	1
LM7912	Gerilim Regülatörü	1
-	4MHz Kristal Osilatör	1
-	470 μ F Kapasite	3
-	10 μ F Kapasite	2
-	22 μ F Kapasite	1
-	1 μ F Kapasite	4
-	Potansiyometre	2
-	1k Ω Direnç	2
-	50 Ω Direnç	2
-	10k Ω Direnç	1
-	100 Ω Direnç	1

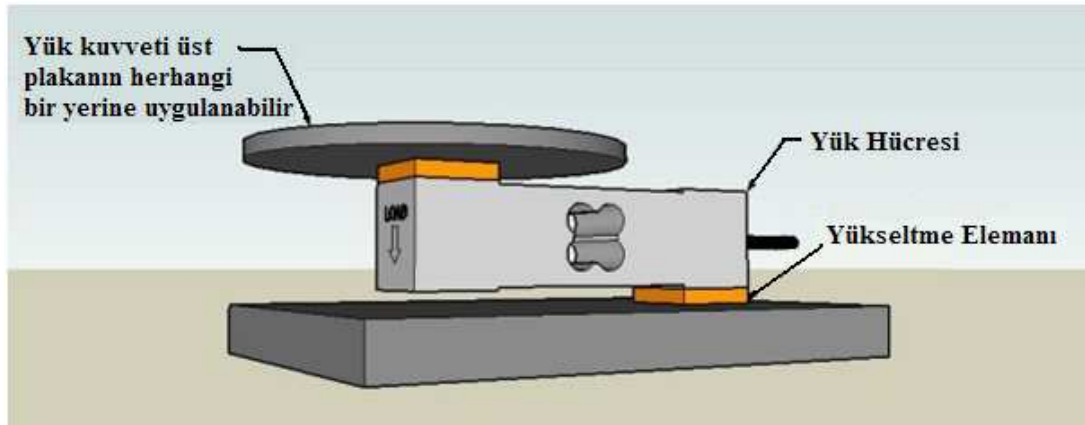
3.2. Yük Hücresi

Yük hücresi, üzerine uygulanan mekanik kuvveti elektriksel işarete dönüştüren elektronik bir cihaz, diğer adıyla mekanik-elektrik dönüştürücü olarak tanımlanabilir.

Lama tipi, S tipi, platform tipi, basma tipi ve çubuk tipi gibi pek çok çeşidi vardır.

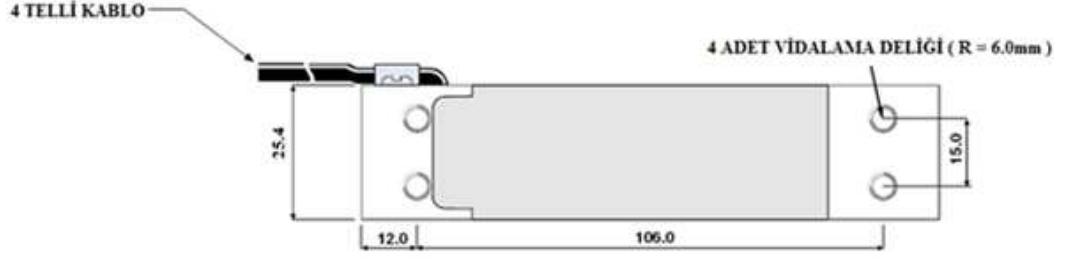
Günümüzde 50-100gr'dan, 1000-10000 tona kadar çok geniş ölçümler yapabilen, uygulamaya göre farklı şekillerde yük hücreleri üretilmektedir. Sıcaklık kompanzasyonunun daha iyi olması ve çıkış geriliminin daha makul seviyelerde olması nedeniyle, genellikle yük hücrelerinde kullanılan gerilmeölçerler, tam Wheatstone köprüsü yapısının farklı konfigürasyonları arasından seçilir.

Uygulamada kullanılan yük hücresi, Vishay Tede-Huntleigh firmasının 1022 modeli, platform tipli, tek noktadan tutturulan alüminyum malzemeden üretilmiş yük hücresidir.[1] Aşağıda, uygulamada kullanılan tek noktadan tutturulmuş yük hücresinin üst ve alt plakalara nasıl bağlanması gerektiği ve yükseltme elemanlarının yeri ile ilgili basit bir şematik gösterim sunulmuştur.(Şekil 3.1)



Şekil 3.1: Platform Tipi, Tek Noktadan Yük Hücresinin Yerleştirilmesi

Ağırlık ölçme sisteminin tasarımı aynen Şekil 3.1'de görüldüğü gibi yapılmıştır. Alt plaka demir, üst plaka alüminyumdur. Üst plaka daire şeklinde olup çapı 20cm'dir. Alt ve üst plakalara, yük hücresinin montajı için merkezleri arasındaki uzaklık 1.5cm olacak şekilde, 6mm çapında 2'şer adet delik açılmıştır. Yük hücresinin genişliği 2.54cm, deliklerin merkezlerinin yan kenarlara uzaklığı 1.2cm'dir.(Şekil 3.2) Yükseltme elemanları sert plastikten kesilmiş ve onlara da aynı özellikte 2'şer adet delik açılmıştır.



Şekil 3.2: Yük Hücresinin Üstten Kesiti [1]

Kullanılan yük hücresinin bazı önemli elektriksel ve mekanik özellikleri tablo halinde sunulmuştur.(Tablo 3.2)

Tablo 3.2: Yük Hücresinin Özellikleri [1]

Parametre	Değer	Birim
Nominal Kapasite	5	kg
Nominal Çıkış	2.0	mV/V
Nominal Çıkış Toleransı	0.2	+mV/V
Sıfır Dengesi	0.2	mV/V
Sıfır Dönüşü, 30 dak.	0.033	Uygulanan Yükün +-%
Toplam Hata	0.02	Nominal Çıkışın +-%
Sıfırdaki Sıcaklık Etkisi	0.0023	Nominal Çıkışın+-% / °C
Çıkıştaki Sıcaklık Etkisi	0.001	Uygulanan Yükün +-% / °C
Eksantrik Yükleme Hatası	0.0057	Nominal Yükün +- / cm
Kompanze Sıcaklık Aralığı	-10 – +40	°C
Güvenli Sıcaklık Aralığı	-20 – +70	°C
Güvenli Aşırı Yük (Maks.)	150	% Nominal Kapasite

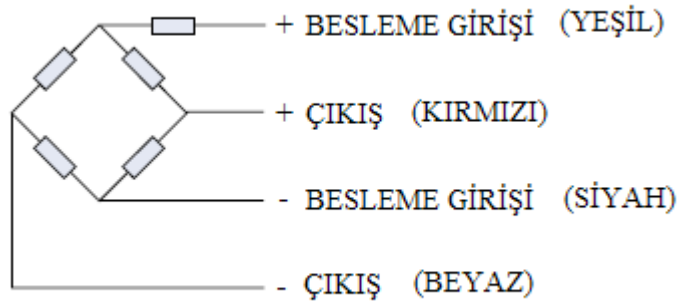
Nihai Aşırı Yük	300	% Nominal Kapasite
Tavsiye Edilen Besleme	10	V
Maksimum Besleme	15	V
Giriş Empedansı	415	Ω
Çıkış Empedansı	350	Ω
Yalıtım Direnci	>2000	M Ω
Kablo Uzunluğu	0.5	m
Kablo Tipi	4 tel, PVC	Standart
Platform Alanı (Maks.)	35x35	cm

Tablodaki verileri özetlemek gerekirse, yük hücresi 5kg'lık ağırlık ölçmek için uygundur. 7.5kg'a kadar güvenli ölçüm yapılabilir ancak tavsiye edilmez. 15kg'dan büyük yükler altında, yük hücresi içindeki Wheatstone köprüsünün gerilmeölçerleri elastikliğini kaybetmekte ve yük hücresi bozulmaktadır. Birim besleme gerilimi voltajına karşılık 2mV'luk diferansiyel çıkış verebilmektedir. Bu demektir ki, eğer yük hücresi tavsiye edilen değer olan 10V ile beslenirse nominal yük altında (5kg)

$$V_{OUT} = 2mV \times V_{EX} \quad (3.1)$$

(3.1) denkleminde göre çıkış telleri arasında 20mV'luk diferansiyel fark görülmelidir. Yük hücresi geniş bir sıcaklık aralığında çalışabilmektedir. Üst platform alanı en fazla 35cm² olabilir.(Tablo 3.2)

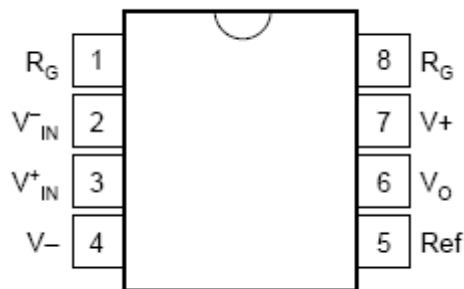
Şekil 3.4'te yük hücresinden çıkan tellerin renkleri ve hangi amaçla kullanıldığı gösterilmektedir.



Şekil 3.4: Yük Hücresinin Telleri [1]

3.3. Enstrümantasyon Kuvvetlendiricisi: INA114

Yük hücresinin çıkışından alınan mV mertebesindeki diferansiyel elektriksel işaretler mikroişlemcinin analog girişlerinin anlayabileceği (işleyebileceği) kuvvette olmadığı için yükseltilmeleri gerekir. Diferansiyel çıkışın (3.1) denklemine göre 0kg için 0mV; 5kg için 20mV olması beklenmektedir. Halbuki; mikroişlemcinin analog giriş bacağı 0 ila 5 V'luk analog değerleri çevirebilmektedir. Yükseltme işlemi için, bu tür yüksek kuvvetlendirme gereken ve küçük gürültülere karşı hassas sistemlerde sorunsuz çalışabilen, özel olarak tasarlanmış enstrümantasyon kuvvetlendiricileri kullanılır. Uygulamada kullanılan enstrümantasyon kuvvetlendiricisi Texas Instruments firmasına ait INA114'tür. Şekil 3.5'te entegrenin bacak bağlantıları gösterilmiştir [2].



Şekil 3.5: INA114'ün Üstten Kesiti ve Bacak Numaraları [2]

R_G: 1 ve 8 numaralı bacaklar arasına istenilen kuvvetlendirme değerine göre bir direnç bağlanır.

V+: Beslemenin pozitif bacağı

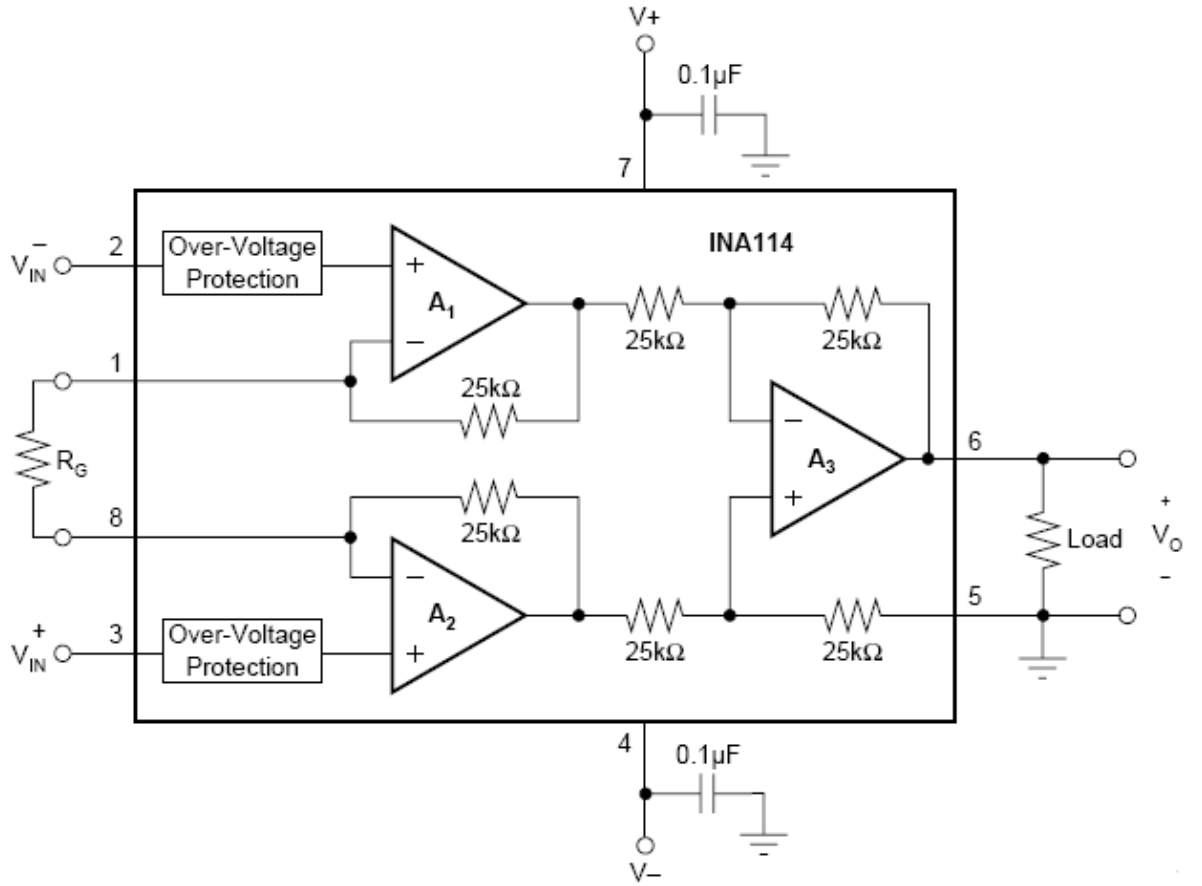
V-: Beslemenin negatif bacağı

V_{IN}⁺: Pozitif giriş

V_{IN}⁻: Negatif giriş

V_O: Çıkış

Ref: Referans



Şekil 3.6: INA114'ün İç Yapısı [2]

Entegre 3 işlemsel kuvvetlendiricili bir devredir.(Şekil 3.6) Kazanç, 1 ve 8 numaralı uçlar arasına bağlanan R_G direnciyle ayarlanmaktadır. Kazanç formülü (3.2)'dir.

$$G = 1 + \frac{50k\Omega}{R_G} \quad (3.2)$$

İstenilen kazanç değerleri, o kazanca uygun R_G direnci ve pratikte %1 yakınlıkla bulunabilecek direnç değerleri tablo halinde verilmiştir.(Tablo 3.3)

Tablo 3.3: Kazanç – Direnç Değerleri [2]

Kazanç	$R_G (\Omega)$	%1 yakın $R_G (\Omega)$
1	Bağlantı yok	Bağlantı yok
2	50.00k	49.9k
5	12.50k	12.4k
10	5.556k	5.62k
20	2.632k	2.61k
50	1.02k	1.02k
100	505.1	511
200	251.3	249
500	100.2	100
1000	50.05	49.9
2000	25.01	24.9
5000	10.00	10
10000	5.001	4.99

Kuvvetlendirme formülü, bilinen işlemsel kuvvetlendirici formülünün aynısıdır. Çıkış gerilimi, girişler arasındaki diferansiyel farkın kazançla çarpılmasıyla bulunur.

$$V_O = G \bullet (V_{IN}^+ - V_{IN}^-) \quad (3.3)$$

Entegrenin bazı karakteristik özellikleri Tablo 3.4'te sunulmuştur.

Tablo 3.4: INA114 Özellik Tablosu [2]

Parametre	Koşul	Değer	Birim
Offset Voltajı	$T_A = 25^\circ\text{C}$	$\pm 10+20/G$	μV
Offset (Sıcaklıkla değ.)	$T_A = T_{\text{MIN}}$ 'den T_{MAX} 'a	$\pm 0.1+0.5/G$	$\mu\text{V} / ^\circ\text{C}$
Güvenli Giriş Voltajı	-	± 40	V
Ortak Mod Bastırma	$V_{\text{CM}} = \pm 10\text{V}$, ΔR_S $= 1\text{k}\Omega$		dB

	G=1	96	
	G=10	115	
	G=100	120	
	G=1000	120	
Bias Akımı	-	± 0.5	nA
Bias Akımı(Sıc. Değ.)	-	± 8	pA/°C
Offset Akımı	-	± 0.5	nA
Offset Akımı(Sıc. Değ)	-	± 8	pA/°C
Kazanç Aralığı	-	1 – 10000	V/V
Kazanç Hatası	G=1	0.01	%
	G=10	0.02	
	G=100	0.05	
	G=1000	0.5	
Çıkış Voltajı	$I_o=5mA,$ $V_s=\pm 11.4V, R_s = 2k\Omega$	± 10.5	V
Çıkış Kısa Devre Akı.	-	+20 / -15	mA
Bant genişliği	G=1	1	MHz
	G=10	100	KHz
	G=100	10	KHz
	G=1000	1	KHz
Yükselme Eğimi	$V_o=\pm 10V, G=10$	0.6	V / μs
Yerleşme Süresi	G=1	18	μs
	G=10	20	
	G=100	120	
	G=1000	1100	
Besleme Gerilimi	-	± 18	V
Besleme Akımı	$V_{IN}=0V$	± 2.2	mA
Çalışma Sıcaklık Ara.	-	-40 – 125	°C

Projede, tek bir işlemsel kuvvetlendirici kullanmak yerine, 3 işlemsel kuvvetlendiricili yapıya sahip enstrümantasyon kuvvetlendiricisi kullanılmasının bazı nedenleri vardır. Bunlar arasında harici dirençle kazancın istenilen değere getirilebilmesi; mesela bir pot yardımıyla kazancın elle ayarlanabilir olması, geniş besleme voltaj aralığı, düşük gürültü ve yüksek CMRR oranları, düşük ofset gerilimi sayılabilir.

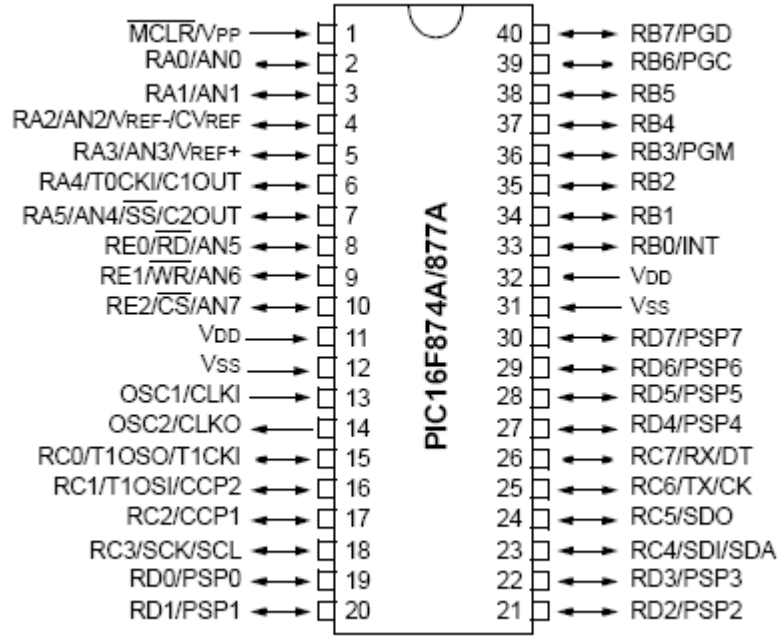
3.4. Mikroişlemci: PIC16F877A

Microchip firmasının CMOS teknolojisiyle ürettiği en popüler mikroişlemcilerden biridir. Bu mikroişlemcinin tercih edilmesinde etkili olan bazı önemli avantajlar bulunmaktadır.

- PIC mikroişlemci ailesine özel derleyicilerin, hazır fonksiyonların ve rutinlerin olması
- Gerekli yazılımların internetten ücretsiz olarak indirilebilmesi
- Çok geniş kullanıcı kitlesi sayesinde karşılaşılan sorunlara hızlı çözümler bulunabilmesi
- Basit programlama ve deneme kartı devreleri
- Çok basit reset, saat sinyali ve güç devreleriyle kullanılabilmeleri
- Flash ROM program belleği sayesinde binlerce kez programlanabilmesi
- Her yerde bulunabilmesi ve ucuzluğu

3.4.1. PIC16F877 Hakkında Genel Bilgi

PIC16F877A 40 bacaklı bir mikroişlemcidir. Bunların 33 tanesi I/O bacaklarıdır. A, B, C, D, E portları olmak üzere toplam 5 adet portu vardır. A portu 6 bit, B portu 8 bit, C portu 8 bit, D portu 8 bit ve E portu 3 bit genişliğindedir.(Şekil 3.7) I/O bacakları gerektiğinde ilgili yazmaçların değerleriyle oynanarak farklı amaçlar için kullanılabilir [3].



Şekil 3.7: PIC16F877A Bacak Şeması [3]

PIC16F877A yukarıda sayılan avantajlarına ek olarak gelişmiş özellikler de sunmaktadır. Bunlardan bazıları Tablo 3.5’te gösterilmiştir.

Tablo 3.5: 16F877A’nın Temel Özellikleri [3]

Özellikler	PIC16F877
Çalışma Hızı	DC – 20MHz
Komut Döngüsü	200ns
Çalışma Voltaj Aralığı	2.0V – 5.5V
Program Belleği	8Kx14 kelime Flash ROM
EEPROM Veri Belleği	256 bayt
Kullanıcı RAM	368x8 bayt
I/O Bacak Sayısı	33
Zamanlayıcılar	Timer0, Timer1, Timer2
A/D Çevirici	8 kanal, 10 bit
Yakalama/Karşılaştırma/PWM Modülleri	16 bit Yakalama 16 bit Karşılaştırma 10 bit PWM çözünürlük
Seri Çevresel Arayüz	SPI (Master)

	I2C (Master / Slave) Senkron Seri Port
Paralel Port	8 bit, Harici olarak RD, WR, CS kontrollü
USART / SCI	9 bit adreslemeli
Kesme Kaynağı Sayısı	15
ICD (In – Circuit Debugging)	Var. 2 bacak bağlantısıyla
Osilatör Seçenekleri	Var. XT, RC, HS,
Komut Seti	35 komut

3.4.2. PIC16F877A'nın A/D Çevirici Modülü

PIC16F877A A/D çevirici modülü, toplam 8 adet analog okuma girişine sahiptir. Analog giriş sinyalinin çevrimi 10 bitlik sayısal değere karşı düşer. A/D çevirici modülü VDD, VSS, RA2 ve RA3'ün farklı kombinasyonlarının yazılımla seçilebildiği yüksek-referans ve alçak-referans girişlerine sahiptir. A/D çevirici kendi iç RC osilatörüyle çalıştırıldığı takdirde uyku modunda da çalışabilme özelliğine sahiptir. A/D çevirici modülüne ait 4 adet yazmaç vardır [3].

- A/D Çevrim Yüksek Sonuç Yazmacı (ADRESH)
- A/D Çevrim Düşük Sonuç Yazmacı (ADRESL)
- A/D Çevrim Kontrol Yazmacı 0 (ADCON0)
- A/D Çevrim Kontrol Yazmacı 1 (ADCON1)

Bu yazmaçlar hakkındaki ayrıntılı bilgi aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

3.4.2.1. ADCON0 Yazmacı

Şekil 3.8'de ADCON0 yazmacının bitlerinin isimleri ve numaraları verilmiştir.

ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON
bit 7							bit 0

Şekil 3.8: ADCON0 Yazmacı [3]

ADCON0 yazmacının 7. ve 6. bitleri, ADCON1 yazmacının 6. bitiyle beraber çevrim saatini belirler.(Tablo 3.7)

Tablo 3.7: A/D Çevrim Saati [3]

ADCON1 <ADCS2>	ADCON0 <ADCS1:ADCS0>	Çevrim Saati
0	00	$F_{OSC}/2$
0	01	$F_{OSC}/8$
0	10	$F_{OSC}/32$
0	11	F_{RC}
1	00	$F_{OSC}/4$
1	01	$F_{OSC}/16$
1	10	$F_{OSC}/64$
1	11	F_{RC}

A/D çevrimin saat kaynağı olarak mikroişlemciye bağlanan osilatör veya dahili RC osilatörü kullanılabilir. A/D çevrim işlemlerinde çevrim süresi en az 1.6µs/bit olmalıdır. Eğer mikroişlemcinin kendi osilatörü kullanılacaksa, kristalin frekansı aşağıdaki formüle sokulup 1.6µs’lik süre tutturulmaya çalışılır.

$$T_{ÇEVİRİM} = \frac{X}{T_{OSL}} \quad (3.4)$$

Burada X ile belirtilen Tablo 3.7’de osilatör frekansının bölündüğü değerdir. 2, 4, 8, 16, 32 veya 64’ten biri olabilir. Örneğin, 4 MHz’lik osilatör kullanılıyorsa;

X = 2 için $T_{ÇEVİRİM} = 2 / 4\text{MHz} = 0.5\mu\text{s} < 1.6\mu\text{s}$ olduğu için uygun değildir.

X = 4 için $T_{ÇEVİRİM} = 4 / 4\text{MHz} = 1\mu\text{s} < 1.6\mu\text{s}$ olduğu için bu da uygun değildir.

X = 8 için $T_{ÇEVİRİM} = 8 / 4\text{MHz} = 2\mu\text{s} > 1.6\mu\text{s}$ olduğu ve 1.6µs’ye yakın olduğu için kabul edilebilir bir değerdir. Yani 4MHz’lik kristal için ADCS<2:0> bitlerinin sırasıyla 001 seçilmesi en uygun olanıdır.

Eğer kristal için uygun bir değer bulunamazsa, A/D çeviricinin dahili RC osilatörünü kullanmak en çok kullanılan yöntemdir. Ancak bu seçenek, 1MHz’ten yüksek

kristaller için önerilmemektedir. Dahili RC osilatörünün tipik çevrim saati 4µs olmakla beraber 2-6µs arasında değişmektedir.

Tablo 3.8’de verildiği üzere ADCON0 yazmacının 5, 4, 3. bitleri(CHS2:0), hangi kanaldan analog okuma yapılacağını ayarlayan bitlerdir. Analog kanal seçme bitleri olarak adlandırılırlar [3].

Tablo 3.8: Analog Kanal Seçmek [3]

CHS2:CHS0	Kanal	Bacak
000	0	AN0
001	1	AN1
010	2	AN2
011	3	AN3
100	4	AN4
101	5	AN5
110	6	AN6
111	7	AN7

ADCON0 yazmacının 2. biti olan GO/DONE biti, A/D çevrimi durum bitidir. ADCON0<ADON> = 1 olması koşuluyla, bu bitin değeri 1 ise, A/D çevrimi yapılıyor demektir. (Bu biti 1 yapmak A/D çevrimini başlatır. A/D çevrimi bittiğinde bu bit donanım tarafından otomatik olarak sıfırlanır.) GO/DONE bitinin değeri 0 ise A/D çevrimi bitirilmişştir [3].

ADCON0 yazmacının 0. biti olan ADON, A/D çevrim modülünü açma kapama bitidir. ADON 1 iken, A/D çevrim modülüne güç verilmektedir ve modül çalışır durumdadır. Bitin değeri 0 ise, A/D çevrim modülü kapalı durumdadır ve çalışma akımı harcamamaktadır [3].

3.4.2.2. ADCON1 Yazmacı

Şekil 3.9’da ADCON1 yazmacının bitlerinin isimleri ve numaraları verilmiştir.

ADFM	ADCS2	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7							bit 0

Şekil 3.9: ADCON1 Yazmacı [3]

ADCON1 yazmacının 7. biti olan ADFM, A/D çevrim sonucu formatını seçme bitidir. Bu bitin değeri 1 yapılırsa çevrim sonucu sağa dayalı olarak yazılır. ADRESH yazmacının en anlamlı 6 bitinin değeri 0 olur [3]. (Şekil 3.10)



Şekil 3.10: Sonuç Formatı Sağa Dayalı

ADFM bitinin değeri 0 yapılırsa çevrim sonucu sola dayalı olarak yazılır. ADRESL yazmacının en düşük anlamlı 6 bitinin değeri 0 olur [3].(Şekil 3.11)



Şekil 3.11: Sonuç Formatı Sola Dayalı

5. ve 4. bitler kullanılmaz.

ADCON<1:3> bitleri, PCFG3:PCFG0, A/D çevrimi port yapılandırması kontrol bitleri olarak adlandırılır. Tablo 3.9’da verilen seçenekler arasından uygun olan seçilir.

Tablo 3.9: Analog/Dijital ve Referans Seçimi [3]

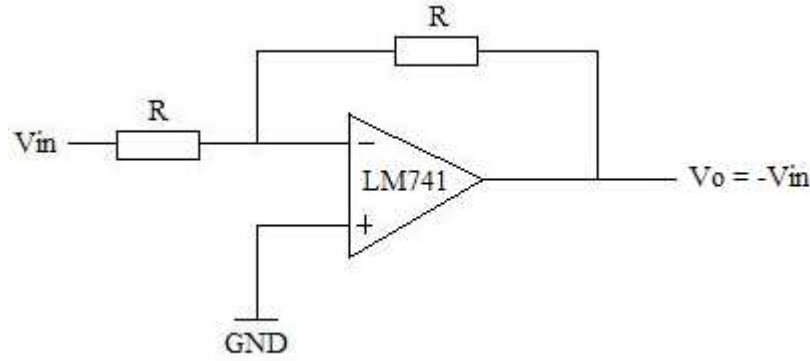
PCF G <3:0 >	AN 7	AN 6	AN 5	AN 4	AN3	AN2	AN 1	AN 0	VREF +	VRE F-	C/ R
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	V _{DD}	V _{SS}	8/0
0001	A	A	A	A	VREF +	A	A	A	AN3	V _{SS}	7/1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	V _{DD}	V _{SS}	5/0

0011	D	D	D	A	VREF +	A	A	A	AN3	V _{SS}	4/1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	V _{DD}	V _{SS}	3/0
0101	D	D	D	D	VREF +	D	A	A	AN3	V _{SS}	2/1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	-	-	0/0
1000	A	A	A	A	VREF +	VRE F-	A	A	AN3	AN2	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	V _{DD}	V _{SS}	6/0
1010	D	D	A	A	VREF +	A	A	A	AN3	V _{SS}	5/1
1011	D	D	A	A	VREF +	VRE F-	A	A	AN3	AN2	4/2
1100	D	D	D	A	VREF +	VRE F-	A	A	AN3	AN2	3/2
1101	D	D	D	D	VREF +	VRE F-	A	A	AN3	AN2	2/2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	V _{DD}	V _{SS}	1/0
1111	D	D	D	D	VREF	VRE F	D	A	AN3	AN2	1/2

Tablo 3.9, PORTA'nın hangi bacaklarının analog, hangi bacaklarının sayısal giriş olarak ayarlanabileceğini göstermektedir. Görüldüğü üzere 15 farklı seçenek sunulmuştur. AN2 ve AN3 bacakları ayrıca (-) veya (+) referans girişleri olarak da ayarlanabilir. Toplam 8 kanal istenirse tümüyle analog giriş ya da tümüyle dijital giriş yapılabilir. Örneğin, 2 kanaldan okuma yapılacaksa ve hem (+) hem (-) referans girişleri harici olarak dışarıdan uygulanacaksa PCFG<3:0> bitlerini sırasıyla 1101 seçmek uygun olacaktır. Böylelikle AN0 ve AN1 bacakları analog okuma için; AN2 (-) referans girişi; AN3 (+) referans girişi olarak ayarlanmış olur.

3.5. İşlemsel Kuvvetlendirici: LM741

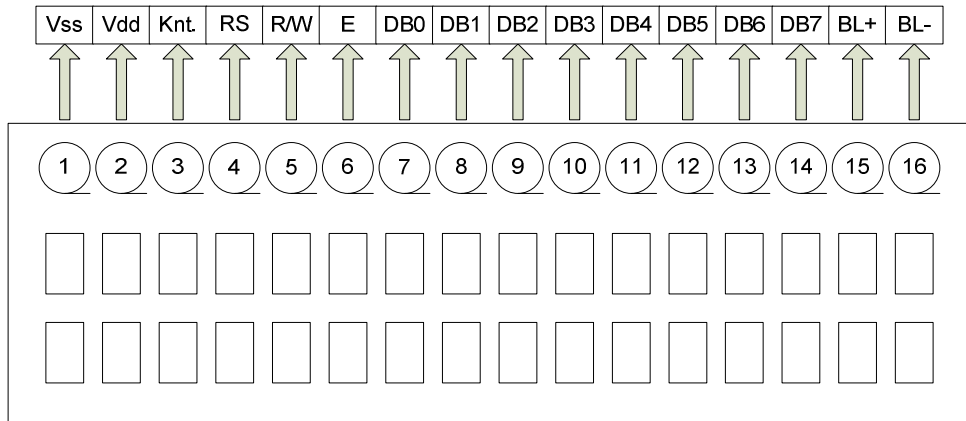
Beklenmeyen bir şekilde yük hücresinin çıkışlarının sadece diferansiyel farktan ibaret olmadığı, diferansiyel farkın belli bir DC gerilim üzerinde olduğu anlaşılmıştır. Bu DC gerilim, yük hücresinin besleme gerilimiyle doğru orantılı olarak değişmektedir. Yük hücresinin çıkışını 0-5V aralığına sokabilmek amacıyla LM741 entegresi kazancı 1 olan bir tersleyici olarak tasarlanmıştır [4].



Şekil 3.16: Birim Kazanlı Tersleyici

3.6. LCD Ekran: PCM1602K

Projede, 2x16 boyutunda paralel bir LCD kullanılmıştır. Arka panel ışığı ve LCD'nin kendisi 5V DC ile beslenmektedir. 3 numaralı girişine bağlanan potansiyometre yardımıyla karışıklık ayarı yapılabilmektedir. Toplam 8 adet veri yolu vardır(DB0:DB7) [5]. Ancak projede karmaşıklığı azaltmak amacıyla 4 tanesi kullanılmıştır.



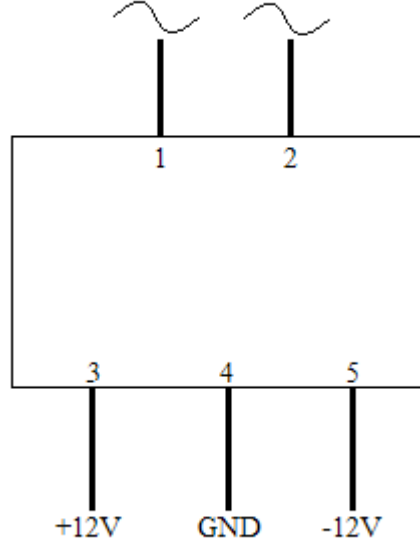
Şekil 3.17: PCM1602K Bacak Şeması

3.7. Güç Kaynağı

Güç kaynağı bölümü, 1 adet transformatör ve 4 adet entegreden oluşmaktadır.

3.7.1. Transformatör

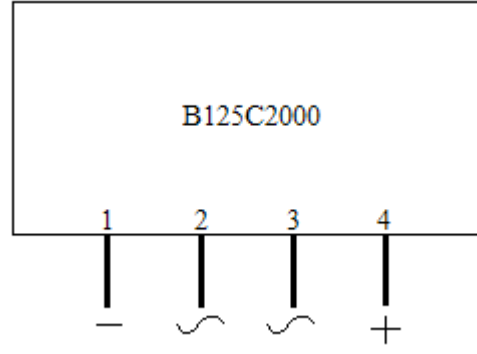
INA114 enstrümantasyon kuvvetlendiricisi ve LM741 işlemsel kuvvetlendiricisi simetrik beslenmektedir. Bu yüzden $\pm 12V$ çıkış verebilen bir transformatör kullanılmıştır. (2x12) Şekil 3.18’de de görüldüğü üzere, 4 numaralı bacağı toprak çıkışı olup tüm devrenin toprak bağlantısı buradan verilmektedir. 3 numaralı bacak $+12V$ çıkışını, 5 numaralı bacak $-12V$ çıkışını vermektedir. 1 ve 2 numaralı bacaklar fişin uçlarına bağlanır.



Şekil 3.18: Transformatör

3.7.2. Köprü Diyot: B125C2000

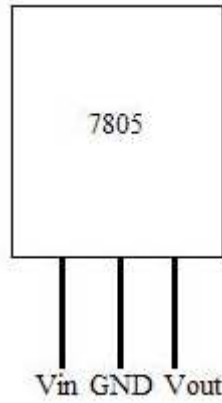
Transformatörden alınan işaret AC işarettir ve doğrultulması gerekir. Bunun için önce bir köprü diyot kullanılmıştır. Transformatörün 3 numaralı bacağından çıkan $+12V$ AC işaret köprü diyotun 2 numaralı bacağına; 5 numaralı bacağından çıkan $-12V$ AC işaret köprü diyotun 3 numaralı bacağına bağlanır. 1 numaralı bacadan $-12V$, 4 numaralı bacadan $+12V$ çıkış alınır [6]. Çıkan işaretler pozitif tarafta olmalarına rağmen hala AC'dir.



Şekil 3.19: Köprü Diyot

3.7.3. Gerilim Regülatörü: LM7805

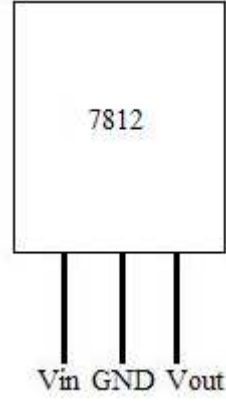
LM7805 entegresi, 12V AC gerilimi, 5V DC gerilime dönüştürür [7]. Bu entegre mikroişlemciyi ve LCD ekranı beslemek amacıyla kullanılmıştır. Bacak bağlantısı Şekil 3.20'deki gibidir.



Şekil 3.20: LM7805 Gerilim Regülatörü

3.7.4. Gerilim Regülatörü: LM7812

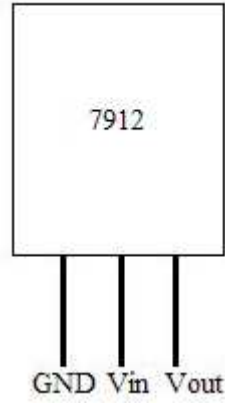
LM7812 entegresi, 12V AC gerilimi, 12V DC gerilime dönüştürür [8]. Bu entegre, kuvvetlendiricilerin simetrik beslemelerinden pozitif olanı ve yük hücrelerini beslemek amacıyla kullanılmıştır. Bacak bağlantısı Şekil 3.21'deki gibidir.



Şekil 3.21: LM7812 Gerilim Regülatörü

3.7.5. Negatif Gerilim Regülatörü: LM7912

LM7912 entegresi, 12V AC gerilimi, -12V DC gerilime dönüştürür [9]. Bu entegre, kuvvetlendiricilerin simetrik beslemelerinden negatif olanı beslemek amacıyla kullanılmıştır. Bacak bağlantısı Şekil 3.22’deki gibidir.



Şekil 3.22: LM7912 Negatif Gerilim Regülatörü

4. YAZILIM

Projenin yazılım kısmı, mikroişlemciye yüklenen yazılımdan oluşmaktadır. Bu bölüm içinde yazılım ortamı tanıtılacak ve yazılımın anlatımı yapılarak akış diyagramı verilecektir.

4.1. Yazılım Ortamı

Yazılım, Basic programlama dili temeline dayanan PIC Basic Pro ile yazılmıştır. PIC Basic Pro, PIC mikroişlemcileri için özel olarak oluşturulmuş kütüphanelere sahiptir. Bu kütüphaneler sayesinde kendi tasarımı olan fonksiyonlar rahatlıkla yazılabilir, kütüphanelere eklenebilir ve daha sonra kullanmak üzere kaydedilebilir. Ayrıca, kütüphanelerde hazır gelen fonksiyonlar kullanılarak, kod geliştirme süreci hızlandırılmaktadır. Yazılım ortamı, arka planda PIC Basic Pro'yu çalıştıran bir arayüz olan MicroCode Studio Plus'tır.

Yazılım, PIC programlayıcı kartı üzerinden seri port aracılığıyla bilgisayara bağlanarak mikroişlemciye gömülmüştür. Bu işlemin yapılmasında ICProg yazılımı kullanılmıştır.

4.2. Genel Bakış

Program, LCD'nin kaç satırlı olduğu, paralel mi seri mi olduğu, kaç bitlik olduğu, veri ve kontrol bitlerinin hangileri olduğu gibi tanımlamalarla başlar. Sonra, A/D çeviricinin tanımlamaları yapıp, değişkenler ve sabitler belirtilir. Dara alma işlemi için gerekli olan kesme ayarları yapılır ve ilgili yazmaçlara uygun değerler atanır. LCD ekranın hazırlanması için 1sn bekleme yapıldıktan sonra program ana döngüye girer.

Ana döngünün başındaki for döngüsü içinde, 0 numaralı kanaldan okuma yapılır ve okunan değer bir değişkene atılır. Değişkenin değeri 60 defa toplanarak başka bir değişkene yazılır. En son toplanan değer 60'a bölünerek okuma sonuncun atıldığı

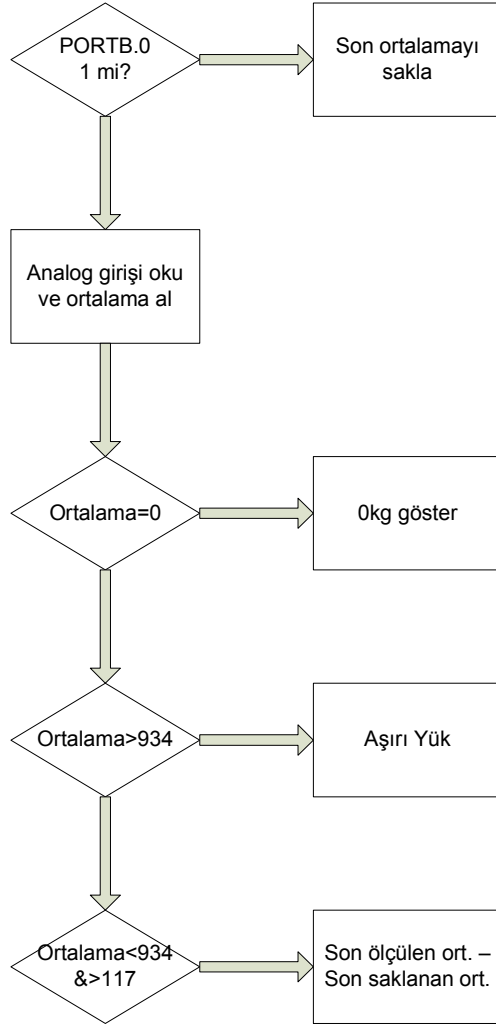
değişkene yazılır. Böylece okuma sonuçlarının ortalaması alınarak, daha doğru ve kesin ağırlık bilgisinin ekranda gösterilmesi amaçlanmıştır.

Sonraki tüm işlemler en son elde edilen ortalama değer üzerinde yapılır. Önceki bölümlerde belirtildiği gibi mikroişlemcinin referansları 0 ve 5V'tur. Bu demektir ki eğer mikroişlemcinin analog okuma kanalına 5V gelirse, A/D çevirici 10 bitlik olduğu için $2^{10} - 1 = 1023$ sayısal değeri elde edilecektir. Aynı şekilde 0V gelirse, 0 sayısal değeri elde edilir. Yapılan testler sonucu analog okuma girişine gelen en düşük gerilimin 0.571V, en yüksek gerilimin 4.561V olduğu görülmüştür. Bu durumda 0.571V'un 0V'a; 4.561V'un 5V'a ölçeklenmesi gerekmektedir. Ölçekleme işlemi için öncelikle ölçülen en az ve en fazla gerilim değerlerinin A/D çeviricide karşı düştüğü sayısal değerler hesaplanmış, sonra bu değerlerin arasında kalan okuma değerleri için (4.1) formülü kullanılmıştır.

$$\frac{(|SayısalDeğer - 934|) \bullet 5000}{(934 - 117)} = Ağırlık \quad (4.1)$$

(4.1)'deki 934 sayısı, 4.561V'un karşı düştüğü değeri; 117 sayısı ise 0.571V'un karşı düştüğü değeri göstermektedir. Ağırlık ile belirtilen sayı 0 ila 5000 arasında bir sayıdır. Sonraki işlemler örneğin 3472 elde edildiyse bunu 3.472kg biçiminde yazmak için yazılmış kodlardan oluşmaktadır.

PORTB'nin 0 numaralı bacağında yükselen kenar görüldüğü zaman program işlemekte olduğu kodu tamamladıktan sonra otomatik olarak kesme alt programına dallanır. Kesme alt programında, (4.1)'de ağırlık ile belirtilen değer başka bir değişkene her defasında toplanarak yazılır. Ana programa dönüldüğünde tekrar ölçüm yapılır ve elde edilen sayı, kesmede kaydedilen sayıdan çıkarılarak sıfırlanır. Programın akış diyagramı Şekil 4.1'deki gibidir.



şekil 4.1: Programın Akış Diyagramı

5. TEST VE SONUÇLAR

5.1. Test

Testler, terazi boşken ve üç farklı ağırlık koyularak yapılmıştır. Yük hücresinin iki farklı besleme gerilimi ve enstrümantasyon kuvvetlendiricisinin iki farklı kazanç değeri için elde edilen sonuçlar verilmiştir.(Tablo 5.1)

Tablo 5.1: Terazinin Test Sonuçları

				Ağırlık	Yük Hücresi(-)	Yük Hücresi(+)	Farksal Gerilim	Analog Giriş
YÜK HÜCRESİ BESLEMESİ	5V	KAZANÇ	334.3	0	2.128V	2.127V	1.3mV	-1.833V
				1.605	2.130V	2.125V	4.4mV	-1.284V
				3.197	2.132V	2.125V	7.6mV	-0.739V
				4.802	2.134V	2.123V	10.7mV	-0.191V
			1049.2	0	2.129V	2.128V	1.3mV	-1.370V
				1.605	2.131V	2.126V	4.4mV	0.368V
				3.197	2.134V	2.126V	7.6mV	2.080V
				4.802	2.135V	2.124V	10.7mV	3.823V
	10V		334.3	0	4.217V	4.215V	2.5mV	-3.628V
				1.605	4.216V	4.208V	8.8mV	-2.536V
				3.197	4.221V	4.206V	15mV	-1.458V
				4.802	4.220V	4.199V	21.3mV	-0.369V
			1049.2	0	4.267V	4.265V	2.5mV	-2.733V
				1.605	4.271V	4.262V	8.9mV	0.753V
				3.197	4.275V	4.259V	15.1mV	1.049V
				4.802	4.277V	4.256V	21.4mV	1.056V

5.2. Sonuçlar

Yapılan testler sonucunda, yk hücresinin çıkışlarının besleme gerilimiyle doğru orantılı olduğu görülmüştür. Bu sonuç, analog girişin en yüksek değerinin 5V'a yaklaştırılması için kullanılmıştır. Diğer bir sonusa, enstrümentasyon kuvvetlendiricisinin kazancının artırılmasının, analog kanala giren gerilim aralığını etkilediğidir. Yani kazanç ile gerilim aralığı doğru orantılı değişmektedir. Bu sonuç da, analog girişe giren en düşük gerilimin 0V'a yaklaştırılması için kullanılmıştır.

Yük hücresi besleme geriliminin ve enstrümentasyon kuvvetlendiricisi kazanç değerlerinin, bu gerçekler göz önüne alınarak seçimi yapılmıştır. Analog kanala giren gerilim aralığı ne kadar 0-5V'a yakın olursa, ağırlık lme düzeneğinin znrlğ o derecede iyileşmektedir. Bunu şu örnekle açıklamak mümkündür:

Analog girişe giren gerilimin 0-5000mV arasında olduğu düşünülürse ve mikroşlemcinin A/D çeviricisi 10 bitlik olduğuna göre (5.1) denklemine göre mikroşlemcinin algılayabileceği en küçük gerilim farkının yaklaşık 4.88mV olduğu görülür. Bu gerilim ne kadar düşük olursa ölçüm duyarlılığı da o kadar düşük olur.

$$\frac{5000}{2^{10}} = 4.8828125mV \quad (5.1)$$

Ayrıca, elde edilen çıkışın, 0-5kg yükler için, ya tamamıyla negatif ya da tamamıyla pozitif değerlerden oluşması gerekmektedir. Eğer yle olursa, tamamen negatif değerler için bir evirici kullanmak yeterli olacaktır. Tamamen pozitif değerler için ek bir donanıma gerek kalmayacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Vishay Tedea-Huntleigh Corp., 2005, Model 1022 Single Point Aluminum Load Cell Datasheet Document Number: 12007

<http://www.liden-weighing.com>

[2] Texas Instruments Corp., 2003, INA114 Datasheet

http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/I/N/A/1/INA114.shtml

[3] Microchip Technology Inc., 2003, PIC16F877A Datasheet

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf>

[4] National Semiconductor Corp., 2004, LM741 Datasheet Document Number: DS009341

<http://cache.national.com/ds/LM/LM741.pdf>

[5] XIAMEN Precise Display Corp., 2001, PCM1602K Datasheet

<http://www.lcdproduct.com/a/en/products/list1.asp?part=list1&classID=12>

[6] National Semiconductor Corp., 2004, B125C2000/1500 Datasheet

<http://www.datasheetarchive.com/B125C2000%2F1500-datasheet.html>

[7] Fairchild Semiconductor Corp., 2001, LM7805 Datasheet

http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/M/7/8/LM7805.shtml

[8] Fairchild Semiconductor Corp., 1999, LM7812 Datasheet

http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/M/7/8/LM7812.shtml

[9] National Semiconductor Corp., 2001, LM7912 Datasheet Document Number: DS007340

http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/M/7/9/LM7912.shtml

ÖZGEÇMİŞ

Ali Hilmi UYSAL, 1985'te Gaziantep'te doğdu. İlkokulu Çarşamba Atatürk İlköğretim Okulu'nda, ortaokulu Çarşamba Anadolu Lisesi'nde ve liseyi Bursa Fen Lisesi'nde tamamladıktan sonra, 2003 yılında eğitim görmeye hak kazandığı İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi'nde öğrenimine başladı. Ali Hilmi UYSAL halen Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde eğitimine devam etmektedir.